

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y OBRAS PÚBLICAS

## TRABAJO FIN DE GRADO

***“PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN  
APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO  
MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA  
(BIZKAIA)”***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

**Alumno/Alumna:** García, Arroyo, David

**Director/Directora:** Larrauri, Gil, Marcos

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 21, junio, 2019

# ÍNDICE

---

1.	OBJETO.....	3
2.	ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	3
3.	SITUACIÓN GEOGRÁFICA .....	4
4.	ALTERNATIVAS Y JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN .....	4
4.1	SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO.....	4
4.1.1	SITUACIÓN ACTUAL DEL EMPLAZAMIENTO SELECCIONADO.....	5
4.2	SELECCIÓN DEL MATERIAL ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA.....	6
4.2.1	ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO .....	7
4.2.2	ESTRUCTURA DE ACERO.....	7
4.2.3	ESTRUCTURA DE MADERA .....	8
4.3	SELECCIÓN DEL TIPO DE CUBIERTA.....	10
4.3.1	CUBIERTA A UN AGUA .....	11
4.3.2	CUBIERTA A DOS AGUAS.....	11
4.3.3	CUBIERTA A CUATRO AGUAS .....	11
4.4	SELECCIÓN DE LA FINALIDAD DEL TERRENO DE JUEGO.....	13
4.5	SELECCIÓN DE LA DISPOSICIÓN .....	13
5.	DESCRIPCIÓN GENERAL .....	16
5.1	GEOLOGIA .....	16
5.2	CLIMATOLOGÍA .....	16
5.3	OROGRAFÍA.....	17
5.4	DEMOGRAFÍA Y POBLACIÓN .....	17
6.	SITUACIÓN URBANÍSTICA DE LA ZONA DE PROYECTO.....	17
7.	DESCRIPCIÓN DE LA OBRA .....	18
7.1	NAVE PARA CAMPO DE FÚTBOL SALA. DATOS GENERALES .....	19
7.1.1	ESTRUCTURA.....	19
7.1.2	ESPACIOS.....	19
7.1.3	ENVOLVENTE DEL EDIFICIO .....	20
7.1.4	PAVIMENTO .....	21
7.2	VESTUARIOS.....	21
7.2.1	ESTRUCTURA.....	21
7.2.2	ESPACIOS.....	22
7.2.3	ENVOLVENTE DEL EDIFICIO .....	23
7.2.4	SOLERA.....	25



7.3 RAMPA PARA MINUSVALIDOS .....	25
7.3.1 ESTRUCTURA .....	25
7.4 EVACUACIÓN EN CASO DE EMERGENCIA .....	26
7.5 INSTALACIONES.....	27
7.5.1 ILUMINACIÓN Y ELECTRICIDAD.....	27
7.5.2 INSTALACIÓN DE EVACUACIÓN DE AGUAS.....	29
7.5.3 INSTALACIÓN DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS .....	30
7.5.4 SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE.....	31
7.5.5 INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN .....	31
7.5.6 INSTALACIÓN DE GAS.....	32
7.6 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL APARCAMIENTO .....	32
7.6.1 PAVIMENTO .....	32
7.6.2 DRENAJE SUPERFICIAL .....	33
7.6.3 ACCESIBILIDAD PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD.....	33
8. PLAN DE OBRA .....	34
9. RESUMEN PRESUPUESTO.....	35
10. NORMATIVA .....	37
11. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	37
11.1 PAGINAS WEB .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
12. ÍNDICE DE ANEJOS.....	38
13. INDICE DE TABLAS .....	41
14. INDICE IMÁGENES .....	46

## 1. OBJETO

El objetivo del presente proyecto es describir los principales parámetros y obras necesarias para la construcción de un campo de fútbol sala cubierto además de unos vestuarios y un aparcamiento exterior de vehículos para el Instituto Municipal de Deportes de Ermua (Bizkaia). Esta nueva cancha deportiva se utilizará para uso meramente recreativo y entrenamientos

## 2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DE LA OBRA

El fútbol tradicionalmente ha sido uno de los deportes más practicados en el mundo. Tras una encuesta realizada por la FIFA, aproximadamente 270 millones de personas están involucradas con la práctica de este deporte y de estas, 265 millones practican este deporte a nivel profesional, semiprofesional o amateur, considerando hombres, mujeres, jóvenes y niños.

En la localidad de Ermua hay en total 10 campos de fútbol sala, de los cuales solo 2 son de uso libre. Otros 2 de estos son del Instituto Municipal de Deportes de Ermua que se podrían usar previa reserva, pero tienen preferencia de uso equipos federados de distintos deportes como bien pueden ser el balonmano y el fútbol sala. El resto, son de los colegios que además en algunos han quitado las porterías debido a que desde hace 7 años ya no se practican las competiciones de fútbol 5 de categoría prebenjamín entre colegios del municipio. Solo uno de los colegios mantiene las puertas abiertas durante los fines de semana por lo que en total habría 3 campos disponibles.

De los 16.033 habitantes que tiene el municipio, alrededor de 2.700 componen una población comprendida entre 10 a 29 años. Este rango de edad representa la población joven de la localidad que normalmente, son las personas que más practican el fútbol. De estos 2.700 jóvenes, una cantidad notable practican este deporte ya que este municipio cuenta con varios equipos de fútbol, como de fútbol sala, además de una liga para aficionados sin tener en cuenta las personas que lo practican y no están apuntados a ningún equipo.

Por otro lado, en los 2 campos del Instituto Municipal de Deportes por las tardes de los días lectivos se llevan a cabo actividades de Multideporte para los más pequeños, distintas actividades para grupos de personas de mediana y avanzada edad. También usan estas instalaciones 9 equipos del club de balonmano "Errotabarri Eskubaloia" y 2 equipos del club de fútbol sala "Scorpio FS". A causa de la alta ocupación de estas instalaciones uno de los equipos del club Scorpio FS está obligado a entrenar en el municipio colindante de Eibar.

En conclusión, 3 campos de utilidad recreativa son pocos para la cantidad de habitantes jóvenes que tiene Ermua y para la cantidad de personas que practican este deporte. También 2 campos del IMD son insuficientes para la cantidad de actividades que ofrece.

De los 3 campos disponibles ninguno dispone de una cubierta para poder jugar en condiciones climáticas adversas como la lluvia o la nieve. Cuando se dan estos fenómenos meteorológicos los vecinos de la localidad están obligados a ir a Mallabia a jugar ya que tiene su único campo disponible cubierto.

### 3. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

La villa de Ermua es un municipio de la provincia de Bizkaia lindando con la provincia de Guipúzcoa ambas en el País Vasco. Dicho municipio se ubica políticamente en la comarca del Duranguesado, aunque geográficamente está integrado en la comarca guipuzcoana del Bajo Deva debido a la cuenca hidrológica a la que pertenece. Esta localidad está lindando por un lado por la ciudad guipuzcoana de Éibar y por el otro lado por el municipio de Mallabia. La población actual del municipio es de 16.033 habitantes y su superficie es de 6,49 km<sup>2</sup>



Imagen 1 Situación geográfica de la zona del proyecto.

### 4. ALTERNATIVAS Y JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN

#### 4.1 SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

Para esta selección se ha realizado una búsqueda del terreno disponible en la localidad en el que se pueda llevar a cabo la construcción del presente proyecto. El principal problema que ha surgido en esta selección es que Ermua es un municipio que por su orografía tiene todas las infraestructuras, viviendas y demás elementos muy concentrados por lo que solo se ha encontrado lugar disponible con tamaño suficiente para albergar la totalidad del proyecto. Los demás lugares disponibles de Ermua no reúnen las características de idoneidad y superficie necesarias debido a que son zonas muy pequeñas o que tienen un terreno irregular.

El único emplazamiento posible para el proyecto es en la zona de Beti-Ondo lugar donde se encuentra uno de los complejos deportivos del Instituto Municipal de Deportes de Ermua que está constituido por dos campos de fútbol 11, una pista de atletismo, una cancha "indoor", un gimnasio y un espacio interior para entrenamientos para deportistas que practican el atletismo. En este primer emplazamiento, anexo al complejo deportivo, se encuentra una explanada que antiguamente era un campo de fútbol 11 donde jugaban equipos aficionados y niños en Categoría Escolar. Actualmente dicha explanada sirve como aparcamiento improvisado pero que no tiene señalización como tal.

El lugar es suficientemente grande como para llevar a cabo la construcción de la instalación deportiva y un aparcamiento debidamente señalizado cubriendo así el servicio que da actualmente la explanada.

En cuanto a la geotecnia de la zona, el terreno es bueno ya que, como se ha mencionado, el lugar está siendo utilizado para el estacionamiento de vehículos, por lo que no sería necesario mejorarlo.

La comunicación por carretera a Beti-Ondo es muy buena debido a la existencia de dos accesos que provienen de distintas partes del municipio.

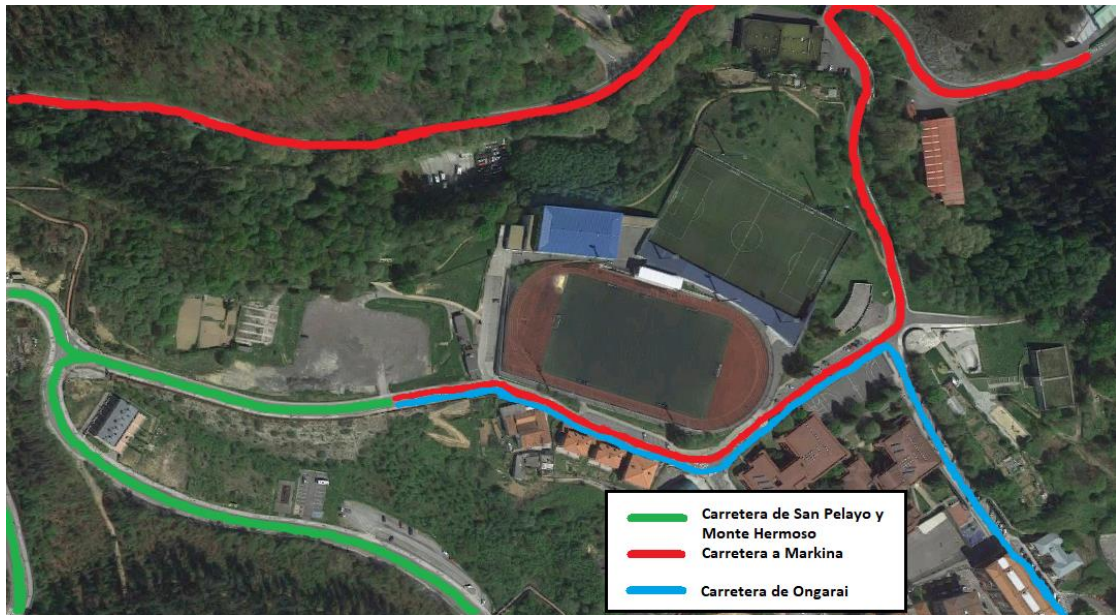


Imagen 2. Vías de acceso a la zona de Beti-Ondo.

#### 4.1.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL EMPLAZAMIENTO SELECCIONADO

En la zona donde finalmente se va a llevar a cabo el proyecto, ya hay unos vestuarios del campo de fútbol que había antaño pero que no se pueden utilizar ya que se encuentran en un estado ruinoso por lo que habría que derribarlos. Además del estado en el que se encuentran los vestuarios, estos reducen de manera considerable la visibilidad de un "STOP" que se encuentra en un aparcamiento existente anexo a la zona de proyecto lo que hace que la demolición de los vestuarios cobre más importancia.



Imagen 3. Falta de visibilidad en el "STOP"

Por otro lado, como el proyecto va a ser parte del Instituto Municipal de Deportes y se va a construir anexo a él, está en una zona en la que mucha gente acude a practicar las diferentes disciplinas deportivas en el propio Instituto o en el campo de fútbol Teodoro Zuazua. Por ello, se requiere una cantidad considerable de aparcamientos que actualmente este lugar no tiene.

El problema de aparcamiento se presenta normalmente los fines de semana debido a que son los días que hay partidos. Estos días por consecuencia de la falta de plazas de aparcamiento los vehículos suelen estacionar de manera ilegal en zonas que no están habilitadas para ello. También se suele usar la explanada en la que se va a llevar a cabo el proyecto como aparcamiento improvisado.

Durante los días laborables, la situación se vuelve más liviana debido a que sólo aparcan los vecinos de la zona y la gente que tiene entrenamiento o gente que quiere practicar algún deporte. Aun así, en ocasiones son insuficientes las plazas existentes y se vuelve a recurrir al estacionamiento ilegal.

#### 4.2 SELECCIÓN DEL MATERIAL ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA

Para la selección del material estructural se va a llevar a cabo un método multicriterio, concretamente la suma ponderada. Los tres materiales a estudiar son; hormigón armado, acero y madera. El método de la suma ponderada consiste en lo siguiente:

1. Especificar los criterios a tener en cuenta.
2. Dar un peso a cada uno de los criterios ( $p_j$ )
3. Analizar cada alternativa, dando una calificación a cada criterio ( $x_{ij}$ ; máximo 10)

4. Multiplicar las calificaciones y pesos de cada alternativa y luego sumarlos.

$$SP(\text{alternativa}_i) = \sum_{j=1}^n p_j x_{ij}$$

5. Escoger la de mayor calificación.

Los criterios que se utilizarán en este método serán: comportamiento estructural, economía, medioambiente y ejecución.

#### 4.2.1 ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO

Ventajas:

- Alta resistencia a compresión.
- Buen comportamiento frente a la acción del fuego.
- Coste de mantenimiento bajo comparado con otros tipos de material estructural.
- Son estructuras monolíticas por lo que tienen un alto grado de hiperestaticidad.
- Excelentes cualidades de durabilidad.
- Posibilidad de adquirir cualquier forma que disponga el encofrado en el que se vierte.

Desventajas

- Mayores dimensiones de la cimentación en comparación con otros materiales.
  - Elevado peso propio debido a la necesidad de disponer mayores secciones.
  - Ejecución in situ laboriosa lo que conlleva largos plazos de ejecución.
  - Dificultad en la realización de modificaciones en la estructura.
  - Baja resistencia a tracción.
  - Mayor dificultad para cubrir grandes luces respecto al acero.
- Algunos tipos de fallo en las estructuras de hormigón son de tipo frágil.
- Gran ocupación de la estructura en planta.

Este tipo de estructura es adecuada para edificaciones en las que vaya a tener formas poco comunes por la maleabilidad que tiene el material antes de que ser endurecido. Por ello, junto a la capacidad que tiene este material para excluir la formación de putrefacción, es un tipo de estructura para llevar a cabo lugares que tengan un importante aspecto estético y limpio como edificaciones de interés, hospitales, etc. A diferencia de las estructuras de madera y de acero, con el hormigón armado se pueden construir edificaciones en las que vaya a haber habitualmente fuego o exista riesgo de incendio.

Por el contrario, las estructuras de hormigón armado no son adecuadas para cubrir grandes vanos debido al gran peso del hormigón. Tampoco son recomendables para edificaciones en las que estén en un ambiente marino si no es un hormigón.

#### 4.2.2 ESTRUCTURA DE ACERO

Ventajas:

- Menores dimensiones de la cimentación.
- Alta resistencia por unidad de peso.
- Segura frente a seísmos.
- Material elástico y dúctil.
- Muy habitual para cubiertas de campos de fútbol sala.
- Precisión dimensional.



- Alta resistencia de cortante

Desventajas:

- Susceptible de pandear elásticamente.
- Alto coste de mantenimiento (corrosión, tratamiento frente al fuego...).
- Fatiga.
- Corrosión.

La ejecución de una construcción con estructura metálica es favorable cuando se quiera construir en un periodo relativamente corto debido a que se puede llevar a cabo en tiempos reducidos. También son idóneas en el caso de que la construcción tenga la probabilidad de crecimiento o cambio de función o de las cargas. Además, un factor importante a tener en cuenta es que con este tipo de estructura se pueden obtener grandes luces libres que es lo indispensable para un campo de fútbol sala.

Sin embargo, las estructuras metálicas no son recomendadas cuando la construcción vaya a estar sometidas a acciones dinámicas de importancia. Tampoco son aconsejadas cuando en el entorno en el se construya haya una atmósfera agresiva (zonas marinas, industriales...) y tampoco en zonas donde haya fuego o haya riesgo de incendio (laboratorios, almacenes...)

#### 4.2.3 ESTRUCTURA DE MADERA

Ventajas:

- Buen comportamiento aislante (acústico, térmico...)
- Coste relativamente bajo debido a la abundancia del material.
- Material reciclable, renovable y natural.
- Tiempos de ejecución relativamente bajos.
- Baja mano de obra.
- Cimentaciones de dimensiones pequeñas debido a la ligereza de la madera.
- Apta para cualquier tipo de ambiente.
- Alta resistencia por unidad de peso.
- Posibilidad de cubrir grandes luces.

Desventajas

- Susceptible a ataques de insecto y hongos (necesarios tratamientos protectores).
- Limitación apreciable en relación a las dimensiones de la estructura.
- Material muy vulnerable al fuego.
- Baja resistencia de cortante.

Este tipo de material se puede utilizar cuando se busque una solución económica y que tenga el mínimo impacto ambiental. También es un buen material debido a la rapidez en la ejecución de la construcción además de proporcionar grandes vanos.

Por el contrario, es un material poco recomendable a la hora de construir edificaciones en las que vaya a haber fuego habitualmente o haya riesgo de incendio. Otro punto negativo de la estructura de madera es el alto coste en mantenimiento por lo que no sería aconsejable para una edificación en la que se interrumpiría de manera apreciable la función para la que ha sido proyectada.

Tal y como se menciona al inicio de este apartado, para la selección del material estructural se va a usar el método de suma ponderada. Para ello, lo primero hay que elegir los criterios en los que se va a basar la selección. Para el presente proyecto, los criterios que más se ajustan a las necesidades de la selección son el estructural, el medioambiente, la economía y el proceso constructivo que tendrán un peso 35%, 30%, 20% y 15% respectivamente. El peso de los criterios se ha elegido dependiendo de la importancia de cada uno. El criterio estructural tiene más peso debido a que en caso de fallo en la estructura podría causar daños muy graves. Después sigue la economía para que salga rentable el proyecto. El criterio medioambiental está en la tercera posición ya también se considera que no se contamine mucho el entorno. Por último, con el menor peso está el criterio del proceso constructivo debido que en la zona del proyecto no va a haber muchas dificultades a la hora de construir la cubierta y los vestuarios.

A continuación, se analizarán los criterios, se les dará una valoración y se multiplicarán a los pesos y finalmente se sumará dicha multiplicación y se elegirá la de mayor valor y por lo tanto la opción más adecuada.

- Estructura de hormigón armado

Criterios	Peso	Valoración
Estructural	35%	7
Económico	30%	7
Medioambiental	20%	6
Proceso constructivo	15%	5
SUMA PONDERADA:		<b>6,5</b>

Tabla 1. Suma ponderada estructura de hormigón armado.

Se ha valorado con un 7 al aspecto estructural por la dificultad de este tipo de material para cubrir grandes luces debido al gran peso que tiene. También se ha adjudicado un 7 al criterio económico ya que se necesitan secciones mayores que otros materiales para soportar las mismas cargas. En el ámbito medioambiental se ha clasificado con un 6 ya que solo se puede reciclar y/o reutilizar el acero de las armaduras. Finalmente, en cuanto al proceso constructivo se le ha dado una valoración de 5 por la laboriosa ejecución in situ que requiere este tipo de estructura.

- Estructura de acero

Criterios	Peso	Valoración
Estructural	35%	9
Económico	30%	8
Medioambiental	20%	8
Proceso constructivo	15%	9
SUMA PONDERADA:		<b>8,5</b>

Tabla 2. Suma ponderada estructura de acero

En cuanto al acero, se ha calificado el criterio estructural con un 9 ya que es un material capaz de cubrir grandes luces debido a la alta resistencia por unidad de peso y por la seguridad frente a seísmos. En el aspecto económico se ha puntuado con un 8 por tener menos dimensiones de las cimentaciones y secciones más pequeñas que en el caso del hormigón, aunque sea necesario un mantenimiento más exhaustivo. Por la parte medioambiental se ha valorado con un 8 ya que todo el acero de la estructura se puede reutilizar y/o reciclar. Por último, el proceso constructivo ha obtenido una puntuación de 9 por la precisión dimensional.

○ Estructura de madera

Criterios	Peso	Valoración
Estructural	35%	7
Económico	30%	9
Medioambiental	20%	9
Proceso constructivo	15%	7
SUMA PONDERADA:		<b>8</b>

Tabla 3. Suma ponderada estructura de madera.

En este tipo de material estructural se ha valorado en el ámbito estructural con un 7 porque al tener una alta resistencia por unidad de peso y pueda cubrir grandes luces hace que sea buen material, pero la limitación que tiene en relación con las dimensiones y la baja resistencia a cortante hace que baje un poco la puntuación. En cuanto a la economía, se ha puntuado con un 9 ya que es un material muy abundante y consecuentemente; barato. Por parte del criterio medioambiental se ha calificado nuevamente con un 9 porque es un material natural y que además se puede reciclar y/o reutilizar. Por último, se ha puntuado con un 7 el proceso constructivo por la baja mano de obra necesaria para llevar a cabo la construcción que hace que sea un proceso sencillo, pero no lo suficiente para competir con el acero.

Una vez utilizado el método de suma ponderada para los tres casos y mirando los resultados que se han dado, la opción más adecuada es la **estructura de acero** para llevar a cabo el presente proyecto, tanto para la cubierta del campo como para los vestuarios.

#### 4.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE CUBIERTA

Para esta selección, al igual que en el apartado anterior, se empleará el método de **media ponderada**. Se llevará a cabo la elección entre **cubierta a un agua**, **cubierta a dos aguas** y **cubierta a cuatro aguas**.

En este caso habrá no estará el criterio medioambiental debido a que todas las alternativas van a tener la misma repercusión respecto a este y también se omitirá el criterio estructural porque, aunque este si varía de una alternativa a otra se ha considerado que carece de importancia para la elección. Cabe a destacar que se añadirá un nuevo criterio que es el del agua que es capaz de evacuar la cubierta.

Por lo tanto, los criterios quedarán de la siguiente manera: El criterio económico 40% de peso ya que, al haber poca diferencia estructural, va a ser muy positivo una alternativa que sea económica. Respecto al criterio de agua a evacuar va a adquirir un peso de 30% ya que lo que se busca, lógicamente, es una cubierta que evacue la mayor cantidad de agua posible.

Finalmente, se ha establecido un peso de 30% al proceso constructivo ya que este también repercute al precio de la cubierta y por ello tiene el mismo peso que el criterio de agua evacuada.

A continuación, y al igual que en la selección del material estructural, se indican las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas.

#### 4.3.1 CUBIERTA A UN AGUA

Ventajas:

- Drenaje único en el lado más bajo de la cubierta lo que supone un ahorro al ponerse una sola canalización.
- Se evita la construcción de una cumbrera lo que reduce el precio final de la cubierta.

Desventajas:

- Complejidad a la hora de unir la cubierta en algunos puntos de los pilares.
- Mayor superficie a recorrer por el agua que cae sobre la cubierta hasta la canalización por lo que se necesitará un sistema de drenaje grande.

#### 4.3.2 CUBIERTA A DOS AGUAS

Ventajas:

- Debido a su geometría la evacuación del agua se efectúa hacia dos canalizaciones y eso hace que estas tengan secciones más pequeñas.
- En la mayoría de campos de fútbol sala cubiertos se utiliza este tipo de cubierta.
- Permite poner mucha inclinación lo que facilita la evacuación del agua, idóneo para zonas con altos niveles de pluviometría

Desventajas:

- Puede causar problemas en la parte de la cubierta donde el viento es dominante. Este problema se puede resolver con un cálculo exhaustivo de la misma.
- Se encarece levemente el drenaje al colocar dos canalizaciones.

#### 4.3.3 CUBIERTA A CUATRO AGUAS

Ventajas:

- El agua evacuada se repartirá por cuatro canalizaciones por tener cuatro faldones, lo que conlleva a tener un drenaje menos exigente para cada uno de las canalizaciones.
- Al tener cuatro faldones, no habrá problemas con el viento dominante.

Desventajas:

- La construcción de este tipo de cubiertas es mucho más costosa debido a la complejidad en la ejecución.
- Mayor coste de drenaje por disponer de cuatro canalizaciones.

De la misma manera que en la selección del material estructural, a continuación, se hará el análisis de las alternativas teniendo en cuenta los puntos favorables y desfavorables anteriores.

- Cubierta a un agua

Criterios	Peso	Valoración
Económico	40%	9
Agua evacuada	30%	6
Proceso constructivo	30%	7
SUMA PONDERADA:		<b>7,5</b>

Tabla 4. Suma ponderada cubierta a un agua.

El criterio económico ha adquirido un valor de 9 por la sencillez del drenaje y la ausencia de la construcción de la cumbrera. Respecto al agua evacuada la calificación es de 6 por el gran recorrido que tiene que hacer esta y por las grandes dimensiones de la canalización. Por último, un 7 al proceso constructivo por la dificultad de construcción en algunos puntos de la cubierta.

- Cubierta a dos aguas

Criterios	Peso	Valoración
Económico	40%	8
Agua evacuada	30%	8
Proceso constructivo	30%	7
SUMA PONDERADA:		<b>7,7</b>

Tabla 5. Suma ponderada cubierta a dos aguas.

En la cubierta a dos aguas el aspecto económico ha obtenido un 8 ya que es más caro que en la cubierta a un agua por la construcción de la cumbrera. En cuanto al agua evacuada la valoración es de un 7 ya que el agua tendrá que recorrer menos distancia hasta la canalización. Finalmente, en el criterio del método de construcción se ha valorado con un 7 ya que no hay tantas complicaciones en ciertos puntos, pero si en las zonas donde el viento es dominante.

- Cubierta a cuatro aguas

Criterios	Peso	Valoración
Económico	40%	6
Agua evacuada	30%	9
Proceso constructivo	30%	7
SUMA PONDERADA:		<b>7,2</b>

Tabla 6. Suma ponderada estructura de cuatro aguas.

En la última alternativa, se ha calificado con 6 en el ámbito económico ya que la construcción de la cumbrera, de cuatro faldones y la colocación de cuatro canalizaciones. Como al tener cuatro canalizaciones y cuatro faldones el agua tendrá que recorrer menos distancia para ser evacuada por lo que a este criterio se le ha adjudicado un 8. Por último, en el proceso constructivo se ha valorado con un 7 ya que ésta cubierta no tiene problemas con el viento dominante pero la ejecución es más compleja.

Vistos los resultados, la mejor alternativa es la cubierta a dos aguas. Por ello, para **la cubierta del campo de fútbol sala será a dos aguas.**

Sin embargo, debido a las pequeñas dimensiones que se prevé que tendrán los **vestuarios** se ha visto más adecuada la construcción de **una cubierta a un agua** basándose sobre todo a que al tener pequeñas dimensiones el agua a evacuar no tendrá que recorrer distancias tan grandes. Esto hace que el agua evacuada no sea un problema y por ello, predomina, más aun, el ahorro que tiene esta alternativa.

#### 4.4 SELECCIÓN DE LA FINALIDAD DEL TERRENO DE JUEGO

También se ha de elegir la finalidad para la que se va a usar el campo de fútbol ya que dependiendo de esta el Consejo Superior de Deportes propone distintas exigencias y medidas. Los tipos de finalidades que se proponen son las siguientes:

- Competiciones internacionales y nacionales.
- Competiciones regionales y locales, entrenamientos de alto nivel.
- Entrenamiento, deporte escolar y recreativo.

De estas tres opciones, desde un principio se va a eliminar la finalidad de competiciones internacionales y nacionales ya que no se prevé que en Ermua vaya a haber ningún tipo de estas competiciones.

Las otras dos finalidades si son factibles de estudio debido a que en el municipio si se practican todas ellas. Sin embargo, la verdadera problemática está entre semana con los entrenamientos de los distintos equipos. Además, debido a la existencia de dos campos actualmente, la demanda de las competiciones se ve cubierta por los mismos.

En conclusión, la finalidad que se va a elegir es la menos exigente, es decir, la **de entrenamiento, deporte escolar y recreativo** ya que es suficiente para solucionar la problemática ya que como se ha mencionado, las otras finalidades disponibles en el municipio ya están satisfechas con los campos existentes y de llevar a cabo su construcción se estaría sobredimensionando la obra.

Esta selección facilitará en gran medida la viabilidad de la construcción del proyecto porque esta opción no presenta tantos requisitos como cualquiera de las otras dos planteadas. Además, al tener menos exigencias será más económico, pero a su vez suficiente para el uso que se le va a dar.

#### 4.5 SELECCIÓN DE LA DISPOSICIÓN

Dado que en la zona de proyecto ya existe una explanada, eso hace que las alternativas sean más sencillas a la hora de elegir una. Esto se debe a que con la existencia de la explanada todas las alternativas se intentarán que se adecuen esta siempre y cuando se guarden unos mínimos de funcionalidad de las instalaciones. A la vez que sencillo, la existencia de la explanada hace que se reduzcan sus alternativas. A continuación, se presentan dos alternativas en las cuales se expondrán sus puntos a favor y sus puntos en contra con el fin de encontrar la más adecuada de las dos:

### OPCIÓN 1

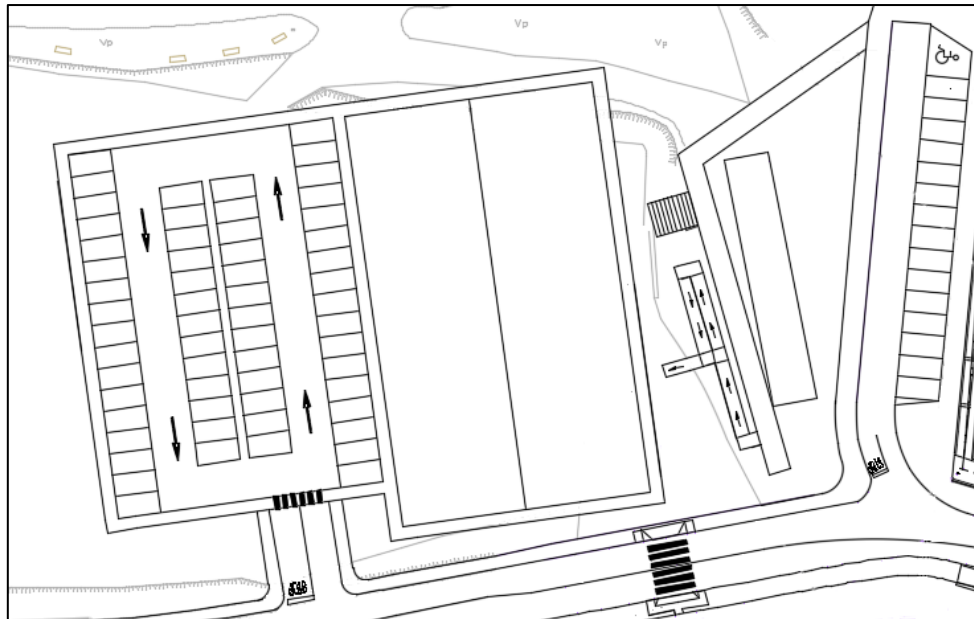


Imagen 4. Primera alternativa

En esta primera opción se obtendrían las siguientes ventajas:

- Tanto el campo de fútbol sala como los vestuarios estarían situados más cerca del resto de instalaciones del complejo deportivo.
- El espacio de la explanada quedaría mucho más aprovechado y las instalaciones del proyecto quedarían más encuadradas con esta.
- El hueco restante que quedaría en la explanada se podrá utilizar para reubicar los servicios que previsiblemente vayan a ser afectados.
- Al construir los vestuarios en la misma zona de la que están los antiguos se podrían aprovechar elementos o distribuciones de las instalaciones de los actuales
- Tiene mejor accesibilidad desde los aparcamientos, teniendo los aparcamientos actuales a un lado y los de nueva construcción al otro.

Los puntos desfavorables serían:

- Se cortaría un camino de hormigón y un recinto vallado para perros con el movimiento de tierras.
- Habría que construir una rampa para personas con minusvalía.
- El movimiento de tierras es ligeramente mayor que el de la opción 2.
- Los vestuarios están a diferente nivel que el terreno de juego que se podría solventar con unas escaleras y una rampa para minusválidos.

## OPCIÓN 2



Imagen 5. Segunda alternativa

Como puntos favorables de esta opción habría los siguientes:

- Habría que hacer un movimiento de tierras notablemente más pequeño que en la opción 1
- No sería necesaria la construcción de la rampa para minusválidos pudiendo acceder al campo de fútbol mediante una rampa ya existente que solo se tendría que acondicionar
- Los vestuarios estarían al mismo nivel que el terreno de juego.

Sin embargo, existen los inconvenientes que se muestran a continuación:

- Desde el punto de vista de la funcionalidad, la zona del terreno de juego queda separada del resto del complejo deportivo
- Al construir los vestuarios lejos de los antiguos, en esta distribución, no se pueden aprovechar los espacios de las instalaciones de estos
- En cuanto a la distribución, el encuadre de las zonas proyecto con la explanada existente, tal y como se ve en la figura, no quedan encajadas dejando espacios desaprovechados entre ellos una ladera que no se le puede dar ningún uso.
- Los espacios mencionados en el punto anterior también suponen una desventaja en aspectos estéticos.

Una vez expuestos los puntos a favor y en contra de cada alternativa, se ha concluido con que la opción 1 es más adecuada debido, fundamentalmente, a los aspectos que tienen relación con el aprovechamiento del espacio y la funcionalidad de los elementos proyecto. También se ha valorado muy positivamente que, gracias al aprovechamiento del espacio, se puedan reubicar los servicios afectados como puede ser la zona de perros. Los factores negativos como el movimiento de tierras y la construcción de la rampa para minusválidos son aspectos que toman una menor importancia ya que el precio del proyecto variaría ligeramente.



## 5. DESCRIPCIÓN GENERAL

### 5.1 GEOLOGIA

Para determinar el suelo que forma parte de la zona de proyecto se ha aprovechado la información obtenida en unos estudios que se hicieron para la el estudio de construcción de una variante de Ermua, la cual un tramo pasaba por debajo de la explanada del proyecto, concretamente el eje 103 (0,+500). Dicha variante no se llevó a cabo por falta de presupuesto.

En los estudios realizados se llevó a cabo un sondeo (SVE 26) y dos calicatas (CVE W-8 y CVE W-10). Las muestras obtenidas determinan que el suelo de la zona de proyecto está compuesto por Relleno Antrópico, Relleno Aluvial y Flysch Detrítico Carbonatado Terciario.

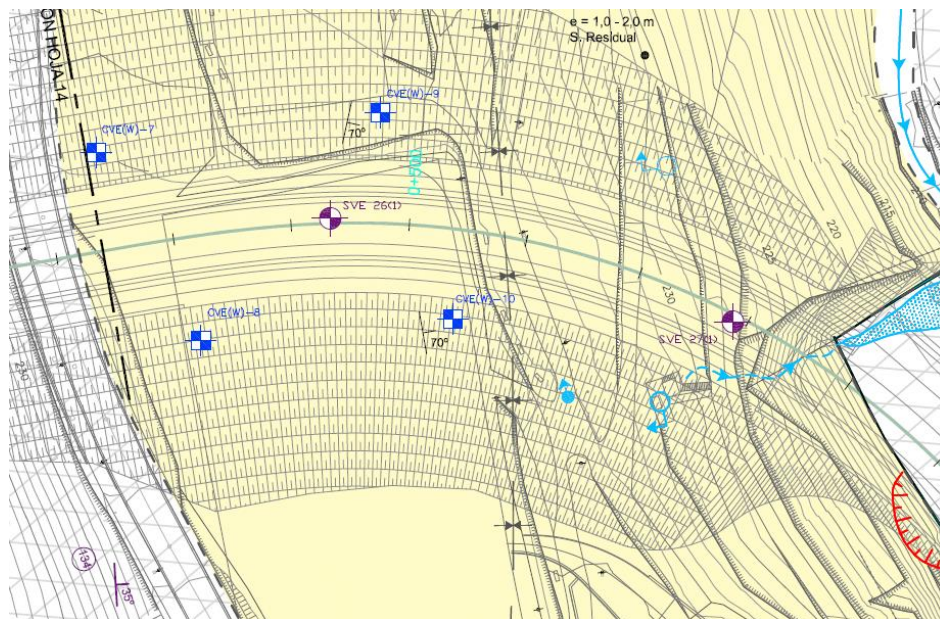


Imagen 6. Calicatas y sondeo realizados en la zona de proyecto

### Cimentación

Para el diseño de la cimentación se ha tenido en cuenta en que no hay ninguna edificación contigua a la zona del proyecto ni ninguna propiedad que este justo al lado de la explanada ni de los vestuarios.

Para el tipo de cimentación se ha decidido poner una cimentación superficial, concretamente zapatas aisladas con vigas de atado. Con estas vigas se evitarán desplazamientos verticales y horizontales dándole así, una estabilidad notable a la cimentación una estabilidad notable.

### Excavabilidad

Se obtiene un sustrato rocoso meteorizado (GM IV-V), se puede considerar como fácilmente excavable mediante pala retroexcavadora o similar.

### 5.2 CLIMATOLOGÍA

Ermua, al igual que toda la vertiente atlántica del País Vasco, tiene un clima denominado clima atlántico que es un clima templado húmedo sin estación seca.

Ermua no tiene periodos áridos debido a la orografía de la localidad y sus alrededores que explica la gran cantidad de lluvia que cae sobre la zona. El periodo con más precipitaciones es

desde octubre hasta abril, teniendo un máximo en el mes de diciembre y un mínimo en el mes de marzo.

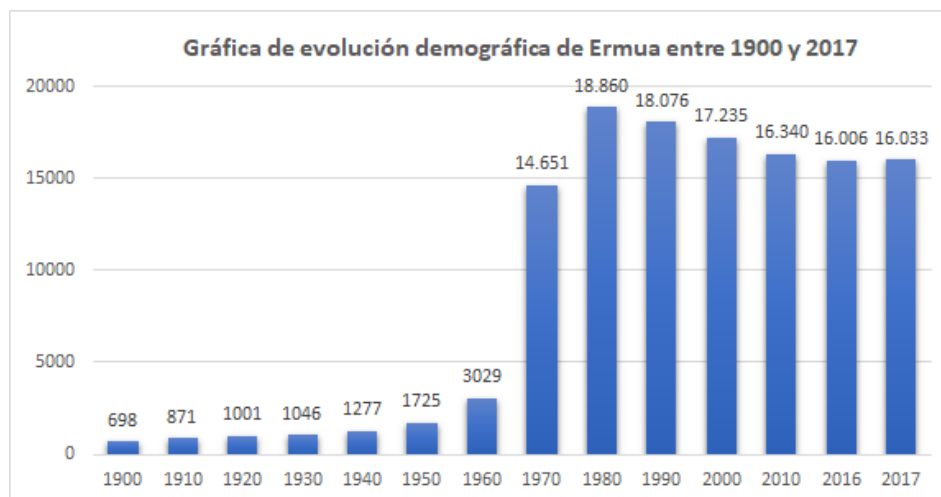
Respecto a la temperatura de Ermua, el océano Atlántico tiene una gran influencia. Las masas de aire, cuyas temperaturas se suavizan con el contacto de las templadas aguas del océano, llegan a la costa y hacen que las variaciones térmicas tanto de noche y de día como en verano y en invierno sean bastante moderadas. La temperatura media anual es de 13,5°C.

### 5.3 OROGRAFÍA

La orografía de la localidad está definida por su ubicación al final del valle del Ego. Está rodeado por un lado por el monte Oiz (1.026 m) y el monte Urko (793 m). Por el otro lado, por la zona de Zaldibar y Elgeta se encuentra el monte Egoarbitza (730 m). Las pendientes de los montes mencionados son muy elevadas lo que hace que Ermua esté hundido entre estos

### 5.4 DEMOGRAFÍA Y POBLACIÓN

Debido a la gran actividad industrial que se estaba desarrollando en Éibar en 1960, la población de Ermua empezó a aumentar de una manera notable llegando a crecer la población un 340% en un periodo de tan solo 10 años. Desde 1980 hasta 2017 se ha notado decrecimiento en la población. En la Gráfica 6.1 se muestra la evolución demográfica de Ermua desde 1900 hasta 2017.



Gráfica 1. Evolución demográfica de Ermua entre 1900 y 2017 (Fuente: Ayuntamiento de Ermua)

## 6. SITUACIÓN URBANÍSTICA DE LA ZONA DE PROYECTO

Ermua está compuesta por un casco antiguo y varios barrios muy cercanos a dicho casco, entre estos está el Barrio de Ongarai, que está caracterizado por tener la mayoría de centros educativos del municipio como son el instituto IES Ermua BHI Ongarai Eskola, Anaitasuna Ikastola y el Colegio de San Pelayo.

Muy cercano al barrio de Ongarai está el lugar del proyecto; la zona del antiguo caserío de Beti-Ondo. Actualmente, esta zona es un gran complejo deportivo compuesto principalmente por el Campo Municipal de Fútbol Teodoro Zuazua y el Instituto Municipal de Deportes, este último a su vez está formado por un campo de fútbol 11, una pista de atletismo y una cancha multiusos.

El emplazamiento del proyecto estará situado junto al Instituto Municipal de Deportes. El lugar elegido antiguamente era un campo de fútbol 11 donde jugaban equipos aficionados y niños en Categoría Escolar.



Imagen 7. Emplazamiento del proyecto

Cabe a destacar la existencia, en Beti-Ondo, de una pista de “skate” y unas instalaciones de chorros de agua para niños. Ambos lugares son frecuentados por los más jóvenes de la localidad.

La zona está creciendo en los últimos años de manera paulatina con la construcción de una carretera que facilita la accesibilidad al lugar del proyecto tanto con el barrio de San Pelayo como con la también nueva urbanización de Monte Hermoso la cual está en continuo crecimiento. A parte de la carretera de nueva construcción mencionada Beti-Ondo también cuenta con otros accesos mediante la carretera procedente de Ongarai y la carretera que lleva a Markina.

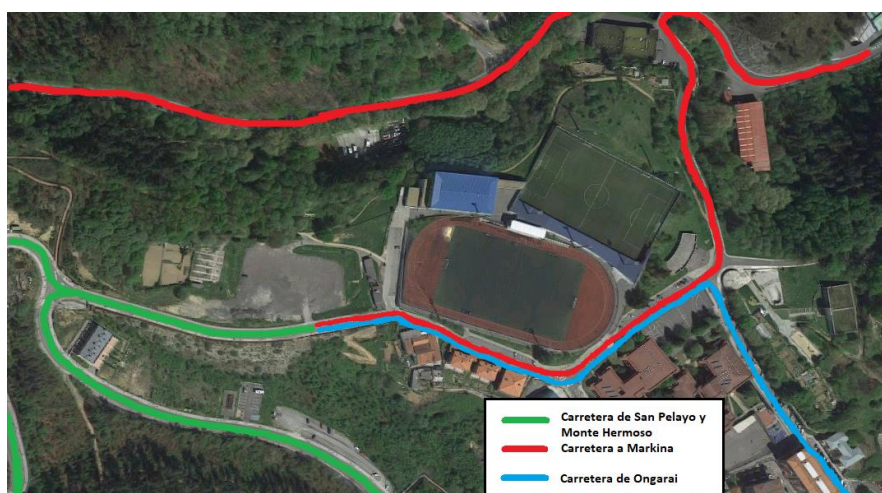


Imagen 8. Vías de acceso.

## 7. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

El proyecto está formado por una nave que servirá para albergar un campo de fútbol sala, por unos vestuarios para los jugadores y árbitros, por una rampa para minusválidos y por un

aparcamiento exterior. En los siguientes apartados se detallan las características generales de cada uno de los elementos.

## 7.1 NAVE PARA CAMPO DE FÚTBOL SALA. DATOS GENERALES

### 7.1.1 ESTRUCTURA

La nave tendrá 45 metros de longitud y 28 metros de ancho con orientación norte- sur y estará formada por un sistema estructural resistente basado en 10 pórticos rígidos separados 5 metros. Los pilares miden 7,5 metros y la altura de la cumbrera será de 10 metros. La estructura será completamente diáfana en su interior, por ello, los pórticos hastiales están reforzados por 3 montantes equidistantes (cada 7 metros). Esta nave tendrá una cubierta a dos aguas cuyas inclinaciones estarán orientadas hacia el este y el oeste. Todos pilares y vigas que conforman la estructura están compuestos por perfiles laminados en caliente IPE o HEB.

Las uniones viga-pilar se realizarán tanto rígidas como articuladas en función del tipo de unión que se quiera llevar a cabo. Todas las uniones serán soldadas y en algunos casos se dispondrá de rigidizadores para resistir mejor los esfuerzos.

Se arriostran los pórticos hastiales y centrales para asegurar la estabilidad de la estructura, tal y como se ve en la imagen:

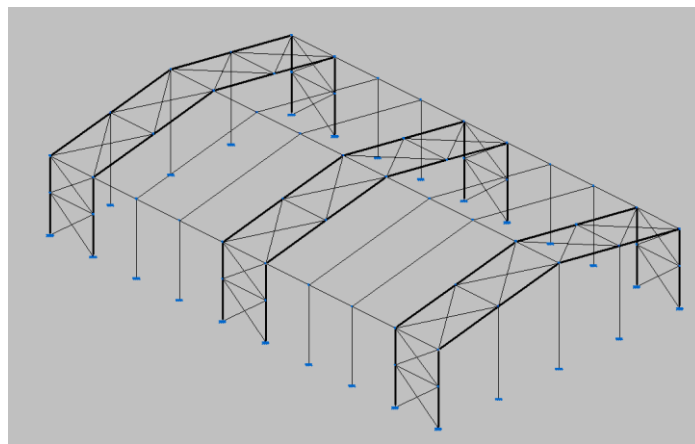


Imagen 9. Estructura general del pabellón de fútbol sala

La transmisión de cargas de la estructura al terreno se llevará a cabo mediante zapatas aisladas que irán colocadas en cada pilar. Dichas zapatas irán unidas entre si mediante vigas de atado. En total habrá 26 zapatas de distintas dimensiones dependiendo de las sollicitaciones que se le transmiten a cada una.

Las uniones entre los pilares metálicos y las zapatas se llevarán a cabo mediante placas de anclaje con pernos cuya patilla está girada 90º y uniones soldadas en ángulo. Este tipo de uniones también tendrán cartelas que colaborarán en la unión.

### 7.1.2 ESPACIOS

Esta nave estará compuesta únicamente por un espacio, diáfano, en el que se ubicará el campo de fútbol sala. Por ello, la superficie es la misma que la de la nave.

Las dimensiones del terreno de juego, incluyendo las bandas de seguridad y espacio para los banquillos, son de 44 x 23 m dejando un espacio de 5 metros en un lateral que permite el acceso a la nave y la estancia de los espectadores.

El acceso a este espacio se realizará mediante dos puertas de 2,2 x 2 metros situadas en la cara este de la nave.

Existirán dos recorridos de evacuación en caso de emergencia que terminarán en las dos puertas de la parte Este.

### 7.1.3 ENVOLVENTE DEL EDIFICIO

#### CUBIERTA

Tal y como se indica en los datos generales del edificio, se colocará una cubierta a dos aguas con una inclinación del 10,12º que permitirá la evacuación de aguas pluviales que caigan sobre la misma. Esta cubierta estará formada por paneles sándwich que estarán apoyadas sobre correas metálicas que a su vez están apoyadas en las vigas.

El panel sándwich estará formado por doble cara metálica de chapa de acero, acabado prelacado y un alma aislante de lana de roca, además de los accesorios necesarios para su instalación. El espesor total del panel será de 50 mm. Este panel garantizará un arriostramiento a la estructura de forma que el pandeo lateral disminuirá en gran medida.

Las características técnicas principales de dichos paneles son los siguientes:

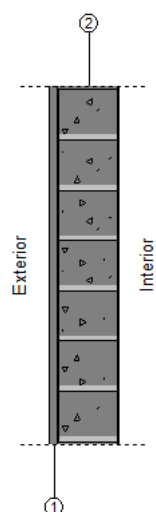
- Espesor: 50 mm
- Peso: 10,65 kg/m<sup>2</sup>
- Transmitancia térmica: 0,63 w/m<sup>3</sup>K

Las correas serán de perfil conformado en frío de tipo ZF-180X3.0 separadas cada 1.15 metros y son de acero S235. El límite de flecha será L/300 tal y como indica el Código Técnico de la Edificación y se colocarán cada tres vanos mediante fijaciones rígidas.

#### FACHADA

Los cerramientos laterales de esta estructura estarán formados por un muro de bloques de hormigón revestido en su parte exterior hasta una altura de 3,5 metros y por encima se colocará una chapa translúcida de policarbonato. Dicha chapa estará sustentada por correas laterales.

El muro de bloques de hormigón tiene las siguientes características:



Pared de una hoja	
1 - Mortero monocapa: 1.5 cm	
2 - Fábrica de bloque de hormigón: 10 cm	
Espesor total: 11.5 cm	
HE 1: Limitación de demanda energética	
Um: 2.41 kcal/(h·m <sup>2</sup> ·°C)	
HR: Protección frente al ruido	
Masa superficial: 154.50 kg/m <sup>2</sup>	
Caracterización acústica por ensayo, Rw(C; Ctr): 42.4(-1; -3) dB	
Referencia del ensayo: No disponible. Los valores se han estimado mediante la ley de masas.	
Protección frente a la humedad	
Grado de impermeabilidad alcanzado: NINGUNO	

Imagen 10. Características de la fachada de bloques de hormigón

Será una fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica de bloques de hormigón. Tendrá un espesor total de 11,5 cm cuyo peso será de 154,50 kg/m<sup>2</sup> y una transmitancia térmica de 2,81 w/m<sup>3</sup>K.

La chapa de translúcida de policarbonato proporcionará una entrada de luz natural considerable reduciendo así, el consumo eléctrico de la nave. Estará formado por placas translúcidas de policarbonato de 1 mm de espesor, de perfil gran onda con una transmisión de luminosidad del 90%, fijada mecánicamente a las correas laterales.

Las correas serán de perfil conformado en frío de tipo Z-140X35X4,75 con una separación separadas cada 1.2 metros y son de acero S235. El límite de flecha será L/300 cumpliendo con lo indicado en el Código Técnico de la Edificación y se colocarán cada tres vanos mediante fijaciones rígidas.

#### FALSO TECHO

Se instalará un falso techo continuo de placas de escayola, mediante estopadas colgantes a 7 metros de altura. Estará compuesto por una capa de lana mineral de 4 centímetros y el propio falso techo con un espesor de 1,6 centímetros.

Dicho falso techo servirá para ocultar el cableado eléctrico, así como para colgar las luminarias en toda su superficie.

#### 7.1.4 PAVIMENTO

Para la práctica de fútbol sala el pavimento tiene que ser resistente para su uso. Las especificaciones del pavimento decampo de fútbol sala se recogen en el “Anejo 15 Normas Nide”. Se han elegido los materiales de manera que cumpla con dichas especificaciones.

La primera parte que compone el pavimento es la compactación del terreno existente con un grado de compactación del 95% respecto a la densidad seca máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado.

Después, se colocará un geotextil en toda la superficie que compondrá el campo de fútbol sala que servirá como refuerzo. A continuación, se va a ejecutar una capa de zahorra artificial con un grado de compactación no inferior al 98% respecto a la densidad seca máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado.

Por encima de la zahorra artificial se colocará una solera de hormigón armado monolítico formado por una solera de 15 cm. de hormigón HA-25/B/20/Ila armada por una malla de 15x15x10.

Por último, se ejecutará una capa de resina sintética acrílica antideslizante compatible para colocar sobre hormigón.

### 7.2 VESTUARIOS

#### 7.2.1 ESTRUCTURA

Este edificio tendrá unas dimensiones de 35 m x 7 m con orientación norte- sur. Estará compuesta por un sistema estructura resistente basado en 8 pórticos rígidos asimétricos separados 5 metros. La altura en la cumbre será de 4 metros y 3,46 metros en su parte más baja. La parte estructural, al igual que en el pabellón de fútbol sala, estarán formados por perfiles laminados en caliente. La cubierta de estructura será a un agua y estará orientada hacia el oeste.

Siguiendo el método de la estructura descrita anteriormente, las uniones viga-pilar se realizarán tanto rígidas como articuladas en función del tipo de unión que se quiera llevar a cabo. Todas las uniones serán soldadas y en algunos casos se dispondrá de rigidizadores para resistir mejor los esfuerzos.

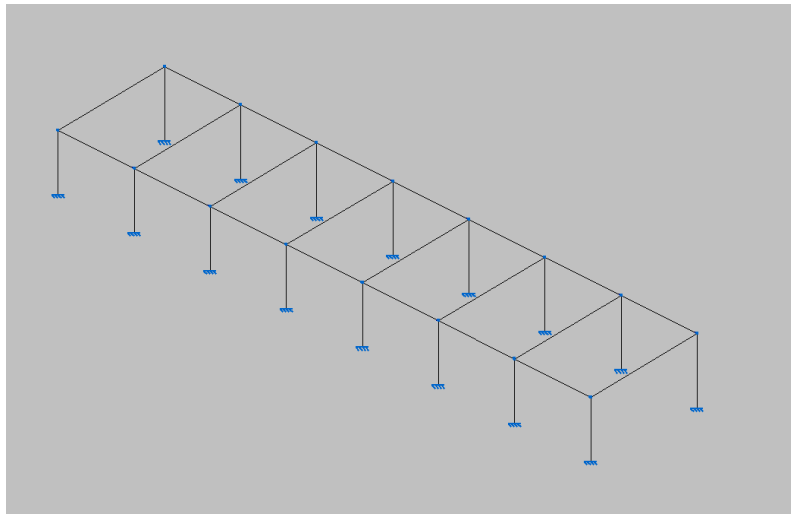


Imagen 11. Estructura 3D de los vestuarios

La transmisión de cargas de la estructura al terreno se llevará a cabo mediante zapatas aisladas, colocadas en cada pilar y unidas entre si mediante vigas de atado. Dichas zapatas irán unidas entre sí mediante vigas de atado. La suma total será de 16 zapatas de distintas dimensiones dependiendo de las sollicitaciones que se le transmiten a cada una.

Las uniones entre los pilares metálicos y las zapatas se llevarán a cabo mediante placas de anclaje con pernos cuya patilla estará girada 90º y uniones soldadas en ángulo. Este tipo de uniones también tendrán cartelas que colaborarán en la unión.

### 7.2.2 ESPACIOS

Los espacios de este edificio estarán formados por dos vestuarios para jugadores de fútbol sala, un vestuario para árbitros, una sala de mantenimiento y un almacén. Todas las partes que componen este edificio tienen acceso directo desde la calle y no están conectadas entre si. Las dimensiones totales de estos espacios son 35 x 7 metros, abarcando la totalidad de la estructura.

Los vestuarios destinados a los jugadores serán iguales, aunque uno ligeramente más pequeño que otro. El vestuario más grande tendrá unas dimensiones de 11 x 7 metros mientras que las del otro vestuario serán 10,85 x 7 metros. El equipamiento de estos vestuarios será igual y estarán compuestos por 2 inodoros (uno de ellos para minusválidos), 3 lavabos, 2 urinarios y 8 duchas. El acceso a estos vestuarios es individual y directamente desde la calle.

El vestuario para árbitros contará con unas dimensiones de 5,02 x 7 metros y estará compuesto por 2 duchas, 1 inodoro, 1 lavabo, 1 urinario y 2 duchas.

La sala de mantenimiento, donde se encuentra toda la maquinaria para el correcto funcionamiento de las instalaciones, tendrá unas dimensiones de 3,13 x 7 metros.

El almacén que se utilizará para guardar material deportivo, contará con unas dimensiones de 5 x 7 metros.

### 7.2.3 ENVOLVENTE DEL EDIFICIO

#### CUBIERTA

Se colocará una cubierta a dos aguas con una inclinación de 4,41° que permitirá la evacuación de aguas pluviales que caigan sobre la misma. Esta cubierta estará formada por paneles sándwich que estarán apoyadas sobre correas metálicas que a su vez están apoyadas a las vigas.

Al igual que el pabellón de fútbol sala, el panel sándwich estará formado por doble cara metálica de chapa de acero, acabado prelacado y un alma aislante de lana de roca, además de los accesorios necesarios para su instalación. El espesor total del panel será de 50 mm. Este panel, nuevamente, garantizará un arriostramiento a la estructura de forma que el pandeo lateral disminuirá en gran medida.

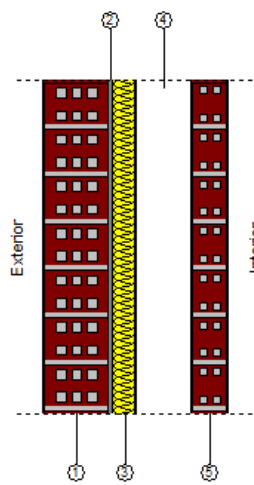
Las características técnicas principales de dichos paneles son los siguientes:

- Espesor: 50 mm
- Peso: 10,65 kg/m<sup>2</sup>
- Transmitancia térmica: 0,63 w/m<sup>3</sup>K

Las correas serán de perfil conformado en frío de tipo ZF-180X3.0 separadas cada 1.4 metros y son de acero S235. El límite de flecha será L/300 tal y como indica el Código Técnico de la Edificación y se colocarán cada tres vanos mediante fijaciones rígidas.

#### FACHADA

La fachada del edificio estará compuesta, en toda su altura, por las siguientes capas:



Pared de doble hoja	
1 -	Fábrica de ladrillo cerámico perforado cara vista hidrofugado, Salmón: 11.5 cm
2 -	Enfoscado de cemento a buena vista: 1 cm
3 -	Lana mineral: 4 cm
4 -	Cámara de aire sin ventilar: 10 cm
5 -	Fábrica de ladrillo cerámico hueco: 6.5 cm
Espesor total: 33.0 cm	
HE 1: Limitación de demanda energética	
Um: 0.46 kcal/(h·m <sup>2</sup> ·C)	
HR: Protección frente al ruido	
Masa superficial: 212.15 kg/m <sup>2</sup>	
Masa superficial del elemento base: 210.55 kg/m <sup>2</sup>	
Caracterización acústica por ensayo, Rw(C; Ctr): 48.4(-1; -5) dB	
Referencia del ensayo: No disponible. Los valores se han estimado mediante leyes de masa obtenidas extrapolando el catálogo de elementos constructivos.	
Protección frente a la humedad	
Grado de impermeabilidad alcanzado: 2	
Condiciones que cumple: B1+C1+H1+J2+N1	

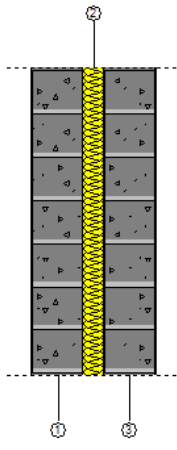
Imagen 12. Fachada de los vestuarios

Será una fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada. Tendrá un espesor total de 33,5 cm. El peso total del cerramiento será de 223,65 kg/m<sup>2</sup> y una transmitancia térmica de 0,54 w/m<sup>3</sup>K. Es una fachada que aísla muy bien térmicamente de manera que reducirá el consumo eléctrico y de climatización de los vestuarios

#### TABIQUES ENTRE CUARTOS

Para separar los distintos cuartos que tiene el presente edificio se ha utilizado el siguiente tabique:





Pared de doble hoja
1 - Fábrica de bloque de hormigón: 10 cm
2 - Lana mineral: 4 cm
3 - Fábrica de bloque de hormigón: 10 cm
Espesor total: 24.0 cm
HE 1: Limitación de demanda energética
Um: 0.49 kcal/(h·m²·C)
HR: Protección frente al ruido
Masa superficial: 272.80 kg/m²
Masa superficial del elemento base: 270.00 kg/m²
Caracterización acústica por ensayo, Rw(C; Ctr): 49.1(-1; -6) dB
Referencia del ensayo: No disponible. Los valores se han estimado mediante leyes de masa obtenidas extrapolando el catálogo de elementos constructivos.
Seguridad en caso de incendio
Resistencia al fuego: EI 240

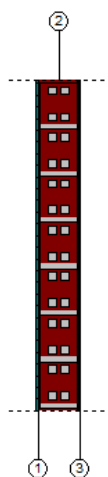
Tabla 13. Tabiques divisorios entre cuartos

Será un tabique de dos hojas, de obra de fábrica de bloques de hormigón. Tendrá un espesor total de 24,5 cm. Su peso total será de 281,50 kg/m<sup>2</sup> y una transmitancia térmica de 0.56 W/m<sup>3</sup>.

Este tipo de tabique se revestirá mediante un alicatado con baldosas cerámicas, colocadas con mortero de cemento en las caras que estén hacia el lado de algún cuarto húmedo. En las caras que estén hacia el almacén o la sala de mantenimiento no se revestirá.

#### TABIQUES DISTRIBUCIÓN DE ESPACIOS

Los tabiques que distribuyen los espacios de cada uno de los vestuarios están compuestos por las siguientes capas:



Pared de una hoja
1 - Alicatado con baldosas cerámicas, colocadas con mortero de cemento: 0.5 cm
2 - Fábrica de ladrillo cerámico hueco: 7 cm
3 - Alicatado con baldosas cerámicas, colocadas con mortero de cemento: 0.5 cm
Espesor total: 8.0 cm
HE 1: Limitación de demanda energética
Um: 2.01 kcal/(h·m²·C)
HR: Protección frente al ruido
Masa superficial: 88.10 kg/m²
Caracterización acústica por ensayo, Rw(C; Ctr): 37.5(-1; -1) dB
Referencia del ensayo: No disponible. Los valores se han estimado mediante leyes de masa obtenidas extrapolando el catálogo de elementos constructivos.
Seguridad en caso de incendio
Resistencia al fuego: Ninguna

Imagen 14. Características de los tabiques de distribución de espacios

Será un tabique de una hoja, de obra de fábrica de ladrillo cerámico hueco. Tendrá un espesor total de 8 cm y su peso total será de 88,10 kg/m<sup>2</sup>. Su transmitancia térmica será de 2,34 W/m<sup>2</sup>K.

Este tabique estará revestido en sus dos caras vistas por un alicatado con baldosas cerámicas, colocadas con mortero de cemento.

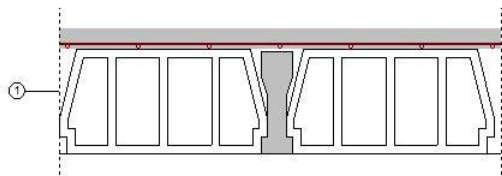
### FALSO TECHO

Se instalará un falso techo registrable de placas de escayola con perfilería vista. Estará compuesto por una capa de lana mineral de 6 centímetros y el falso techo de con un espesor de 1,6 centímetros.

Dicho falso techo servirá para ocultar el cableado eléctrico, instalaciones de climatización, suministro y ventilación, así como para colgar las luminarias en toda su superficie.

### 7.2.4 SOLERA

En este edificio se ejecutará un forjado sanitario de solera seca "KNAUF". Dicha solera estará compuesta de las siguientes capas:



<b>Forjado sanitario</b>
1 - Forjado unidireccional 25+5 cm (Bovedilla de hormigón): 30 cm Espesor total: 30,0 cm
<b>Cámara sanitaria</b>
Altura libre: 60 cm
<b>HE 1: Limitación de demanda energética</b>
Us: 0,82 W/(m <sup>2</sup> ·K) (Para una longitud característica l <sub>v</sub> = 5 m)
<b>Detalle de cálculo (Us)</b>
Superficie del forjado, A: 100,00 m <sup>2</sup> Perímetro del forjado, P: 40,00 m Profundidad media de la cámara sanitaria por debajo del nivel del terreno, z: 0,90 m Altura media de la cara superior del forjado por encima del nivel del terreno, h: 0,00 m Resistencia térmica del forjado, R <sub>f</sub> : 0,21 m <sup>2</sup> ·K/W Coeficiente de transmisión térmica del muro perimetral, U <sub>w</sub> : 1,09 W/(m <sup>2</sup> ·K) Factor de protección contra el viento, f <sub>w</sub> : 0,05 Tipo de terreno: Arena semidensa
<b>HR: Protección frente al ruido</b>
Masa superficial: 372,33 kg/m <sup>2</sup> Caracterización acústica, R <sub>w</sub> (C, C <sub>tr</sub> ): 66,3(-1; -8) dB Nivel global de presión de ruido de impactos normalizado, L <sub>n,w</sub> : 74,0 dB

Imagen 15. Características de la solera

Será un forjado sanitario de hormigón armado de canto 30 cm (25 + 5 cm) formado por bovedillas. Por encima del forjado se colocará un solado de baldosas de 1 cm de espesor y una solera seca de placas de yeso de 1,8 cm de espesor. Además, contará con una barrera de vapor de 0,02 cm y una capa de nivelación de 3 cm. El espesor total de la solera será de 35,82 cm, con un peso total de 372,33 kg/m<sup>2</sup> y 0,82 W/m<sup>2</sup>K.

## 7.3 RAMPA PARA MINUSVALIDOS

### 7.3.1 ESTRUCTURA

La estructura estará compuesta pilares y vigas de perfiles de acero laminado en caliente. Las dimensiones de dicha estructura cumplirán con la Normativa de Accesibilidad en cuestión de longitudes y pendientes y se podrá ver en los documentos de Planos. Esta estructura estará formada por 3 tramos en pendiente, dos de ellos de 9 metros de longitud y uno de ellos de 7,72 metros, Entre dichos tramos se dispondrán de descansillos.

El suelo de la rampa estará formado por una losa mixta de hormigón armado con chapa.

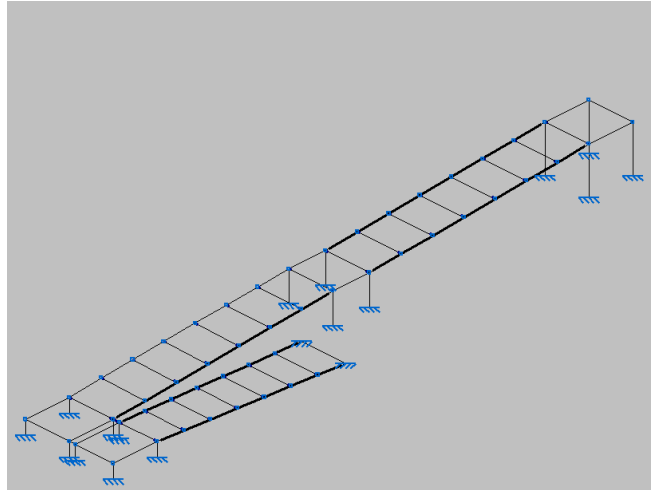


Imagen 16. Estructura de la rampa en 3D

La transmisión de cargas de la de la rampa al terreno se llevará a cabo mediante zapatas aisladas, colocadas en algunos casos cada dos pilar y en otros casos cada cuatro pilares. En total será de 7 zapatas de distintas dimensiones dependiendo de las solicitaciones que se le transmiten a cada una y de la cantidad de pilares que tiene.

Las uniones viga-pilar se realizarán tanto rígidas como articuladas en función del tipo de unión que se quiera llevar a cabo. Todas las uniones serán soldadas y en algunos casos se dispondrá de rigidizadores para resistir mejor los esfuerzos.

Las uniones entre los pilares metálicos y las zapatas se llevarán a cabo mediante placas de anclaje con pernos cuya patilla estará girada 90º y uniones soldadas en ángulo. Al igual que en los casos anteriores, este tipo de uniones tendrán cartelas que colaborarán en la unión.

#### 7.4 EVACUACIÓN EN CASO DE EMERGENCIA

Tanto en el pabellón del campo de fútbol como en los vestuarios existirá un sistema de evacuación en caso de incendio o algún otro tipo de emergencia. El ITC-BT-28 indica que, en caso de fallo de alimentación del alumbrado normal, los itinerarios de evacuación, así como las salidas al exterior deberán tener un valor de iluminancia mínima de un lux.

A continuación, se describen las medias de evacuación en caso de emergencia que tiene cada uno de los edificios del proyecto:

##### *CAMPO DE FÚTBOL SALA*

En la nave existirán 2 puertas que además de su uso normal, se utilizarán de evacuación en una situación de emergencia. Estas puertas, como ya se ha indicado, están en la parte Este del pabellón.

Al ser una nave muy amplia se instalarán dos itinerarios diferenciados dando cada uno a una de las dos puertas. Ninguno de estos dos itinerarios superará los 30 metros de recorrido máximo que establece la norma. Se instalarán luminarias de emergencia en todas las puertas y a lo largo del recorrido de evacuación a una distancia nunca superior a 4 metros.

En la siguiente imagen se muestran las luminarias de emergencia, los itinerarios de evacuación.

## VESTUARIOS

Tal y como se especifica en los datos generales de este edificio, cada uno de los espacios que lo componen disponen de una única puerta de salida que conecta directamente con la calle. Dichas puertas serán las puertas de evacuación en caso de emergencia.

Al tratarse de espacios pequeños se diseñarán un itinerario de evacuación que pase por las distintas partes que tienen estos espacios. De la misma manera que en el campo de fútbol sala, ninguno de los itinerarios supera los 30 metros, cumpliendo así con la norma.

Para la disposición de las luminarias de emergencia seguirá las mismas directrices que en el campo de fútbol sala. A continuación, se adjunta una imagen que indica los itinerarios y elementos de emergencia.

## 7.5 INSTALACIONES

Tanto el campo de fútbol sala, los vestuarios y el aparcamiento necesitarán instalaciones para cumplir con su función de las mismas. Estas instalaciones no son las mismas para todas las partes del proyecto. A continuación, se resumen cada uno de las instalaciones a utilizar en los dos tipos de edificios:

### CAMPO DE FÚTBOL SALA

- Instalación de saneamiento
- Iluminación y electricidad
- Instalación de protección contra incendios

### VESTUARIOS

- Instalación de saneamiento
- Abastecimiento de agua potable
- Iluminación y electricidad
- Instalación de protección contra incendios
- Climatización y gas

### APARCAMIENTO

- Iluminación y electricidad

Para definir las características de cada una de las instalaciones de manera más ordenada, primero se especificarán las instalaciones en común entre todas las partes del proyecto y después las instalaciones que tienen únicamente los vestuarios

#### 7.5.1 ILUMINACIÓN Y ELECTRICIDAD

##### VESTUARIOS

Los vestuarios dispondrán de unas luminarias para utilizarlas en caso de que no bastara con la iluminación natural que se filtra por las ventadas. En los 3 vestuarios y en el almacén se utilizarán luminarias empotradas al techo de tipo líneas rectas con una lampara de 58 W de potencia. Para la sala de mantenimiento, debido a su estrechez, para no causar problemas de iluminación, se ha tenido que instalar luminarias de tipo de altura reducida empotradas al techo con 4 lamparas de 14 W de potencia. Además, todos los espacios mencionados dispondrán de luminarias de emergencia por los itinerarios de evacuación.

La instalación eléctrica de este edificio está compuesta inicialmente por una caja general de protección (CGP), seguida de la caja de protección y medida situada en la sala de mantenimiento. Esta caja es la encargada de llevar la electricidad a los circuitos interiores del edificio. A continuación, se muestran una tabla con cada uno de los circuitos interiores a los que suministra electricidad el cuadro de protección y medida.

Circuitos interiores de la instalación			
Referencia	Longitud (m)	Línea	Tipo de instalación
Cuadro individual 1	-		
Sub-grupo 1	-		
C16 (Ventilador centrífugo en línea)	10.63	RZ1-K (AS) Multi 5G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
Sub-grupo 2	-		
C2 (tomas)	12.27	RZ1-K (AS) Multi 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
Sub-grupo 3	-		
C5 (baño y auxiliar de cocina)	87.91	RZ1-K (AS) Multi 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
Sub-grupo 4	-		
C1 (iluminación)	118.73	RZ1-K (AS) Multi 3G1.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=16 mm
C13 (alumbrado de emergencia)	332.25	RZ1-K (AS) Multi 3G1.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=16 mm
C14 (producción de A.C.S. / Calefacción)	3.75	RZ1-K (AS) Multi 3G1.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=16 mm
C15 (Bomba de circulación (climatización)+Bomba de circulación (retorno A.C.S.))	9.01	RZ1-K (AS) Multi 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm

Tabla 7. Circuitos interiores de los vestuarios

La potencia total demandada teniendo en cuenta los circuitos interiores es de 101, 88 kW.

#### CAMPO DE FÚTBOL SALA Y APARCAMIENTO

A pesar de la gran cantidad de luz que entra en el pabellón debido a la chapa traslucida puesta en la fachada, hay situaciones en las que se ha de iluminar mediante luminarias el terreno de juego para poder jugar en buenas condiciones tal y como indica las Normas NIDE. Las luminarias a utilizar en el campo son de tipo Downlight de 150 W que son luminarias suspendidas situadas a 7,5 metros de altura salvando la altura libre de obstáculos de 7 metros que impone las normas NIDE. Además, se instalarán luminarias de emergencia en las puertas de salida y en los recorridos de evacuación

En cuanto al aparcamiento se dispondrán unas farolas modelo BEGA de luminarias cilíndricas de 150W de potencia. Se dispondrán de tal manera que no afecten a la circulación de los vehículos.

La instalación eléctrica se hará de manera conjunta. Comenzará por una caja general de protección (CGP) unida a una caja de protección y medida que estará situada dentro del pabellón. Esta caja de protección y medida suministrará electricidad a los circuitos interiores y a un subcuadro al que irán conectadas las luminarias del aparcamiento. En la siguiente tabla se resumen las características de los circuitos interiores y del subcuadro.

Circuitos interiores de la instalación			
Referencia	Longitud (m)	Línea	Tipo de instalación
1 (Cuadro individual)	-		
Sub-grupo 1	-		
C6(2) (iluminación)	84.50	ES07Z1-K (AS) 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
Sub-grupo 2	-		
C1 (iluminación)	54.09	ES07Z1-K (AS) 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
C14 (Central de detección automática de incendios)	38.54	SZ1-K (AS+) 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
Sub-grupo 3	-		
C6 (iluminación)	71.74	ES07Z1-K (AS) 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
C13 (alumbrado de emergencia)	757.36	ES07Z1-K (AS) 3G1.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=16 mm
C6(3) (iluminación)	100.53	ES07Z1-K (AS) 3G4	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
C6(4) (iluminación)	99.18	ES07Z1-K (AS) 3G4	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
Subcuadro 1 (Cuadro individual).1	28.30	H07ZZ-F (AS) Multi 3G6	Tubo superficial D=32 mm
Sub-grupo 1	-		
C13 (alumbrado exterior)	373.45	RZ1-K (AS) 3G16	Tubo enterrado D=63 mm
Sub-grupo 3	-		
C6 (iluminación)	71.74	ES07Z1-K (AS) 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
C13 (alumbrado de emergencia)	757.36	ES07Z1-K (AS) 3G1.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=16 mm
C6(3) (iluminación)	100.53	ES07Z1-K (AS) 3G4	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
C6(4) (iluminación)	99.18	ES07Z1-K (AS) 3G4	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
Subcuadro 1 (Cuadro individual).1	28.30	H07ZZ-F (AS) Multi 3G6	Tubo superficial D=32 mm
Sub-grupo 1	-		
C13 (alumbrado exterior)	373.45	RZ1-K (AS) 3G16	Tubo enterrado D=63 mm

Tabla 8. Circuitos interiores de la instalación del aparcamiento y del campo de fútbol sala

La potencia demanda para este tipo de instalación será de 20,11 kW

### 7.5.2 INSTALACIÓN DE EVACUACIÓN DE AGUAS

Tanto en el pabellón del campo de fútbol sala como en los vestuarios se disponen de una instalación de evacuación de aguas residuales y pluviales. Dado que en el campo deportivo no hay ningún elemento generador de aguas residuales, solo se dispondrá de una instalación para evacuación de aguas pluviales.

#### VESTUARIOS

Los vestuarios poseerán una instalación de aguas pluviales y una instalación de evacuación de aguas residuales generadas por los aparatos sanitarios que en ellos se ubican. Ambas instalaciones descargarán el agua a la red general del municipio situada en la carretera que transcurre a escasos metros del edificio.

Las aguas pluviales serán recogidas y evacuadas mediante unos canalones dispuestos en la cubierta que desaguarán en un total de 5 bajantes que transportarán el agua desde la cubierta hasta los colectores y estos evacuarán el agua hasta la red general.

Las aguas residuales generadas por los aparatos sanitarios se recogerán mediante unos ramales colectores empotrados en la solera. Estos ramales colectores conectarán con unas arquetas que, a su vez, irán conectadas a unos colectores que evacuarán el agua a la red general. Para evitar problemas relacionados con obstrucciones de los conductos, siempre que haya una conexión entre tuberías se deberá situar un registro de limpieza.

#### *CAMPO DE FÚTBOL SALA*

Como ya se ha indicado el pabellón solo dispondrá del sistema de evacuación de aguas pluviales que estará formado por unos canalones situados encada faldón de la cubierta y de 10 bajantes (5 por cada faldón de cubierta) que, de la misma manera que en los vestuarios, se conectarán con unos colectores enterrados para evacuar el agua hasta la red general de saneamiento de Ermua.

#### **7.5.3 INSTALACIÓN DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS**

Este tipo de instalación se dispondrá en los vestuarios y en el pabellón del campo de fútbol sala. La finalidad de instalación es proteger a ambos edificios de posibles incendios y, en el caso de que se produzcan, de que la propagación del mismo sea la mínima posible.

#### *VESTUARIOS*

Este edificio dispone de un local con riesgo especial de incendios que es la sala de mantenimiento, en la cual se ha estudiado con precisión la posibilidad de que se produzca un incendio para evitar daños mayores. Tanto el local con riesgo especial como el resto de locales están constituidos por elementos constructivos y decorativos que limitan la propagación interior del incendio.

En cuanto a la propagación exterior, se han empleados materiales para las fachadas que reduzcan en gran medida la propagación exterior del incendio. Las cubiertas de este edificio no suponen riesgos de propagación del incendio al no disponer de huecos.

La resistencia al fuego de la estructura metálica de los vestuarios cumple con la estabilidad mínima de los elementos estructurales y es de R 60 cumpliendo con la normativa.

Teniendo en cuenta las características de cada uno de los locales del edificio y el uso que se les va a dar, únicamente se van a disponer extintores portátiles tal y como indica el CTE DB SI. Se instalarán un total de 9 extintores repartidos en los diferentes locales del edificio.

#### *CAMPO DE FÚTBOL SALA*

El único local de este pabellón no está clasificado como de riesgo especial de incendios ya que es un local diáfano únicamente para la práctica de fútbol sala. Esta zona está constituida por elementos constructivos y decorativos que limitan la propagación del interior del incendio.

Al igual que en el edificio de los vestuarios, el pabellón está construido con fachadas que reducen la propagación exterior del mismo. Además, este edificio, compuesto por una estructura metálica, cumple con la estabilidad mínima de los elementos estructurales.

Como el presente edificio consta únicamente de un local de grandes dimensiones (1252 m<sup>2</sup>) es necesario que, además de extintores portátiles, se dispongan de sistemas de detección y alarma. En total se instalarán 12 extintores portátiles y 3 sistemas de detección y alarma.

### 7.5.4 SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE

Esta instalación tiene como función abastecer al edificio de los vestuarios de agua potable para sus diferentes usos. El suministro de agua potable contará con un sistema de agua fría para los aparatos sanitarios y con un sistema de Agua Caliente Sanitaria (ACS) para algunos apartados sanitarios y para los aparatos de calefacción. En el anejo de suministro de aguas se dimensionan los equipos de ACS.

Al ser un edificio de uso público controlado por una empresa, el diseño de la instalación será el siguiente:

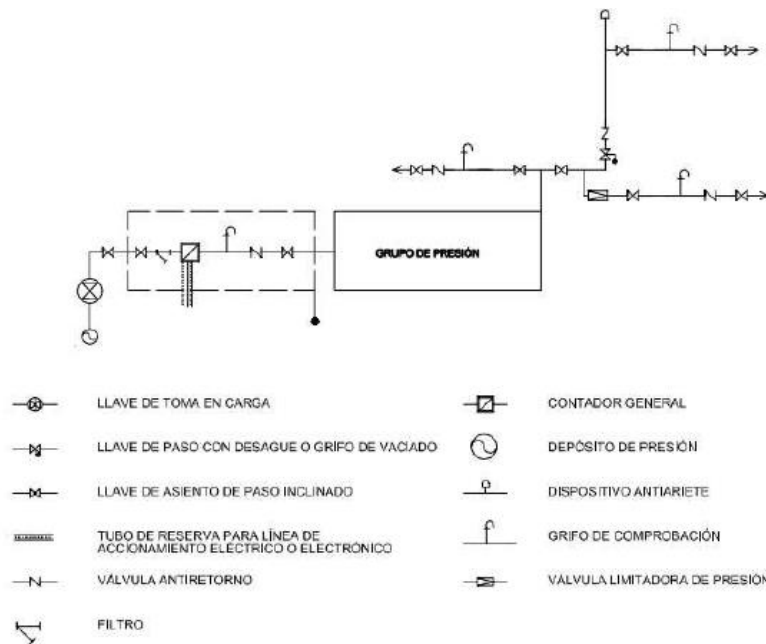


Imagen 17. Croquis de la instalación de suministro de agua potable

Inicialmente se ubicará la acometida. Seguidamente estará el armario de donde se encontrará el único contador general (por ser un edificio público). A partir del armario estarán un tubo de alimentación, un distribuidor principal para suministrar el agua a los distintos elementos. A partir de este último elemento estarán las instalaciones interiores.

En esta instalación comenzará con una llave de corte general para permitir cortar el suministro de todos los cuartos desde un mismo lugar. De manera posterior a la llave de corte general se encontrarán las llaves de cuarto húmedo que servirán para el corte de agua en un cuarto húmedo en concreto. Finalmente, tras las llaves de cuarto húmedo están los aparatos que necesitan suministro de aguas tales como lavabos, inodoros, duchas, etc.

### 7.5.5 INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN

La instalación de climatización de los vestuarios estará compuesta por un sistema de calefacción y un sistema de ventilación para mejorar la calidad del aire. Solo se climatizarán los vestuarios ya que tanto la sala de mantenimiento como el almacén no son cuartos en los que se prevean largas estancias.

El sistema de calefacción estará compuesto por una caldera de pie de 40 kW de potencia, de condensación, por un conjunto de tuberías de impulsión y retorno y por un conjunto de radiadores dispuestos en cada vestuario. La caldera calienta el agua que irá por las tuberías hasta llegar a los radiadores. También se dispondrá de una electrobomba en la instalación para el transporte de los fluidos. La potencia de calefacción será de 19,2 kW.



El sistema de ventilación estará compuesto por un ventilador centrífugo que se encargará de la ventilación y la extracción del aire con el objetivo de mejorar la calidad del mismo dentro de los vestuarios.

#### 7.5.6 INSTALACIÓN DE GAS

La instalación de gas será para bastecer la caldera para su posterior suministro de ACS y calefacción. Como su potencia es inferior a 70 kw por normativa no se precisan cálculos.

### 7.6 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL APARCAMIENTO

El aparcamiento tendrá unas dimensiones de 47,7x32 metros y contará con una capacidad de 60 plazas de aparcamiento. De esta cantidad de aparcamientos, 58 serán para vehículos comunes y 2 para coches con la tarjeta europea de estacionamiento para personas con discapacidad el respetando la normativa en la que se sigue la proporción de 1 aparcamiento para vehículos que transporten a personas con movilidad cada 40 aparcamientos comunes. Los aparcamientos para personas con discapacidad tienen que tener prevista una rampa de acceso a la hacer con la anchura suficiente de modo que entre una silla de ruedas.

#### 7.6.1 PAVIMENTO

La selección de las secciones del firme que va a llevar la zona del aparcamiento exterior dependerá principalmente del tráfico que va a soportar y la resistencia que tiene la explanada. Para dicha elección se va a utilizar la Norma de la Instrucción de Carreteras 6.1 "Secciones de firmes". Cabe a destacar que se ha considerado para dicha elección, que el funcionamiento del aparcamiento será similar al de una carretera.

En primer lugar, la categoría de tráfico pesado que se prevé en la zona del proyecto es T42 (< 25 veh<sub>p</sub>/día) dado que en el aparcamiento no entrarán apenas vehículos pesados.

Para la categoría de la explanada hay que basarse en el módulo de compresibilidad en su segundo ciclo de carga mediante el ensayo de carga con placa. Sin embargo, falta el ensayo de carga con placa para determinar dicho módulo. Aun así, se ha elegido el tipo de explanada E2 debido a que se ha considerado el terreno lo suficientemente compactado. Esta consideración se justifica ya que actualmente este terreno se usa como aparcamiento improvisado y anteriormente era un campo de fútbol que se utilizó durante muchos años tal y como se indica en el apartado "Emplazamiento y situación urbanística del proyecto".

También se debe conocer el tipo de suelo que compone la explanada. Por ello, dado las características del terreno se puede considerar que el suelo de la explanada actual es un suelo tolerable (0).

A continuación, se muestra una sección tipo del firme que cumple con los parámetros citados:

CUADRO DE MATERIALES		
TIPO	MATERIAL	ESPEJOR CMS
A	LECHADA BITUMINOSA	5
	CAPA DE RODADURA MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE AC16 surf 3	
	RIEGO DE IMPRIMACIÓN	
B	BASE GRANULAR ZAHORRA ARTIFICIAL	25
C	EXPLANADA 3 LELO SELECCIONADO 3	25
	RIEGO DE CURADO	
D	EXPLANADA 3 LELO 3 LELO ESTABILIZADO 1	25

Tabla 9. Sección de firmes del aparcamiento

### 7.6.2 DRENAJE SUPERFICIAL

Para la evacuación de aguas pluviales en la zona del aparcamiento, se ha dividido el mismo en dos cuencas. Cada cuenca desaguará hasta unas cunetas que se colocarán perimetralmente al aparcamiento. Estas cunetas serán triangulares que se muestra a continuación con una base de 0,50 metros y un calado máximo de 0,150 metros, aunque se han dimensionado de manera que no sobrepasen los 0,120, para evitar desbordamientos. En la imagen siguiente se muestra la forma que tendrán las cunetas.

### 7.6.3 ACCESIBILIDAD PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD

Como indica la normativa, se construirán espacios para la accesibilidad de personas con discapacidad, de forma no discriminatoria, independiente y segura. Dispondrán de un itinerario exterior accesible a la instalación, que será una rampa. También tendrán a su disposición un itinerario interior para la accesibilidad a la pista y también para el primer nivel de la zona de espectadores. Se ha decidido que, debido a que el campo va a corresponder a la categoría 3 (ocio y entrenamientos), no es necesario habilitar una zona para personas con discapacidad en la zona alta de las gradas, pero si se le habilitará una zona para estas personas en el primer nivel de la zona de espectadores.

Para la construcción de las rampas se han tomado en cuenta las especificaciones de las Normas UNE 170001 "Accesibilidad Universal". Dichas especificaciones se muestran a continuación:

- Anchura mínima debería ser 1.05 m. según flujo de paso simultaneo
- Pendiente longitudinal menor del 3% a ser posible
- Si la pendiente es:
  - Mayor del 3%: áreas de descanso cada 25 m.
  - Mayor del 6% con recorrido > de 3 m.: se instalarán también escaleras
  - Menor del 2 m de longitud del tramo: máximo 8% pendiente.
- Se deberían prever áreas de descanso cada 9 m. (1,50 m long.) cuando requieran esfuerzo
- excesivo
- Colocación de pasamanos o barandillas

- Rodapiés de 10 cm. de altura a lo largo la rampa
- Zona libre de obstáculos en ambos extremos

La rampa se construirá mediante una estructura metálica cumpliendo los criterios de accesibilidad. Debido a la solución seleccionada la rampa tendrá tres tramos para salvar la altura entre vestuarios y el terreno de juego.

## 8. PLAN DE OBRA

En el plan de obras se definen las actividades a llevar a cabo a lo largo del proyecto siguiendo un orden de ejecución. En este plan de obra se ha intentado que las actividades correspondientes a las instalaciones de iluminación, aguas residuales y abastecimiento de aguas se hagan a la vez con el fin de ahorrar tiempo.

Nombre de tarea	Comienzo	Fin	Duración
	<b>lun 30/09/19</b>	<b>mié 30/09/20</b>	<b>263 días</b>
<b>1. Desbroce y nivelación del terreno</b>	lun 30/09/19	lun 18/11/19	<b>36 días</b>
<b>2. Replanteo general</b>	mar 19/11/19	mié 20/11/19	<b>2 días</b>
<b>3. Derribo de vestuarios en mal estado</b>	jue 21/11/19	mié 04/12/19	<b>10 días</b>
<b>4. Movimiento de tierras</b>	jue 05/12/19	jue 23/01/20	<b>36 días</b>
<b>7. Vestuarios</b>	<b>vie 24/01/20</b>	<b>mar 09/06/20</b>	<b>98 días</b>
Implantación de colectores de saneamiento	vie 24/01/20	mié 29/01/20	4 días
Cimentación	jue 30/01/20	mié 04/03/20	25 días
Estructura metálica	jue 05/03/20	mié 01/04/20	20 días
Cubierta	jue 02/04/20	vie 10/04/20	7 días
Cerramientos y particiones	lun 13/04/20	vie 01/05/20	15 días
Abastecimiento y evacuación de aguas	lun 04/05/20	mar 12/05/20	7 días
Electricidad e iluminación	mié 13/05/20	lun 01/06/20	14 días
Climatización	mar 02/06/20	mar 09/06/20	6 días
<b>8. Campo de fútbol sala</b>	<b>vie 24/01/20</b>	<b>lun 01/06/20</b>	<b>92 días</b>
Implantación de colectores de saneamiento	vie 24/01/20	mié 29/01/20	4 días
Cimentación	jue 30/01/20	lun 09/03/20	28 días
Estructura metálica	mar 10/03/20	lun 13/04/20	25 días
Cubierta	mar 14/04/20	lun 27/04/20	10 días
Cerramientos y particiones	mar 28/04/20	lun 11/05/20	10 días
Evacuación de aguas	mar 12/05/20	lun 18/05/20	5 días
Electricidad e iluminación	mar 19/05/20	lun 01/06/20	10 días
<b>9. Rampa</b>	mar 10/03/20	mar 28/04/20	<b>36 días</b>
Cimentación	mar 10/03/20	lun 06/04/20	20 días
Estructura metálica	mar 07/04/20	mar 28/04/20	16 días
<b>10. Aparcamiento</b>	<b>mié 10/06/20</b>	<b>mar 01/09/20</b>	<b>60 días</b>
Pluviales	mié 10/06/20	jue 18/06/20	7 días
Electricidad e iluminación	vie 19/06/20	mié 08/07/20	14 días
Aceras	jue 09/07/20	vie 31/07/20	17 días
Pavimentación	lun 03/08/20	mar 01/09/20	22 días
<b>11. Acabados generales</b>	mié 02/09/20	vie 25/09/20	<b>18 días</b>
<b>12. Limpieza de la obra</b>	lun 28/09/20	mié 30/09/20	<b>3 días</b>
<b>13. Seguridad y salud</b>	lun 30/09/19	mié 30/09/20	<b>263 días</b>
<b>14. Calidad</b>	lun 30/09/19	mié 30/09/20	<b>263 días</b>

Tabla 10. Plan de obra

## 9. RESUMEN PRESUPUESTO

### CODIGO

<b>RESUMEN</b>		
1	DEMOLICIONES	14.773,00
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS	28.268,74
3	CIMENTACIONES	68.585,09
5	ESTRUCTURAS METÁLICAS	212.114,39
6	INSTALACIONES	257.222,38
7	FIRMES Y PAVIMENTOS	121.051,02
8	CERRAMIENTOS Y PARTICIONES	279.492,95
9	SEÑALIZACIÓN	823,55
10	EQUIPAMIENTO	24.068,20
11	ENSAYOS PLAN DE CONTROL DE CALIDAD	3.500,00
11	GESTIÓN DE RESIDUOS	18.280,64
12	SEGURIDAD Y SALUD	39.749,33

**TOTAL PRESUPUESTO EJECUCION MATERIAL 1.067.929,29**

### PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCION MATERIAL		1.067.929,29
13,00 % GASTOS GENERALES		138.830,81
6,00 % BENEFICIO INDUSTRIAL		64.075,76
	SUMA	1.270.835,86
21,00 % I.V.A.		266.875,53
<b>TOTAL PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>		<b>1.537.711,39</b>

Ermua, Junio de 2019

FIRMADO:

DAVID GARCÍA ARROYO

Ingeniero Civil



## 10. NORMATIVA

---

- Código Técnico de la Edificación (Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo), B.O.E
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (Real Decreto 842/2004, de 3 de diciembre), B.O.E
- Instrucción de hormigón estructural (EHE-08)
- ITC-BT Alumbrado normal y alumbrado de emergencia.
- Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la Norma 5.2-IC “Drenaje Superficial” de la Instrucción de Carreteras.
- Orden FOM/3460/2003, de 28 de noviembre, por la que se aprueba la Norma 6.1-IC “Secciones de firme”, de la Instrucción de Carreteras (BOE de 12 de diciembre de 2003)
- Orden de 28 de diciembre de 1999, por la que se aprueba la norma 8.1-IC Señalización vertical, de la instrucción de Carreteras (BOE de 29 de enero de 2000)
- Señales verticales de circulación. Tomo I. Características de las señales. Dirección General de Carreteras, marzo de 1992.
- Señales verticales de circulación. Tomo II. Catálogo y significado de las señales. Dirección General de Carreteras, junio de 1992.
- Pliegos de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes de la Dirección General de Carreteras (PG-3) y sus posteriores modificaciones.
- Ordenanza Municipal del Municipio de Ermua.
- Normas Reglamentarias para Campos Pequeños (NIDE 1) Ministerio de Cultura y Deportes.
- Normas de Proyecto Campos Pequeños (NIDE 1) Ministerio de Cultura y Deportes.
- UNE-EN 14877:2013 Superficies sintéticas para espacios deportivos de exterior. Especificación.
- Norma UNE EN 748:2004. Equipos de campos de juego - Porterías de fútbol. Requisitos y métodos de ensayo incluso seguridad.
- Norma UNE-EN 12193 “Iluminación de instalaciones deportivas”
- Reglas oficiales de la Federación Española de Fútbol
- Norma UNE 170001 “Accesibilidad Universal”
- Decreto 68/2000, de 11 de abril, por el que se aprueban las normas técnicas sobre condiciones de accesibilidad de los entornos urbanos, espacios públicos, edificaciones y sistema de información y comunicación. (BOPV 12 de junio de 2000)

## 11. FUENTES DE INFORMACIÓN

---

### 11.1 LIBROS

- REYES ROGRIGUEZ, ANTONIO MANUEL. Cypecad Mep 2017. Diseño y cálculo de instalaciones en los edificios.
- ETXEBERRIA RAMÍREZ, PAULO y TABOADA PUENTE, IANIRE. “Proyectos de ingeniería”. Apuntes de la Escuela Universitaria de Ingeniería de Bilbao. 2018.



- LARRAURI GIL, MARCOS; LOSADA RODRÍGUEZ, RAMÓN; ROJÍ CHANDRO, EDUARDO; CUADRADO ROJO, JESUS; ORBE MATEO, AIMAR. "Fundamentos sobre sistemas y elementos estructurales en edificación". Escuela Técnica Superior de Ingeniería Bilbao. 2010.
- LARRAURI GIL, MARCOS; LOSADA RODRÍGUEZ, RAMÓN; ROJÍ CHANDRO, EDUARDO; CUADRADO ROJO, JESUS. "Procedimientos de construcción. Obras y maquinaria de movimiento de tierras" Escuela Técnica Superior de Ingeniería Bilbao. 2010.
- LARRAURI GIL, MARCOS; LOSADA RODRÍGUEZ, RAMÓN; ROJÍ CHANDRO, EDUARDO; CUADRADO ROJO, JESUS; CARBAJAL DE LA RED, NEFTALÍ. "Edificación. Normativa, Forjados, Soleras, Fachadas, Cubiertas y Patología de cerramientos". Escuela Técnica Superior de Ingeniería Bilbao. 2010.
- LARRAURI GIL, MARCOS; LOSADA RODRÍGUEZ, RAMÓN; ROJÍ CHANDRO, EDUARDO; CUADRADO ROJO, JESUS; ORBE MATEO, AIMAR. "Elementos y tecnologías constructivas en cimentaciones y estructuras de contención para edificación". Escuela Técnica Superior de Ingeniería Bilbao. 2009.

### 11.2 PAGINAS WEB

- [www.Aemet.com](http://www.Aemet.com)
- [www.Euskalmet.com](http://www.Euskalmet.com)
- [www.Bizkaia.eus](http://www.Bizkaia.eus)
- [www.ermua.es](http://www.ermua.es)
- [www.maps.google.es](http://www.maps.google.es)
- [www.csd.gob.es](http://www.csd.gob.es)
- [www.carreteros.org](http://www.carreteros.org)
- [www.fomento.gob.es](http://www.fomento.gob.es)
- [www.euskadi.eus](http://www.euskadi.eus)
- [www.codigotécnico.org](http://www.codigotécnico.org)

## 12. ÍNDICE DE ANEJOS

---

- Anejo 1. Climatología
- Anejo 2. Geotecnia
- Anejo 3. Replanteo
- Anejo 4. Movimiento de tierras
- Anejo 5. Estructuras metálicas
- Anejo 6. Evacuación de aguas
- Anejo 7. Suministro de agua potable
- Anejo 8. Climatización y gas
- Anejo 9. Iluminación
- Anejo 10. Electricidad
- Anejo 11. Protección contra incendios
- Anejo 12. Drenaje superficial

Anejo 13. Pavimento

Anejo 14. Señalización

Anejo 15. Normas NIDE

Anejo 16. Gestión de residuos

Anejo 17. Plan de control de calidad

Anejo 18. Plan de obra

## 13. INDICE DE PLANOS

---

### 1. PLANOS GENERALES (13 PLANOS)

- 1.1 Localización.
- 1.2 Situación y emplazamiento.
- 1.3 Planta general.
- 1.4 Replanteo general.
- 1.5 Acotado genera. Aparcamiento.
- 1.6 Dimensiones principales. Vestuarios.
- 1.7 Dimensiones principales. Planta interior vestuarios.
- 1.8 Dimensiones principales. Pabellón de fútbol sala.
- 1.9 Dimensiones principales. Planta campo de fútbol sala.
- 1.10 Secciones transversales. Corte A-A'. Aparcamiento.
- 1.11 Secciones transversales. Corte B-B'. Aparcamiento.
- 1.12 Drenaje superficial. Aparcamiento.
- 1.13 Señalización. Aparcamiento.

### 2. PLANOS ESTRUCTURA CAMPO DE FÚTBOL SALA (21 PLANOS)

- 2.1 Estructura general
- 2.2 Pórtico hastial acotado
- 2.3 Alzado pórtico central acotado
- 2.4 Perfil y planta acotados
- 2.5 Replanteo de la cimentación
- 2.6 Cimentación de zapatas 1
- 2.7 Cimentación de zapatas 2
- 2.8 Cimentación de zapatas 3
- 2.9 Cimentación de zapatas 4
- 2.10 Cimentación de zapatas 5
- 2.11 Cimentación de vigas de atado
- 2.12 Placas de anclaje 1
- 2.13 Placas de anclaje 2
- 2.14 Placas de anclaje 3
- 2.15 Placas de anclaje 4
- 2.16 Placas de anclaje 5
- 2.17 Detalle de cumbrera



- 2.18 Unión de viga con montante. Pórtico hastial.
- 2.19 Unión de viga con pilar. Pórtico hastial.
- 2.20 Unión de viga con pilar. Pórtico central.
- 2.21 Unión cumbrera montante. Pórtico hastial.

### **3. PLANOS ESTRUCTURA VESTUARIOS (10 PLANOS)**

- 3.1 Estructura general
- 3.2 Alzado, planta y perfil
- 3.3 Replanteo de la cimentación
- 3.4 Cimentación de zapatas
- 3.5 Cimentación de vigas de atado
- 3.6 Placas de anclaje
- 3.7 Unión viga con pilar (3,46 m). Pórtico hastial.
- 3.8 Unión viga con pilar (4 m). Pórtico hastial.
- 3.9 Unión viga con pilar (3,46 m). Pórtico central.
- 3.10 Unión viga con pilar (4 m). Pórtico central.

### **4. PLANOS ESTRUCTURA RAMPA DE MINUSVÁLIDOS (10 PLANOS)**

- 4.1 Estructura general
- 4.2 Perfil y planta
- 4.3 Replanteo de la cimentación
- 4.4 Cimentación de zapatas 1
- 4.5 Cimentación de zapatas 2
- 4.6 Placas de anclaje 1
- 4.7 Placas de anclaje 2
- 4.8 Uniones Viga-Pilar 1
- 4.9 Uniones Viga-Pilar 2
- 4.10 Uniones Viga-Pilar 3

### **5. INSTALACIONES CAMPO DE FÚTBOL SALA (4 PLANOS)**

- 5.1 Evacuación de aguas pluviales. Esquema de la cubierta.
- 5.2 Evacuación de aguas pluviales. Esquema de la planta baja.
- 5.3 Instalación de protección contra incendios.
- 5.4 Alcance pararrayos.

### **6. INSTALACIONES VESTUARIOS (12 PLANOS)**

- 6.1 Suministro de agua potable. Esquema de la planta baja.
- 6.2 Suministro de agua potable. Croquis de la instalación.
- 6.3 Evacuación de aguas pluviales. Esquema de la cubierta.
- 6.4 Evacuación de aguas pluviales. Esquema de la planta baja.
- 6.5 Evacuación de aguas residuales. Esquema de la cubierta.
- 6.6 Evacuación de aguas residuales. Esquema de la planta baja.
- 6.7 Climatización. Esquema de la planta baja
- 6.8 Instalación de gas. Esquema de la planta baja.
- 6.9 Instalación de iluminación. Esquema de la planta baja.
- 6.10 Instalación eléctrica. Esquema de la planta baja.
- 6.11 Instalación eléctrica. Croquis de la instalación.

## 6.12 Instalación contra incendios. Esquema de la planta baja.

### 14. INDICE DE TABLAS

---

- Tabla 1. Suma ponderada estructura de hormigón armado.
- Tabla 2. Suma ponderada estructura de acero
- Tabla 3. Suma ponderada estructura de madera.
- Tabla 4. Suma ponderada cubierta a un agua.
- Tabla 5. Suma ponderada cubierta a dos aguas.
- Tabla 6. Suma ponderada estructura de cuatro aguas.
- Tabla 7. Circuitos interiores de los vestuarios
- Tabla 8. Circuitos interiores de la instalación del aparcamiento y del campo de futbol sala
- Tabla 9. Secciones de firmes del aparcamiento
- Tabla 10. Plan de obra
- Tabla 1.1 Datos de temperatura y precipitación de Ermua
- Tabla 2.1 Sondeo SVE-26.
- Tabla 2.2 Calicata CVE W-8.
- Tabla 2.3 Calicata CVE W-10.
- Tabla 2.4 Compresión y tracción de suelos
- Tabla 2.5 Características de los suelos
- Tabla 2.6 Densidades de los suelos
- Tabla 3.1 Coordenadas de replanteo de los puntos significativos de la obra
- Tabla 5.1 E.L.U. de rotura. Acero laminado.
- Tabla 5.2 E.L.U. de rotura. Acero laminado.
- Tabla 5.3 Desplazamientos
- Tabla 5.4 Desplazamientos
- Tabla 5.5 Resistencia mínima recomendada en función de los requisitos de durabilidad.
- Tabla 5.1.1 Dimensiones principales de la estructura
- Tabla 5.1.2. Nombre de la hipótesis
- Tabla 5.1.3 Características de las cargas permanentes
- Tabla 5.1.4 Valores característicos de las sobrecargas de uso
- Tabla 5.1.5. Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas
- Tabla 5.1.6 Coeficientes de exposición
- Tabla 5.1.7 Coeficientes de exposición
- Tabla 5.1.8 Coeficientes de presión interior
- Tabla 6.1. Número de sumideros en función de la superficie de cubierta

Tabla 6.2. Diámetro los canalones en función de la superficie proyectada

Tabla 6.3 Intensidades pluviométricas

Tabla 6.4 Diámetro de los colectores para un régimen pluviométrico de 100 mm/h

Tabla 6.5 Diámetro de los colectores para un régimen pluviométrico de 100mm/h

Tabla 6.6 Dimensiones de las arquetas

Tabla 6.7 Dimensionamiento de cana de canalones de la acometida 1 de los vestuarios

Tabla 6.8 Dimensionamiento de los canalones de la acometida 1 del campo de futbol sala

Tabla 6.9 Dimensionamiento de los canalones de la acometida 2 del campo de fútbol sala

Tabla 6.10 Dimensionamiento de las bajantes de la acometida 1 de los vestuarios

Tabla 6.11 Dimensionamiento de las bajantes de la acometida 1 del campo de fútbol sala

Tabla 6.12 Dimensionamiento de las bajantes de la acometida 2 del campo de fútbol sala

Tabla 6.13 Dimensionamiento de los colectores de la acometida 1 de los vestuarios

Tabla 6.14 Dimensionamiento de los colectores de la acometida 1 del campo de futbol sala

Tabla 6.15 Dimensionamiento de los colectores de la acometida 2 del campo de fútbol sala

Tabla 6.16 Dimensionamiento de las arquetas de la acometida 1 de los vestuarios

Tabla 6.17 Dimensionamiento de las arquetas de pluviales de la acometida 1 del campo de fútbol sala

Tabla 6.18 Dimensionamiento de las arquetas de pluviales de la acometida 2 del campo de fútbol sala

Tabla 6.19 UDs correspondientes a los distintos aparatos sanitarios

Tabla 6.20 UDs por aparato sanitario y diámetros mínimos de los vestuarios 1 y 2.

Tabla 6.21 UDs por aparato sanitario y diámetros mínimos del vestuario 3.

Tabla 6.22 Diámetros de los ramales colectores entre aparatos sanitarios y bajante

Tabla 6.23 Diámetro de los colectores en función del número máximo de UD

Tabla 6.24 Dimensionamiento de la red de pequeña evacuación de la acometida 1 de los vestuarios

Tabla 6.25 Bajantes de ventilación primaria de residuales de la acometida 1 de los vestuarios

Tabla 6.26 Dimensionamiento de los colectores de residuales de la acometida 1 de los vestuarios

Tabla 6.27 Dimensionamiento de las arquetas de residuales de la acometida 1 de los vestuarios

Tabla 7.1 Unidades de aparatos sanitarios

Tabla 7.2 Caudal mínimo y presión mínima de cada aparato sanitario

Tabla 7.3 Diámetros mínimos de derivaciones a los aparatos

Tabla 7.4 Diámetros mínimos de alimentación

Tabla 7.5 Relación entre el diámetro de tubería y el caudal recirculado de ACS

Tabla 7.6 Descripción de las acometidas

Tabla 7.7 Descripción de los tubos de alimentación

- Tabla 7.8 Descripción de las instalaciones particulares
- Tabla 7.9 Descripción de los equipos de producción de ACS
- Tabla 7.10 Descripción de la bomba de circulación
- Tabla 8.1 Valores límites de los parámetros del bienestar térmicos
- Tabla 8.2 Límites de los parámetros en las zonas ocupada del proyecto
- Tabla 8.3 Caudales de ventilación del proyecto.
- Tabla 8.4 Clases de filtros
- Tabla 8.5 Carga térmica de diseño de los vestuarios.
- Tabla 8.6 Cargas parciales por meses.
- Tabla 8.7 Potencia térmica instalada en el recinto
- Tabla 8.8 Resumen potencia térmica instalada de calefacción en el proyecto
- Tabla 8.9 Descripción de en los equipos de calefacción en el proyecto.
- Tabla 8.10 Características de las tuberías del ambiente interior
- Tabla 8.11 Descripción de las tuberías del ambiente interior.
- Tabla 8.12 Potencia instalada en el equipo del proyecto
- Tabla 8.13 Descripción del equipo de calefacción
- Tabla 8.14 Pérdidas de calor en las tuberías de la instalación
- Tabla 8.15 Categoría y valores límite los equipos de propulsión de fluidos
- Tabla 8.16 Descripción de los equipos de transporte de fluidos
- Tabla 8.17 Sistema de control del conjunto de recintos
- Tabla 8.18 Categorías de control de calidad del aire interior
- Tabla 8.19 Calidad del aire exterior
- Tabla 8.20 Descripción de las calderas y grupos térmicos
- Tabla 8.21 Descripción de los equipos de transporte de fluidos
- Tabla 8.22 Características de los conductos de aire
- Tabla 8.23 Características de los difusores y rejillas de los conductos de aire
- Tabla 8.24 Características de las tuberías de calefacción
- Tabla 8.25 Características de las tuberías de calefacción
- Tabla 8.26 Características de las tuberías de calefacción
- Tabla 8.27 Características de los emisores de calefacción
- Tabla 8.28 Descripción de los emisores de calefacción
- Tabla 9.1 Clasificación de las vías
- Tabla 9.2 Clases de alumbrado para vías de tipo C y D
- Tabla 9.3 Series CE de clase de alumbrado para viales tipos D y E
- Tabla 9.4 Luminarias empleadas en iluminación exterior

Tabla 9.5 Niveles de iluminación mínimo en los vestuarios

Tabla 9.6 Niveles de iluminación campo de fútbol sala

Tabla 9.7 Niveles de iluminación en las vías de evacuación en caso de emergencia.

Tabla 9.8 Calidad de la iluminación en caso de emergencia

Tabla 9.9 Nivel de iluminación de las señales de seguridad en caso de emergencia

Tabla 9.10 Niveles de iluminación en las vías de evacuación en caso de emergencia

Tabla 9.11 Calidad de la iluminación en caso de emergencia

Tabla 9.12 Nivel de iluminación de las señales de seguridad en caso de emergencia

Tabla 9.13 Luminarias empleadas en los vestuarios

Tabla 9.15 Valores límite de eficiencia energética de la instalación.

Tabla 9.15 Valores límite de eficiencia energética de la instalación.

Tabla 9.16 Valores de eficiencia energética de la instalación de cada recinto de los vestuarios.

Tabla 9.17 Valores de eficiencia energética de la instalación del campo de fútbol sala

Tabla 9.18 Potencia instalada por unidad de superficie iluminada

Tabla 9.19 Potencia instalada por unidad de superficie iluminada

Tabla 10.1 Derivación individual de los vestuarios

Tabla 10.2 Derivación individual del campo de futbol sala y alumbrado exterior

Tabla 10.3 Circuitos interiores de la instalación de los vestuarios

Tabla 10.4 Circuitos interiores de la instalación del campo de fútbol sala

Tabla 10.5 Equipos de producción de ACS en los vestuarios

Tabla 10.7 Constante k dependiendo del material y aislamiento del conductor

Tabla 10.8 Intensidad de regulación del disparo electromagnético

Tabla 10.9 Potencia eléctrica de los vestuarios

Tabla 10.10 Cuadro individual 1 de los vestuarios

Tabla 10.11 Datos de cálculo de los vestuarios

Tabla 10.12 Descripción de las instalaciones de los vestuarios

Tabla 10.13 Datos de sobrecarga y cortocircuito de los vestuarios

Tabla 10.14 datos de cálculo del cuadro individual de los vestuarios

Tabla 10.15 Descripción de las instalaciones de los vestuarios

Tabla 10.16 Sobrecarga y cortocircuito del cuadro individual de los vestuarios

Tabla 10.17 Leyenda de los términos utilizados en la instalación de los vestuarios

Tabla 10.18 Símbolos utilizados en la instalación de los vestuarios.

Tabla 10.19 Potencia eléctrica del cuadro individual de campo de futbol sala y aparcamiento

Tabla 10.20 Cuadro individual 1 del campo de fútbol sala y aparcamiento

Tabla 10.21 Datos de cálculo del campo de fútbol sala y aparcamiento

Tabla 10.22 Descripción de las instalaciones del campo de fútbol sala y el aparcamiento

Tabla 10.23 Datos de sobrecarga y cortocircuito la instalación del campo de fútbol sala y del aparcamiento

Tabla 10.24 Datos de cálculo del cuadro individual del campo de fútbol sala y del aparcamiento

Tabla 10.25 Descripción de las instalaciones del campo de fútbol sala y del aparcamiento.

Tabla 10.26 Sobrecarga y cortocircuito del cuadro individual del campo de fútbol sala y del aparcamiento

Tabla 10.27 Leyenda de la instalación del campo de fútbol sala y del aparcamiento

Tabla 10.28 Símbolos utilizados en la instalación del campo de fútbol sala y del aparcamiento

Tabla 11.1 Sectores de incendios vestuarios

Tabla 11.2 Sectores de incendios campo de futbol sala

Tabla 11.3 Salas con riesgo especial

Tabla 11.4 Reacción al fuego de elementos constructivos vestuarios

Tabla 11.5 Reacción al fuego de elementos constructivos campo de fútbol sala

Tabla 11.6 Propagación horizontal de las fachadas de los vestuarios

Tabla 11.7 Propagación horizontal de las fachadas del campo de fútbol sala

Tabla 11.8 Ocupación, numero de salidas y recorridos de evacuación de los vestuarios

Tabla 11.9 Ocupación, numero de salidas y recorridos de evacuación del campo de futbol sala

Tabla 11.10 Números de salidas y recorridos en locales de riesgo especial de los vestuarios.

Tabla 11.11 Dotación de instalaciones de protección contra incendios de los vestuarios

Tabla 11.12 Instalaciones de protección contra incendios en locales de riesgo especial de los vestuarios

Tabla 11.13 Dotación de instalaciones de protección contra incendios del campo de fútbol sala

Tabla 11.14 Resistencia al fuego de la estructura de los vestuarios

Tabla 11.15 Resistencia al fuego de la estructura del campo de fútbol sala

Tabla 12.1 Intensidad máxima de precipitación

Tabla 12.2 Coeficiente de escorrentía en función del tipo de suelo

Tabla 12.3. Clasificación de los daños posibles

Tabla 12.4 Coeficiente de mayoración

Tabla 12.5 Áreas de las cuencas

Tabla 13.1 Categorías de tráfico pesado de T00 a T2

Tabla 13.2 Categorías de tráfico pesado de T3 y T4

Tabla 13.3 Módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga

Tabla 13.4 Formación de la explanada.

Tabla 13.5 Tipos y especificaciones del suelo estabilizado in situ.

- Tabla 13.6 Periodo mínimo de trabajabilidad (W<sub>pc</sub>) del suelo estabilizado in situ con cemento
- Tabla 13.7 Catálogo de secciones de firme para las categorías T3 y T4, en función de la categoría de la explanada
- Tabla 13.8 espesor de capas de mezclas bituminosas en caliente.
- Tabla 13.9 Tipo de mezcla a utilizar en función del tipo y de espesor de la capa.
- Tabla 13.10 Tipo de ligante hidrocarbonado a emplear en capa de rodadura
- Tabla 13.11 Sección tipo del firme del aparcamiento
- Tabla 15.1 Dimensiones reglamentarias del campo.
- Tabla 15.2 Niveles mínimos de iluminación.
- Tabla 15.3 Especificaciones para pavimentos de resinas sintéticas
- Tabla 16.1 Identificación de los residuos que se van a generar durante el derribo
- Tabla 16.2 Estimación de los residuos en derribo
- Tabla 16.3 Volúmenes de residuos durante el derribo
- Tabla 16.4 Estimación del coste durante el derribo
- Tabla 16.5 Identificación de los residuos que se van a generar durante la obra
- Tabla 16.6 Estimación de los residuos en la obra
- Tabla 16.7 Volúmenes de residuos durante la obra
- Tabla 16.8 Estimación del coste durante la obra
- Tabla 17.1 Frecuencias de ensayos de rellenos de tierras propias
- Tabla 17.2 Frecuencias de ensayos de rellenos de suelo seleccionado
- Tabla 17.3 Frecuencias de ensayo de zahorra artificial
- Tabla 17.4 Frecuencias de ensayo de capa de rodadura
- Tabla 17.5 Frecuencia de ensayo de riegos
- Tabla 17.6 Frecuencia de ensayo de cunetas de hormigón
- Tabla 17.7 Frecuencia de ensayo de baldosas de hormigón
- Tabla 17.8 Frecuencia de ensayo en señalización
- Tabla 18.1 Resumen del plan de obra

## 15. INDICE IMÁGENES

---

- Imagen 1 Situación geográfica de la zona del proyecto.
- Imagen 2. Vías de acceso a la zona de Beti-Ondo.
- Imagen 3. Falta de visibilidad en el "STOP"
- Imagen 4. Primera alternativa
- Imagen 5. Segunda alternativa
- Imagen 6. Calicatas y sondeo realizados en la zona de proyecto

Imagen 7. Emplazamiento del proyecto

Imagen 8. Vías de acceso.

Imagen 9. Estructura 3D del pabellón

Imagen 11. Características de la fachada de bloques de hormigón

Imagen 12. Estructura 3D de los vestuarios

Imagen 13 Fachada de los vestuarios

Imagen 15. Características de la solera

Imagen 15 Características de los tabiques de distribución de espacios

Imagen 16 Estructura de la rampa en 3D  
Imagen 1.1 Clasificación de los Territorios Climáticos península ibérica.

Imagen 2.2 Mapa de situación.

Imagen 2.3 Corte geológico de la zona

Imagen 2.4 Corte III/III'.

Imagen 2.5 Esquema geológico de la zona.

Imagen 2.6 Leyenda de símbolos convencionales.

Imagen 2.7. Unidad de Oiz.

Imagen 2.1 Mapa de las principales unidades geológicas de la

Imagen 2.8 Mapa sísmico de la Norma Sismorresistente NCSE-02

Imagen 5.1.1 Estructura en 3D de la estructura

Imagen 5.1.2 Zonas de España para determinación de presión dinámica

Imagen 5.1.3 Presión ejercida por el viento en una construcción diáfana

Imagen 6.1 Mapa de isoyetas zona A y zona B

Imagen 7.1 Esquema de la instalación de suministro de agua de los vestuarios

Imagen 7.2 Croquis instalación general

Imagen 7.3 Croquis de la instalación particular

Imagen 9.1 Método de iluminación punto por punto

Imagen 13.1 Esquema formación de la explanada.

Imagen 13.2 Leyenda catálogos de secciones de firme

Imagen 13.3 Zonas térmicas estivales

Imagen 13.4 Detalle de las aceras

Imagen 13.5 Capas del pavimento del terreno de juego

Imagen 13.6 Capas del pavimento de las zonas exteriores al terreno de juego

Imagen 14.1 Clasificación de las marcas viales

Imagen 14.2 Marca amarilla continua.

Imagen 14.3 Marca transversal de detención



Imagen 14.4 Marca transversal de ceda el paso

Imagen 14.5 Marca transversal de paso para peatones.

Imagen 14.6 Flecha de dirección

Imagen 14.7 Señal horizontal de "STOP".CEDA EL PASO

Imagen 14.8 Señal horizontal de ceda el paso.

Imagen 14.9 Delimitación de plazas de aparcamiento tipo batería.

Imagen 14.10 Señal de estacionamiento de minusválidos.

Imagen 14.11 Dimensiones de las señales verticales en autopistas y autovías.

Imagen 14.12 Dimensiones de señales verticales de carreteras convencionales.

Imagen 14.13 Señal de "CEDA EL PASO". Nomenclatura R-1

Imagen 14.14 Señal de "STOP". Nomenclatura R-2.

Imagen 14.15 Señal de velocidad máxima 30 km/h. Nomenclatura S-30.

Imagen 14.16 Señal de aparcamiento. Nomenclatura S-17.

Imagen 14.17 Señal de paso para peatones. Nomenclatura S-13.

Imagen 15.1 Dimensiones del trazado del campo.

Imagen 15.2 Dimensiones del área de penal.

Imagen 15.3 Dimensiones de las porterías.

Imagen 15.4 Dimensiones de las porterías.

Imagen 15.5 Elemento de sujeción de la red

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y OBRAS PÚBLICAS

## TRABAJO FIN DE GRADO

***“PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN  
APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO  
MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA  
(BIZKAIA)”***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

***ANEJO 1- CLIMATOLOGÍA***

**Alumno/Alumna:** García, Arroyo, David

**Director/Directora:** Larrauri, Gil, Marcos

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 21, junio, 2019

# ÍNDICE

---

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.	CLASIFICACIÓN DE LOS TERRITORIOS CLIMÁTICOS .....	2
2.1	LA VERTIENTE ATLÁNTICA. ....	2
3.	ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS .....	3
3.1	INSOLACIÓN .....	3
3.2	VIENTO .....	3
3.3	PRECIPITACIONES.....	3
3.4	TEMPERATURA.....	4

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este anejo es conocer y describir las condiciones meteorológicas y climatológicas que hay en el lugar de proyecto para tener el conocimiento del clima a la hora de realizar determinadas tareas de construcción. También es necesario para tener en cuenta el comportamiento de las construcciones, una vez terminadas, respecto a varios agentes meteorológicos como el viento, la insolación o las lluvias.

## 2. CLASIFICACIÓN DE LOS TERRITORIOS CLIMÁTICOS

El País Vasco se puede clasificar, en materia de meteorología, en tres territorios diferentes. Estos territorios son la vertiente atlántica al norte, la Euskal Herria media en el centro y en el extremo sur, entrando en la depresión del Ebro y Rioja Alavesa/Arabako Errioxa.



- la vertiente atlántica al norte,
- la Euskal Herria media en el centro
- El extremo sur, entrando en la depresión del Ebro y Rioja Alavesa/Arabako Errioxa.

Imagen 1.1 Clasificación de los Territorios Climáticos.

La zona en la que se va a llevar a cabo el proyecto está en la vertiente atlántica. A continuación, se detallarán las características climáticas de este territorio.

### 2.1 LA VERTIENTE ATLÁNTICA.

La vertiente atlántica comprende la totalidad de las provincias de Bizkaia, de Gipuzkoa y de Euskadi Continental y el norte de la de Álava/Araba, presenta un tipo de clima mesotérmico, moderado en cuanto a las temperaturas, y muy lluvioso. Se denomina clima templado húmedo sin estación seca, o clima atlántico. En este clima el océano Atlántico ejerce una gran influencia. Las masas de aire, cuyas temperaturas se han suavizado al contacto con las templadas aguas oceánicas, llegan a la costa y hacen que las oscilaciones térmicas entre la noche y el día, o entre el verano y el invierno, sean poco acusadas. El factor orográfico explica la gran cantidad de lluvias de toda la vertiente atlántica del País Vasco, entre 1.200 y más de 2.000mm de precipitación media anual.

En cuanto a las temperaturas es de destacar una cierta moderación, que se expresa fundamentalmente en la suavidad de los inviernos. De esta forma, a pesar de que los veranos

son también suaves, las temperaturas medias anuales registran en la costa los valores más altos de Euskal Herria, unos 14°C. Aunque los veranos sean frescos, son posibles, sin embargo, episodios cortos de fuerte calor, con subidas de temperatura de hasta 40°C, especialmente durante el verano.

## 3. ANALISIS DE LOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS

---

### 3.1 INSOLACIÓN

La insolación es la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a la Tierra. El número medio de horas de sol, estacional y anual, depende de dos factores: el factor astronómico, que se refiere a la posición de la Tierra con respecto al Sol a lo largo del año y que viene definido por la latitud del lugar, y el factor climático, que viene definido por la mayor o menor nubosidad de la zona.

La latitud de un lugar determina las diferencias estacionales en el grado de oblicuidad de los rayos solares directos que inciden en él, así como la duración del día, que en el País Vasco es de unas 15 horas en el solsticio de verano y de unas 9 horas en el solsticio de invierno.

### 3.2 VIENTO

El clima de una región geográfica es se ve influenciada en su mayor por los vientos generales que la afectan.

El País Vasco es recorrido por vientos generales del oeste, describen amplios meandros, de tal forma que corrientes de aire del sur o del norte, e incluso contracorrientes del este, pueden afectar temporalmente a regiones de las latitudes medias.

En invierno, cuando la corriente en chorro, el "jet stream", circula por latitudes bastante bajas, entre los 30 y 40 grados, esta zona se ve muy afectada por la circulación del oeste y por las borrascas y sus frentes nubosos.

En otoño y primavera, cuando este flujo de aire pierde fuerza y se hace más ondulado, el tiempo se hace por lo general más cambiante, con semanas en las que dominan las corrientes cálidas del sur, seguidas por otras en las que soplan húmedos y frescos vientos del norte.

En verano, el flujo general de vientos del oeste se aleja hacia el norte y se debilita. Entonces, todo el sur de Europa es afectado con frecuencia por la calma y el buen tiempo producido por el anticiclón de las Azores, que se extiende hacia el noroeste. Muchos días, al situarse Euskal Herria en el lado oriental del anticiclón los vientos veraniegos predominantes son del norte y se refuerzan las brisas diurnas.

### 3.3 PRECIPITACIONES

La importante pluviosidad y la fuerte intensidad de las precipitaciones en todo el País Vasco se explica fundamentalmente por la orografía de la zona.

La mayor o menor pluviosidad de este clima viene definido no sólo por la cuantía de las precipitaciones sino también por su duración, siendo el tipo de precipitación más común el sirimiri. El tiempo en que está lloviendo tiene en muchos casos mayor relevancia que la cantidad de lluvia caída.

En Ermua, período con más precipitaciones es desde octubre hasta abril, teniendo un máximo en el mes de diciembre y un mínimo en el mes de marzo. En este periodo se concentra más del

87 % de la precipitación anual, esto es, una precipitación mensual superior a los 100 mm. Las mínimas precipitaciones anuales se producen en los meses situados al final de la primavera y en el verano, pero como es habitual en la zona del País Vasco, no existe un período de sequía.

### 3.4 TEMPERATURA

Las temperaturas máximas diarias suelen alcanzarse generalmente en las horas centrales del día, y las temperaturas mínimas durante las horas finales de la noche. Así que las temperaturas máximas dan obviamente una mejor idea de las temperaturas diurnas que las medias, y de igual modo lo hacen las temperaturas mínimas con respecto a la noche.

En la zona del proyecto, los inviernos son frescos y poco rigurosos y los veranos son suaves sin unas temperaturas desmesuradamente altas. La oscilación térmica anual es de 22,9°C. Respecto a la variación térmica a lo largo del año es bastante moderada obteniendo una temperatura media anual de 13,5°C.

Las temperaturas mínimas se dan en el mes de Enero.

También hay que destacar las épocas de heladas. Esta época corresponde con el invierno y dichas heladas suelen producirse entre 20 días y 40 días al año.

A continuación, se muestran los datos de temperatura y precipitación que definen el nivel climático de Ermua.

Variable climática	Valor medio
Temperatura media anual	12 a 14 °C
Temperatura media mes más frío	6 a 10 °C
Temperatura media mes más cálido	18 a 20 °C
Duración media período de heladas	4 a 6 meses
E.T.P. media anual	650 a 750 mm.
Precipitación media anual	1200-1600 mm.
Déficit medio anual	0 a 50 mm.
Duración media período seco	0 a 1 mes
Precipitación invierno	32 %
Precipitación primavera	22 %
Precipitación otoño	30 %

Tabla 1.1 Datos de temperatura y precipitación de Ermua

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y OBRAS PÚBLICAS

## TRABAJO FIN DE GRADO

***“PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN  
APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO  
MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA  
(BIZKAIA)”***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

***ANEJO 2- GEOTÉCNIA***

**Alumno/Alumna:** García, Arroyo, David

**Director/Directora:** Larrauri, Gil, Marcos

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 21, junio, 2019



## ÍNDICE

---

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. MARCO GEOLÓGICO. PRINCIPALES UNIDADES GEOLÓGICAS DE LA PENINSULA IBERICA .....	2
3. MAPAS GEOLÓGICOS .....	3
4. DATOS GEOLÓGICOS DE LA ZONA DE PROYECTO .....	6
5. SISMICIDAD .....	10
6. CIMENTACIÓN.....	11
7. EXCAVABILIDAD .....	12



## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este anejo es realizar un estudio geológico para reconocer los distintos tipos de materiales que constituyen el terreno del lugar donde se va a construir, para posteriormente poder sacar conclusiones respecto al comportamiento de dicho terreno a las sollicitaciones de la obra y respecto a las soluciones constructivas que se puedan adoptar.

Este anejo es importante por lo mencionado anteriormente, pero a la vez muy complicado de obtener ya que cada zona cuenta con distintos tipos de terreno y en terrenos del mismo tipo existen muchas variaciones.

Varios datos geotécnicos de la zona se han obtenido a partir de un estudio que se hizo en la zona para el proyecto de la construcción de una variante en Ermua. Dicho estudio se llevó a cabo por parte.

Los datos sobre la geología de la zona se han cogido aprovechando las investigaciones de campo para el “Proyecto de trazado de la variante de Ermua” realizadas por el equipo geotécnico UTE ERMU y varias empresas subcontratadas las cuales se dedican a la realización de sondeos, calicatas, prospección geofísica e investigaciones “in situ”.

## 2. MARCO GEOLÓGICO. PRINCIPALES UNIDADES GEOLÓGICAS DE LA PENINSULA IBERICA

La unidad geológica principal en la que se encuentra la zona del proyecto, al encontrarse en la cordillera cantábrica, se corresponde con la cobertera mesozoica del Antepaís Ibérico tal y como se muestra en la siguiente imagen.



Imagen 2.1 Mapa de las principales unidades geológicas de la península ibérica.

### 3. MAPAS GEOLÓGICOS

Para ubicar la geología que corresponde a la zona de estudio, se adjuntan unos mapas geológicos de la zona del País Vasco y unos mapas que muestran más detalladamente la zona del proyecto. Los mapas mencionados se han obtenido del Ente Vasco de la Energía (EVE).

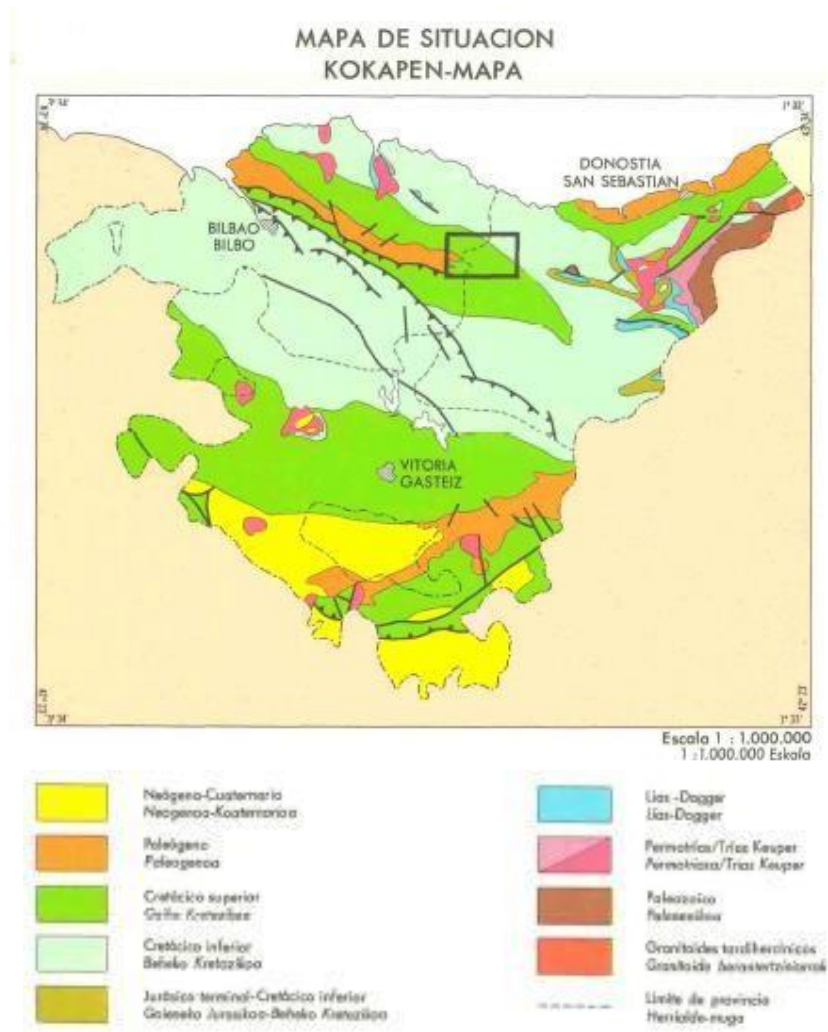


Imagen 2.2 Mapa de situación.

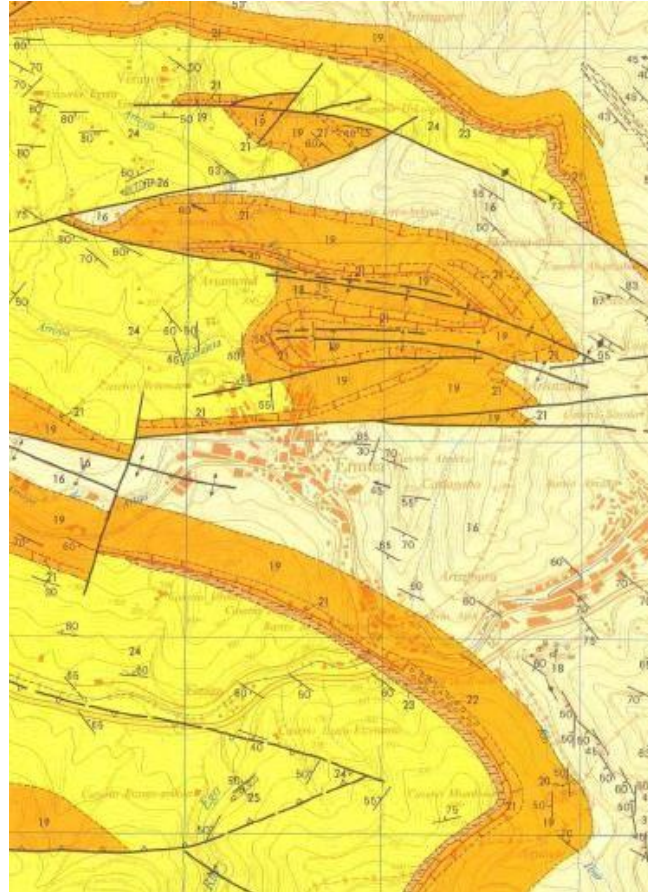


Imagen 2.3 Corte geológico de la zona.

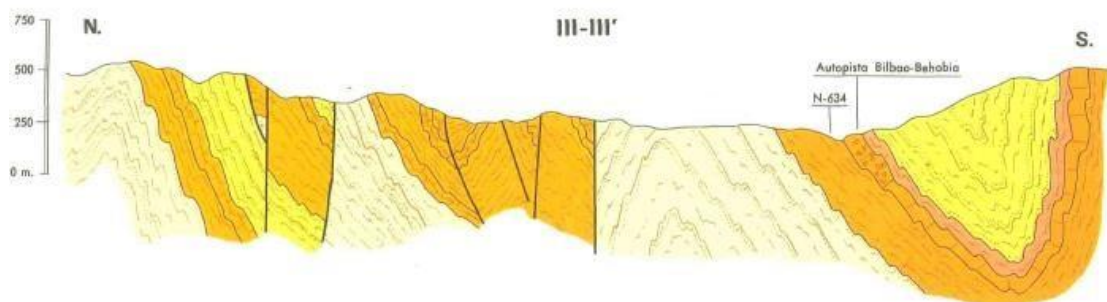


Imagen 2.4 Corte III/III'.

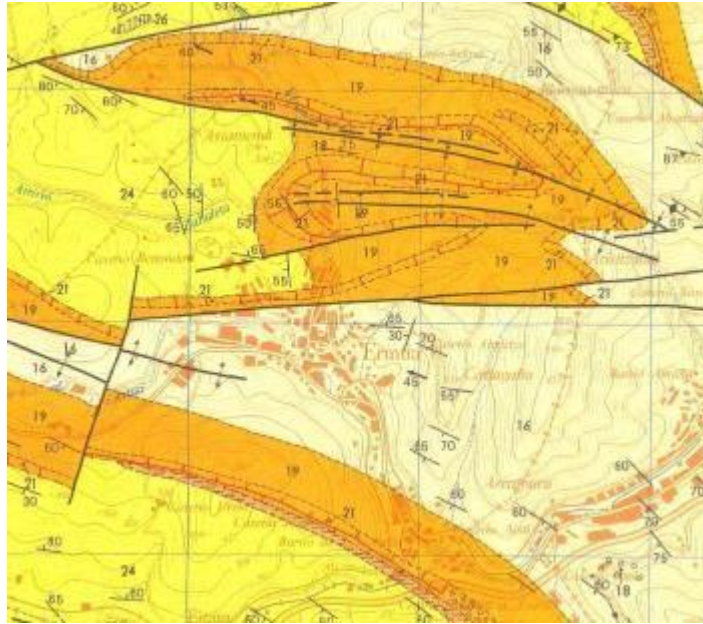


Imagen 2.5 Esquema geológico de la zona.

**SÍMBOLOS CONVENCIONALES  
OHIZKO SINBOLOAK**

<p>--- Contacto normal Mugak ondoak</p>	<p>--- Contacto normal tipo espejo Mugak Muga Arrean</p>	<p>--- Contacto disconforme Muga disonformak</p>	<p>--- Contacto gradual Muga indistinktuak</p>	<p>--- Contacto inverso Muga aldiak</p>	<p>--- Contacto inbasio espasmo Muga inbasio aldiak</p>	<p>--- Perforabilidad Perforabilitateak</p>	<p>--- Contacto mediante interferentzia Muga erretardatzaileak</p>	<p>--- Contacto mediante interferentzia espasmo Muga aldiak erretardatzaileak</p>	<p>--- Faltak inbasio Faltak aldiak</p>	<p>--- Faltak inbasio espasmo Muga aldiak erretardatzaileak</p>	<p>--- Zona deformada eta inhomogeneoki pligatuak Alde deformatuak eta inhomogeneoki pligatuak</p>	<p>--- Dirección y sentido de buzamiento: Oinarritutakoak mugak eta pendenteak</p>	<p>--- Dirección y sentido de buzamiento de capas horizontales Guzuzko aldiak erretardatzaile mugak eta pendenteak</p>	<p>--- Perforabilidad vertical Diseinatuak bertikalak</p>	<p>--- Perforabilidad horizontal Diseinatuak horizontalek</p>	<p>--- Dirección y sentido de buzamiento de aldiak Arduratuak aldiak erretardatzaile mugak eta pendenteak</p>	<p>--- Sentido y sentido de buzamiento de pliegues espasmo Tortuosak erretardatzaile mugak eta pendenteak</p>	<p>--- Sin buzamiento Aldak erretardatzaile</p>	<p>--- Sin buzamiento espasmo Muga aldiak erretardatzaile</p>	<p>--- Sin buzamiento espasmo Muga aldiak erretardatzaile</p>	<p>--- Sin buzamiento espasmo Muga aldiak erretardatzaile</p>	<p>--- Dirección de esgras Esgrak erretardatzaile</p>
---------------------------------------------	--------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	---------------------------------------------	-------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

Imagen 2.6 Leyenda de símbolos convencionales.

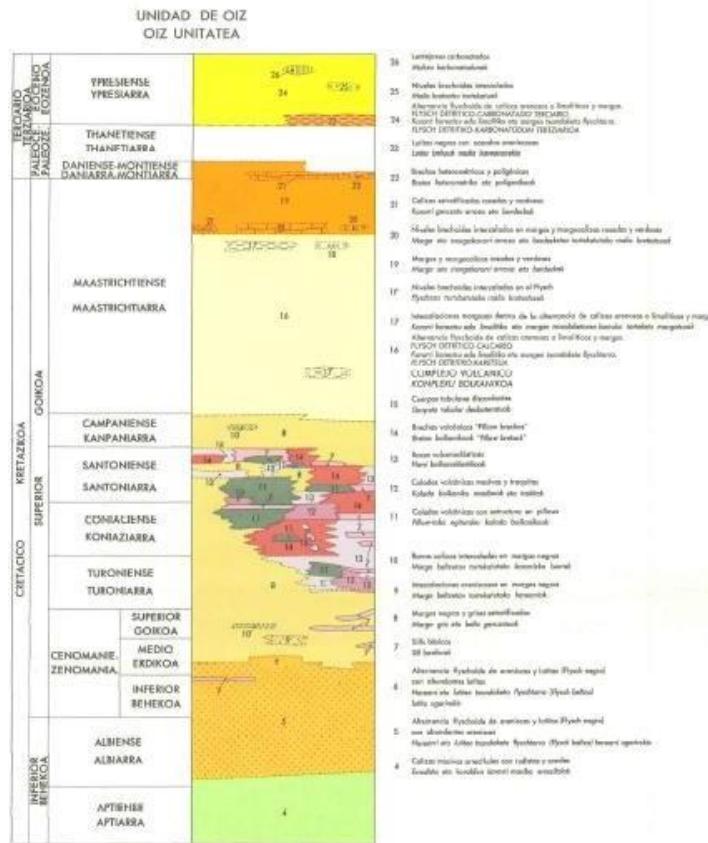


Imagen 2.7. Unidad de Oiz.

## 4. DATOS GEOLÓGICOS DE LA ZONA DE PROYECTO

Una vez situada geológicamente la zona en la que se encuentra la ubicación del proyecto, a continuación, se muestran una serie de datos, realizados por la el equipo geotécnico UTE ERMU que definen de manera exacta los materiales que componen la geología del área de estudio.

Para saber qué tipo de geología se encuentra en el lugar de estudio se hicieron un sondeo (SVE 26) y dos calicatas (CVE W-8 y CVE W-10). En las siguientes tablas se indican los datos obtenidos en dichos estudios.

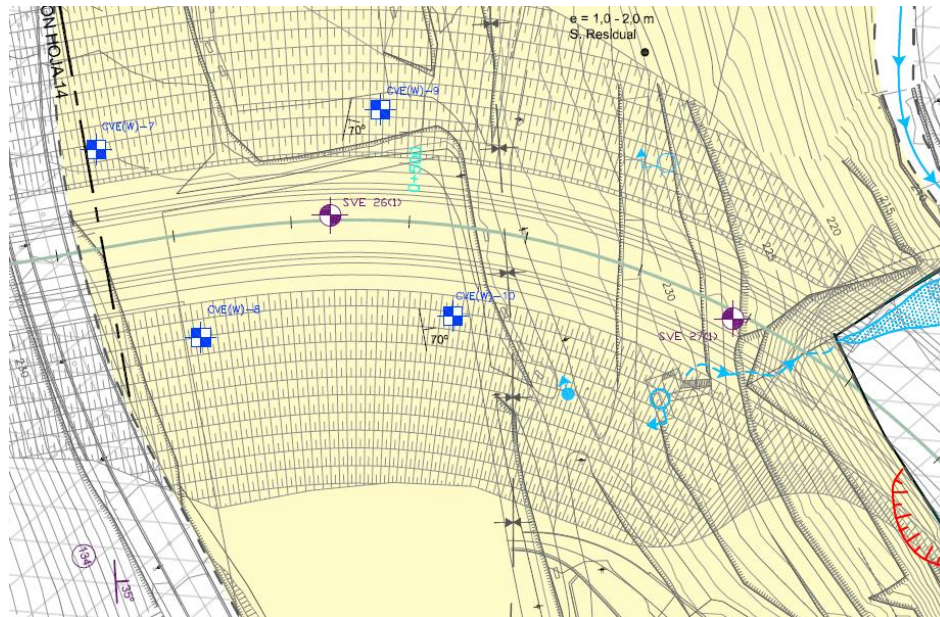


Imagen 2.8. Calicatas y sondeos realizados en la zona de proyecto

**SONDEO 1: SVE-26**

0,00-0,20 m.	Suelo vegetal
0,20-2,00 m.	Suelo aluvial
2,00-5,00 m.	Flysch Detrítico Carbonatado Terciario

Limo-arcilla. Color marrón oscuro  
 Arcilla. Color marrón oscuro.  
 Consistencia moderadamente firme  
 Alternancia flyschoides centimétrica a decimétrica de calizas arenosas, limolitas y margas  
 RQD = 50 % - 80 %

Tabla 2.1 Sondeo SVE-26.

**CALICATA 1: CVE W-8**

0,00-2,30 m.	Relleno antrópico
2,30-3,50 m.	Flysch Detrítico Carbonatado Terciario

Arcilla con algo de grava. Color marrón. Consistencia moderadamente firme.  
 Alternancia flyschoides decimétrica a centimétrica de calizas arenosas, limolitas y margas.  
 Grado de meteorización IV-V

Tabla 2.2 Calicata CVE W-8.

Tal y como se puede apreciar en los estudios geotécnicos anteriores, en esta zona el suelo con mayor abundancia es el Flysch Detrítico-Carbonatado Terciario, pero también hay Suelo Vegetal y Relleno Antrópico. A continuación, se detallarán cada tipo de suelo citado.

## CALICATA 2: CVE W-10

0,00-3,70 m.	Flysch Detrítico Carbonatado Terciario
--------------	-------------------------------------------------

Alternancia flyschoides decimétrica a centimétrica de calizas arenosas, limolitas y margas.

Grado de meteorización IV-V. RQD = 30%

Tabla 2.3 Calicata CVE W-10.

### Flysch Detrítico-Carbonatado Terciario

Caracterizar la resistencia de un sustrato rocoso en la formación Flysch es muy complicado por la diferencia de competencias de cada uno de los litotipos que componen el macizo. Sin embargo, es muy importante saber la resistencia de cada litología para que, posteriormente, se ponderen para obtener la resistencia final del macizo rocoso.

Para saber la resistencia de cada litología se han cogido las muestras de los sondeos de la zona anteriormente citados. Dichas muestras se han sometido a ensayos de tracción y de compresión, seguido de ensayos petrográficos para caracterizar los litotipos.

	CALIZAS ARENOSAS	MARGAS	ARENISCA CALCÁREA
COMPRESIÓN (MPa)	100-125	18	100-125
TRACCIÓN (MPa)	9	5,5	9

Tabla 2.4 Compresión y tracción de suelos

LITOLOGÍA	COLOR	MINERALOGÍA	TEXTURA	FRACTURA	TAMAÑO GRANO
Calizas arenosas	gris	CaCO <sub>3</sub> 40-90 Cuarzo 24-40 Mat. Orgánica 3-10 Filosilicatos 5-10	Laminada	Neta con aristas	Fino-Medio
Areniscas Calcáreas	gris	CaCO <sub>3</sub> 35-50 Cuarzo 35-40 Mat. Orgánica 8-10 Filosilicatos 5-10	Bandeada-laminada	Neta con aristas	Medio-fino
Margas	gris	CaCO <sub>3</sub> 20-30 Cuarzo 5-10 Mat. Orgánica 7-10 Filosilicatos 60-80	Masiva	Concoidea	Fino

Tabla 2.5 Características de los suelos

LITOLOGÍA	DENSIDAD MÁX. (T/m <sup>3</sup> )	DENSIDAD MÍN. (T/m <sup>3</sup> )	DENSIDAD MED. (T/m <sup>3</sup> )
Calizas arenosas	2,67	2,52	2,62
Areniscas Calcáreas	2,78	2,57	2,7
Margas	-	-	2,6

Tabla 2.6 Densidades de los suelos

## Relleno Antrópico

Los rellenos antrópicos cartografiados proceden de excavaciones cercanas, siendo su composición mayoritaria la del material rocoso de tipo flysch terciario.

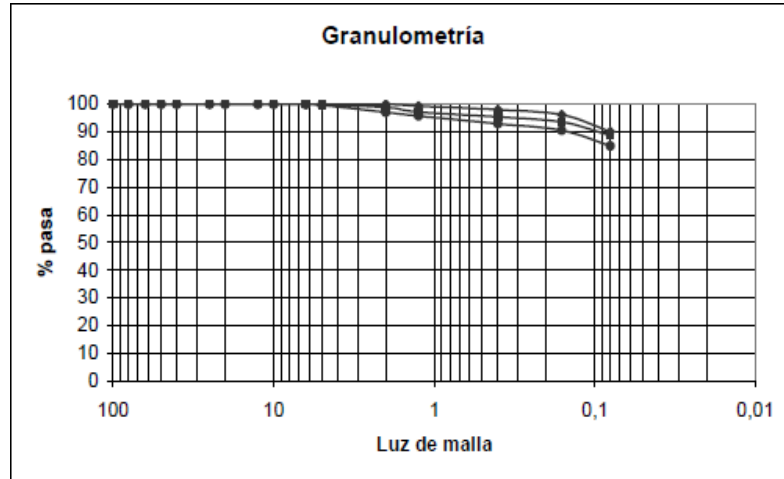
Se han descrito en los sondeos como limo-arcilla gravosa de consistencia variable, aunque también se han detectado niveles de predominio granular. El componente granular lo forman fragmentos rocosos en menor grado de meteorización, angulosos de tamaño variable entre 0,5 a 8 cm.

Presentan consistencia/compacidad muy variable, desde consistencia firme a blanda (los términos de predominio cohesivo) y compacidad floja (los términos granulares). Son de color anaranjado, al igual que los materiales meteorizado del Flysch de que proceden.

## Suelo residual

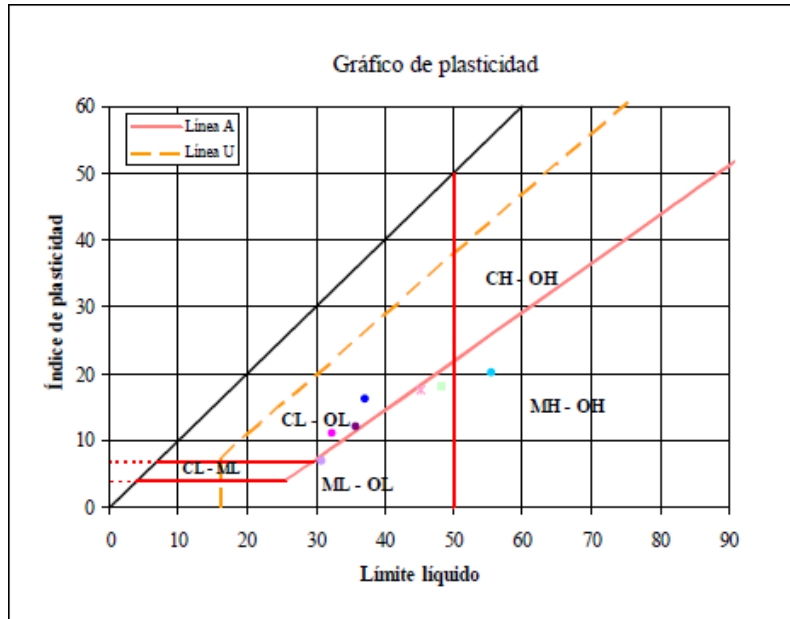
Un suelo residual es un suelo que se origina cuando los productos de la meteorización no son transportados como sedimentos, si no que se acumulan en el sitio que se van formando. Si la velocidad de descomposición de la roca supera a la de arrastre de los productos de la descomposición se produce una acumulación de suelo residual.

Para comprobar el suelo meteorizado de la formación Flysch Cretácico se han extraído y ensayado muestras de las que se han obtenido los resultados que se muestran a continuación.



Gráfica 2.1 Ensayo de granulometría del suelo residual





Gráfica 2.2 Gráfico de plasticidad del suelo residual.

Tal y como se puede apreciar en los gráficos anteriores, salvo excepción, la componente fina de las muestras presenta una plasticidad baja. Son limos o arcillas de baja plasticidad (ML-CL). Las muestras de suelo residual se componen de limo de baja plasticidad con indicios de arena (ML).

## 5. SISMICIDAD

Para el estudio de la sismicidad, se basará en la "Norma de construcción sismorresistente" (NCSE-02). Dicha norma está actualmente en vigor y su objetivo es indicar, mediante el mapa sísmico de dicha norma, los lugares en los que por su actividad sísmica deben utilizar de manera obligatoria la normativa para tener en cuenta varios criterios a la hora de llevar a cabo una construcción.

En el mapa citado, se expresa la aceleración sísmica básica  $a_b$  que es un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno y el coeficiente de contribución K que tiene en cuenta la influencia de los distintos tipos de terremotos esperados en la peligrosidad sísmica de cada punto.

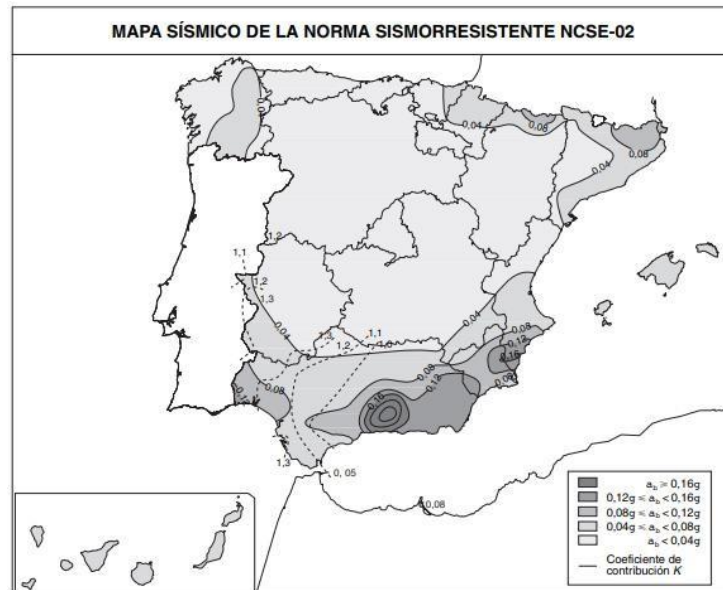


Imagen 2.9 Mapa sísmico de la Norma Sismorresistente NCSE-02

Tal y como indica el apartado 1.2.3 de la Norma “criterios de aplicación de la Norma”, no es obligatoria la aplicación de esta para edificaciones de importancia normal o especial cuando la aceleración sísmica básica “ $a_b$ ” sea inferior a 0,04 g, siendo g la aceleración de la gravedad.

Se entiende como edificación de importancia normal, aquella cuya destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos.

En cuanto al proyecto, se clasifica como una edificación de importancia normal y está en una zona, tal y como indica el mapa, en la que la aceleración sísmica básica “ $a_b$ ” es inferior a 0,04 g y por ello no es obligatoria la aplicación de esta Norma.

## 6. CIMENTACIÓN

Para el diseño de la cimentación se ha tenido en cuenta en que no hay ninguna edificación contigua a la zona del proyecto ni ninguna propiedad que este justo al lado de la explanada ni de los vestuarios.

Para la elección del tipo de cimentación se debe destacar, como se ha mencionado anteriormente, que esta explanada actualmente se utiliza como aparcamiento improvisado y durante muchos años se usó como campo de fútbol por lo que la calidad del terreno es buena. Tal y como se ve a lo largo de este anejo, en la zona del proyecto se dispone de un terreno estable y resistente por lo que se ha decidido poner una cimentación superficial, concretamente zapatas aisladas con vigas de atado. Con estas vigas se evitarán desplazamientos verticales y horizontales dándole así, una estabilidad notable a la cimentación. Sin embargo, a pesar de las buenas condiciones del terreno se ha decidido apoyar dichas cimentaciones mediante material de aportación mejorando las características actuales.



## 7. EXCAVABILIDAD

---

Previamente a tener los resultados de ensayos Schimazek, se ha realizado una estimación de la excavabilidad del sustrato rocoso, utilizando los criterios de Franklin et al. El sustrato rocoso meteorizado (GM IV-V), se puede considerar como fácilmente excavable mediante pala retroexcavadora o similar.

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y OBRAS PÚBLICAS

## TRABAJO FIN DE GRADO

***“PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN  
APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO  
MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA  
(BIZKAIA)”***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

***ANEJO 3- REPLANTEO***

**Alumno/Alumna:** García, Arroyo, David

**Director/Directora:** Larrauri, Gil, Marcos

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 21, junio, 2019

## ÍNDICE

---

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. VÉRTICES GEODÉSICOS .....	2
3. REPLANTEO .....	9

## 1. INTRODUCCIÓN

---

La finalidad de este anejo es definir los puntos significativos de la obra. Para ello se explicará el procedimiento a seguir para ello. Es importante conocer estos puntos para llevar a cabo el proyecto lo más preciso posible.

Para realizar el replanteo topográfico, es necesario una red de puntos de coordenadas (x, y, z) que sean conocidos. Estos puntos significativos se les denomina “Puntos de Referencia” y son necesarios dos de ellos en el lugar donde se vaya a realizar el proyecto para poder localizar el resto de puntos que se definen en los planos del proyecto.

## 2. VÉRTICES GEODÉSICOS

---

El replanteo del presente proyecto se llevará a cabo utilizando Vértices Geodésicos que servirán de Puntos de Referencia, ya que estos puntos indican la posición geográfica exacta. Los vértices geodésicos que se han escogido son los más cercanos al municipio de Ermua y se encuentran situados en montes próximos a dicha localidad. A continuación se mencionan los nombres de dichos vértices geodésicos y sus números de referencia:

- Oiz (6273).
- Kalamua (6313)
- Azconabitza (8819)

Estos vértices son recogidos por el Instituto Geográfico Nacional obteniendo unas fichas técnicas con información geodésica, incluyendo las coordenadas UTM. En las fichas técnicas adjuntas se detalla toda la información de cada uno de los vértices geodésicos mencionados.



**Reseña Vértice Geodésico**

1-may-2019

Número.....: **6273**  
 Nombre.....: **Oiz**  
 Municipios: Munitibar-Arbatzegi Gerrikaitz; Ziortza-Bolibar  
 Provincias: Bizkaia  
 Fecha de Construcción.....: 05 de noviembre de 1982  
 Pilar con centrado forzado...: 1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.  
 Último cuerpo.....: 1,00 m de alto, 1,50 m de ancho.  
 Total cuerpos.....: 1 de 1,00 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 2° 35' 24,1341"	- 2° 35' 28,77018"
Latitud.....:	43° 13' 43,2138"	43° 13' 39,28791"
Alt. Elipsoidal...:		1076,871 m (CF)
Compensación...:	18 de marzo de 1998	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 30 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	533292,75 m (0.04)	533187,238 m
Y.....:	4786376,88 m (0.04)	4786168,733 m
Factor escala...:	0,999613634	0,999613548
Convergencia...:	0° 16' 51"	0° 16' 48"

Altitud sobre el nivel medio del mar: 1025,967 m. (BP)

Situación:  
 Situado en la parte más alta del monte Oitz, junto a unas antenas de T.V. y Telefónica.

Acceso:  
 Desde el pueblo de Munitibar por la carretera BI-3231, hacia Ajuria, en el km. 34.8 sale a la izda. un camino asfaltado e indicado a Oiz y Mendira. Desde ese punto, a los 1.25 km, tras rebasar un paso canadiense, se toma a derecha por una pista que está hormigonada en algunos tramos. A los 3.15 km se llega a la ermita de San Cristóbal, se coge la pista de la izda., a los 3.4 se pasa rejilla canadiense y a los 5.3 km se llega al vértice en un recorrido apto para cualquier vehículo. Existe también una pista desde Garay, actualmente (08/2001) muy deteriorada.

Horizonte GPS:  
 Posible sombras de antenas.



Observaciones:  
 Denominación anterior del vértice era Oitz REGENTE  
 Vértice observado con GPS.

Estado: 20 de agosto de 2013  
 Pilar: Bueno Base: Deteriorada  
 Informe del estado del Vértice: <http://ftp.geodesia.jur.es/usuarios/inf/ORTO.pdf>

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.  
 @ anulado, @ no pertenece a bloque de compensación, @ recrecido, reparado o reconstruido.

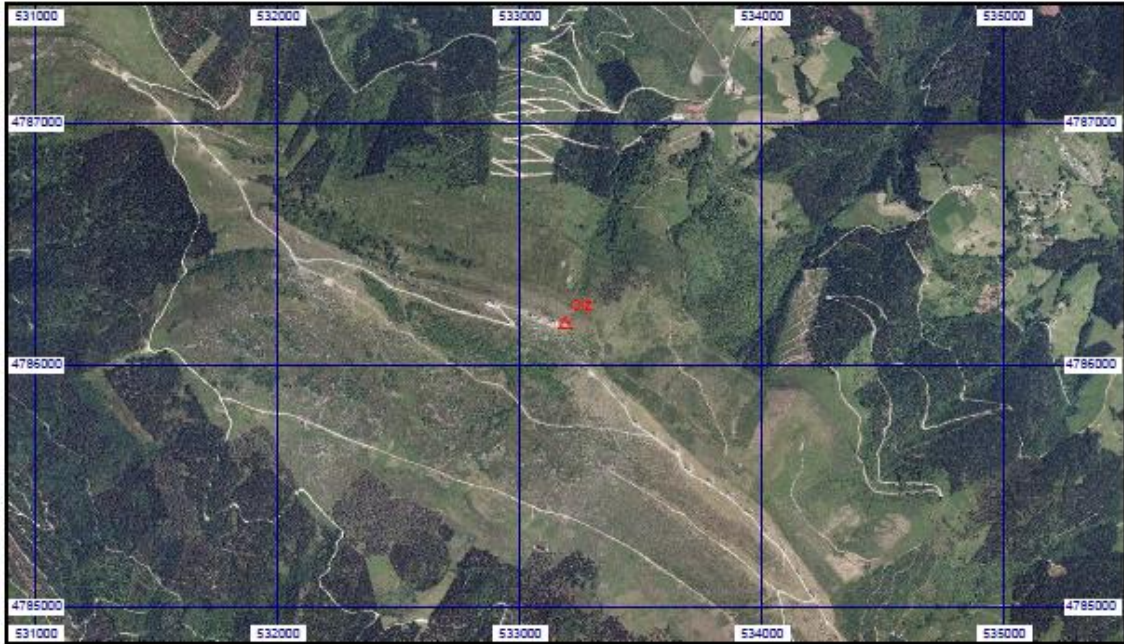
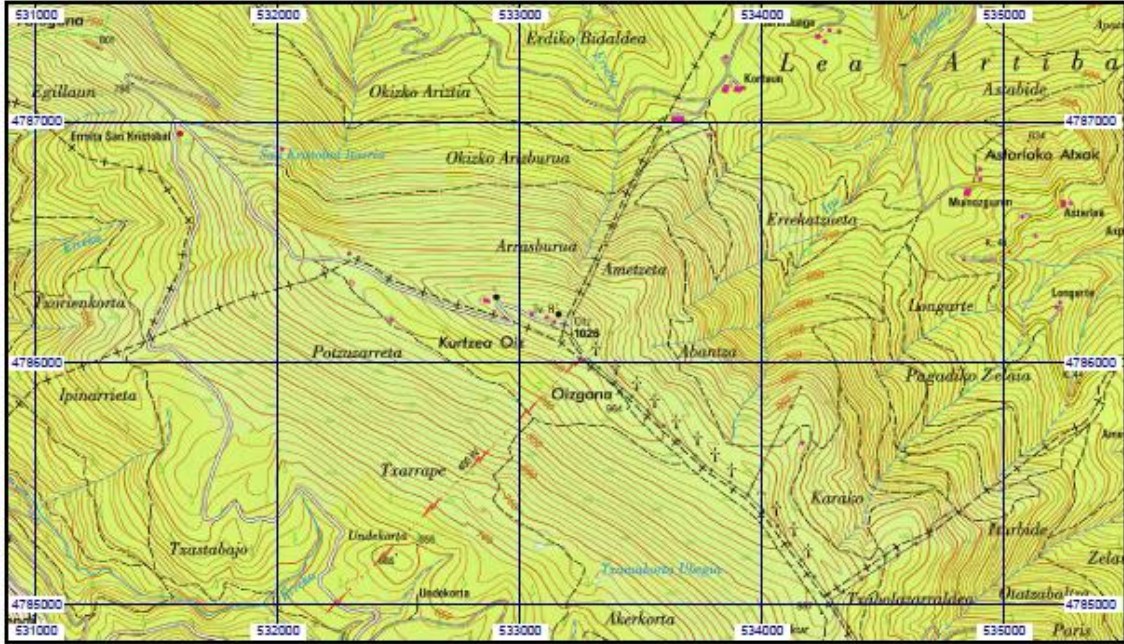


**Cartografía de situación** 1-may-2019

Escala 1:25.000

06273 Oiz

Coordenadas ETRS89. Huso 30







## Reseña Vértice Geodésico

1-jun-2019

Número.....: 6313  
 Nombre.....: Kalamua  
 Municipios: Elgoibar  
 Provincias: Gipuzkoa  
 Fecha de Construcción.....: 10 de septiembre de 1982  
 Pilar sin centrado forzado...: 1,15 m de alto, 0,40 m de diámetro.  
 Último cuerpo.....: 1,00 m de alto, 1,50 m de ancho.  
 Total cuerpos.....: 1 de 1,00 m de alto.

## Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	-2° 27' 30,4440"	-2° 27' 35,06550" ±0.097 m
Latitud.....:	43° 13' 38,2582"	43° 13' 34,33136" ±0.082 m
Alt. Elipsoidal...:		819,168 m ±0.069 (BP)
Compensación...:	18 de marzo de 1998	01 de noviembre de 2009 Elipse de error al 95% de confianza.

## Coordenadas UTM. Huso 30 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	543979,32 m ( 0.035)	543873,827 m
Y.....:	4786284,78 m ( 0.043)	4786076,440 m
Factor escala...:	0,999623791	0,999623679
Convergencia...:	0° 22' 15"	0° 22' 12"
Altitud sobre el nivel medio del mar:		789,655 m. (BP)

## Situación:

Situado en lo más alto del monte del mismo nombre.

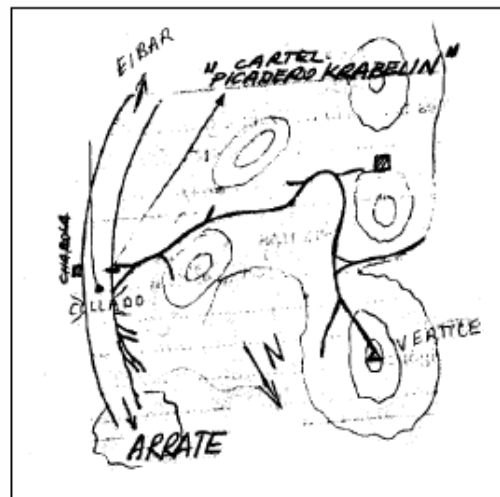
## Acceso:

Desde Eibar, por la carretera hacia Arrate, a 5,5 Km. se llega a una desviación a la izquierda, con el cartel "Picadero Krabelin" y continuando por una pista, según el croquis, se llega en vehículo T.T. hasta la señal, en un recorrido aproximado de 2,5 Km.

## Horizonte GPS:

Despejado

CF: Centrado Forzado, CP: Cabeza Pilar, BP: Base Pilar, CN: Clavo Nivelado, CS: Clavo Suelo.  
 @ anulado, © no pertenece a bloque de compensación, ® recrecido, reparado o reconstruido.



## Observaciones:

Informe del estado del Vértice: [ftp://ftp.geodesia.ign.es/utilidades/infoRG.pdf](http://ftp.geodesia.ign.es/utilidades/infoRG.pdf)

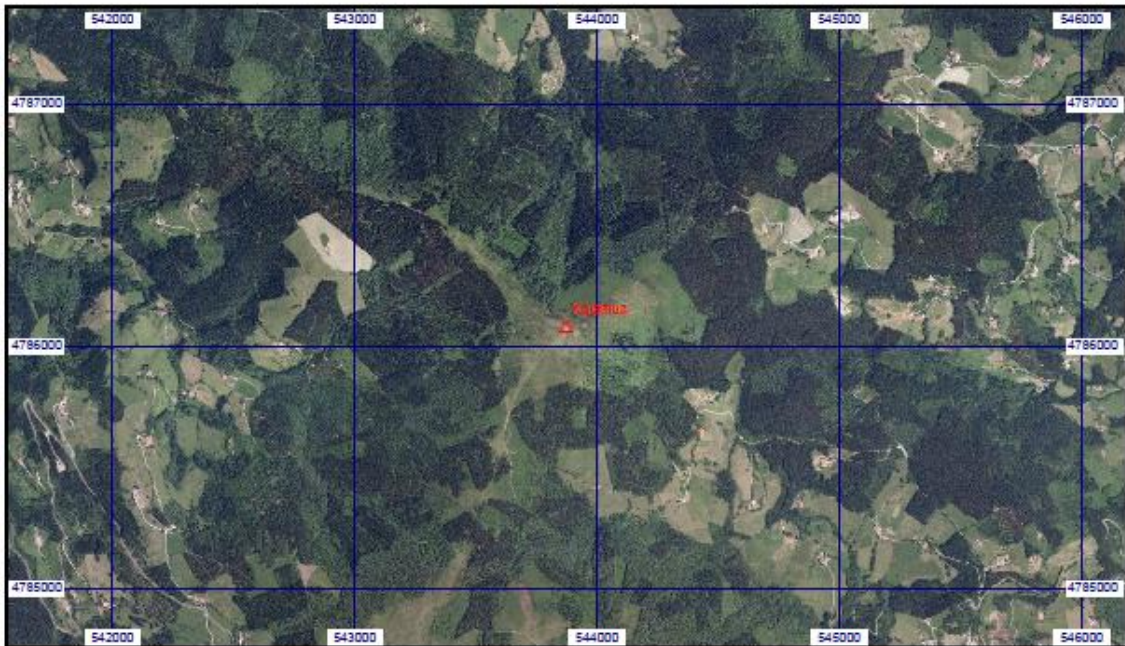
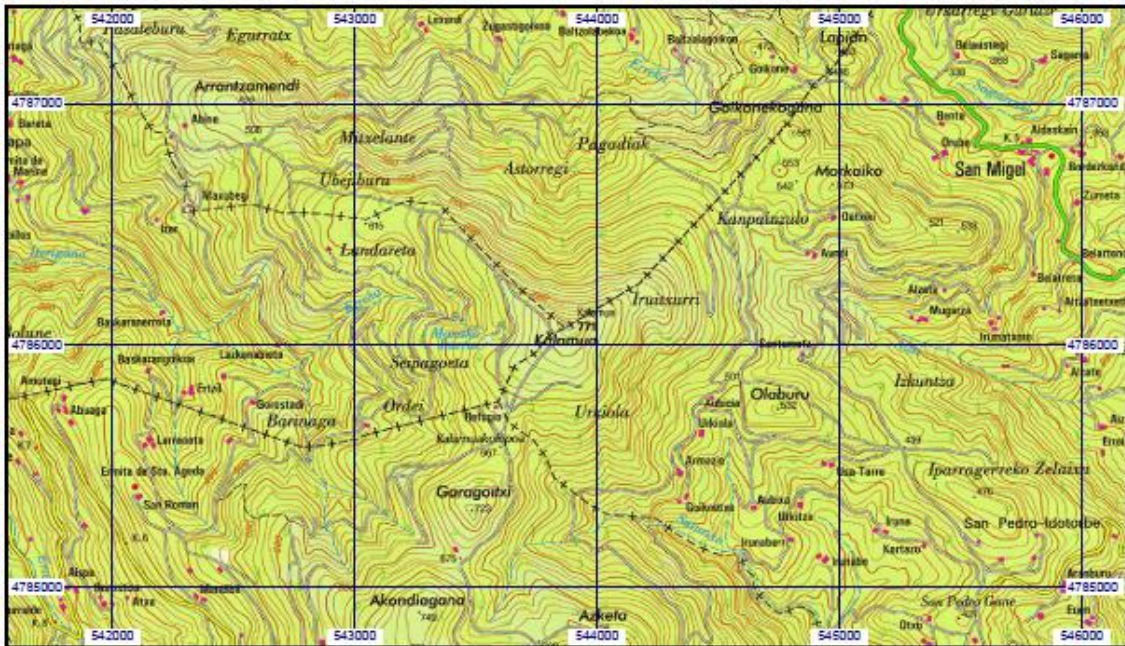


**Cartografía de situación** 1-jun-2019

Escala 1:25.000

06313 Kalamua

Coordenadas ETRS89. Huso 30





**Reseña Vértice Geodésico**

1-may-2019

Número.....: **8819**  
 Nombre.....: **Azkonabieta**  
 Municipios: **Elgeta**  
 Provincias: **Gipuzkoa**  
 Fecha de Construcción.....: **01 de octubre de 1982**  
 Pilar sin centrado forzado...: **1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.**  
 Último cuerpo.....: **1,00 m de alto, 1,50 m de ancho.**  
 Total cuerpos.....: **1 de 1,00 m de alto.**

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	-2° 28' 00,3395"	-2° 28' 04,96295" ±0.097 m
Latitud.....:	43° 09' 23,2921"	43° 09' 19,35757" ±0.094 m
Alt. Elipsoidal...:		776,830 m ±0.108 (BP)
Compensación...:	18 de marzo de 1998	01 de noviembre de 2009
		Elipse de error al 95% de confianza

Coordenadas UTM. Huso 30 :

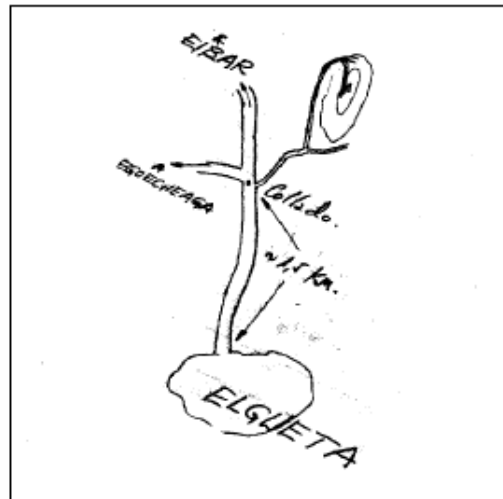
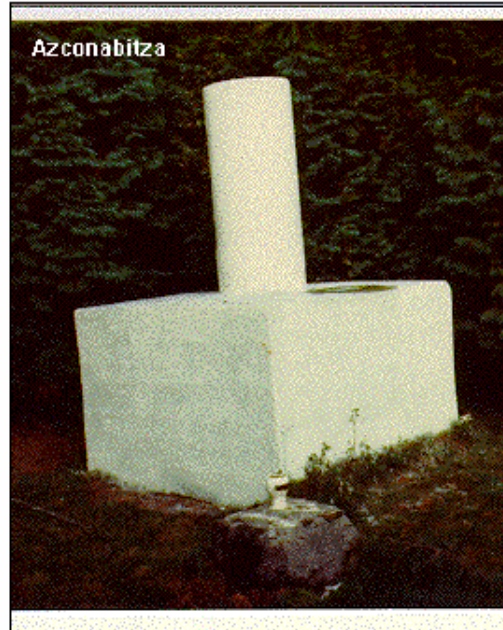
Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	543355,02 m ( 0.049)	543249,381 m
Y.....:	4778415,04 m ( 0.045)	4778206,720 m
Factor escala...:	0,999623120	0,999623010
Convergencia...:	0° 21' 53"	0° 21' 50"
Altitud sobre el nivel medio del mar:		726,951 m. (BP)

Situación:  
 Situado en lo más alto del cerro Azconabitza, al N.E. de Elgueta y rodeado de pinos grandes.

Acceso:  
 Desde el pueblo de Elgueta, por la carretera a Eibar, a 1,5 Km. hay un collado. Aquí sale una pista a la derecha, para vehículo T.T., que se toma y más adelante, la primera desviación a la izquierda y, por ésta, a unos 800 m. se deja el T.T. A partir de aquí, andando, en 5 minutos se llega a la señal.

Horizonte GPS:  
 Despejado

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.  
 @ anulado, © no pertenece a bloque de compensación, ® recrecido, reparado o reconstruido.



Observaciones:  
 Denominación anterior del vértice era Azconabitza

Informe del estado del Vértice: <http://ftp.geodesia.ign.es/utilidades/infoRG.pdf>

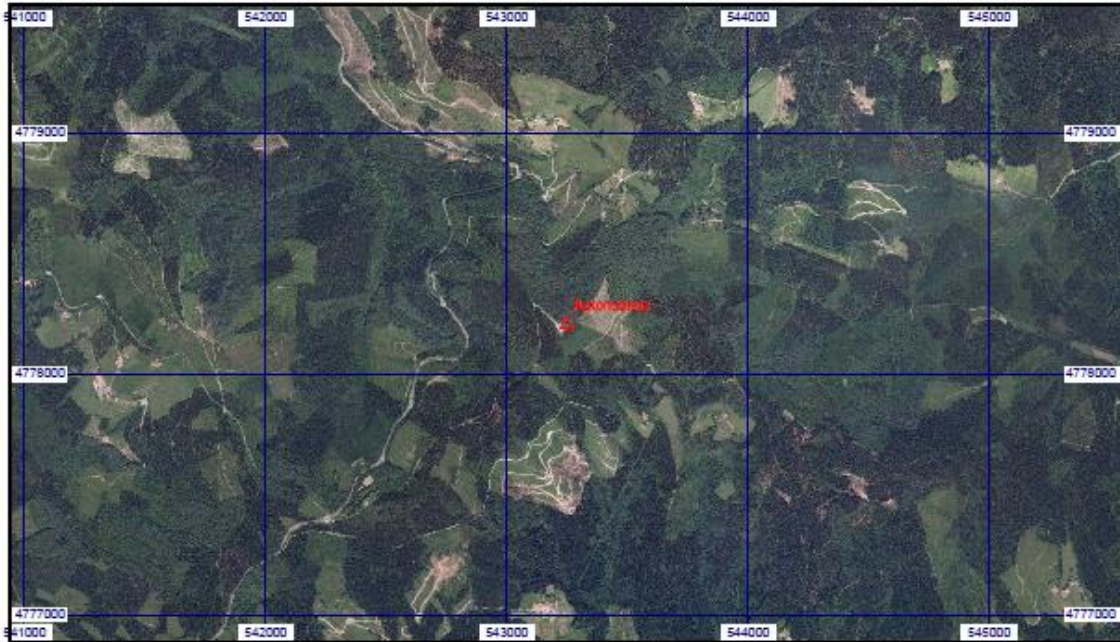
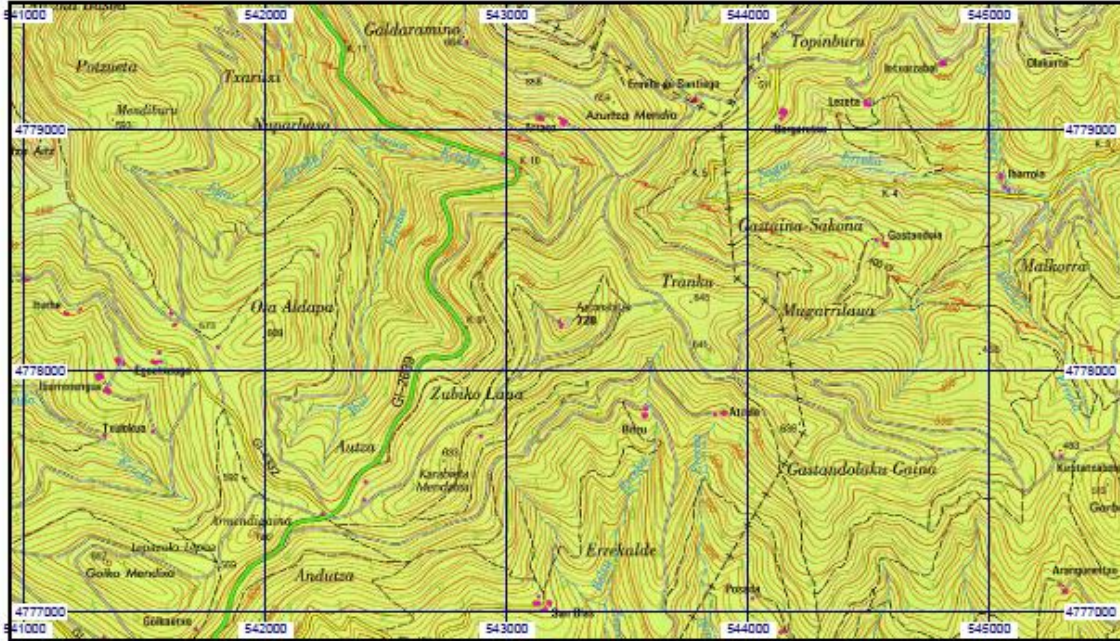


**Cartografía de situación** 1-may-2019

Escala 1:25.000

08819 Azkonabieta

Coordenadas ETRS89. Huso 30



### 3. REPLANTEO

Una vez localizados los puntos geodésicos más cercanos al lugar donde se va a llevar a cabo el proyecto, se procede a realizar el replanteo determinando las coordenadas de los puntos mas significativos de la obra. Estos puntos vienen definidos en el plano de "Replanteo General" y sus coordenadas se muestran en la siguiente tabla:

	<b>Coordenada X</b>	<b>Coordenada Y</b>
<b>1</b>	539758,433	4782069,849
<b>2</b>	539752,378	4782113,127
<b>3</b>	539784,063	4782117,56
<b>4</b>	539790,123	4782074,286
<b>5</b>	539792,104	4782074,564
<b>6</b>	539785,862	4782119,129
<b>7</b>	539813,591	4782123,012
<b>8</b>	539819,832	4782078,447
<b>9</b>	539821,347	4782102,914
<b>10</b>	539825,159	4782103,448
<b>11</b>	539826,58	4782080,322
<b>12</b>	539833,641	4782084,822
<b>13</b>	539840,575	4782085,783
<b>14</b>	539835,772	4782120,452
<b>15</b>	539828,838	4782119,491

Tabla 3.1 Coordenadas de replanteo de los puntos significativos de la obra

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y OBRAS PÚBLICAS

## TRABAJO FIN DE GRADO

***“PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN  
APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO  
MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA  
(BIZKAIA)”***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

***ANEJO 4- MOVIMIENTO DE TIERRAS***

**Alumno/Alumna:** García, Arroyo, David

**Director/Directora:** Larrauri, Gil, Marcos

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 21, junio, 2019

# ÍNDICE

---

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.	TAREAS.....	2
2.1	TRABAJOS PREVIOS .....	2
2.2	DESBROCE .....	2
2.3	EXCAVACIÓN .....	2
2.4	MEJORA DEL TERRENO MEDIANTE RELLENO.....	3
3.	REUTILIZACIÓN Y RETIRADA A VERTEDERO .....	3

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente anejo es determinar las tareas a realizar en el terreno para su acondicionamiento para poder llevar a cabo las obras en condiciones óptimas. En dichas tareas se determinarán los volúmenes de terreno que se debe extraer y los volúmenes de relleno que necesitará el lugar.

## 2. TAREAS

### 2.1 TRABAJOS PREVIOS

En esta primera tarea se lleva a cabo la retirada de cualquier obstáculo o escombros que pueda haber en el terreno. En la parte de los vestuarios antiguos se deberá llevar a cabo la demolición de los mismos.

### 2.2 DESBROCE

En el desbroce se retirará la tierra vegetal que haya por los alrededores de la explanada y los vestuarios. Esta capa vegetal tendrá un espesor medio de 20 cm. Este desbroce solo se realizará en las zonas donde haya que excavar los taludes para la implantación del campo de fútbol sala.

Esta capa se guardará para su posterior recolocación

### 2.3 EXCAVACIÓN

En este proyecto se van a utilizar las excavaciones para dos fines diferentes.

El primer objetivo es dejar excavar los taludes para la implantación de la estructura del campo de fútbol sala. Dicha excavación retirará tierra de un talud de 1,8 metros de altura. Para evitar que el terreno caiga sobre la estructura se volverá a realizar un talud tendido, ya que la cohesión de la primera capa del terreno permite ejecutar esta medida sin considerar ningún problema.

El segundo objetivo de la excavación es realizar las zanjas para la colocación de los elementos de varias instalaciones. Además, debido al terreno de la primera capa geotécnica se ha decidido excavar más profundo hasta llegar a la segunda capa que generalmente está a 2 metros de profundidad en toda la zona de proyecto.

A continuación, se muestra un resumen de los volúmenes de tierras a excavar para lograr los objetivos mencionados.

	Taludes
Volumen excavado para implantación del campo de fútbol sala (m <sup>3</sup> )	189

Tabla 4.1 Volúmenes excavados de los taludes

	Fútbol sala	Vestuarios	Rampa
Volumen excavado para cimentaciones (m <sup>3</sup> )	199,72	261,65	68,32

Tabla 4.2 Volúmenes excavados para las cimentaciones



## 2.4 MEJORA DEL TERRENO MEDIANTE RELLENO

Una vez excavado para la realización de las zanjas, se procede al relleno de la misma con un terreno compactado que mejora las características del inicial. Sobre este terreno mejorado se verterá el hormigón de limpieza sobre el que se construirán las zapatas de cimentación y las vigas de atado.

El material de relleno deberá ser granular, sin alto contenido en arcilla. Este material deberá estar contenido en el PG-3 indicando que es apto para relleno. El material para relleno deberá cumplir con unas características en cuanto a densidad y humedad máxima. Además, deberán llevarse a cabo varios ensayos (Proctor, Carga con placa, etc.). Para determinar su comportamiento frente a sollicitaciones.

Una vez seleccionado el terreno, se efectúa la puesta en obra en tongadas de 30 cm de espesor compactadas según indica el Proctor de referencia. Cada tongada será controlada en cuanto a su compactación median la medición de la humedad y densidad.

Finalmente, con el relleno ya efectuado, es recomendable realizar una comprobación de la compactación mediante el ensayo de penetración, con especial atención en las zonas donde se va a llevar a cabo la cimentación.

Cumpliendo con las recomendaciones anteriores, se asume que la tensión admisible es de 2 kg/cm<sup>1</sup> y los asientos no deberán ser mayores que 25 mm.

## 3. REUTILIZACIÓN Y RETIRADA A VERTEDERO

Parte del terreno, tal y como ya se ha indicado, se reutilizará para la construcción de un talud tendido en la zona del campo de fútbol sala para evitar desprendimientos. El resto será retirado al vertedero del Barrio de Torrebaso en Iurreta tal y como indica el Gobierno Vasco en su lista de vertederos autorizados.

En caso de que sea necesario, el terreno que sea de depósitos aluviales clasificados como tolerable o marginales (según PG-3), se podría reutilizar, mejorando sus características mediante estabilizaciones con algún conglomerante hidráulico. Esta opción podría ser de gran valor ya que es una variante muy económica al evitar el transporte de los camiones a vertedero.

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y OBRAS PÚBLICAS

## TRABAJO FIN DE GRADO

***“PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN  
APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO  
MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA  
(BIZKAIA)”***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

***ANEJO 5- ESTRUCTURAS METÁLICAS***

**Alumno/Alumna:** García, Arroyo, David

**Director/Directora:** Larrauri, Gil, Marcos

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 21, junio, 2019

## 1. INTRODUCCIÓN

---

La finalidad de este anejo es calcular las estructuras que van a formar parte del proyecto. Estas estructuras son: El campo de fútbol sala, los vestuarios y la rampa para minusválidos. Los cálculos se llevarán a cabo con el programa CYPE INGENIEROS concretamente con una de sus múltiples utilidades llamada METAL 3D.

En el mencionado cálculo se llevarán a cabo las comprobaciones de resistencia (estado límite último de rotura), de pandeo, pandeo lateral y de las flechas máximas. Además, se dimensionarán los cordones de soldadura de las uniones y la cimentación.

Para tales cálculos y comprobaciones se seguirá la normativa vigente para este tipo de estructuras:

- Instrucción EHE-08
- Documento Básico SE-AE "Acciones en la edificación".

Como se van a realizar tres tipos de estructuras, se ha decidido dividir este anejo en varias partes diferenciadas.

La primera parte estará compuesta por los datos generales de las estructuras metálicas. Cabe a destacar que se han utilizado para las tres estructuras los mismos materiales por lo que estos formarán parte de datos generales.

La segunda parte corresponderá a los datos específicos de la estructura del campo de fútbol sala, así como sus cálculos y comprobaciones. De la misma manera se estructurarán las partes tres y cuatro que corresponden a los vestuarios y a las rampas de minusválidos respectivamente.



## ***DATOS GENERALES***



## ÍNDICE

---

1.	ESTADOS LIMITE.....	4
2.	MATERIALES EMPLEADOS.....	5
2.1	ACERO ESTRUCTURAL .....	5
2.2	ACERO EN BARRAS .....	5
2.3	HORMIGÓN ESTRUCTURAL .....	6
2.4	HORMIGÓN DE LIMPIEZA.....	6

## 1. ESTADOS LIMITE

Para las distintas situaciones que se puedan dar en las estructuras del proyecto, las combinaciones de acciones se definirán según el criterio que establece el Documento Básico de Seguridad Estructural:

### Con coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

### Sin coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

Siendo,

- $G_k$  Acción permanente
- $P_k$  Acción de pretensado
- $Q_k$  Acción variable
- $g_G$  Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes
- $g_P$  Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado
- $g_{Q,1}$  Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal
- $g_{Q,i}$  Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento
- $\gamma_{p,1}$  Coeficiente de combinación de la acción variable principal
- $\gamma_{a,i}$  Coeficiente de combinación de las acciones variables de acompañamiento

Para cada una de las situaciones de proyecto y estados límites, los coeficientes a utilizar serán los que indican las tablas que se muestran a continuación:

<b>Persistente o transitoria</b>				
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )		Coeficientes de combinación ( $\psi$ )	
	Favorable	Desfavorable	Principal ( $\psi_D$ )	Acompañamiento ( $\psi_a$ )
Carga permanente (G)	0.800	1.350	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.500	0.000	0.000
Viento (Q)	0.000	1.500	1.000	0.600
Nieve (Q)	0.000	1.500	1.000	0.500

Tabla 5.1 E.L.U. de rotura. Acero laminado.

<b>Persistente o transitoria (G1)</b>				
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )		Coeficientes de combinación ( $\psi$ )	
	Favorable	Desfavorable	Principal ( $\psi_D$ )	Acompañamiento ( $\psi_a$ )
Carga permanente (G)	0.800	1.350	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.500	1.000	0.000
Viento (Q)	0.000	1.500	0.000	0.000
Nieve (Q)	0.000	1.500	0.000	0.000

Tabla 5.2 E.L.U. de rotura. Acero laminado.

Característica				
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )		Coeficientes de combinación ( $\psi$ )	
	Favorable	Desfavorable	Principal ( $\psi_D$ )	Acompañamiento ( $\psi_A$ )
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000	0.000	0.000
Viento (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000
Nieve (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000

Tabla 5.3 Desplazamientos

Característica				
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )		Coeficientes de combinación ( $\psi$ )	
	Favorable	Desfavorable	Principal ( $\psi_D$ )	Acompañamiento ( $\psi_A$ )
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000
Viento (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000
Nieve (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000

Tabla 5.4 Desplazamientos

## 2. MATERIALES EMPLEADOS

### 2.1 ACERO ESTRUCTURAL

Los perfiles laminados en calientes utilizados para la construcción de las estructuras son de acero estructural S275. Su resistencia característica es de  $f_{yk}=275 \text{ N/mm}^2$ . Para determinar la resistencia de cálculo se aplica un coeficiente de seguridad que indica el DB-SE-A del CTE:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{Y_M} = \frac{275}{1,05} = 261,9 \text{ N/mm}^2$$

Para las correas laterales como de cubierta de acero conformado en frío se ha empleado acero estructural S235 resistencia característica es de  $f_{yk}=235 \text{ N/mm}^2$  y por tanto su resistencia de cálculo será:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{Y_M} = \frac{275}{1,05} = 261,9 \text{ N/mm}^2$$

El módulo de elasticidad de este acero es  $210000 \text{ N/mm}^2$

### 2.2 ACERO EN BARRAS

Las barras de acero para el hormigón armado están compuestas por acero B500S con una resistencia característica de  $f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$ . Para obtener la resistencia de cálculo se aplica el coeficiente de seguridad que indica la instrucción EHE-08:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{Y_M} = \frac{500}{1,05} = 434,78 \text{ N/mm}^2$$

El módulo de elasticidad de este acero es 200000N/mm<sup>2</sup>

### 2.3 HORMIGÓN ESTRUCTURAL

Este material se va a utilizar para la cimentación que está compuesta por zapatas aisladas y vigas de atado. Por ello, este material debe ser resistente a los ataques químicos procedentes del terreno.

La zona en la que se encuentra la ubicación del proyecto no es un lugar en el que el terreno tiene una especial agresividad, por lo que está en un ambiente de acuerdo a lo dispuesto en el EHE-08. La exposición general de las armaduras de la cimentación frente a la corrosión se clasifica como humedad alta, es decir, Ila y la exposición específica como agresividad baja Q<sub>A</sub>.

En la siguiente tabla se muestra la resistencia característica del hormigón dependiendo de la clase de exposición:

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	CLASE DE EXPOSICIÓN												
		I	Ila	Ilb	IIla	IIlb	IIlc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
resistencia mínima (N/mm <sup>2</sup> )	masa	20	-	-	-	-	-	-	30	30	35	30	30	30
	armado	25	25	30	30	30	35	30	30	30	35	30	30	30
	pretensado	25	25	30	30	35	35	35	30	35	35	30	30	30

Tabla 5.5 Resistencia mínima recomendada en función de los requisitos de durabilidad.

De acuerdo con la tabla, la resistencia mínima exigida al hormigón está entre 25 y 30 N/mm<sup>2</sup>. Aplicándole un coeficiente de seguridad para una situación persistente o transitoria, la resistencia de cálculo del hormigón será:

Tal y como se indica en el EHE-08 la consistencia que se exige para hormigones que se destinan a la edificación es “blanda”. El tamaño del árido puede llegar hasta los 40 mm, pero para garantizar una buena trabajabilidad del hormigón, el árido será como máximo de 20 mm. Por lo tanto, el hormigón seleccionado para las estructuras es de:

### 2.4 HORMIGÓN DE LIMPIEZA

Se dispondrá de un hormigón de limpieza antes del estructural para evitar el contacto de la cimentación con el terreno. El CTE define un espesor mínimo de 10 cm para la capa de hormigón de limpieza.

El objetivo es impedir la pérdida de agua del hormigón estructural durante el vertido. También se evita la contaminación en las primeras horas de hormigonado. La norma indica una tipología única de hormigón de limpieza de HL-150/B/20.





## ***CAMPO DE FÚTBOL SALA***

## ÍNDICE CAMPO DE FÚTBOL SALA

---

1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	8
2. ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN.....	9
2.1 CARGAS PERMANENTES.....	9
2.1.1 CORREAS .....	9
2.1.2 PANEL SANDWICH.....	10
2.2 SOBRECARGA DE USO .....	10
2.3 SOBRECARGA DE NIEVE .....	10
2.4 SOBRECARGA DE VIENTO .....	11
2.4.1 PRESIÓN DINÁMICA .....	12
2.4.2 COEFICIENTE DE EXPOSICIÓN .....	12
2.4.3 COEFICIENTE EÓLICO .....	13
2.4.4 HIPOSTESIS CARGA DE VIENTO .....	19
2.4.5 COMPROBACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS .....	23
3. BARRAS .....	24
3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS BARRAS.....	24
3.2 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.....	24
3.3 RESUMEN MEDICIÓN .....	24
3.4 COMPROBACIÓN DE LAS BARRAS A ELU .....	24
4. UNIONES .....	224
4.1 UNIONES SOLDADAS.....	224
4.1.1 DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS .....	224
4.1.2 COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA SOLDADURA.....	224
4.2 COMPROBACIÓN PLACA DE ANCLAJE .....	225
4.3 COMPROBACIÓN MANUAL DE UNIONES SOLDADAS .....	225
4.4 MEMORIA DE CÁLCULO .....	232
5. CIMENTACIONES .....	265
5.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN .....	265
5.1.1 ZAPATAS AISLADAS .....	265
5.1.2 VIGAS DE ATADO.....	266

## 1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

## 2. ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN

---

### 2.1 CARGAS PERMANENTES

#### 2.1.1 CORREAS

#### 2.1.2 PANEL SANDWICH

### 2.2 SOBRECARGA DE USO

### 2.3 SOBRECARGA DE NIEVE

### 2.4 SOBRECARGA DE VIENTO

#### 2.4.1 PRESIÓN DINÁMICA

#### 2.4.2 COEFICIENTE DE EXPOSICIÓN

#### 2.4.3 COEFICIENTE EÓLICO

#### 2.4.4 HIPOSTESIS CARGA DE VIENTO

#### 2.4.5 COMPROBACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

## 3. BARRAS

---

### 3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS BARRAS

### 3.2 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

### 3.3 RESUMEN MEDICIÓN

### 3.4 COMPROBACIÓN DE LAS BARRAS A ELU

## 4. UNIONES

---

### 4.1 UNIONES SOLDADAS

#### 4.1.1 DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS

#### 4.1.2 COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA SOLDADURA

### 4.2 COMPROBACIÓN PLACA DE ANCLAJE

### 4.3 COMPROBACIÓN MANUAL DE UNIONES SOLDADAS

### 4.4 MEMORIA DE CÁLCULO

## 5. CIMENTACIONES

---

### 5.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN



### 5.1.1 ZAPATAS AISLADAS

### 5.1.2 VIGAS DE ATADO

## 1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La estructura estará compuesta por 10 pórticos metálicos simétricos a dos aguas. La distancia entre pórticos será de 5 metros y la luz entre los pilares será de 28 metros. En los pórticos hastiales se colocarán 3 pilares centrales. Toda la estructura estará compuesta por perfiles de acero laminado en caliente de distintos tipos y formas. Además, se dispondrán unos tirantes formando Cruces de San Andrés para arriostrar los pórticos hastiales y los situados en el centro de la estructura tal y como se puede ver en la siguiente imagen.

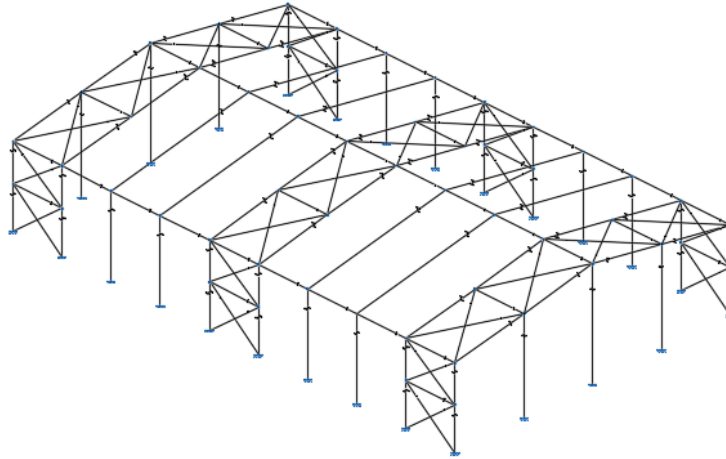


Imagen 5.1.1 Estructura en 3D de la estructura

Las uniones de entre los perfiles serán soldadas.

La cubierta de esta estructura estará formada por un panel de tipo sándwich y unas correas de acero conformado en frío de tipo Z. La separación entre correas será de 1,2 m

El cerramiento lateral estará compuesto por un muro de bloques de hormigón de 3,5 m de altura y por una chapa de metacrilato sujetado por correas conformadas en frío de perfil Z por encima del muro. En uno de los laterales de la estructura habrá dos puertas de acceso de 2,20 m x 2m.

A continuación, se resumen as dimensiones principales de la estructura:

Longitud de la estructura	30 m
Luz entre pilares de pórtico	20 m
Distancia entre porticos	5 m
Altura de la cumbrera	10 m
Pendiente de la cubierta	10,12%
Superficie interior de la estructura	1260 m <sup>2</sup>

Tabla 5.1.5 Dimensiones principales de la estructura

PP	Peso propio
CM 1	CM 1
Q	Sobrecarga de uso
V(0°) H1	Viento a 0°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior

V(0°) H2	Viento a 0°, presión exterior tipo 1 Succión interior
V(0°) H3	Viento a 0°, presión exterior tipo 2 sin acción en el interior
V(0°) H4	Viento a 0°, presión exterior tipo 2 Succión interior
V(90°) H1	Viento a 90°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior
V(90°) H2	Viento a 90°, presión exterior tipo 1 Succión interior
V(180°) H1	Viento a 180°, presión exterior tipo 1 Presión interior
V(180°) H2	Viento a 180°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior
V(180°) H3	Viento a 180°, presión exterior tipo 2 Presión interior
V(180°) H4	Viento a 180°, presión exterior tipo 2 sin acción en el interior
V(270°) H1	Viento a 270°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior
V(270°) H2	Viento a 270°, presión exterior tipo 1 Succión interior
N(EI)	Nieve (estado inicial)
N(R) 1	Nieve (redistribución) 1
N(R) 2	Nieve (redistribución) 2

Tabla 5.1.6. Nombre de la hipótesis

## 2. ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN

Las cargas a tener en cuenta en el dimensionamiento de las estructuras, tal y como indica el documento básico mencionado anteriormente son:

- Cargas permanentes por el peso propio de los elementos que conforman la propia estructura.
- Cargas variables en función de la sobre carga de uso.
- Carga propiciada por la acción del viento.
- Carga debido a la nieve.

Cabe a destacar que las acciones sísmicas no se han tenido en cuenta debido a que, tal y como indica el “Anejo geotécnico” la zona en la que se encuentra el proyecto tiene un riesgo sísmico bajo y las estructuras son edificios de importancia moderada.

A continuación, se definirán numéricamente cada una de las cargas.

### 2.1 CARGAS PERMANENTES

Las cargas permanentes las componen los pesos propios de los elementos estructurales de la estructura. En este caso los elementos son los perfiles estructurales, las correas y el panel sándwich apoyado sobre dichas correas.

Elemento	Peso propio
Perfiles estructurales	Depende de cada elemento estructural
Correas conformadas tipo Z (cubierta)	0,0636 KN/m <sup>2</sup>
Panel sándwich	0,1 KN/m <sup>2</sup>

Tabla 5.1.7 Características de las cargas permanentes

#### 2.1.1 CORREAS

Las correas elegidas para este proyecto son unas correas conformadas tipo ZF – 180 x 30 con una separación de 1,15m. Por ello, la zona de influencia de cada correa será de 1,15 metros. El peso de dichas correas es de 6,356 kg/ml. Por lo tanto, la carga por m<sup>2</sup> de estas correas son:

$$G_{k,correa} = 7,3094 \text{ kg/ml} / 1,15 \text{ m} = 6,356 \text{ Kg/m}^2 = 0,0636 \text{ KN/m}^2$$

### 2.1.2 PANEL SANDWICH

El cerramiento lateral de la edificación está compuesto por un muro de bloques de hormigón apoyados en el suelo de 3,5 metros de altura y por una chapa de metacrilato por encima de dicho muro y sujetado por unas correas. Para el presente proyecto se ha tomado la decisión de no tener en cuenta este tipo de cerramiento.

El cerramiento de la cubierta está conformado por un panel sándwich apoyado sobre las correas mencionadas en el punto anterior. Dicho panel sándwich, incluyendo todos los sistemas de sujeción y fijación, tiene un peso aproximado de 10 Kg/m<sup>2</sup>

$$G_{k,panel} = 10 \text{ Kg/m}^2 = 0,1 \text{ KN/m}^2$$

### 2.2 SOBRECARGA DE USO

La sobrecarga de uso es el conjunto de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por motivo de su uso. Dependiendo del uso que se le va a dar a la edificación en cuestión, el Código Técnico en su documento básico SE AE "Acciones en la edificación" proporciona un valor de carga uniforme o concentrada que se muestran en la siguiente tabla:

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m <sup>2</sup> ]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 <sup>(1)</sup>
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente <sup>(4)</sup>			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación <sup>(3)</sup>	G1 <sup>(7)</sup>	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 <sup>(4),(6)</sup>	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) <sup>(5)</sup>	0,4 <sup>(4)</sup>	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Tabla 5.1.8 Valores característicos de las sobrecargas de uso

En este caso, la categoría de uso que va a corresponder a esta estructura es la G1, es decir, una cubierta accesible únicamente para conservación, concretamente, una cubierta ligera sobre correas (sin forjado). Por ello, la sobrecarga de uso es de 0,4 KN/m<sup>2</sup>

### 2.3 SOBRECARGA DE NIEVE

La distribución y la intensidad de la carga de nieve sobre un edificio, o en particular sobre una cubierta, depende de múltiples factores como pueden ser el clima del lugar, el tipo de precipitación, el relieve del entorno, etc.

En este apartado, los modelos de carga sólo cubren los casos del depósito natural de la nieve. En caso de que hubiera cubiertas accesibles para personas o vehículos, deben considerarse las posibles acumulaciones debidas a distribuciones artificiales de la nieve.

En este caso, al ser accesible únicamente para mantenimiento, la cubierta se adecua al modelo de carga del Documento Básico sin tener que hacer ningún tipo de consideración respecto a las distribuciones artificiales de la nieve.

Para el cálculo de la sobrecarga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal ( $q_n$ ) se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

Siendo:

$\mu$ : Coeficiente de forma de la cubierta.

$s_k$ : Valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal.

En faldones en los que no hay impedimento para el deslizamiento de la nieve y su inclinación es igual o menos a 30 grados, se toma como **coeficiente de forma de la cubierta  $\mu = 1$**

Para determinar el valor del valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal  $s_k$  el DB SE AE "Acciones en la edificación" proporciona una tabla con dicho valor dependiendo de la provincia y de la comunidad autónoma en la que se ubique la edificación.

Capital	Altitud m	$s_k$ kN/m <sup>2</sup>	Capital	Altitud m	$s_k$ kN/m <sup>2</sup>	Capital	Altitud m	$s_k$ kN/m <sup>2</sup>
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	1.130	0,2	Huesca	470	0,2	SanSebas- tián/Donostia	0	0,3
Ávila	180	1,0	Jaén	570	0,7	Santander	0	0,3
Badajoz	0	0,2	León	820	0,4	Segovia	1.000	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	150	1,2	Sevilla	10	0,2
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Logroño	380	0,5	Soria	1.090	0,2
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,6	Tarragona	0	0,9
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,7	Tenerife	0	0,4
Cádiz	0	0,4	Málaga	0	0,6	Teruel	950	0,2
Castellón	0	0,2	Murcia	0	0,2	Toledo	550	0,9
Ciudad Real	640	0,2	Orense / Ourense	130	0,5	Valencia/València	0	0,5
Córdoba	100	0,6	Oviedo	230	0,4	Valladolid	690	0,2
Coruña / A Coruña	0	0,2	Palencia	740	0,5	Vitoria / Gasteiz	520	0,4
Cuenca	0	0,3	Palma de Mallorca	0	0,4	Zamora	650	0,7
Gerona / Girona	1.010	1,0	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	210	0,4
Granada	70	0,4	Pamplona/Iruña	450	0,2	Ceuta y Melilla	0	0,5
	690	0,5			0,7			0,2

Tabla 5.1.9. Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas

Como el proyecto se va a llevar a cabo en Ermua (Bizkaia), en la tabla le corresponde el valor que se le adjudica a Bilbao, es decir **0,3 KN/m<sup>2</sup>**.

Una vez determinados todos los datos, la sobrecarga de nieve queda de la siguiente manera:

$$q_n = \mu \cdot s_k = 1 \cdot 0,3 = 0,3 \text{ KN/m}^2$$

## 2.4 SOBRECARGA DE VIENTO

La distribución y el valor de las presiones que ejerce el viento sobre un edificio y las fuerzas resultantes dependen de la forma y de las dimensiones de la construcción, de las características y de la permeabilidad de su superficie, así como de la dirección, de la intensidad del viento.

La acción de viento es una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto. También es conocida como presión estática ( $q_e$ ) y se puede expresar como:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$



Siendo:

$q_b$ : Presión dinámica del viento.

$c_e$ : Coeficiente de exposición.

$c_p$ : Coeficiente eólico o de presión.

En el cálculo de la sobrecarga de viento se calculan varias hipótesis de carga en función de la dirección del viento y de la posición desde la que viene. En los siguientes apartados se determinan todos los factores necesarios para calcular la sobrecarga de viento y todas sus hipótesis.

#### 2.4.1 PRESIÓN DINÁMICA

El valor de la presión dinámica del viento depende de cada localidad. Tal y como se ve en el mapa siguiente existen las zonas A, B y C en las que la presión dinámica es, respectivamente de 0,42 kN/m<sup>2</sup>, 0,45 kN/m<sup>2</sup> y 0,52 kN/m<sup>2</sup>.



Imagen 5.1.2 Zonas de España para determinación de presión dinámica

Como en el presente proyecto se ubica en Ermua, municipio de Bizkaia, está en la zona C y por ello la presión dinámica tiene un valor de 0,52 kN/m<sup>2</sup>

$$q_e = 0,52 \text{ KN/m}^2$$

#### 2.4.2 COEFICIENTE DE EXPOSICIÓN

El coeficiente de exposición tiene en cuenta los efectos de las turbulencias originadas por el relieve y la topografía del terreno. Su valor se puede tomar de la tabla 5.10, siendo la altura del punto considerado.

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Tabla 5.1.10 Coeficientes de exposición

El grado de aspereza del entorno de la zona donde se va a ejecutar la obra es el IV ya que el lugar se podría considerar como una zona urbana en general, industrial o forestal.

Los puntos considerados para determinar su altura serán la cubierta, los paramentos verticales y los huecos. En caso de que la altura de dichos puntos no sea ninguna de las alturas que indica la tabla 5.10 y esté entre dos de las alturas, se deberá de interpolar para obtener el coeficiente de exposición exacto para ese punto.

De esta manera los coeficientes de exposición de los puntos anteriormente mencionados son los que se muestran a continuación:

Elemento considerado	Altura del punto (m)	Coeficiente de exposición ( $c_e$ )
Cubierta	8,75	1,675
Paramentos verticales	3,75	1,325
Huecos	1,1	1,3

Tabla 5.1.11 Coeficientes de exposición

En el caso de la altura de los huecos, se ha cogido el valor de 3 metros ya que es una altura inferior al valor mínimo de la tabla.

### 2.4.3 COEFICIENTE EÓLICO

- Coeficiente eólico interno

Si el edificio presenta grandes huecos (como es el caso del presente proyecto) la acción de viento genera, además de presiones en el exterior, presiones en el interior, que se suman a las anteriores.

Dichas presiones interiores pueden generar presión por la parte interior de la edificación o succión. En cual caso, se deben estudiar las dos situaciones. Para asegurar el cálculo se tendrán en cuenta las situaciones más desfavorables, es decir, la presión máxima y la succión máxima.



Imagen 5.2 Presión ejercida por el viento en una construcción diáfana

Para la selección del coeficiente eólico interno, el primer paso es determinar la esbeltez (h/d) del edificio en su plano transversal y en su plano longitudinal.

- o Plano transversal

$$h/d = 10/28 = 0,36 < 1$$

- o Plano longitudinal

$$h/d = 10/45 = 0,22 < 1$$

En ambos planos la esbeltez es inferior a 1 por lo que los valores de presión y succión máxima son los que muestra la tabla 5.12

Esbeltez en el plano paralelo al viento	Área de huecos en zonas de succión respecto al área total de huecos del edificio											
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
≤1	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	0,0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5	
≥4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	

Tabla 5.1.11 Coeficientes de presión interior

La presión máxima se da cuando los huecos que hay en barlovento están totalmente cerrados y el viento hace una fuerza de presión en la edificación. Por ello, la presión máxima se da cuando el área de huecos en zonas de succión respecto al área total del edificio es 0.

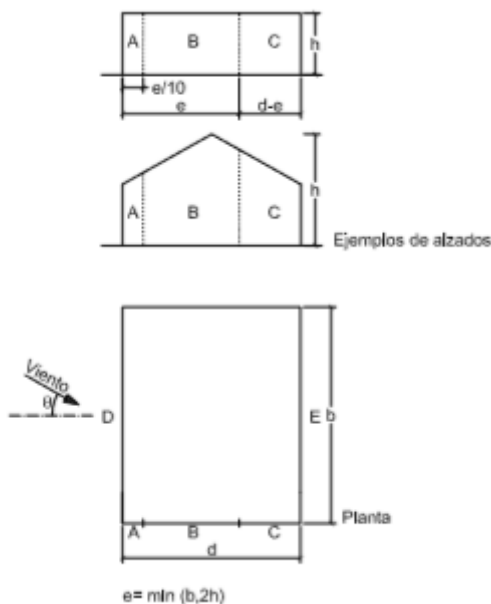
De manera contraria a la presión máxima, la succión máxima se da cuando los huecos que hay en barlovento están completamente abierto lo que hace que el viento ejerza una fuerza de succión en el interior de la edificación. Por lo tanto, la succión máxima se da cuando el área de huecos en zonas de succión respecto al área total del edificio es la unidad.

- Coeficiente de exposición externo.

Los coeficientes de presión exterior o eólico,  $c_p$ , dependen de la dirección relativa del viento, de la forma del edificio, de la posición de elemento considerado y de su área de influencia. Para su cálculo, se van a estudiar cada elemento considerado por separado.

**PARAMENTOS VERTICALES**

**Viento transversal**



A (m <sup>2</sup> )	h/d	Zona (según figura), -45° < θ < 45°				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,7	-0,3
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	"	-0,3

➤ **Parámetros iniciales**

$$e = \min (45, 2 \times 10) = 20$$

$$h/d = 10/28 = 0,357$$

➤ **Áreas**

$$A = e/10 \cdot h = 20/10 \cdot 10 = 20 \text{ m}^2$$

$$B = e \cdot h = 20 \cdot 10 = 200 \text{ m}^2$$

$$C = (d - e) \cdot h = (28 - 20) \cdot 10 = 80 \text{ m}^2$$

$$D = E = b \cdot h = 45 \cdot 10 = 450 \text{ m}^2$$

Una vez calculados los parámetros iniciales y las áreas de influencias se obtiene, mediante la tabla, los coeficientes de cada una de las zonas. Cabe a destacar que en los coeficientes de las áreas D y E se debe interpolar.

A	B	C	D	E
-1,2	-0,8	-0,5	0,714	-0,329

Se ponderan los coeficientes A, B y C de las fachadas delantera y trasera quedando un único coeficiente para dichas fachadas.

$$C_{pe,ABC} = \frac{-1,2 \cdot 20 - 0,8 \cdot 200 - 0,5 \cdot 80}{20 + 200 + 80} = -0,747$$

$$\text{Fachada delantera} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot (-0,747) = \mathbf{-0,515 \text{ KN/m}^2}$$

$$\text{Fachada trasera} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot (-0,747) = \mathbf{-0,515 \text{ KN/m}^2}$$

$$\text{Fachada izquierda} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot 0,714 = \mathbf{0,492 \text{ KN/m}^2}$$

$$\text{Fachada derecha} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot (-0,329) = \mathbf{-0,227 \text{ KN/m}^2}$$

**Viento longitudinal**

➤ **Parámetros iniciales**

$$e = \min (28, 2 \times 7,5) = 15$$

$$h/d = 7,5/45 = 0,17$$

➤ **Áreas**

$$A = e/10 \cdot h = 15/10 \cdot 7,5 = 11,25 \text{ m}^2$$

$$B = e \cdot h = 15 \cdot 7,5 = 112,5 \text{ m}^2$$

$$C = (d - e) \cdot h = (45 - 15) \cdot 7,5 = 225 \text{ m}^2$$

$$D = E = b \cdot h = 28 \cdot 7,5 = 210 \text{ m}^2$$

Una vez calculados los parámetros iniciales y las áreas de influencias se obtiene, mediante la tabla, los coeficientes de cada una de las zonas.

A	B	C	D	E

-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3
------	------	------	-----	------

Nuevamente, se ponderan los coeficientes A, B y C de las fachadas delantera y trasera quedando un único coeficiente para dichas fachadas.

$$C_{pe,ABC} = \frac{-1,2 \cdot 11,25 - 0,8 \cdot 112,5 - 0,5 \cdot 225}{11,25 + 112,5 + 225} = -0,619$$

Fachada delantera →  $q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot (-0,619) = -0,426 \text{ KN/m}^2$

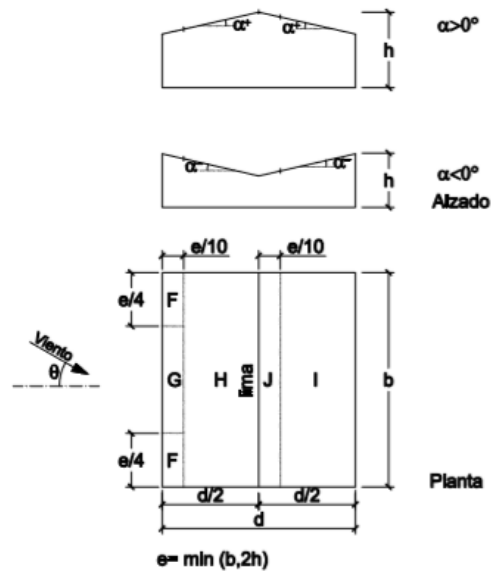
Fachada trasera →  $q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot (-0,619) = -0,426 \text{ KN/m}^2$

Fachada izquierda →  $q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot 0,7 = 0,482 \text{ KN/m}^2$

Fachada derecha →  $q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot (-0,3) = -0,207 \text{ KN/m}^2$

### CUBIERTA

#### Viento transversal



Pendiente de la cubierta $\alpha$	A (m <sup>2</sup> )	Zona (según figura)				
		F	G	H	I	J
-45°	≥ 10	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1
	≤ 1	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1,5
-30°	≥ 10	-1,1	-0,8	-0,8	-0,6	-0,8
	≤ 1	-2	-1,5	-0,8	-0,6	-1,4
-15°	≥ 10	-2,5	-1,3	-0,9	-0,5	-0,7
	≤ 1	-2,8	-2	-1,2	-0,5	-1,2
-5°	≥ 10	-2,3	-1,2	-0,8	0,2	0,2
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	0,2	0,2
5°	≥ 10	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	0,2
	≤ 1	+0,0	+0,0	+0,0	-0,6	-0,6
15°	≥ 10	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
	≤ 1	0,2	0,2	0,2	+0,0	+0,0
30°	≥ 10	-0,2	-0,2	-0,2	-0,4	-0,5
	≤ 1	0,7	0,7	0,4	0	0
45°	≥ 10	-1,5	-1,5	-0,2	-0,4	-0,5
	≤ 1	0,7	0,7	0,4	0	0
60°	≥ 10	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,6	+0,0	+0,0
75°	≥ 10	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,6	+0,0	+0,0

➤ Parámetros iniciales

$$e = \min(45, 2 \times 10) = 20$$

Inclinación cubierta = 10°

➤ Áreas

$$F = 2 \left( \frac{e}{10} \cdot \frac{e}{4} \right) = 2 \left( \frac{20}{10} \cdot \frac{20}{4} \right) = 20 \text{ m}^2$$

$$G = (b - 2 \cdot \frac{e}{4}) \cdot \frac{e}{10} = (45 - 2 \cdot \frac{20}{4}) \cdot \frac{20}{10} = 70 \text{ m}^2$$

$$H = (d/2 - e/10) \cdot b = (28/2 - 20/10) \cdot 45 = 540 \text{ m}^2$$

$$I = (d/2 - e/10) \cdot b = (28/2 - 20/10) \cdot 45 = 540 \text{ m}^2$$

$$J = e/10 \cdot b = 2 \cdot 45 = 90 \text{ m}^2$$

Una vez calculados los parámetros iniciales y las áreas de influencias se obtiene, mediante la tabla, los coeficientes de cada una de las zonas. Cabe a destacar que en este caso se debe interpolar entre los coeficientes correspondientes a la parte de 5° y los correspondientes a la parte de 15° ya que la inclinación de la cubierta está entre esos dos valores.

	F	G	H	I	J
Hipótesis 1	-1,3	-1	-0,45	-0,5	-0,4
Hipótesis 2	0,1	0,1	0,1	-0,3	-0,3

Hipótesis 1

$$C_{pe,FGH} = \frac{-1,3 \cdot 20 - 1 \cdot 70 - 0,45 \cdot 540}{20 + 70 + 540} = -0,538$$

$$C_{pe,IJ} = \frac{-0,5 \cdot 540 - 0,4 \cdot 90}{540 + 90} = -0,486$$

Hipótesis 2

$$C_{pe,FGH} = \frac{0,1 \cdot 20 + 0,1 \cdot 70 + 0,1 \cdot 540}{20 + 70 + 540} = 0,1$$

$$C_{pe,IJ} = \frac{-0,3 \cdot 540 - 0,3 \cdot 90}{540 + 90} = -0,3$$

Hipótesis 1

Cubierta izquierda →  $q_e = 0,52 \cdot 1,675 \cdot (-0,538) = -0,469 \text{ KN/m}^2$

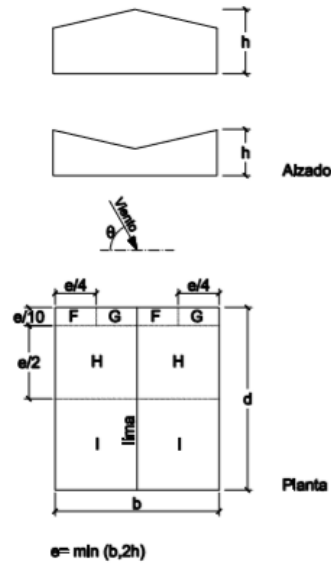
Cubierta derecha →  $q_e = 0,52 \cdot 1,675 \cdot (-0,486) = -0,423 \text{ KN/m}^2$

Hipótesis 2

Cubierta izquierda →  $q_e = 0,52 \cdot 1,675 \cdot 0,1 = 0,087 \text{ KN/m}^2$

Cubierta derecha →  $q_e = 0,52 \cdot 1,675 \cdot (-0,3) = -0,261 \text{ KN/m}^2$

**Viento longitudinal**



Pendiente de la cubierta $\alpha$	A (m <sup>2</sup> )	Zona (según figura), $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$			
		F	G	H	I
-45°	$\geq 10$	-1,4	-1,2	-1,0	-0,9
	$\leq 1$	-2,0	-2,0	-1,3	-1,2
-30°	$\geq 10$	-1,5	-1,2	-1,0	-0,9
	$\leq 1$	-2,1	-2,0	-1,3	-1,2
-15°	$\geq 10$	-1,9	-1,2	-0,8	-0,8
	$\leq 1$	-2,5	-2,0	-1,2	-1,2
-5°	$\geq 10$	-1,8	-1,2	-0,7	-0,6
	$\leq 1$	-2,5	-2,0	-1,2	-1,2
5°	$\geq 10$	-1,6	-1,3	-0,7	-0,6
	$\leq 1$	-2,2	-2,0	-1,2	-0,6
15°	$\geq 10$	-1,3	-1,3	-0,6	-0,5
	$\leq 1$	-2,0	-2,0	-1,2	-0,5
30°	$\geq 10$	-1,1	-1,4	-0,8	-0,5
	$\leq 1$	-1,5	-2,0	-1,2	-0,5
45°	$\geq 10$	-1,1	-1,4	-0,9	-0,5
	$\leq 1$	-1,5	-2,0	-1,2	-0,5
60°	$\geq 10$	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5
	$\leq 1$	-1,5	-2,0	-1,0	-0,5
75°	$\geq 10$	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5
	$\leq 1$	-1,5	-2,0	-1,0	-0,5

Nota: - No se deben mezclar valores positivos y negativos en una sola cara.

➤ Parámetros iniciales

$$e = \min (28, 2 \times 10) = 20$$

➤ Áreas

$$F = (e/4 \cdot e/10) = (20/4 \cdot 20/10) = 10 \text{ m}^2$$

$$G = (b/2 - e/4) \cdot e/10 = (28/2 - 20/4) \cdot 20/10 = 18 \text{ m}^2$$

$$H = b/2 \cdot e/2 = 28/2 \cdot 20/2 = 140 \text{ m}^2$$

$$I = (d - e/10 - e/2) \cdot b/2 = (45 - 20/10 - 20/2) \cdot 28/2 = 462 \text{ m}^2$$

Una vez calculados los parámetros iniciales y las áreas de influencias se obtiene, mediante la tabla, los coeficientes de cada una de las zonas. Cabe a destacar que en este caso se debe interpolar entre los coeficientes correspondientes a la parte de 5° y los correspondientes a la parte de 15° ya que la inclinación de la cubierta está entre esos dos valores.

F	G	H	I
---	---	---	---

-1,45	-1,3	-0,65	-0,55
-------	------	-------	-------

$$C_{pe,izda} = C_{pe,dcha} = \frac{-1,45 \cdot 10 - 1,3 \cdot 18 - 0,65 \cdot 140 - 0,55 \cdot 462}{10 + 18 + 140 + 462} = -0,61$$

Cubierta izquierda = cubierta derecha  $\rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,675 \cdot (-0,61) = -0,531 \text{ KN/m}^2$

### 2.4.4 HIPOSTESIS CARGA DE VIENTO

En este apartado se combinan las diferentes situaciones estudiadas anteriormente para determinar todas las situaciones posibles de carga de viento.

#### Viento transversal y presión interior

##### Presión interior

$$q_e = 0,52 \cdot 1,3 \cdot 0,7 \cdot 5 = 2,37 \text{ KN/m}$$

##### Paramentos verticales

$$\text{Fachada delantera} = \text{Fachada trasera} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot (-0,747) \cdot 5 = -2,57 \text{ KN/m}$$

$$\text{Fachada izquierda} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot 0,714 \cdot 5 = 2,46 \text{ KN/m}$$

$$\text{Fachada derecha} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot (-0,329) \cdot 5 = -1,13 \text{ KN/m}$$

##### Cubierta

###### Hipótesis 1

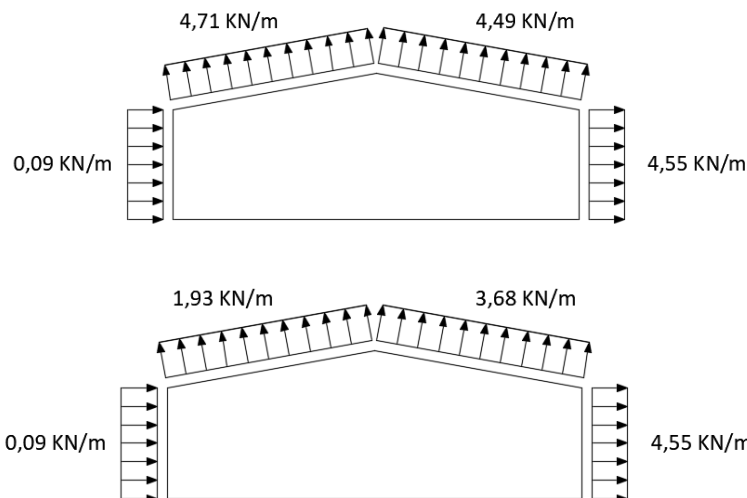
$$\text{Cubierta izquierda} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,675 \cdot (-0,538) \cdot 5 = -2,34 \text{ KN/m}$$

$$\text{Cubierta derecha} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,675 \cdot (-0,486) \cdot 5 = -2,12 \text{ KN/m}$$

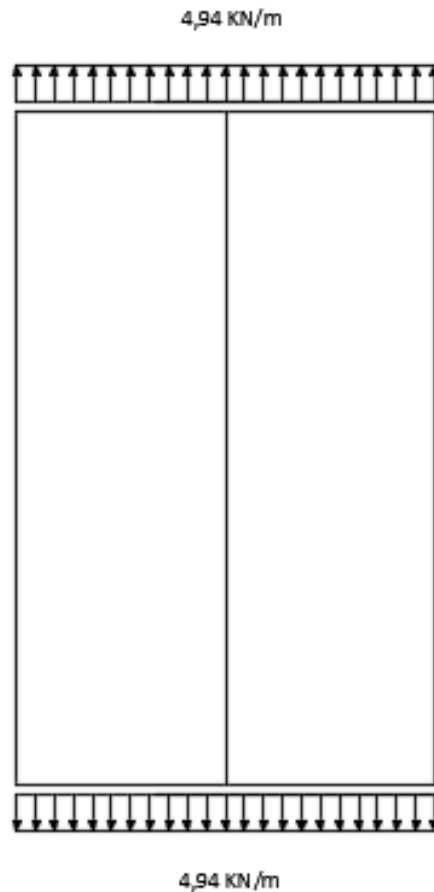
###### Hipótesis 2

$$\text{Cubierta izquierda} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,675 \cdot 0,1 \cdot 5 = 0,44 \text{ KN/m}$$

$$\text{Cubierta derecha} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,675 \cdot (-0,3) \cdot 5 = -1,31 \text{ KN/m}$$







### Viento transversal y succión

#### Succión interior

$$q_e = 0,52 \cdot 1,3 \cdot (-0,5) \cdot 5 = -1,69 \text{ KN/m}$$

#### Paramentos verticales

#### Paramentos verticales

$$\text{Fachada delantera} = \text{Fachada trasera} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot (-0,747) \cdot 5 = -2,57 \text{ KN/m}$$

$$\text{Fachada izquierda} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot 0,714 \cdot 5 = 2,46 \text{ KN/m}$$

$$\text{Fachada derecha} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot (-0,329) \cdot 5 = -1,13 \text{ KN/m}$$

#### Cubierta

#### Hipótesis 1

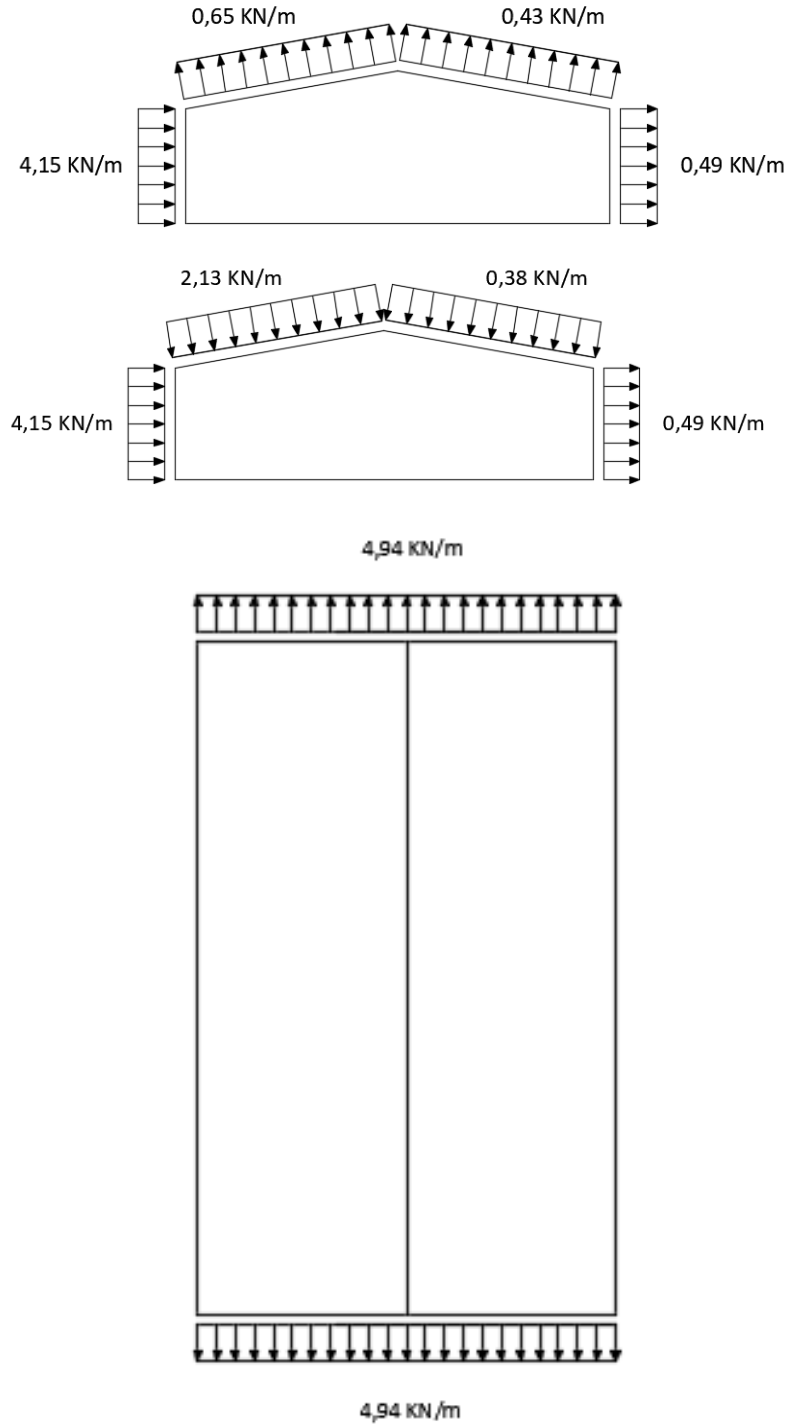
$$\text{Cubierta izquierda} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,675 \cdot (-0,538) \cdot 5 = -2,34 \text{ KN/m}$$

$$\text{Cubierta derecha} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,675 \cdot (-0,486) \cdot 5 = -2,12 \text{ KN/m}$$

#### Hipótesis 2

$$\text{Cubierta izquierda} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,675 \cdot 0,1 \cdot 5 = 0,44 \text{ KN/m}$$

$$\text{Cubierta derecha} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,675 \cdot (-0,3) \cdot 5 = -1,31 \text{ KN/m}$$



### Viento longitudinal y presión interior

#### Presión interior

$$q_e = 0,52 \cdot 1,3 \cdot 0,7 \cdot 5 = \mathbf{2,37 \text{ KN/m}}$$

#### Paramentos verticales

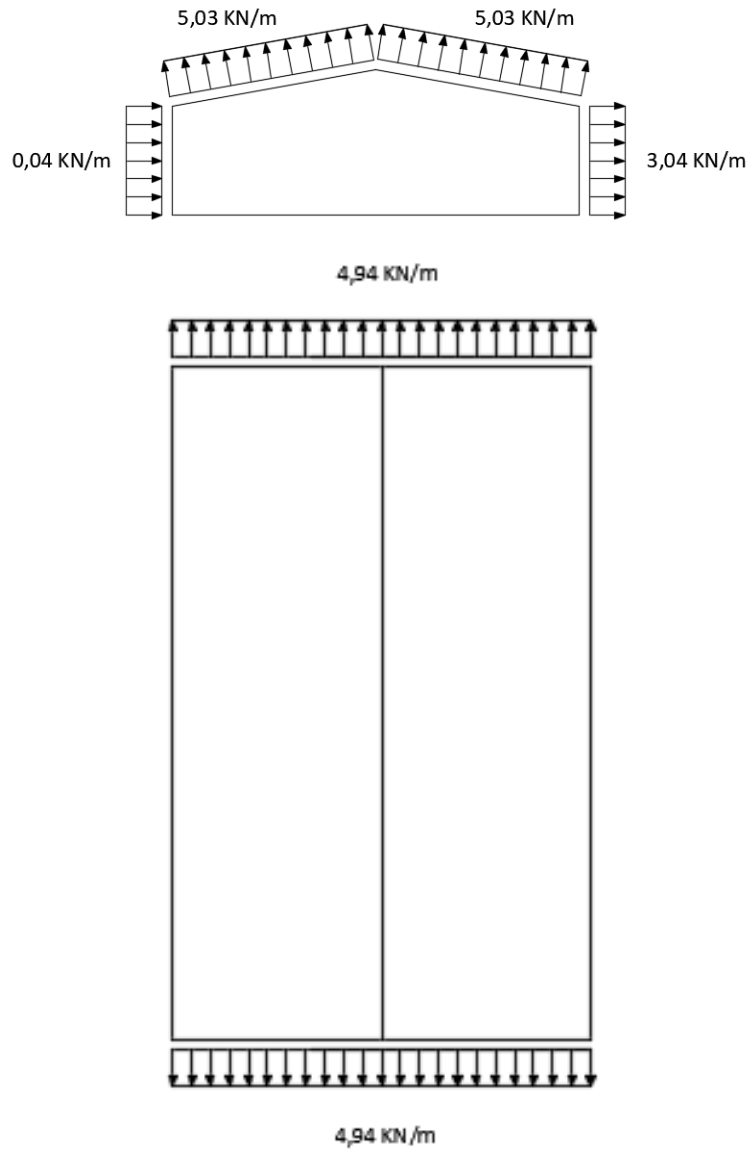
$$\text{Fachada delantera} = \text{Fachada trasera} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot (-0,619) \cdot 5 = \mathbf{-2,13 \text{ KN/m}}$$

$$\text{Fachada izquierda} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot 0,7 \cdot 5 = \mathbf{2,41 \text{ KN/m}}$$

$$\text{Fachada derecha} \rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot (-0,3) \cdot 5 = \mathbf{-1,03 \text{ KN/m}}$$

### Cubierta

Cubierta izquierda = Cubierta derecha  $\rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,675 \cdot (-0,61) \cdot 5 = -2,66 \text{ KN/m}$



### Viento longitudinal y succión

#### Succión interior

$q_e = 0,52 \cdot 1,3 \cdot (-0,5) \cdot 5 = -1,69 \text{ KN/m}$

#### Paramentos verticales

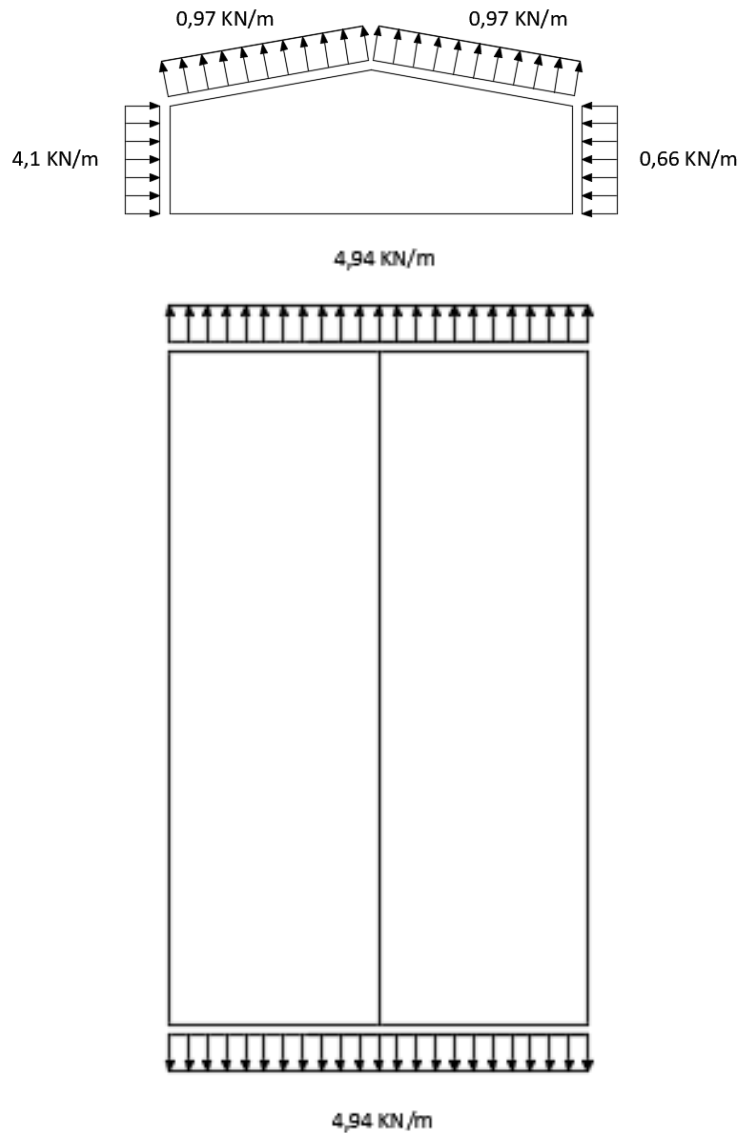
Fachada delantera = Fachada trasera  $\rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot (-0,619) \cdot 5 = -2,13 \text{ KN/m}$

Fachada izquierda  $\rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot 0,7 \cdot 5 = 2,41 \text{ KN/m}$

Fachada derecha  $\rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,325 \cdot (-0,3) \cdot 5 = -1,03 \text{ KN/m}$

### Cubierta

Cubierta izquierda = Cubierta derecha  $\rightarrow q_e = 0,52 \cdot 1,675 \cdot (-0,61) \cdot 5 = -2,66 \text{ KN/m}$



#### 2.4.5 COMPROBACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez con los resultados obtenidos en el cálculo manual, se comparan con los obtenidos con el programa CYPE en su sección "Generador de pórticos"

Se ha seleccionado, para su comprobación, una de las situaciones que más exige a la estructura. Dicha situación es la de viento transversal y succión interior

	Cálculo CYPE	Cálculo Manual	Error
Cubierta	4,386	4,15	5,38%
Pilar	2,42	2,13	11,98%

Tabla 5.13 Comprobaciones de los resultados

Tal y como se puede ver en la tabla anterior, los valores de error se encuentran dentro de un margen óptimo de entre el 10 % y 15%. El error se debe a que el programa informático trabaja con mayor exactitud y con coeficiente de seguridad mayores.

### 3. BARRAS

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS BARRAS

Materiales utilizados							
Material		E (MPa)	ν	G (MPa)	f <sub>v</sub> (MPa)	α <sub>t</sub> (m/m°C)	γ (kN/m <sup>3</sup> )
Tipo	Designación						
Acero laminado	S275	210000.00	0.300	81000.00	275.00	0.000012	77.01
<i>Notación:</i> <i>E: Módulo de elasticidad</i> <i>ν: Módulo de Poisson</i> <i>G: Módulo de cortadura</i> <i>f<sub>v</sub>: Límite elástico</i> <i>α<sub>t</sub>: Coeficiente de dilatación</i> <i>γ: Peso específico</i>							

Tabla 5.1.14 Características de las barras

#### 3.2 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Tabla 5.15 Tipos de piezas

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm <sup>2</sup> )	Av <sub>y</sub> (cm <sup>2</sup> )	Av <sub>z</sub> (cm <sup>2</sup> )	I <sub>yy</sub> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>zz</sub> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> (cm <sup>4</sup> )
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275	1	HE 280 B, (HEB)	131.40	75.60	23.06	19270.00	6595.00	143.70
		2	HE 220 B, (HEB)	91.00	52.80	16.07	8091.00	2843.00	76.57
		3	HE 340 B, (HEB)	170.90	96.75	32.08	36660.00	9690.00	257.20
		4	HE 240 B, (HEB)	106.00	61.20	18.54	11260.00	3923.00	102.70
		5	HE 140 B, (HEB)	43.00	25.20	7.31	1509.00	549.70	20.06
		6	HE 100 B, (HEB)	26.00	15.00	4.32	449.50	167.30	9.25
		7	L 45 x 45 x 6, (L)	5.09	2.34	2.34	9.16	9.16	0.60
		8	HE 160 B, (HEB)	54.30	31.20	9.65	2492.00	889.20	31.24
<i>Notación:</i> <i>Ref.: Referencia</i> <i>A: Área de la sección transversal</i> <i>Av<sub>y</sub>: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'</i> <i>Av<sub>z</sub>: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'</i> <i>I<sub>yy</sub>: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'</i> <i>I<sub>zz</sub>: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'</i> <i>I<sub>t</sub>: Inercia a torsión</i> <i>Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.</i>									

Tabla 5.1.15 Características mecánicas

#### 3.3 RESUMEN MEDICIÓN

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m <sup>3</sup> )	Serie (m <sup>3</sup> )	Material (m <sup>3</sup> )	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HE 280 B	30.000			0.394			3094.47		
			HE 220 B	56.886			0.518			4063.64		
			HE 340 B	347.543			5.940			46625.21		
			HE 240 B	55.000			0.583			4576.55		
			HE 140 B	90.000			0.387			3037.95		
			HE 100 B	75.000			0.195			1530.75		



Resumen de medición												
Tipo	Material			Longitud			Volumen			Peso		
	Designación	Serie	Perfil	Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
			HE 160 B	30.000	684.429		0.163			1278.76		
			L 45 x 45 x 6	358.701	358.701		0.183	8.179		1433.24	64207.33	
		L				1043.130		0.183	8.362		1433.24	65640.58

Tabla 5.1.16 Resumen medición

### 3.4 COMPROBACIÓN DE LAS BARRAS A ELU

En estas comprobaciones se muestran los perfiles más solicitados, es decir, se estudian los perfiles en la situación más desfavorable.

Barra N58/N60

Perfil: HE 240 B Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud		Características mecánicas			
	Inicial	Final	Área (cm²)	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm⁴)	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm⁴)	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm⁴)
N58	N60	8.750	106.00	11260.00	3923.00	102.70
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L <sub>K</sub>	8.750	8.750	0.000	0.000		
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>1</sub>	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N58/N60	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 8.636 m η = 0.7	x: 0 m η = 6.0	x: 0 m η = 49.7	x: 0 m η = 4.7	x: 0 m η = 15.0	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 55.1	η < 0.1	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	N.P.	N.P. <sup>(2)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 55.1
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ <sub>w</sub> : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

### Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$  : 1.63 ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase** : 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A** : 106.00 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 265.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub>** : 1061.99 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,y</sub>** : 3048.19 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

**N<sub>cr,z</sub>** : 1061.99 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

**N<sub>cr,T</sub>** : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[ G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

**I<sub>y</sub>:** Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

**I<sub>y</sub>** : 11260.00 cm<sup>4</sup>

**I<sub>z</sub>:** Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

**I<sub>z</sub>** : 3923.00 cm<sup>4</sup>

**I<sub>t</sub>:** Momento de inercia a torsión uniforme.

**I<sub>t</sub>** : 102.70 cm<sup>4</sup>

**I<sub>w</sub>:** Constante de alabeo de la sección.

**I<sub>w</sub>** : 486900.00 cm<sup>6</sup>

**E:** Módulo de elasticidad.

**E** : 210000 MPa

**G:** Módulo de elasticidad transversal.

**G** : 81000 MPa

**L<sub>ky</sub>:** Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

**L<sub>ky</sub>** : 8.750 m

**L<sub>kz</sub>:** Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

**L<sub>kz</sub>** : 8.750 m

**L<sub>kt</sub>:** Longitud efectiva de pandeo por torsión.

**L<sub>kt</sub>** : 0.000 m

**i<sub>0</sub>:** Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

**i<sub>0</sub>** : 11.97 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

**i<sub>y</sub> , i<sub>z</sub>:** Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

**i<sub>y</sub>** : 10.31 cm

**i<sub>z</sub>** : 6.08 cm

**y<sub>0</sub> , z<sub>0</sub>:** Coordenadas del centro de

**y<sub>0</sub>** : 0.00 mm

torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$20.60 \leq 168.93 \checkmark$$

Donde:

$h_w$ : Altura del alma.

$$h_w : \underline{206.00} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.00} \text{ mm}$$

$A_w$ : Área del alma.

$$A_w : \underline{20.60} \text{ cm}^2$$

$A_{fc,ef}$ : Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{40.80} \text{ cm}^2$$

$k$ : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

$E$ : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000} \text{ MPa}$$

$f_{yf}$ : Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.007} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 8.636 m del nudo N58, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{19.05} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{2675.24} \text{ kN}$$

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{106.00} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$



$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0}$ : 1.05

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.017} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.060} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N58, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(180°)H4+1.5·N(R)1.

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.  $N_{c,Ed}$ : 44.61 kN

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{c,Rd} : \underline{2675.24} \text{ kN}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 106.00 cm<sup>2</sup>

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

f<sub>yd</sub> : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f<sub>y</sub> : 265.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

### Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \quad N_{b,Rd} : \underline{740.74} \text{ kN}$$

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 106.00 cm<sup>2</sup>

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

f<sub>yd</sub> : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f<sub>y</sub> : 265.00 MPa

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M1}$  : 1.05

$\chi$ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$\chi_y$  : 0.62

$\chi_z$  : 0.28

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$\Phi_y$  : 1.09

$\Phi_z$  : 2.17

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_y$  : 0.34

$\alpha_z$  : 0.49

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_y$  : 0.96

$\bar{\lambda}_z$  : 1.63

$N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr}$  : 1061.99 kN

$N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$  : 3048.19 kN

$N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$  : 1061.99 kN

$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$  :  $\infty$

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.497 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N58, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(270°)H2+0.75·N(EI).

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+$  : 129.25 kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N58, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H1.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^-$  : 132.19 kN·m

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$  : 265.76 kN·m

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase** : 1

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$  : 1053.00 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd}$  : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y$  : 265.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0}$  : 1.05

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)  
 No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.047 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N58, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H4+0.75·N(R)2.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+$  : 5.97 kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N58, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H3+0.75·N(R)1.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^-$  : 5.84 kN·m

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$  : 125.79 kN·m

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase** : 1

$W_{pl,z}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$  : 498.40 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y$  : 265.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0}$  : 1.05

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.150} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N58, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H1.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{72.88} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{484.35} \text{ kN}$$

Donde:

**A<sub>v</sub>**: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{33.24} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

**h**: Canto de la sección.

$$h : \underline{240.00} \text{ mm}$$

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.00} \text{ mm}$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

#### **Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$16.40 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

**λ<sub>w</sub>**: Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{16.40}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

**λ<sub>máx</sub>**: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{máx} : \underline{65.92}$$

$$\lambda_{máx} = 70 \cdot \varepsilon$$

**ε**: Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.94}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

**f<sub>ref</sub>**: Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H4+0.75·N(R)2.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 0.68 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$  : 1244.38 kN

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v$  : 85.40 cm<sup>2</sup>

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$A$  : 106.00 cm<sup>2</sup>

$d$ : Altura del alma.

$d$  : 206.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$  : 10.00 mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 265.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**72.88 kN ≤ 242.17 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 72.88 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$  : 484.35 kN

**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**0.68 kN ≤ 622.19 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  
 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H4+0.75·N(R)2.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 0.68 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$  : 1244.38 kN

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.551 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.547 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.388 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N58, para la combinación de acciones  
 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H3+0.75·N(R)1.

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$  : 28.34 kN

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}$  : 131.45 kN·m

$M_{z,Ed}$  : 5.81 kN·m

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

**Clase** : 1

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.

$N_{pl,Rd}$  : 2675.24 kN

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y}$  : 265.76 kN·m

$M_{pl,Rd,z}$  : 125.79 kN·m

**Resistencia a pandeo**: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)



<b>A:</b> Área de la sección bruta.	<b>A :</b> $\frac{106.00}{\text{cm}^2}$
<b>W<sub>pl,y</sub>, W<sub>pl,z</sub>:</b> Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	<b>W<sub>pl,v</sub> :</b> $\frac{1053.00}{\text{cm}^3}$
<b>f<sub>yd</sub>:</b> Resistencia de cálculo del acero.	<b>W<sub>pl,z</sub> :</b> $\frac{498.40}{\text{cm}^3}$
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$	<b>f<sub>yd</sub> :</b> $\frac{252.38}{\text{MPa}}$
Siendo:	
<b>f<sub>v</sub>:</b> Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	<b>f<sub>v</sub> :</b> $\frac{265.00}{\text{MPa}}$
<b>γ<sub>M1</sub>:</b> Coeficiente parcial de seguridad del material.	<b>γ<sub>M1</sub> :</b> $\frac{1.05}{\text{MPa}}$
<b>k<sub>y</sub>, k<sub>z</sub>:</b> Coeficientes de interacción.	
$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$	<b>k<sub>y</sub> :</b> $\frac{1.01}{\text{MPa}}$
$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$	<b>k<sub>z</sub> :</b> $\frac{1.05}{\text{MPa}}$
<b>C<sub>m,y</sub>, C<sub>m,z</sub>:</b> Factores de momento flector uniforme equivalente.	<b>C<sub>m,v</sub> :</b> $\frac{1.00}{\text{MPa}}$
	<b>C<sub>m,z</sub> :</b> $\frac{1.00}{\text{MPa}}$
<b>χ<sub>y</sub>, χ<sub>z</sub>:</b> Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	<b>χ<sub>v</sub> :</b> $\frac{0.62}{\text{MPa}}$
	<b>χ<sub>z</sub> :</b> $\frac{0.28}{\text{MPa}}$
<b>λ̄<sub>y</sub>, λ̄<sub>z</sub>:</b> Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.	<b>λ̄<sub>v</sub> :</b> $\frac{0.96}{\text{MPa}}$
	<b>λ̄<sub>z</sub> :</b> $\frac{1.63}{\text{MPa}}$
<b>α<sub>y</sub>, α<sub>z</sub>:</b> Factores dependientes de la clase de la sección.	<b>α<sub>y</sub> :</b> $\frac{0.60}{\text{MPa}}$
	<b>α<sub>z</sub> :</b> $\frac{0.60}{\text{MPa}}$

**Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V<sub>Ed</sub>** es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>**.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2} \quad \mathbf{72.88 \text{ kN} \leq 242.17 \text{ kN}} \quad \checkmark$$

Donde:

<b>V<sub>Ed,z</sub>:</b> Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.	<b>V<sub>Ed,z</sub> :</b> $\frac{72.88}{\text{kN}}$
<b>V<sub>c,Rd,z</sub>:</b> Esfuerzo cortante resistente de cálculo.	<b>V<sub>c,Rd,z</sub> :</b> $\frac{484.35}{\text{kN}}$

**Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.



**Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.



Barra N52/N50

Perfil: HE 240 B Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)		Características mecánicas			
	Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>r</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
N52	N50	10.000	106.00	11260.00	3923.00	102.70
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
Pandeo		Pandeo lateral				
Plano XY		Plano XZ		Ala sup.	Ala inf.	
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L <sub>K</sub>	10.000	10.000	0.000	0.000		
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>1</sub>	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N52/N50	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 9.864 m η = 1.5	x: 0 m η = 16.2	x: 0 m η = 61.1	x: 0 m η = 6.8	x: 0 m η = 16.2	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 66.9	η < 0.1	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 66.9
Notación: $\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez $\lambda_w$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$  : 1.86 ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase :** 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A :** 106.00 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub> :** 265.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub> :** 813.09 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,y</sub> :** 2333.77 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2 k_y}$$



b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$  : 813.09 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{L_{kt}} \left[ G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{ky}^2} \right]$$

$$N_{cr,T} : \infty$$

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \frac{11260.00}{cm^4}$$

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \frac{3923.00}{cm^4}$$

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \frac{102.70}{cm^4}$$

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \frac{486900.00}{cm^6}$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : \frac{210000}{MPa}$$

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \frac{81000}{MPa}$$

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \frac{10.000}{m}$$

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \frac{10.000}{m}$$

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \frac{0.000}{m}$$

**i<sub>0</sub>**: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \frac{11.97}{cm}$$

$$i_0 = \left( i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 \right)^{0.5}$$

Siendo:

**i<sub>y</sub> , i<sub>z</sub>**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \frac{10.31}{cm}$$

**y<sub>0</sub> , z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$i_z : \frac{6.08}{cm}$$

$$y_0 : \frac{0.00}{mm}$$

$$z_0 : \frac{0.00}{mm}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf} \sqrt{A_{fc,ef}}}$$

$$20.60 \leq 168.93 \quad \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

$$h_w : \frac{206.00}{mm}$$

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

$$t_w : \frac{10.00}{mm}$$

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

$$A_w : \frac{20.60}{cm^2}$$

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \frac{40.80}{cm^2}$$

**k**: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \frac{0.30}{}$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : \frac{210000}{MPa}$$



$f_{yf}$ : Límite elástico del acero del ala comprimida.

$f_{yf}$  : 265.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed} \leq 1}{N_{t,Rd}}$$

$$\eta : \underline{0.015} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 9.864 m del nudo N52, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H1.

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{39.69 \text{ kN}}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{2675.24 \text{ kN}}$$

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{106.00 \text{ cm}^2}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{265.00 \text{ MPa}}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed} \leq 1}{N_{c,Rd}}$$

$$\eta : \underline{0.036} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed} \leq 1}{N_{b,Rd}}$$

$$\eta : \underline{0.162} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N52, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(90°)H2+1.5·N(EI).

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{96.18 \text{ kN}}$$

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{2675.24 \text{ kN}}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$A$ : Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{106.00 \text{ cm}^2}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38 \text{ MPa}}$$



$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$ : 265.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$ : 1.05

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$ : 594.53 kN

Donde:

$A$ : Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$A$ : 106.00 cm<sup>2</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$ : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$ : 265.00 MPa

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1}$ : 1.05

$\chi$ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$\chi_y$ : 0.54

Siendo:

$\chi_z$ : 0.22

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$\phi_y$ : 1.25

$\phi_z$ : 2.63

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_y$ : 0.34

$\alpha_z$ : 0.49

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_y$ : 1.10

$\bar{\lambda}_z$ : 1.86

$N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr}$ : 813.09 kN

$N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$ : 2333.77 kN

$N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$ : 813.09 kN

$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$ :  $\infty$

**Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$ : 0.611 ✓

Para flexión positiva:



El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N52, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{162.51 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N52, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{158.28 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$



El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : 265.76 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : 1$$

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : 1053.00 \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 252.38 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : 265.00 \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : 1.05$$

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2) No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

**Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.068 \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N52, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : 8.61 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N52, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)1$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : 8.61 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : 125.79 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : 1$$

$W_{pl,z}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : 498.40 \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 252.38 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:



**$f_y$** : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$\gamma_{M0}$** : Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$f_y$**  : 265.00 MPa

**$\gamma_{M0}$**  : 1.05

**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.162}$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N52, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{78.36}$  kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd} : \underline{484.35}$  kN

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v : \underline{33.24}$  cm<sup>2</sup>

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$h : \underline{240.00}$  mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w : \underline{10.00}$  mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{252.38}$  MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{265.00}$  MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

**Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$\underline{16.40} < \underline{65.92}$  ✓

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$\lambda_w : \underline{16.40}$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$\varepsilon : \underline{0.94}$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$f_{ref} : \underline{235.00}$  MPa



$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 265.00 MPa

**Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : 0.001$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H3+0.75·N(R)2.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub>** : 1.69 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

**V<sub>c,Rd</sub>** : 1244.38 kN

Donde:

**A<sub>v</sub>**: Área transversal a cortante.

**A<sub>v</sub>** : 85.40 cm<sup>2</sup>

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

**A**: Área de la sección bruta.

**A** : 106.00 cm<sup>2</sup>

**d**: Altura del alma.

**d** : 206.00 mm

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

**t<sub>w</sub>** : 10.00 mm

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 265.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** : 1.05

**Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V<sub>Ed</sub>** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V<sub>c,Rd</sub>**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**78.36 kN ≤ 242.17 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H1.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub>** : 78.36 kN

**V<sub>c,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

**V<sub>c,Rd</sub>** : 484.35 kN



**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)



No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**1.69 kN ≤ 622.19 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H3+0.75·N(R)2.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 1.69 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$  : 1244.38 kN

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT,y} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.665 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.485 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N52, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H3+0.75·N(R)1.

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$  : 31.26 kN

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}$  : 156.45 kN·m

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$M_{z,Ed}$  : 8.61 kN·m

Clase : 1

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.

$N_{pl,Rd}$  : 2675.24 kN



$M_{pl,Rd,y}$   $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y} : 265.76 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{pl,Rd,z} : 125.79 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$A : 106.00 \text{ cm}^2$

$W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$W_{pl,y} : 1053.00 \text{ cm}^3$

$W_{pl,z} : 498.40 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 252.38 \text{ MPa}$

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 265.00 \text{ MPa}$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1} : 1.05$





**$k_y, k_z$** : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.02}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \lambda_z = 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.07}$$

**$C_{m,y}, C_{m,z}$** : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$C_{m,y} : \underline{1.00}$

$C_{m,z} : \underline{1.00}$

**$\chi_y, \chi_z$** : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$\chi_y : \underline{0.54}$

$\chi_z : \underline{0.22}$

**$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$** : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$\bar{\lambda}_y : \underline{1.10}$

$\bar{\lambda}_z : \underline{1.86}$

**$\alpha_y, \alpha_z$** : Factores dependientes de la clase de la sección.

$\alpha_y : \underline{0.60}$

$\alpha_z : \underline{0.60}$

**Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

**78.36 kN ≤ 242.17 kN** ✓

Donde:

**$V_{Ed,z}$** : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed,z} : \underline{78.36} \text{ kN}$

**$V_{c,Rd,z}$** : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd,z} : \underline{484.35} \text{ kN}$

**Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

**Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N73/N74

Perfil: HE 160 B							
Material: Acero (S275)							
Nudos	Longitud (m)		Características mecánicas				
	Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>v</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
N73	N74	5.000	54.30	2492.00	889.20	31.24	
Notas: <sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado <sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo			Pandeo lateral			
	Plano XY		Plano XZ	Ala sup.		Ala inf.	
β	1.00		1.00	0.00		0.00	
L <sub>K</sub>	5.000		5.000	0.000		0.000	
C <sub>m</sub>	1.000		1.000	1.000		1.000	
C <sub>1</sub>	-			1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)																Estado
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>		
N73/N74	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	η = 0.3	η = 6.9	x: 0.15 m η = 4.9	x: 0.15 m η = 0.4	x: 0.15 m η = 1.1	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.15 m η = 9.9	η < 0.1	η = 0.3	x: 4.86 m η = 0.7	η < 0.1	<b>CUMPLE</b> η = 9.9	
Notación: $\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez $\lambda_w$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																	

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$  : 1.42 ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A :** 54.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub> :** 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub> :** 737.19 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,y</sub> :** 2065.98 kN

$$\pi^2 \cdot E \cdot I_y$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

**N<sub>cr,z</sub> :** 737.19 kN



$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T} : \infty$

$$N = \frac{1}{1 + \pi^2 \cdot E \cdot I_w} \left[ \dots \right]$$

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

**E**: Módulo de elasticidad.

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

**i<sub>0</sub>**: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 = \left( i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 \right)^{0.5}$$

Siendo:

**i<sub>y</sub>, i<sub>z</sub>**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

**y<sub>0</sub>, z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

**I<sub>y</sub>** : 2492.00 cm<sup>4</sup>

**I<sub>z</sub>** : 889.20 cm<sup>4</sup>

**I<sub>t</sub>** : 31.24 cm<sup>4</sup>

**I<sub>w</sub>** : 47940.00 cm<sup>6</sup>

**E** : 210000 MPa

**G** : 81000 MPa

**L<sub>ky</sub>** : 5.000 m

**L<sub>kz</sub>** : 5.000 m

**L<sub>kt</sub>** : 0.000 m

**i<sub>0</sub>** : 7.89 cm

**i<sub>y</sub>** : 6.77 cm **i<sub>z</sub>** :

4.05 cm **y<sub>0</sub>** : 0.00

mm

**z<sub>0</sub>** : 0.00 mm

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

**16.75 ≤ 164.47** ✓

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

**k**: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

**E**: Módulo de elasticidad.

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

**h<sub>w</sub>** : 134.00 mm

**t<sub>w</sub>** : 8.00 mm

**A<sub>w</sub>** : 10.72 cm<sup>2</sup>

**A<sub>fc,ef</sub>** : 20.80 cm<sup>2</sup>

**k** : 0.30

**E** : 210000 MPa

**f<sub>yf</sub>** : 275.00 MPa



**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.003 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$ : 4.89 kN

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$ : 1422.14 kN

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.

**A**: 54.30 cm<sup>2</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$ : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$** : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$** : 275.00 MPa

**$\gamma_{M0}$** : Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$** : 1.05

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$ : 0.024 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$\eta$ : 0.069 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$ .

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$ : 33.52 kN

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$ : 1422.14 kN

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase**: 1

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A**: 54.30 cm<sup>2</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$ : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$** : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$** : 275.00 MPa

**$\gamma_{M0}$** : Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$** : 1.05



**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : 484.58 \text{ kN}$$

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : 54.30 \text{ cm}^2$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : 275.00 \text{ MPa}$$

**γ<sub>M1</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : 1.05$$

**χ**: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : 0.69$$

Siendo:

$$\chi_z : 0.34$$

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : 0.97$$

$$\phi_z : 1.81$$

**α**: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : 0.34$$

$$\alpha_z : 0.49$$

**λ̄**: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : 0.85$$

$$\bar{\lambda}_z : 1.42$$

**N<sub>cr</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : 737.19 \text{ kN}$$

**N<sub>cr,y</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : 2065.98 \text{ kN}$$

**N<sub>cr,z</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : 737.19 \text{ kN}$$

**N<sub>cr,T</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \infty$$

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.049 \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.150 m del nudo N73, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H1+0.75·N(EI).

**M<sub>Ed</sub><sup>+</sup>**: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : 2.49 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.150 m del nudo N73, para la combinación de acciones





$$1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2.$$

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{4.54 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{ply} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{92.71 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

**$W_{pl,y}$ :** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$  : 354.00 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{MO}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{MO}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{MO}$  : 1.05

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2) No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.004 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.150 m del nudo N73, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+$  : 0.18 kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.150 m del nudo N73, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^-$  : 0.09 kN·m

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$  : 44.52 kN·m

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

**$W_{pl,z}$ :** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$  : 170.00 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{MO}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{MO}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{MO}$  : 1.05



**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.011}$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.150 m del nudo N73, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(270°)H2.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub>** : 2.94 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

**V<sub>c,Rd</sub>** : 266.74 kN

Donde:

**A<sub>v</sub>**: Área transversal a cortante.

**A<sub>v</sub>** : 17.64 cm<sup>2</sup>

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

**h**: Canto de la sección.

**h** : 160.00 mm

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

**t<sub>w</sub>** : 8.00 mm

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** : 1.05

**Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

**13.00 < 64.71** ✓

Donde:

**λ<sub>w</sub>**: Esbeltez del alma.

**λ<sub>w</sub>** : 13.00

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

**λ<sub>máx</sub>**: Esbeltez máxima.

**λ<sub>máx</sub>** : 64.71

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

**ε**: Factor de reducción.

**ε** : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:



$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_{ref}$  : 235.00 MPa

$f_y$  : 275.00 MPa

**Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta < 0.001$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(0°)H4+1.5·N(EI).

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub>** : 0.06 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

**V<sub>c,Rd</sub>** : 658.98 kN

Donde:

**A<sub>v</sub>**: Área transversal a cortante.

**A<sub>v</sub>** : 43.58 cm<sup>2</sup>

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

**A**: Área de la sección bruta.

**A** : 54.30 cm<sup>2</sup>

**d**: Altura del alma.

**d** : 134.00 mm

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

**t<sub>w</sub>** : 8.00 mm

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** : 1.05

**Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V<sub>Ed</sub>** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V<sub>c,Rd</sub>**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**2.94 kN ≤ 133.37 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(270°)H2.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub>** : 2.94 kN

**V<sub>c,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

**V<sub>c,Rd</sub>** : 266.74 kN



**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)



No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**0.06 kN ≤ 329.49 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(0°)H4+1.5·N(EI).

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$ : 0.06 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$ : 658.98 kN

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{pl,Rd,y}}{W_{pl,y}} + \frac{M_{pl,Rd,z}}{W_{pl,z}} \leq 1$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT,y} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta$ : 0.082 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta$ : 0.099 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.150 m del nudo N73, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(270°)H2.

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$ : 33.52 kN

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}$ : 4.32 kN·m  $M_{z,Ed}$ : 0.05 kN·m **Clase**: 1

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.

$N_{pl,Rd}$ : 1422.14 kN



$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y}$  : 92.71 kN·m

$M_{pl,Rd,z}$  : 44.52 kN·m

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

A : 54.30 cm<sup>2</sup>

$W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$W_{pl,y}$  : 354.00 cm<sup>3</sup>

$W_{pl,z}$  : 170.00 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1}$  : 1.05



$k_y, k_z$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.02}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \lambda_z = 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.10}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$\chi_y, \chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.69}$$

$$\chi_z : \underline{0.34}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.85}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.42}$$

$\alpha_y, \alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$2.94 \text{ kN} \leq 133.20 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{2.94} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{266.40} \text{ kN}$$

### Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot N(EI)$ .



$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$

El momento torsor resistente de cálculo  $M_{T,Rd}$  viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_{T,yd} \cdot f_{T,yd}$$

$M_{T,Rd} : 3.63 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : 24.03 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 275.00 \text{ MPa}$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

### Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : 0.007 \checkmark$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 4.860 m del nudo N73, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : 1.75 \text{ kN}$

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : 266.40 \text{ kN}$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : 266.74 \text{ kN}$

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : 0.48 \text{ MPa}$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : 24.03 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 275.00 \text{ MPa}$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

### Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta < 0.001 \checkmark$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.5 \cdot Q$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 0.05 kN



**$M_{T,Ed}$** : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

**$M_{T,Ed}$**  : 0.01 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  **$V_{pl,T,Rd}$**  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{\dots} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

**$V_{pl,T,Rd}$**  : 658.14 kN

Donde:

**$V_{pl,Rd}$** : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

**$V_{pl,Rd}$**  : 658.98kN

**$\tau_{T,Ed}$** : Tensiones tangenciales por torsión.

**$\tau_{T,Ed}$**  : 0.48 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

**$W_T$** : Módulo de resistencia a torsión.

**$W_T$**  : 24.03 cm<sup>3</sup>

**$f_{yd}$** : Resistencia de cálculo del acero.

**$f_{yd}$**  : 261.90MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$** : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$**  : 275.00 MPa

**$\gamma_{M0}$** : Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$**  : 1.05

Barra N39/N40

Perfil: HE 340 B Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)		Características mecánicas			
	Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
N39	N40	14.221	170.90	36660.00	9690.00	257.20
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		0.49	1.00	0.00	0.00	
L <sub>K</sub>		6.969	14.221	0.000	0.000	
C <sub>m</sub>		1.000	1.000	1.000	1.000	
C <sub>1</sub>		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	λ̄	λ <sub>w</sub>	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>	
N39/N40	λ̄ < 2.0 Cumple	λ <sub>w</sub> ≤ λ <sub>w,máx</sub> Cumple	x: 14.221 m η = 1.7	x: 0.173 m η = 4.8	x: 0.173 m η = 58.6	x: 14.221 m η = 0.1	x: 0.173 m η = 10.0	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.173 m η = 65.3	η < 0.1	η = 0.4	x: 0.173 m η = 9.2	η < 0.1	<b>CUMPLE</b> η = 65.3
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ <sub>w</sub> : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ̄ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\lambda \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ̄ : 1.10 ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 170.90 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f<sub>y</sub> : 265.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

N<sub>cr</sub> : 3756.84 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N<sub>cr,y</sub> : 3756.84 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{ky}}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N<sub>cr,z</sub> : 4135.82 kN

$$N_{cr,z}$$



$\frac{\pi^2}{L^2}$

$$= \frac{E \cdot I_z}{k_z}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T} : \infty$

$$N = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2}} \cdot G_t$$

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

**E**: Módulo de elasticidad.

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

**i<sub>0</sub>**: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 = \sqrt{i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2}$$

Siendo:

**i<sub>y</sub>, i<sub>z</sub>**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

**y<sub>0</sub>, z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$I_y : 36660.00 \text{ cm}^4$$

$$I_z : 9690.00 \text{ cm}^4$$

$$I_t : 257.20 \text{ cm}^4$$

$$I_w : 2454000.00 \text{ cm}^6$$

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

$$G : 81000 \text{ MPa}$$

$$L_{ky} : 14.221 \text{ m}$$

$$L_{kz} : 6.969 \text{ m}$$

$$L_{kt} : 0.000 \text{ m}$$

$$i_0 : 16.47 \text{ cm}$$

$$i_y : 14.65 \text{ cm}$$

$$i_z : 7.53 \text{ cm}$$

$$y_0 : 0.00 \text{ mm}$$

$$z_0 : 0.00 \text{ mm}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \cdot \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.75 \leq 176.72 \quad \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

**k**: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

**E**: Módulo de elasticidad.

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w : 297.00 \text{ mm}$$

$$t_w : 12.00 \text{ mm}$$

$$A_w : 35.64 \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : 64.50 \text{ cm}^2$$

$$k : 0.30$$

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

$$f_{yf} : 265.00 \text{ MPa}$$





**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$\eta : 0.017$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N40, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$ : 72.37 kN

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$ : 4313.19 kN

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.

**A**: 170.90 cm<sup>2</sup>

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>**: 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>**: 265.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>**: 1.05

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$ : 0.025 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$\eta$ : 0.048 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.173 m del nudo N39, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$ : 106.39 kN

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$ : 4313.19 kN

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase**: 1

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A**: 170.90 cm<sup>2</sup>

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>**: 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>**: 265.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>**: 1.05



**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{2214.72 \text{ kN}}$$

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{170.90 \text{ cm}^2}$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{265.00 \text{ MPa}}$$

**γ<sub>M1</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

**χ**: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.54}$$

Siendo:

$$\chi_z : \underline{0.51}$$

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{1.26}$$

$$\phi_z : \underline{1.25}$$

**α**: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

**λ̄**: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.10}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.05}$$

**N<sub>cr</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{3756.84 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,y</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{3756.84 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,z</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{4135.82 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,T</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.586} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.173 m del nudo N39, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H1.

**M<sub>Ed</sub><sup>+</sup>**: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{228.14 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$



Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.173 m del nudo N39, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^-$  : 356.00 kN·m

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : 607.73 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : 1$$

**$W_{pl,y}$ :** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : 2408.00 \text{ cm}^3$$

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 252.38 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{MO}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : 265.00 \text{ MPa}$$

**$\gamma_{MO}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{MO} : 1.05$$

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2) No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.001 \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N40, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

**$M_{Ed}^+$ :** Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : 0.35 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N40, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$ .

**$M_{Ed}^-$ :** Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : 0.29 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  **$M_{c,Rd}$**  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : 248.77 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : 1$$

**$W_{pl,z}$ :** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : 985.70 \text{ cm}^3$$

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 252.38 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{MO}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : 265.00 \text{ MPa}$$

**$\gamma_{MO}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{MO} : 1.05$$



**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.100}$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.173 m del nudo N39, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(0°)H4+1.5·N(EI).

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub>** : 81.72 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

**V<sub>c,Rd</sub>** : 817.30 kN

Donde:

**A<sub>v</sub>**: Área transversal a cortante.

**A<sub>v</sub>** : 56.09 cm<sup>2</sup>

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

**h**: Canto de la sección.

**h** : 340.00 mm

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

**t<sub>w</sub>** : 12.00 mm

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 265.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** : 1.05

**Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

**20.25 < 65.92** ✓

Donde:

**λ<sub>w</sub>**: Esbeltez del alma.

**λ<sub>w</sub>** : 20.25

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

**λ<sub>máx</sub>**: Esbeltez máxima.

**λ<sub>máx</sub>** : 65.92

$$\lambda_{máx} = 70 \cdot \varepsilon$$

**ε**: Factor de reducción.

**ε** : 0.94

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:



$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$f_{ref}$  : 235.00 MPa

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 265.00 MPa



**Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta < 0.001$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(270°)H2+0.75·N(EI).

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub>** : 0.03 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

**V<sub>c,Rd</sub>** : 1970.90 kN

Donde:

**A<sub>v</sub>**: Área transversal a cortante.

**A<sub>v</sub>** : 135.26 cm<sup>2</sup>

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

**A**: Área de la sección bruta.

**A** : 170.90 cm<sup>2</sup>

**d**: Altura del alma.

**d** : 297.00 mm

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

**t<sub>w</sub>** : 12.00 mm

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 265.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** : 1.05

**Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V<sub>Ed</sub>** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V<sub>c,Rd</sub>**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**81.72 kN ≤ 408.65 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(0°)H4+1.5·N(EI).

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub>** : 81.72 kN

**V<sub>c,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

**V<sub>c,Rd</sub>** : 817.30 kN



**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)



No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$0.03 \text{ kN} \leq 985.45 \text{ kN}$  ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : \underline{0.03} \text{ kN}$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd} : \underline{1970.90} \text{ kN}$

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT,y} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.653}$  ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.412}$  ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.173 m del nudo N39, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.  $N_{c,Ed} : \underline{106.39} \text{ kN}$

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.  $M_{y,Ed} : \underline{356.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.  $M_{z,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$

$\alpha$ : Clase de la sección.  $\alpha : \underline{1}$

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.  $N_{pl,Rd} : \underline{4313.19} \text{ kN}$



**$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$** : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

**$M_{pl,Rd,y}$**  : 607.73 kN·m

**$M_{pl,Rd,z}$**  : 248.77 kN·m

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

**A**: Área de la sección bruta.

**A** : 170.90 cm<sup>2</sup>

**$W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$** : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

**$W_{pl,y}$**  : 2408.00 cm<sup>3</sup>

**$W_{pl,z}$**  : 985.70 cm<sup>3</sup>

**$f_{yd}$** : Resistencia de cálculo del acero.

**$f_{yd}$**  : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**$f_y$** : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$**  : 265.00 MPa

**$\gamma_{M1}$** : Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M1}$**  : 1.05

**$k_y, k_z$** : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.04}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \lambda_z = 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.07}$$

**$C_{m,y}, C_{m,z}$** : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

**$\chi_y, \chi_z$** : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.54}$$

$$\chi_z : \underline{0.51}$$

**$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$** : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.10}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.05}$$

**$\alpha_y, \alpha_z$** : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$81.72 \text{ kN} \leq 408.50 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

**$V_{Ed,z}$** : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{81.72} \text{ kN}$$

**$V_{c,Rd,z}$** : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{816.99} \text{ kN}$$

### Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .



$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : 0.06 \text{ kN}\cdot\text{m}$

El momento torsor resistente de cálculo  $M_{T,Rd}$  viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_{T,yd} \cdot f_{T,yd}$$

$M_{T,Rd} : 17.43 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : 119.63\text{cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 252.38\text{MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 265.00\text{MPa}$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

### Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : 0.092$  ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.173 m del nudo N39, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : 75.03\text{ kN}$

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : 0.02\text{ kN}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : 816.99\text{ kN}$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : 817.30\text{ kN}$

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : 0.14\text{ MPa}$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : 119.63\text{cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 252.38\text{MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 265.00\text{MPa}$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

### Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta < 0.001$  ✓



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.5 \cdot Q$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 0.01 kN



**M<sub>T,Ed</sub>**: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

**M<sub>T,Ed</sub>** : 0.02 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V<sub>pl,T,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

**V<sub>pl,T,Rd</sub>** : 1970.16 kN

Donde:

**V<sub>pl,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

**V<sub>pl,Rd</sub>** : 1970.90 kN

**τ<sub>T,Ed</sub>**: Tensiones tangenciales por torsión.

**τ<sub>T,Ed</sub>** : 0.14 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

**W<sub>T</sub>**: Módulo de resistencia a torsión.

**W<sub>T</sub>** : 119.63 cm<sup>3</sup>

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 265.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** : 1.05

Barra N78/N29

Perfil: HE 340 B						
Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)		Características mecánicas			
	Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
N78	N29	3.500	170.90	36660.00	9690.00	257.20
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	0.00	0.70	0.34	1.00		
L <sub>K</sub>	0.000	2.450	1.200	3.500		
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>1</sub>	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	λ̄	λ <sub>w</sub>	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>	
N78/N29	λ̄ < 2.0 Cumple	λ <sub>w</sub> ≤ λ <sub>w,max</sub> Cumple	x: 3.355 m η = 1.6	x: 0.08 m η = 3.1	x: 3.357 m η = 63.1	x: 0.08 m η = 0.5	x: 0.08 m η = 11.3	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 3.357 m η = 65.5	η < 0.1	η = 0.1	x: 0.08 m η = 6.2	η < 0.1	<b>CUMPLE</b> η = 65.5
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ <sub>w</sub> : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ̄ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\lambda \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ̄ : 0.44 ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 170.90 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f<sub>y</sub> : 265.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

N<sub>cr</sub> : 22990.65 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto aleje Y.

N<sub>cr,y</sub> : 126584.15 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto aleje Z.

N<sub>cr,z</sub> : ∞



$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{G \cdot I_0 \cdot L_{kt}^2}}$$

$N_{cr,T} : \underline{22990.65 \text{ kN}}$

Donde:

$I_y$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$I_y : \underline{36660.00 \text{ cm}^4}$

$I_z$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$I_z : \underline{9690.00 \text{ cm}^4}$

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$I_t : \underline{257.20 \text{ cm}^4}$

$I_w$ : Constante de alabeo de la sección.

$I_w : \underline{2454000.00 \text{ cm}^6}$

E: Módulo de elasticidad.

E :  $\underline{210000 \text{ MPa}}$

G: Módulo de elasticidad transversal.

G :  $\underline{81000 \text{ MPa}}$

$L_{ky}$ : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$L_{ky} : \underline{2.450 \text{ m}}$

$L_{kz}$ : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$L_{kz} : \underline{0.000 \text{ m}}$

$L_{kt}$ : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$L_{kt} : \underline{3.500 \text{ m}}$

$i_0$ : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$i_0 : \underline{16.47 \text{ cm}}$

$$i_0 = \left( i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 \right)^{0.5}$$

Siendo:

$i_y, i_z$ : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$i_y : \underline{14.65 \text{ cm}}$

$y_0, z_0$ : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$i_z : \underline{7.53 \text{ cm}}$

$y_0 : \underline{0.00 \text{ mm}}$

$z_0 : \underline{0.00 \text{ mm}}$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$24.75 \leq 176.72 \checkmark$

Donde:

$h_w$ : Altura del alma.

$h_w : \underline{297.00 \text{ mm}}$

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w : \underline{12.00 \text{ mm}}$

$A_w$ : Área del alma.

$A_w : \underline{35.64 \text{ cm}^2}$

$A_{fc,ef}$ : Área reducida del ala comprimida.

$A_{fc,ef} : \underline{64.50 \text{ cm}^2}$

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$k : \underline{0.30}$

E: Módulo de elasticidad.

E :  $\underline{210000 \text{ MPa}}$

$f_{yf}$ : Límite elástico del acero del ala comprimida.

$f_{yf} : \underline{265.00 \text{ MPa}}$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$



**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.016}$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.355 m del nudo N78, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H1.

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$ : 70.62 kN

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$ : 4313.19 kN

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.

**A**: 170.90 cm<sup>2</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$ : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$** : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$** : 265.00 MPa

**$\gamma_{M0}$** : Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$** : 1.05

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$ : 0.027 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$\eta$ : 0.031 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.080 m del nudo N78, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(90°)H2+1.5·N(EI).

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$ : 116.91 kN

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$ : 4313.19 kN

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase**: 1

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A**: 170.90 cm<sup>2</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$ : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$** : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$** : 265.00 MPa



$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{3769.21 \text{ kN}}$$

Donde:

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{170.90 \text{ cm}^2}$$

**f<sub>yd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{265.00 \text{ MPa}}$$

**γ<sub>M1</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

**χ:** Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\chi_T : \underline{0.87}$$

$$\phi_y : \underline{0.52}$$

$$\phi_T : \underline{0.66}$$

**α:** Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

$$\alpha_T : \underline{0.49}$$

**λ̄:** Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.19}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.44}$$

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{22990.65 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,y</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{126584.15 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,z</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{\infty}$$

**N<sub>cr,T</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{22990.65 \text{ kN}}$$

**Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed} \leq 1}{M_{c,Rd}}$$

$$\eta : \underline{0.592} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{Ed} \leq 1}{M_{b,Rd}}$$

$$\eta : \underline{0.631} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:





El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.357 m del nudo N78, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+$  : 229.50 kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.357 m del nudo N78, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : 359.92 \text{ kN}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

$M_{c,Rd} : 607.73 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : 2408.00 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 252.38 \text{ MPa}$

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 265.00 \text{ MPa}$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2) El momento flector resistente de cálculo  $M_{b,Rd}$  viene dado por:

$M_{b,Rd}^+ = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

$M_{b,Rd}^+ : 607.73 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{b,Rd}^- = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

$M_{b,Rd}^- : 570.27 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : 2408.00 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 252.38 \text{ MPa}$

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 265.00 \text{ MPa}$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1} : 1.05$

$\chi_{LT}$ : Factor de reducción por pandeo lateral.

$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}}} \leq 1$

$\chi_{LT}^+ : 1.00$

$\chi_{LT}^- : 0.94$

Siendo:  $\Phi_{LT} = 0.5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^2]$

$\phi_{LT}^+ : 0.51$

$\phi_{LT}^- : 0.63$

$\alpha_{LT}$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_{LT} : 0.21$

$\lambda_{LT}$ : Esbeltez reducida.



PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA (BIZKAIA)

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^+ \cdot f_y}{M}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}^+ : \underline{0.17}$

—

$$\bar{\lambda}_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^- \cdot f_y}{M}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}^- : \underline{0.45}$

$M_{cr}$ : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$M_{cr}^+ : \underline{21989.85kN \cdot m}$

$$M_{cr}^- : 3113.83 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral  $M_{cr}$  se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

$M_{LTV}$ : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTV}^+ : 5390.36 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTV}^- : 1848.13 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{LTw}$ : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTw}^+ : 21318.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTw}^- : 2506.06 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$ : Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : 2156.47 \text{ cm}^3$$

$I_z$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : 9690.00 \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : 257.20 \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : 81000 \text{ MPa}$$

$L_c^+$ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : 1.200 \text{ m}$$

$L_c^-$ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : 3.500 \text{ m}$$

$C_1$ : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : 1.00$$

$i_{f,z}$ : Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : 8.29 \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : 8.29 \text{ cm}$$

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed} \leq 1}{M_{c,Rd}}$$

$$\eta : 0.005 \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.080 m del nudo N78, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : 1.26 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.080 m del nudo N78, para la combinación de acciones



$$0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1.$$

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.48 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{248.77 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase:** 1

**$W_{pl,z}$ :** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

**$W_{pl,z}$ :** 985.70 cm<sup>3</sup>

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

**$f_{yd}$ :** 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$ :** 265.00 MPa

**$\gamma_{M0}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$ :** 1.05

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

**$\eta$ :** 0.113 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.080 m del nudo N78, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(0°)H4+1.5·N(EI).

**$V_{Ed}$ :** Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**$V_{Ed}$ :** 92.60 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  **$V_{c,Rd}$**  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

**$V_{c,Rd}$ :** 817.30 kN

Donde:

**$A_v$ :** Área transversal a cortante.

**$A_v$ :** 56.09 cm<sup>2</sup>

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

**$h$ :** Canto de la sección.

**$h$ :** 340.00 mm

**$t_w$ :** Espesor del alma.

**$t_w$ :** 12.00 mm

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

**$f_{yd}$ :** 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$ :** 265.00 MPa

**$\gamma_{M0}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$ :** 1.05

### Abolladura por cortante del alma (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar



la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$20.25 < 65.92$$



Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$\lambda_w$ : 20.25

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : 65.92

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$\varepsilon$ : 0.94

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$f_{ref}$ : 235.00 MPa

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$ : 265.00 MPa

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta < \mathbf{0.001}$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H2+0.75·N(EI).

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$ : 0.37 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$ : 1970.90 kN

Donde:

$A_v$ : rea transversal a cortante.

$A_v$ : 135.26 cm<sup>2</sup>

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

$A$ : rea de la sección bruta.

$A$ : 170.90 cm<sup>2</sup>

$d$ : Altura del alma.

$d$ : 297.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$ : 12.00 mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$ : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$ : 265.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$ : 1.05



**Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)**

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**92.60 kN ≤ 408.65 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sup>ésimos</sup> se producen para la combinaci<sup>ón</sup> de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(0°)H4+1.5·N(EI).

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de c<sup>álculo</sup> p<sup>ésimo</sup>.

**V<sub>Ed</sub>** : 92.60 kN

**V<sub>c,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de c<sup>álculo</sup>.

**V<sub>c,Rd</sub>** : 817.30 kN

**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de c<sup>álculo</sup> a flexi<sup>ón</sup>, ya que el esfuerzo cortante solicitante de c<sup>álculo</sup> p<sup>ésimo</sup> **V<sub>Ed</sub>** no es superior al 50% de la resistencia de c<sup>álculo</sup> a cortante **V<sub>c,Rd</sub>**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**0.37 kN ≤ 985.45 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de c<sup>álculo</sup> p<sup>ésimos</sup> se producen para la combinaci<sup>ón</sup> de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H2+0.75·N(EI).

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de c<sup>álculo</sup> p<sup>ésimo</sup>.

**V<sub>Ed</sub>** : 0.37 kN

**V<sub>c,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de c<sup>álculo</sup>.

**V<sub>c,Rd</sub>** : 1970.90 kN

**Resistencia a flexi<sup>ón</sup> y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + k \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \alpha \cdot k \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$



$$\frac{\chi \cdot A \cdot f}{y \quad yd} \quad \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y}}{yd} \cdot f \quad \chi_{pl,z} \cdot \frac{W_{pl,z}}{yd} \cdot f$$

$\eta : \underline{0.655}$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi \cdot A \cdot f} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y}}{yd} \cdot f} + k_{z} \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{\chi_{pl,z} \cdot \frac{W_{pl,z}}{yd} \cdot f} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.403}$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.357 m del nudo N78, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(0°)H4+1.5·N(EI).

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed} : \underline{102.74 \text{ kN}}$

$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed} : \underline{359.92 \text{ kN}\cdot\text{m}}$

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$M_{z,Ed} : \underline{0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}}$

**Clase :** 1

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : 4313.19 \text{ kN}$$

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : 607.73 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : 248.77 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : 170.90 \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : 2408.00 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : 985.70 \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 252.38 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : 265.00 \text{ MPa}$$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : 1.05$$

$k_y$ ,  $k_z$ ,  $k_{y,LT}$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\lambda_{\bar{y}} - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : 1.00$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \lambda_z = 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : 1.00$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_{y,LT} : 0.60$$

$C_{m,y}$ ,  $C_{m,z}$ ,  $C_{m,LT}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : 1.00$$

$$C_{m,z} : 1.00$$

$$C_{m,LT} : 1.00$$

$\chi_y$ ,  $\chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : 1.00$$

$$\chi_z : 1.00$$

$\chi_{LT}$ : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} : 0.94$$

$\bar{\lambda}_y$ ,  $\bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : 0.19$$

$$\bar{\lambda}_z : 0.00$$

$\alpha_y$ ,  $\alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : 0.60$$

$$\alpha_z : 0.60$$

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el



50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

**92.60 kN ≤ 408.65 kN** ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{Ed,z} : \frac{92.60}{\quad} \text{ kN}$

$V_{c,Rd,z} : \frac{817.30}{\quad} \text{ kN}$

**Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : 0.001$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H2.

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : 0.02$  kN·m

El momento torsor resistente de cálculo  $M_{T,Rd}$  viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$M_{T,Rd} : 17.43$  kN·m

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : 119.63$  cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 252.38$  MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 265.00$  MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

**Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : 0.062$  ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.080 m del nudo N78, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(270°)H2+0.75·N(R)2.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : 50.31$  kN

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : 0.02$  kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_y / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : 816.90$  kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : 817.30$  kN

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : 0.18$  MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:



$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$W_T : 119.63 \text{ cm}^3$

$f_{yd} : 252.38 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 265.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

### Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta < \underline{0.001}$  ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(270°)H2+0.75·N(R)2.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 0.00 kN

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$  : 0.02 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$  : 1969.95 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$  : 1970.90 kN

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$  : 0.18 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T$  : 119.63 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 265.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05



Barra N29/N67

Perfil: HE 340 B Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
Inicial	Final					
N29	N67	7.111	170.90	36660.00	9690.00	257.20
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		0.49	1.00	0.16	0.32	
L <sub>K</sub>		3.484	7.111	1.150	2.300	
C <sub>m</sub>		1.000	1.000	1.000	1.000	
C <sub>1</sub>		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_{w}$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N29/N67	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 7.111 m η = 1.6	x: 0.173 m η = 3.0	x: 0.173 m η = 59.0	x: 7.111 m η = 0.2	x: 0.173 m η = 10.1	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.173 m η = 62.5	η < 0.1	η = 0.4	x: 0.173 m η = 9.3	η < 0.1	<b>CUMPLE</b> η = 62.5
Notación: $\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez $\lambda_w$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$  : 0.55 ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A** : 170.90 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 265.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub>** : 15027.37 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto aleje Y.

**N<sub>cr,y</sub>** : 15027.37 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2 \cdot k_y}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto aleje Z.

**N<sub>cr,z</sub>** : 16543.30 kN

**N<sub>cr,z</sub>**



$$\frac{\pi}{2}$$

$$= \frac{E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

C) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T} : 43132.68 \text{ kN}$

$$N = \frac{1}{1 + \pi^2 \cdot E \cdot I_w} \left[ G_t \cdot \frac{L_{kt}^2}{i_0^2} \right]$$

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

**E**: Módulo de elasticidad.

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

**i<sub>0</sub>**: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 = \left( i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 \right)^{0.5}$$

Siendo:

**i<sub>y</sub>**, **i<sub>z</sub>**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

**y<sub>0</sub>**, **z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$I_y : 36660.00 \text{ cm}^4$$

$$I_z : 9690.00 \text{ cm}^4$$

$$I_t : 257.20 \text{ cm}^4$$

$$I_w : 2454000.00 \text{ cm}^6$$

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

$$G : 81000 \text{ MPa}$$

$$L_{ky} : 7.111 \text{ m}$$

$$L_{kz} : 3.484 \text{ m}$$

$$L_{kt} : 2.300 \text{ m}$$

$$i_0 : 16.47 \text{ cm}$$

$$i_y : 14.65 \text{ cm}$$

$$i_z : 7.53 \text{ cm}$$

$$y_0 : 0.00 \text{ mm}$$

$$z_0 : 0.00 \text{ mm}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.75 \leq 176.72 \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

**k**: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

**E**: Módulo de elasticidad.

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w : 297.00 \text{ mm}$$

$$t_w : 12.00 \text{ mm}$$

$$A_w : 35.64 \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : 64.50 \text{ cm}^2$$

$$k : 0.30$$

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

$$f_{yf} : 265.00 \text{ MPa}$$



**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$\eta : 0.016$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N67, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$ : 68.76 kN

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$ : 4313.19 kN

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.

**A**: 170.90 cm<sup>2</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$ : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$** : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$** : 265.00 MPa

**$\gamma_{M0}$** : Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$** : 1.05

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$ : 0.025 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$\eta$ : 0.030 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.173 m del nudo N29, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$ : 106.95 kN

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$ : 4313.19 kN

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase**: 1

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A**: 170.90 cm<sup>2</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$ : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$** : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$** : 265.00 MPa



$\gamma_{Mo}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{Mo}$  : 1.05

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : 3579.60 \text{ kN}$$

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : 170.90 \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 252.38 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : 265.00 \text{ MPa}$$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : 1.05$$

$\chi$ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : 0.86$$

$$\chi_z : 0.83$$

Siendo:

$$\chi_T : 0.94$$

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : 0.71$$

$$\phi_z : 0.72$$

$$\phi_T : 0.58$$

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : 0.34$$

$$\alpha_z : 0.49$$

$$\alpha_T : 0.49$$

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : 0.55$$

$$\bar{\lambda}_z : 0.52$$

$$\bar{\lambda}_T : 0.32$$

$N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : 15027.37 \text{ kN}$$

$N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : 15027.37 \text{ kN}$$

$N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : 16543.30 \text{ kN}$$

$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : 43132.68 \text{ kN}$$

**Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.590 \quad \checkmark$$



Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.173 m del nudo N29, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{226.85 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.173 m del nudo N29, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{358.80 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$



El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : 607.73 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : 1$$

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : 2408.00 \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 252.38 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : 265.00 \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : 1.05$$

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces  $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$  se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}_{LT}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^+ \cdot f_y}{M}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ : 0.16$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^- \cdot f_y}{M}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^- : 0.31$$

$M_{cr}$ : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr}^+ : 23884.81 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cr}^- : 6448.82 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral  $M_{cr}$  se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTW}^2}$$

Siendo:

$M_{LTV}$ : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTV}^+ : 5624.73 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTV}^- : 2812.36 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{LTW}$ : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L^2} \cdot C \cdot i_{1,z}^2$$

$$M_{LTW}^+ : 23213.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTW}^- : 5803.27 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$ : Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : 2156.47 \text{ cm}^3$$

$I_z$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : 9690.00 \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : 257.20 \text{ cm}^4$$



PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA (BIZKAIA)

**E:** Módulo de elasticidad.

**E :** 21000 MPa

**G:** Módulo de elasticidad transversal.

**G :** 8100 MPa

**L<sub>c</sub><sup>+</sup>:** Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

**L<sub>c</sub><sup>+</sup> :** 1.150 m

**L<sub>c</sub><sup>-</sup>:** Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

**L<sub>c</sub><sup>-</sup> :** 2.300 m

**C<sub>1</sub>:** Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la

**C<sub>1</sub> :** 1.00

forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$i_{f,z}$ : Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \quad 8.29 \quad \text{cm}$$

$$i_{f,z}^- : \quad 8.29 \quad \text{cm}$$

### Resistencia a flexión eje Z. (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N67, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \quad \underline{0.45} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N67, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \quad \underline{0.33} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \quad \underline{248.77} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \quad \underline{1}$$

$W_{pl,z}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \quad \underline{985.70} \quad \text{cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \quad \underline{252.38} \quad \text{MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \quad \underline{265.00} \quad \text{MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \quad \underline{1.05}$$

### Resistencia a corte Z. (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.101} \quad \checkmark$$



El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.173 m del nudo N29, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(90^\circ)H2 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

**$V_{Ed}$** : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**$V_{Ed}$**  : 82.88 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{817.30 \text{ kN}}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.  $A_v : \underline{56.09 \text{ cm}^2}$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.  $h : \underline{340.00 \text{ mm}}$

$t_w$ : Espesor del alma.  $t_w : \underline{12.00 \text{ mm}}$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} : \underline{252.38 \text{ MPa}}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : \underline{265.00 \text{ MPa}}$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

**Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \epsilon \quad 20.25 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.  $\lambda_w : \underline{20.25}$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.  $\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \epsilon$$

$\epsilon$ : Factor de reducción.  $\epsilon : \underline{0.94}$

$$\epsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.  $f_{ref} : \underline{235.00 \text{ MPa}}$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : \underline{265.00 \text{ MPa}}$

**Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta < 0.001 \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones



$$0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1.$$

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 0.06 kN



El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{1970.90 \text{ kN}}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.  $A_v : \underline{135.26 \text{ cm}^2}$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.  $A : \underline{170.90 \text{ cm}^2}$

$d$ : Altura del alma.  $d : \underline{297.00 \text{ mm}}$

$t_w$ : Espesor del alma.  $t_w : \underline{12.00 \text{ mm}}$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} : \underline{252.38 \text{ MPa}}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : \underline{265.00 \text{ MPa}}$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

#### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad \mathbf{82.88 \text{ kN} \leq 408.65 \text{ kN}} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(90^\circ)H2 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : \underline{82.88 \text{ kN}}$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd} : \underline{817.30 \text{ kN}}$

#### Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad \mathbf{0.06 \text{ kN} \leq 985.45 \text{ kN}} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : \underline{0.06 \text{ kN}}$



$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$  : 1970.90 kN



**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$



0  
6  
1  
5

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT,y} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : 0.625$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT,y} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : 0.619$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sup>s</sup>imos se producen en un punto situado a una distancia de 0.173 m del nudo N29, para la combinaci3n de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(0°)H4+1.5·N(EI).

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresi3n solicitante de c3lculo p<sup>s</sup>imo.

$N_{c,Ed} : 106.95 \text{ kN}$

$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de c3lculo p<sup>s</sup>imos, seg<sup>u</sup>n los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed} : 358.80 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{z,Ed} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$

**Clase**: Clase de la secci3n, seg<sup>u</sup>n la capacidad de deformaci3n y de desarrollo de la resistencia pl3stica de sus elementos planos, para axil y flexi3n simple.

**Clase** : 1

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresi3n de la secci3n bruta.

$N_{pl,Rd} : 4313.19 \text{ kN}$

$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexi3n de la secci3n bruta en condiciones pl3sticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y} : 607.73 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{pl,Rd,z} : 248.77 \text{ kN}\cdot\text{m}$

**Resistencia a pandeo**: (CTE DB SE-A, Art3culo 6.3.4.2)

A: 3rea de la secci3n bruta.

A : 170.90 cm<sup>2</sup>

$W_{pl,y}, W_{pl,z}$ : M3dulos resistentes pl3sticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$W_{pl,y} : 2408.00 \text{ cm}^3$

$W_{pl,z} : 985.70 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de c3lculo del acero.

$f_{yd} : 252.38 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_y : \underline{265.00 \text{ MPa}}$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$k_y, k_z, k_{y,LT}$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\lambda_{\bar{y}} - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \lambda_z = 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.01}$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_z}{C_{m,LT} - 0.25 \chi_z \cdot N_{c,Rd}} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}}$$

$$k_{y,LT} : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}, C_{m,LT}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

	$C_{m,LT} : 1.00$
$\chi_y, \chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	$\chi_y : 0.86$
	$\chi_z : 0.83$
$\chi_{LT}$ : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.	$\chi_{LT} : 1.00$
$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.	$\bar{\lambda}_y : 0.55$
	$\bar{\lambda}_z : 0.52$
$\alpha_y, \alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.	$\alpha_y : 0.60$
	$\alpha_z : 0.60$

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(90^\circ)H2 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$82.88 \text{ kN} \leq 408.27 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$\begin{array}{l}
 V_{Ed,z} : 82.88 \text{ kN} \\
 V_{c,Rd,z} : 816.54 \text{ kN}
 \end{array}$$

### Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.004 \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$ .

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : 0.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo  $M_{T,Rd}$  viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : 17.43 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : 119.63 \text{ cm}^3$$



$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 252.38MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 265.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

**Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : 0.093$  ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.173 m del nudo N29, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub>** : 75.62 kN

**M<sub>T,Ed</sub>**: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

**M<sub>T,Ed</sub>** : 0.04 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V<sub>pl,T,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

**V<sub>pl,T,Rd</sub>** : 816.54 kN

Donde:

**V<sub>pl,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

**V<sub>pl,Rd</sub>** : 817.30 kN

**τ<sub>T,Ed</sub>**: Tensiones tangenciales por torsión.

**τ<sub>T,Ed</sub>** : 0.34 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

**W<sub>t</sub>**: Módulo de resistencia a torsión.

**W<sub>t</sub>** : 119.63 cm<sup>3</sup>

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{MO}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 265.00 MPa

**γ<sub>MO</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>MO</sub>** : 1.05

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta < 0.001$  ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub>** : 0.02 kN

**M<sub>T,Ed</sub>**: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

**M<sub>T,Ed</sub>** : 0.04 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V<sub>pl,T,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$\cdot V_{pl,Rd}$       **V<sub>pl,T,Rd</sub>**



: 1969.08 kN

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$V_{pl,Rd}$  : 1970.90 kN

$\tau_{T,Ed}$  : 0.34 MPa



$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

**W<sub>T</sub>**: Módulo de resistencia a torsión.

**W<sub>T</sub>** : 119.63 cm<sup>3</sup>

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 265.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** : 1.05

Barra N30/N35

**Perfil: HE 100 B**  
**Material: Acero (S275)**

Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
Inicial	Final					
N30	N35	5.000	26.00	449.50	167.30	9.25

Notas: <sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado <sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme				
	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	0.00	0.00	0.00	0.00
L <sub>K</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000
C <sub>1</sub>	-		1.000	

Notación:  
 β: Coeficiente de pandeo  
 L<sub>K</sub>: Longitud de pandeo (m)  
 C<sub>m</sub>: Coeficiente de momentos  
 C<sub>1</sub>: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	λ̄	λ <sub>w</sub>	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N30/N35	λ̄ < 2.0 Cumple	x: 0.313 m λ <sub>w</sub> ≤ λ <sub>w,max</sub> Cumple	η = 20.4	η = 19.1	x: 2.5 m η = 3.1	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	x: 0 m η = 0.5	V <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(2)</sup>	x: 0.313 m η < 0.1	N.P. <sup>(3)</sup>	x: 2.5 m η = 22.2	x: 0.313 m η < 0.1	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 22.2

Notación:  
 λ̄: Limitación de esbeltez  
 λ<sub>w</sub>: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida  
 N<sub>t</sub>: Resistencia a tracción  
 N<sub>c</sub>: Resistencia a compresión  
 M<sub>y</sub>: Resistencia a flexión eje Y  
 M<sub>z</sub>: Resistencia a flexión eje Z  
 V<sub>y</sub>: Resistencia a corte Y  
 V<sub>z</sub>: Resistencia a corte Z  
 M<sub>y</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados  
 M<sub>z</sub>V<sub>y</sub>: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados  
 NM<sub>y</sub>M<sub>z</sub>: Resistencia a flexión y axil combinados  
 NM<sub>y</sub>M<sub>z</sub>V<sub>y</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados  
 M<sub>t</sub>: Resistencia a torsión  
 M<sub>t</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados  
 M<sub>t</sub>V<sub>y</sub>: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados  
 x: Distancia al origen de la barra  
 η: Coeficiente de aprovechamiento (%)  
 N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):  
<sup>(1)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.  
<sup>(2)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.  
<sup>(3)</sup> No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.  
<sup>(4)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.  
<sup>(5)</sup> No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ̄ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ̄ < **0.01** ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase: 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A:** 26.00 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>:** 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo mínimo, teniendo en cuenta que las longitudes de pandeo son nulas.

**N<sub>cr</sub>:** ∞





**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

**13.33 ≤ 158.72** ✓

Donde:

$h_w$ : Altura del alma.

$h_w$  : 80.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$  : 6.00 mm

$A_w$ : Área del alma.

$A_w$  : 4.80 cm<sup>2</sup>

$A_{fc,ef}$ : Área reducida del ala comprimida.

$A_{fc,ef}$  : 10.00 cm<sup>2</sup>

$k$ : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$k$  : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

$f_{yf}$ : Límite elástico del acero del ala comprimida.

$f_{yf}$  : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

### Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.204 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H1.

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$  : 138.80 kN

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$  : 680.95 kN

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$A$  : 26.00 cm<sup>2</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.191 ✓



El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  
 $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(270^\circ)H2 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$  : 129.90kNLa resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

 $N_{c,Rd}$  : 680.95kN

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.Clase : 1**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.**A** : 26.00 cm<sup>2</sup> $f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd}$  : 261.90MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 $f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y$  : 275.00 MPa $\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M0}$  : 1.05**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo son nulas.

**Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

 $\eta$  : 0.031 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N30, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1.

 $M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{Ed}^+$  : 0.84 kN·m

Para flexión negativa:

 $M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{Ed}^-$  : 0.00 kN·mEl momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{ply} \cdot f_{yd}$$

 $M_{c,Rd}$  : 27.29 kN·m

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.Clase : 1 **$W_{pl,y}$ :** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,y}$  : 104.20 cm<sup>3</sup> $f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 $f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y$  : 275.00 MPa



$\gamma_{MO}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{MO}$  : 1.05

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2) No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

**Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.005}$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N30, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub>** : 0.68 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

**V<sub>c,Rd</sub>** : 136.09 kN

Donde:

**A<sub>v</sub>**: Área transversal a cortante.

**A<sub>v</sub>** : 9.00 cm<sup>2</sup>

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

**h**: Canto de la sección.

**h** : 100.00 mm

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

**t<sub>w</sub>** : 6.00 mm

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** : 1.05

**Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \epsilon$$

**9.33 < 64.71** ✓

Donde:

**λ<sub>w</sub>**: Esbeltez del alma.

**λ<sub>w</sub>** : 9.33

$$\lambda_w = \frac{d}{t}$$



w

$\lambda_{\text{máx}}$ : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{\text{máx}} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$$\lambda_{\text{máx}} : \underline{64.71}$$

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$f_{ref}$ : 235.00 MPa

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$ : 275.00 MPa

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.59 \text{ kN} \leq 68.04 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N30, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$ : 0.59 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$ : 136.09 kN

### Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

### Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} \\
 + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} &: \\
 + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} &\leq 1
 \end{aligned}$$

$0$   
 $\leq$   
 $2$   
 $2$   
 $2$





Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N30, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$ .

Donde:

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : 138.80 \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : 0.50 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{z,Ed}^+ : 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \text{Clase} : 1$$

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a tracción.

$$N_{pl,Rd} : 680.95 \text{ kN}$$

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : 27.29 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : 13.47 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

No procede, dado que tanto las longitudes de pandeo como las longitudes de pandeo lateral son nulas.

**Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N30, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

**0.59 kN ≤ 68.04 kN** ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{Ed,z}$  : 0.59 kN

$V_{c,Rd,z}$  : 136.09 kN

**Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

**Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N13/N14

Perfil: HE 340 B						
Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)		Características mecánicas			
	Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
N13	N14	7.500	170.90	36660.00	9690.00	257.20
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L <sub>K</sub>	7.500	7.500	0.000	0.000		
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>1</sub>	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N13/N14	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 7.355 m η = 1.7	x: 0 m η = 5.7	x: 7.357 m η = 58.8	x: 0 m η = 1.5	x: 0 m η = 11.5	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 7.357 m η = 62.2	η < 0.1	η = 0.1	η = 8.9	η < 0.1	<b>CUMPLE</b> η = 62.2
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ <sub>w</sub> : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$  : 1.13 ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A** : 170.90 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 265.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub>** : 3570.43 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,y</sub>** : 13507.94 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

**N<sub>cr,z</sub>** : 3570.43 kN



$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{G I_t}{L_{kt}^2} \left[ 1 + \frac{\pi^2 E I_w}{L_{ky}^2 G I_t} \right]$$

$N_{cr,T} : \infty$

Donde:

$I_y$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$I_y : \frac{36660.00}{cm^4}$

$I_z$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$I_z : \frac{9690.00}{cm^4}$

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$I_t : \frac{257.20}{cm^4}$

$I_w$ : Constante de alabeo de la sección.

$I_w : \frac{2454000.00}{cm^6}$

E: Módulo de elasticidad.

$E : \frac{210000}{MPa}$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$G : \frac{81000}{MPa}$

$L_{ky}$ : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$L_{ky} : \frac{7.500}{m}$

$L_{kz}$ : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$L_{kz} : \frac{7.500}{m}$

$L_{kt}$ : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$L_{kt} : \frac{0.000}{m}$

$i_o$ : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$i_o : \frac{16.47}{cm}$

$$i_o = \left( i_y^2 + i_z^2 + y_o^2 + z_o^2 \right)^{0.5}$$

Siendo:

$i_y, i_z$ : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$i_y : \frac{14.65}{cm}$

$y_o, z_o$ : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$i_z : \frac{7.53}{cm}$

$y_o : \frac{0.00}{mm}$

$z_o : \frac{0.00}{mm}$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$24.75 \leq 176.72$  ✓

Donde:

$h_w$ : Altura del alma.

$h_w : \frac{297.00}{mm}$

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w : \frac{12.00}{mm}$

$A_w$ : Área del alma.

$A_w : \frac{35.64}{cm^2}$

$A_{fc,ef}$ : Área reducida del ala comprimida.

$A_{fc,ef} : \frac{64.50}{cm^2}$

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$k : \frac{0.30}$

E: Módulo de elasticidad.

$E : \frac{210000}{MPa}$

$f_{yf}$ : Límite elástico del acero del ala comprimida.

$f_{yf} : \frac{265.00}{MPa}$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$



**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.017}$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 7.355 m del nudo N13, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H1.

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$ : 71.40 kN

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$ : 4313.19 kN

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.

**A**: 170.90 cm<sup>2</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$ : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$** : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$** : 265.00 MPa

**$\gamma_{M0}$** : Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$** : 1.05

**Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$ : 0.027 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$\eta$ : 0.057 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(0°)H4+1.5·N(EI).

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$ : 116.35 kN

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$ : 4313.19 kN

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase**: 1

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A**: 170.90 cm<sup>2</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$ : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$** : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$** : 265.00 MPa



$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05



**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd} : 2029.23 \text{ kN}$

Donde:

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$A : 170.90 \text{ cm}^2$

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 252.38 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 265.00 \text{ MPa}$

**$\gamma_{M1}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1} : 1.05$

$\chi$ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$\chi_y : 0.85$

Siendo:

$\chi_z : 0.47$

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$\phi_y : 0.73$

$\phi_z : 1.36$

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_y : 0.34$

$\alpha_z : 0.49$

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_y : 0.58$

$\bar{\lambda}_z : 1.13$

**$N_{cr}$ :** Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr} : 3570.43 \text{ kN}$

**$N_{cr,y}$ :** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y} : 13507.94 \text{ kN}$

**$N_{cr,z}$ :** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z} : 3570.43 \text{ kN}$

**$N_{cr,T}$ :** Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T} : \infty$

**Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : 0.588$  ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 7.357 m del nudo N13, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H1.

**$M_{Ed}^+$ :** Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : 230.79 \text{ kN}\cdot\text{m}$



Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 7.357 m del nudo N13, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^-$  : 357.08 kN·m

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{607.73 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

**$W_{pl,y}$ :** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{2408.00 \text{ cm}^3}$$

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{265.00 \text{ MPa}}$$

**$\gamma_{M0}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2) No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

**Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.015} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$ .

**$M_{Ed}^+$ :** Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{3.85 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

**$M_{Ed}^-$ :** Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{3.70 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

El momento flector resistente de cálculo  **$M_{c,Rd}$**  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{248.77 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

**$W_{pl,z}$ :** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{985.70 \text{ cm}^3}$$

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{265.00 \text{ MPa}}$$

**$\gamma_{M0}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.115}$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(0°)H4+1.5·N(EI).

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub>** : 93.96 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

**V<sub>c,Rd</sub>** : 817.30 kN

Donde:

**A<sub>v</sub>**: Área transversal a cortante.

**A<sub>v</sub>** : 56.09 cm<sup>2</sup>

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

**h**: Canto de la sección.

**h** : 340.00 mm

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

**t<sub>w</sub>** : 12.00 mm

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 265.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** : 1.05

**Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

**20.25** < **65.92** ✓

Donde:

**λ<sub>w</sub>**: Esbeltez del alma.

**λ<sub>w</sub>** : 20.25

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

**λ<sub>máx</sub>**: Esbeltez máxima.

**λ<sub>máx</sub>** : 65.92

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

**ε**: Factor de reducción.

**ε** : 0.94

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

**f<sub>ref</sub>**: Límite elástico de referencia.

**f<sub>ref</sub>** : 235.00 MPa

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 265.00 MPa



**Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta < 0.001$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H1.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub>** : 0.51 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

**V<sub>c,Rd</sub>** : 1970.90 kN

Donde:

**A<sub>v</sub>**: Área transversal a cortante.

**A<sub>v</sub>** : 135.26 cm<sup>2</sup>

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

**A**: Área de la sección bruta.

**A** : 170.90 cm<sup>2</sup>

**d**: Altura del alma.

**d** : 297.00 mm

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

**t<sub>w</sub>** : 12.00 mm

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 265.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** : 1.05

**Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V<sub>Ed</sub>** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V<sub>c,Rd</sub>**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**93.96 kN ≤ 408.65 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(0°)H4+1.5·N(EI).

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub>** : 93.96 kN

**V<sub>c,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

**V<sub>c,Rd</sub>** : 817.30 kN



**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)



No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**0.51 kN ≤ 985.45 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed}$  : 0.51 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd}$  : 1970.90 kN

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT,y} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.622 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.406 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 7.357 m del nudo N13, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(0°)H4+1.5·N(EI).

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.  $N_{c,Ed}$  : 101.73 kN

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.  $M_{y,Ed}$  : 357.08 kN·m

$M_{z,Ed}$  : 0.00 kN·m

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.  $N_{pl,Rd}$  : 4313.19 kN





$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y} : 607.73 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{pl,Rd,z} : 248.77 \text{ kN}\cdot\text{m}$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$A : 170.90 \text{ cm}^2$

$W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$W_{pl,y} : 2408.00 \text{ cm}^3$

$W_{pl,z} : 985.70 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 252.38 \text{ MPa}$

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 265.00 \text{ MPa}$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1} : 1.05$

**$k_y, k_z$** : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \lambda_z = 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.07}$$

**$C_{m,y}, C_{m,z}$** : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

**$\chi_y, \chi_z$** : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.85}$$

$$\chi_z : \underline{0.47}$$

**$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$** : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.58}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.13}$$

**$\alpha_y, \alpha_z$** : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$93.96 \text{ kN} \leq 408.59 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

**$V_{Ed,z}$** : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{93.96} \text{ kN}$$

**$V_{c,Rd,z}$** : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{817.18} \text{ kN}$$

### Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .



$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : 0.02 \text{ kN}\cdot\text{m}$

El momento torsor resistente de cálculo  $M_{T,Rd}$  viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_{T,yd} \cdot f_{T,yd}$$

$M_{T,Rd} : 17.43 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : 119.63 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 252.38 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 265.00 \text{ MPa}$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

### Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : 0.089$  ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.5 \cdot Q$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : 72.61 \text{ kN}$

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : 0.01 \text{ kN} \cdot \text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_y} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : 817.18 \text{ kN}$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : 817.30 \text{ kN}$

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : 0.05 \text{ MPa}$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : 119.63 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 252.38 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 265.00 \text{ MPa}$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

### Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta < 0.001$  ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de



acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.5 \cdot Q$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$ : 0.09 kN



**$M_{T,Ed}$** : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

**$M_{T,Ed}$**  : 0.01 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  **$V_{pl,T,Rd}$**  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_y / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

**$V_{pl,T,Rd}$**  : 1970.62 kN

Donde:

**$V_{pl,Rd}$** : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

**$V_{pl,Rd}$**  : 1970.90 kN

**$\tau_{T,Ed}$** : Tensiones tangenciales por torsión.

**$\tau_{T,Ed}$**  : 0.05 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

**$W_T$** : Módulo de resistencia a torsión.

**$W_T$**  : 119.63 cm<sup>3</sup>

**$f_{yd}$** : Resistencia de cálculo del acero.

**$f_{yd}$**  : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$** : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$**  : 265.00 MPa

**$\gamma_{M0}$** : Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$**  : 1.05

Barra N3/N75

Perfil: HE 280 B Material: Acero (S275)							
Nudos	Longitud (m)		Características mecánicas				
	Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>r</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
N3	N75	4.000	131.40	19270.00	6595.00	143.70	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo			Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.30	1.00			
L <sub>K</sub>	4.000	4.000	1.200	4.000			
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000			
C <sub>1</sub>	-			1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>	
N3/N75	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 3.918 m η = 0.7	x: 0 m η = 2.2	x: 0 m η = 17.2	x: 0 m η = 9.6	x: 0 m η = 3.2	x: 0 m η = 1.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 25.3	η < 0.1	η = 0.4	η = 0.4	η < 0.1	<b>CUMPLE</b> η = 25.3
Notación: $\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez $\lambda_w$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$  : 0.64 ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase:** 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A:** 131.40 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>:** 265.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub>:** 8543.07 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,y</sub>:** 24962.08 kN

$$\pi^2 \cdot E \cdot I_y$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

**N<sub>cr,z</sub>:** 8543.07 kN



$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T} : 13349.59 \text{ kN}$



$$N = \frac{1}{1 + \pi^2 \cdot E \cdot I_w} \left[ G_t \cdot \frac{L_{kt}^2}{i_0^2} \right]$$

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

**E**: Módulo de elasticidad.

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

**i<sub>0</sub>**: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 = \left( i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 \right)^{0.5}$$

Siendo:

**i<sub>y</sub>**, **i<sub>z</sub>**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

**y<sub>0</sub>**, **z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$I_y : 19270.00 \text{ cm}^4$$

$$I_z : 6595.00 \text{ cm}^4$$

$$I_t : 143.70 \text{ cm}^4$$

$$I_w : 1130000.00 \text{ cm}^6$$

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

$$G : 81000 \text{ MPa}$$

$$L_{ky} : 4.000 \text{ m}$$

$$L_{kz} : 4.000 \text{ m}$$

$$L_{kt} : 4.000 \text{ m}$$

$$i_0 : 14.03 \text{ cm}$$

$$i_y : 12.11 \text{ cm}$$

$$i_z : 7.08 \text{ cm}$$

$$y_0 : 0.00 \text{ mm}$$

$$z_0 : 0.00 \text{ mm}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$23.24 \leq 169.50 \quad \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

**k**: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

**E**: Módulo de elasticidad.

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w : 244.00 \text{ mm}$$

$$t_w : 10.50 \text{ mm}$$

$$A_w : 25.62 \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : 50.40 \text{ cm}^2$$

$$k : 0.30$$

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

$$f_{yf} : 265.00 \text{ MPa}$$



**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$\eta : 0.007$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.918 m del nudo N3, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$ : 22.70 kN

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$ : 3316.29 kN

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.

**A**: 131.40 cm<sup>2</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$ : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$** : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$** : 265.00 MPa

**$\gamma_{M0}$** : Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$** : 1.05

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$ : 0.017 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$\eta$ : 0.022 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$ : 55.65 kN

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$ : 3316.29 kN

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase**: 1

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A**: 131.40 cm<sup>2</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$ : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$** : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$** : 265.00 MPa



$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : 2528.27 \text{ kN}$$

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : 131.40 \text{ cm}^2$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 252.38 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : 265.00 \text{ MPa}$$

**γ<sub>M1</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : 1.05$$

**χ**: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : 0.94$$

$$\chi_z : 0.76$$

$$\chi_T : 0.84$$

Siendo:

$$\phi_y : 0.60$$

$$\phi_z : 0.81$$

$$\phi_T : 0.71$$

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

**α**: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : 0.34$$

$$\alpha_z : 0.49$$

$$\alpha_T : 0.49$$

**λ̄**: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : 0.37$$

$$\bar{\lambda}_z : 0.64$$

$$\bar{\lambda}_T : 0.51$$

**N<sub>cr</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : 8543.07 \text{ kN}$$

**N<sub>cr,y</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : 24962.08 \text{ kN}$$

**N<sub>cr,z</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : 8543.07 \text{ kN}$$

**N<sub>cr,T</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : 13349.59 \text{ kN}$$

**Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.158 \quad \checkmark$$



$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.172 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+$  : 59.69 kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H4+0.75·N(R)1.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^-$ : 61.06 kN·m

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$ : 387.15 kN·m

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$ : 1534.00 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$ : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$ : 265.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$ : 1.05

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2) El momento flector resistente de cálculo  $M_{b,Rd}$  viene dado por:

$$M_{b,Rd}^+ = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{b,Rd}^+$ : 387.15 kN·m

$$M_{b,Rd}^- = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{b,Rd}^-$ : 354.55 kN·m

Donde:

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$ : 1534.00 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$ : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$ : 265.00 MPa

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1}$ : 1.05

$\chi_{LT}$ : Factor de reducción por pandeo lateral.

$\chi_{LT}^+$ : 1.00

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}}} \leq 1$$

$\chi_{LT}^-$ : 0.92

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^2 \right]$$

$\phi_{LT}^+$ : 0.51

$\phi_{LT}^-$ : 0.67

$\alpha_{LT}$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_{LT}$ : 0.21

$\lambda_{LT}$ : Esbeltez reducida.

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^+ \cdot f_y}{M_{b,Rd}^+}}$$



PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA (BIZKAIA)

$$\bar{\lambda}_{LT} =$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ : \underline{0.18}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^- \cdot f_y}{M}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^- : \underline{0.53}$$

$M_{cr}$ : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr}^+ : \underline{12388.06kN\cdot m}$$



$$M_{cr}^- : 1465.59 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral  $M_{cr}$  se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

$M_{LTV}$ : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTV}^+ : 3323.97 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTV}^- : 997.19 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{LTw}$ : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C \cdot i_{1f,z}^2$$

$$M_{LTw}^+ : 11933.79 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTw}^- : 1074.04 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$ : Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : 1376.43 \text{ cm}^3$$

$I_z$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : 6595.00 \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : 143.70 \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : 81000 \text{ MPa}$$

$L_c^+$ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : 1.200 \text{ m}$$

$L_c^-$ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : 4.000 \text{ m}$$

$C_1$ : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : 1.00$$

$i_{f,z}$ : Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : 7.76 \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : 7.76 \text{ cm}$$

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.096 \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H2.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : 17.35 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H3+0.75·N(EI).

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : 17.36 \text{ kN}\cdot\text{m}$$



El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{181.11} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase:** 1

**$W_{pl,z}$ :** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

**$W_{pl,z}$ :** 717.60 cm<sup>3</sup>

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

**$f_{yd}$ :** 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$ :** 265.00 MPa

**$\gamma_{M0}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$ :** 1.05

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

**$\eta$ :** 0.032 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H4$ .

**$V_{Ed}$ :** Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**$V_{Ed}$ :** 19.08 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  **$V_{c,Rd}$**  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

**$V_{c,Rd}$ :** 599.31 kN

Donde:

**$A_v$ :** Área transversal a cortante.

**$A_v$ :** 41.13 cm<sup>2</sup>

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

**$h$ :** Canto de la sección.

**$h$ :** 280.00 mm

**$t_w$ :** Espesor del alma.

**$t_w$ :** 10.50 mm

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

**$f_{yd}$ :** 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$ :** 265.00 MPa

**$\gamma_{M0}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$ :** 1.05

### Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \epsilon$$

**$t_w$**



**18.67 < 65.92** ✓

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$\lambda_w$ : 18.67

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{\text{máx}}$ : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{\text{máx}} : \underline{65.92}$$

$$\lambda_{\text{max}} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.94}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{\text{ref}}$ : Límite elástico de referencia.

$$f_{\text{ref}} : \underline{235.00 \text{ MPa}}$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{265.00 \text{ MPa}}$$

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{\text{Ed}}}{V_{\text{c,Rd}}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.012} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H3+0.75·N(EI).

$V_{\text{Ed}}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{\text{Ed}} : \underline{18.78 \text{ kN}}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{\text{c,Rd}}$  viene dado por:

$$V_{\text{c,Rd}} = A_v \cdot \frac{f_{\text{yd}}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{\text{c,Rd}} : \underline{1541.34 \text{ kN}}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{105.78 \text{ cm}^2}$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{131.40 \text{ cm}^2}$$

$d$ : Altura del alma.

$$d : \underline{244.00 \text{ mm}}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.50 \text{ mm}}$$

$f_{\text{yd}}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{\text{yd}} : \underline{252.38 \text{ MPa}}$$

$$f_{\text{yd}} = f_y / \gamma_{\text{M0}}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{265.00 \text{ MPa}}$$

$\gamma_{\text{M0}}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{\text{M0}} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)



No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**19.08 kN ≤ 299.66 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sup>és</sup>imos se producen para la combinaci<sup>ón</sup> de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H4.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo p<sup>és</sup>imo.

**V<sub>Ed</sub>** : 19.08 kN

**V<sub>c,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

**V<sub>c,Rd</sub>** : 599.31 kN

**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexi<sup>ón</sup>, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo p<sup>és</sup>imo **V<sub>Ed</sub>** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V<sub>c,Rd</sub>**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**18.78 kN ≤ 770.67 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sup>és</sup>imos se producen para la combinaci<sup>ón</sup> de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H3+0.75·N(EI).

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo p<sup>és</sup>imo.

**V<sub>Ed</sub>** : 18.78 kN

**V<sub>c,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

**V<sub>c,Rd</sub>** : 1541.34 kN

**Resistencia a flexi<sup>ón</sup> y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\begin{aligned}
 &\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} \\
 &+ \frac{M_{pl,Rd,y}}{M_{pl,Rd,y}} \\
 &+ \frac{M_{pl,Rd,z}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1
 \end{aligned}$$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi \cdot A \cdot f} + k \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi \cdot W_y \cdot f} + \alpha \cdot k \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_z \cdot f} \leq 1$$



$$\eta = \frac{0.21}{3}$$

y yd LT pl,y yd pl,z yd

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi \cdot A \cdot f} + k \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{y,LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f} + k \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f} \leq 1$$

$\eta : 0.253$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sup>s</sup>imos se producen en el nudo N3, para la combinaci3n de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(180°)H3+0.75·N(R)1.

Donde:

**N<sub>c,Ed</sub>**: Axil de compresi3n solicitante de c3lculo p<sup>s</sup>imo.

**N<sub>c,Ed</sub>** : 24.98 kN

**M<sub>y,Ed</sub>, M<sub>z,Ed</sub>**: Momentos flectores solicitantes de c3lculo p<sup>s</sup>imos, seg<sup>u</sup>n los ejes Y y Z, respectivamente.

**M<sub>y,Ed</sub>** : 52.21 kN·m **M<sub>z,Ed</sub>** : 17.26 kN·m **Clase** : 1

**Clase**: Clase de la secci3n, seg<sup>u</sup>n la capacidad de deformaci3n y de desarrollo de la resistencia pl3stica de sus elementos planos, para axil y flexi3n simple.

**N<sub>pl,Rd</sub>**: Resistencia a compresi3n de la secci3n bruta.

**N<sub>pl,Rd</sub>** : 3316.29kN



$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y}$  : 387.15 kN·m

$M_{pl,Rd,z}$  : 181.11 kN·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

A : 131.40 cm<sup>2</sup>

$W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$W_{pl,y}$  : 1534.00 cm<sup>3</sup>

$W_{pl,z}$  : 717.60 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 252.38 MPa

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 265.00 MPa

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1}$  : 1.05

$k_y$ ,  $k_z$ ,  $k_{y,LT}$ : Coeficientes de interacción.

$k_y = 1 + (\lambda_{y} - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$

$k_y$  : 1.00

$k_z = 1 + (2 \cdot \lambda_z = 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$

$k_z$  : 1.01

$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_m - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$

$k_{y,LT}$  : 1.00

$C_{m,y}$ ,  $C_{m,z}$ ,  $C_{m,LT}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$C_{m,y}$  : 1.00

$C_{m,z}$  : 1.00

$C_{m,LT}$  : 1.00

$\chi_y$ ,  $\chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$\chi_y$  : 0.94

$\chi_z$  : 0.76

$\chi_{LT}$ : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

$\chi_{LT}$  : 0.92

$\bar{\lambda}_y$ ,  $\bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$\bar{\lambda}_y$  : 0.37

$\bar{\lambda}_z$  : 0.64

$\alpha_y$ ,  $\alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.

$\alpha_y$  : 0.60

$\alpha_z$  : 0.60

**Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación



de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H4$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

**19.08 kN ≤ 299.20 kN** ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{Ed,z} : \frac{19.08}{\quad} \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd,z} : \frac{598.40}{\quad} \text{ kN}$$

**Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : 0.004$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(90°)H2+1.5·N(EI).

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : 0.05$  kN·m

El momento torsor resistente de cálculo  $M_{T,Rd}$  viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$M_{T,Rd} : 11.63$  kN·m

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : 79.83$  cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 252.38$  MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 265.00$  MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

**Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : 0.004$  ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : 2.32$  kN

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : 0.04$  kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : 598.40$  kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : 599.31$  kN

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : 0.55$  MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : 79.83$  cm<sup>3</sup>



$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 252.38 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 265.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta < \underline{0.001}$  ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 0.73 kN

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$  : 0.04 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{v,d} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$  : 1539.00 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$  : 1541.34 kN

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$  : 0.55 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T$  : 79.83 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 252.38 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 265.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

Barra N59/N65

Perfil: HE 100 B							
Material: Acero (S275)							
Nudos	Longitud (m)		Características mecánicas				
	Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
N59	N65	5.000	26.00	449.50	167.30	9.25	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.			
β	0.00	0.00	0.00	0.00			
L <sub>K</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000			
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000			
C <sub>1</sub>	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	λ̄	λ <sub>w</sub>	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>	
N59/N65	λ̄ < 2.0 Cumple	x: 0.313 m λ <sub>w</sub> ≤ λ <sub>w,max</sub> Cumple	η = 0.3	η = 8.6	x: 2.813 m η = 4.0	x: 5 m η = 2.4	x: 0 m η = 0.6	η < 0.1	x: 0.313 m η < 0.1	x: 0.313 m η < 0.1	x: 3.438 m η = 14.1	x: 0.313 m η < 0.1	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 14.1
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ <sub>w</sub> : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ̄ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ̄ < 0.01 ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase: 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A: 26.00 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f<sub>y</sub>: 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo mínimo, teniendo en cuenta que las longitudes de pandeo son nulas.

N<sub>cr</sub>: ∞

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)



Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f} \sqrt{\frac{A_w}{\Delta}}$$

$$13.33 \leq 158.72 \quad \checkmark$$

Donde:

$h_w$ : Altura del alma.

$t_w$ : Espesor del alma.

$A_w$ : Área del alma.

$A_{fc,ef}$ : Área reducida del ala comprimida.

$k$ : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$E$ : Módulo de elasticidad.

$f_{yf}$ : Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w : \underline{80.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

$$A_w : \underline{4.80} \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : \underline{10.00} \text{ cm}^2$$

$$k : \underline{0.30}$$

$$E : \underline{210000} \text{ MPa}$$

$$f_{yf} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

### Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{1.92} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{680.95} \text{ kN}$$

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{26.00} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.086} \quad \checkmark$$





El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  
 $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(270^\circ)H2 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$  : 58.67 kN

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{680.95 \text{ kN}}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.00 \text{ cm}^2}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo son nulas.

**Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.040} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.813 m del nudo N59, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(270^\circ)H2 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{1.09 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Para flexión negativa:

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{27.29 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{104.20 \text{ cm}^3}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$



**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2) No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed} \leq 1}{M_{c,Rd}}$$

$$\eta : \underline{0.024} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N65, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.22} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N65, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(270^\circ)H2 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.32} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{13.47} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{51.42} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed} \leq 1}{V_{c,Rd}}$$

$$\eta : \underline{0.006} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N59, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(270^\circ)H2 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.77} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot f_{yd}$$

$f_{yd}$



$$V_{c,Rd} : \frac{136.09}{\sqrt{3}} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v$ : 9.00 cm<sup>2</sup>

$A_v = h \cdot t_w$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$h$ : 100.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$ : 6.00 mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$ : 261.90 MPa

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$ : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$ : 1.05

**Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$

**9.33 < 64.71** ✓

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$\lambda_w$ : 9.33

$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : 64.71

$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$\varepsilon$ : 0.92

$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$f_{ref}$ : 235.00 MPa

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$ : 275.00 MPa

**Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4) Se debe

satisfacer:

$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$

$\eta < \mathbf{0.001}$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(270°)H2+1.5·N(EI).

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$ : 0.06 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$V_{c,Rd}$

=  $A_v$

$f_{yd}$



$$V_{c,Rd} : \frac{320}{57} \text{ kN} \sqrt{3}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v$ : 21.20 cm<sup>2</sup>

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

**A**: Área de la sección bruta.

**d**: Altura del alma.

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

$$A : \underline{26.00} \text{ cm}^2$$

$$d : \underline{80.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V<sub>Ed</sub>** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V<sub>c,Rd</sub>**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.68 \text{ kN} \leq 68.04 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N59, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(270°)H2+1.5·N(EI).

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.68} \text{ kN}$$

**V<sub>c,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{136.09} \text{ kN}$$

### Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V<sub>Ed</sub>** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V<sub>c,Rd</sub>**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.06 \text{ kN} \leq 160.28 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N59, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(270°)H2+1.5·N(EI).

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.06} \text{ kN}$$

**V<sub>c,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{320.57} \text{ kN}$$





**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$\eta$   
 $:$   
 $0.$   
 $14$   
 $1$

✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sup>ésimos</sup> se producen en un punto situado a una distancia de 3.438 m del nudo N59, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(270°)H2+1.5·N(EI).

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo p<sup>ésimo</sup>.

$$N_{c,Ed} : 58.67 \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo p<sup>ésimos</sup>, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : 1.04 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{z,Ed}^- : 0.22 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \text{Clase} : 1$$

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : 680.95 \text{ kN}$$

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : 27.29 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : 13.47 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**Resistencia a pandeo**: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

No procede, dado que tanto las longitudes de pandeo como las longitudes de pandeo lateral son nulas.

#### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo p<sup>ésimo</sup>  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sup>ésimos</sup> se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N59, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(270°)H2+1.5·N(EI).

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.68 \text{ kN} \leq 68.04 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo p<sup>ésimo</sup>.

$$V_{Ed,z} : 0.68 \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : 136.09 \text{ kN}$$

#### Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

#### Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.



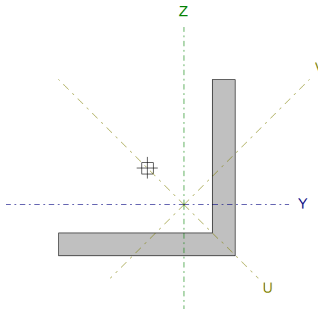
**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)**

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N7/N55

**Perfil: L 45 x 45 x 6**  
**Material: Acero (S275)**

Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas								
		Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>yz</sub> <sup>(4)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	v <sub>n</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	z <sub>n</sub> <sup>(3)</sup> (mm)
N7	N55	8.693	5.09	9.16	9.16	5.35	0.60	9.30	-9.30	-45.0
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme (3) Coordenadas del centro de gravedad (4) Producto de inercia (5) Es el ángulo que forma el eje principal de inercia U respecto al eje Y, positivo en sentido antihorario.										
		Pandeo				Pandeo lateral				
		Plano XY		Plano XZ		Ala sup.		Ala inf.		
β		0.00		0.00		0.00		0.00		
L <sub>k</sub>		0.000		0.000		0.000		0.000		
C <sub>m</sub>		1.000		1.000		1.000		1.000		
C <sub>1</sub>		-				1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>k</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico										



Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado	
	$\bar{\lambda}$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N7/N55	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	η = 77.6	N <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(2)</sup>	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(2)</sup>	V <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(3)</sup>	V <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(3)</sup>	N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(6)</sup>	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(7)</sup>	N.P. <sup>(8)</sup>	N.P. <sup>(8)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 77.6
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (6) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (7) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (8) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.															

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} < 0.01$  ✓

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**N<sub>cr</sub>**: Axil crítico de pandeo elástico.

**A**: 5.09 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>**: 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>**: ∞



**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$\eta : 0.776$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed} : 103.51 \text{ kN}$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd} : 133.31 \text{ kN}$

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.

**A** :  $5.09 \text{ cm}^2$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** :  $275.00 \text{ MPa}$

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** :  $1.05$

#### **Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

#### **Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6) La comprobación no

procede, ya que no hay momento flector.

#### **Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6) La comprobación no

procede, ya que no hay momento flector.

#### **Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

#### **Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

#### **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

#### **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.



**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)



No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

**Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.





Barra N7/N12

Perfil: HE 140 B Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>v</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )
N7	N12	5.000	43.00	1509.00	549.70	20.06
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	0.00	0.00	0.00	0.00		
L <sub>k</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000		
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>1</sub>	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>k</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	λ̄	λ <sub>w</sub>	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N7/N12	λ̄ < 2.0 Cumple	x: 0.313 m λ <sub>w</sub> ≤ λ <sub>w,máx</sub> Cumple	η = 5.4	η = 2.2	x: 2.5 m η = 2.2	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	x: 0 m η = 0.6	V <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(2)</sup>	x: 0.313 m η < 0.1	N.P. <sup>(3)</sup>	x: 2.5 m η = 7.6	x: 0.313 m η < 0.1	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 7.6
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ <sub>w</sub> : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ̄ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\lambda \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ̄ < **0.01** ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase: 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A:** 43.00 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>:** 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo mínimo, teniendo en cuenta que las longitudes de pandeo son nulas.

**N<sub>cr</sub>:** ∞



**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$16.57 \leq 159.27 \quad \checkmark$$

Donde:

$h_w$ : Altura del alma.

$t_w$ : Espesor del alma.

$A_w$ : Área del alma.

$A_{fc,ef}$ : Área reducida del ala comprimida.

$k$ : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E: Módulo de elasticidad.

$f_{yf}$ : Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w : 116.00 \text{ mm}$$

$$t_w : 7.00 \text{ mm}$$

$$A_w : 8.12 \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : 16.80 \text{ cm}^2$$

$$k : 0.30$$

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

$$f_{yf} : 275.00 \text{ MPa}$$

### Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.054 \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : 61.22 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : 1126.19 \text{ kN}$$

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : 43.00 \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : 275.00 \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : 1.05$$

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.022 \quad \checkmark$$



El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  
 $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$ .

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$  : 25.06 kN

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$  : 1126.19kN

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase** : 1

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A** : 43.00 cm<sup>2</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

**Resistencia a pandeo**: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo son nulas.

**Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6) Se debe

satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.022 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N7, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+$  : 1.40 kN·m

Para flexión negativa:

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^-$  : 0.00 kN·m

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{ply} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$  : 64.27 kN·m

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase** : 1

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$  : 245.40 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa



$\gamma_{MO}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{MO}$  : 1.05

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2) No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

**Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : 0.006$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N7, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub>** : 1.12 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

**V<sub>c,Rd</sub>** : 198.39 kN

Donde:

**A<sub>v</sub>**: Área transversal a cortante.

**A<sub>v</sub>** : 13.12 cm<sup>2</sup>

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

**h**: Canto de la sección.

**h** : 140.00 mm

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

**t<sub>w</sub>** : 7.00 mm

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** : 1.05

**Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \epsilon$$

**13.14 < 64.71** ✓

Donde:

**λ<sub>w</sub>**: Esbeltez del alma.

**λ<sub>w</sub>** : 13.14

$$\lambda_w = \frac{d}{t}$$



w

$\lambda_{\text{máx}}$ : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{\text{máx}} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$$\lambda_{\text{máx}} : \underline{64.71}$$

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$



$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$f_{ref}$ : 235.00 MPa

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$ : 275.00 MPa

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.98 kN ≤ 99.19 kN



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N7, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$ : 0.98 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$ : 198.39 kN

### Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

### Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} && \eta && \checkmark \\
 + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} && && \\
 + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} &\leq 1 && && \\
 &&& 0 && \\
 &&& : && \\
 &&& 0 && \\
 &&& 7 && \\
 &&& 6 &&
 \end{aligned}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N7, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

Donde:

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{61.22 \text{ kN}}$$

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : 1.40 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{z,Ed}^+ : 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \text{Clase} : 1$$

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a tracción.

$$N_{pl,Rd} : \underline{1126.19 \text{ kN}}$$

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{64.27 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{31.38 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$



**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

No procede, dado que tanto las longitudes de pandeo como las longitudes de pandeo lateral son nulas.

**Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N7, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

**0.98 kN ≤ 99.19 kN** ✓



Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{Ed,z} : \frac{0.98}{kN}$$

$$V_{c,Rd,z} : \frac{198.39}{kN}$$

**Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

**Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la

## 4. UNIONES

Todas las uniones que se van a realizar en los nudos de la estructura van a ser uniones soldadas. Para la comprobación de dichas uniones se seguirán las exigencias del Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico de Seguridad Estructural del Acero CTE (DB SE-A), concretamente en el Apartado 8.6 “Resistencia de los medios de unión”.

### 4.1 UNIONES SOLDADAS

Las uniones soldadas del presente proyecto se van a llevar a cabo mediante perfiles de distintas formas de acero S275 todos ellos el cual será el material base para las mencionadas uniones.

El material de aportación para las soldaduras depende de los esfuerzos mecánicos a los que estará sometida cada unión, pero siempre serán de una resistencia superior al acero de los perfiles. El material de aportación se seleccionará en el apartado 4.4.1 del presente Documento Básico del Código Técnico de la Edificación.

#### 4.1.1 DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS

1. Las prescripciones que se siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

**2. Soldadura en ángulo.** Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo ( $\alpha$ ) comprendido entre  $60^\circ$  y  $120^\circ$ . Pueden ser uniones en T o de solape (véase imagen 5.1.3). En el caso de que sean uniones en T:

- Si  $\alpha > 120^\circ$ : Se considerará que no pueden transmitir esfuerzos.
- Si  $\alpha < 60^\circ$ : Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

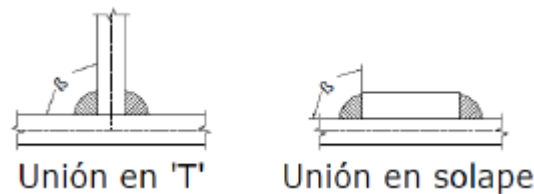


Imagen 5.1.3 Soldaduras en T y soldadura a tope

Cabe a destacar que, en las soldaduras en ángulo, no se considerará cordones de soldadura cuya longitud sea inferior a 40 mm o a 6 veces el ancho de garganta.

**3. Soldadura a tope.** Este tipo de soldaduras pueden realizarse mediante penetración total o mediante penetración parcial. Se conoce como penetración total a la unión en la que la fusión entre el material base y el de aportación se produce en todo el espesor de dicha unión. En cambio, se entiende como penetración parcial cuando dicha penetración no se produce en todo el espesor. En cualquier caso, el tipo de unión podrá ser a tope o a tope en T como indica la imagen 5.3.

#### 4.1.2 COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA SOLDADURA

Para realizar la comprobación de las uniones soldadas, se deben conocer los esfuerzos a los que va a estar sometidos los cordones de soldadura en el plano del espesor de soldadura a lo largo de todo el cordón. La soldadura en ángulo será suficiente si se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Siendo,

$B_w$ : Coeficiente de correlación

$F_u$ : Resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

$\sigma_{\perp}$ : Tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

$\tau_{\perp}$ : Tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

$\tau_{\parallel}$ : Tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

## 4.2 COMPROBACIONES PACA DE ANCLAJE

En cada placa de anclaje se realizan las siguientes comprobaciones (asumiendo la hipótesis de placa rígida):

### 1. Hormigón sobre el que apoya la placa

Se comprueba que la tensión de compresión en la interfaz placa de anclaje-hormigón es menor a la tensión admisible del hormigón según la naturaleza de cada combinación.

### 2. Pernos de anclaje

Resistencia del material de los pernos: Se descomponen los esfuerzos actuantes sobre la placa en axiles y cortantes en los pernos y se comprueba que ambos esfuerzos, por separado y con interacción entre ellos (tensión de Von Mises), producen tensiones menores a la tensión límite del material de los pernos.

Anclaje de los pernos: Se comprueba el anclaje de los pernos en el hormigón de tal manera que no se produzca el fallo de deslizamiento por adherencia, arrancamiento del cono de rotura o fractura por esfuerzo cortante (aplastamiento).

Aplastamiento: Se comprueba que en cada perno no se supera el cortante que produciría el aplastamiento de la placa contra el perno.

### 3. Placa de anclaje

Tensiones globales: En placas con vuelo, se analizan cuatro secciones en el perímetro del perfil, y se comprueba en todas ellas que las tensiones de Von Mises sean menores que la tensión límite según la norma.

Flechas globales relativas: Se comprueba que en los vuelos de las placas no aparezcan flechas mayores que 1/250 del vuelo.

Tensiones locales: Se comprueban las tensiones de Von Mises en todas las placas locales en las que tanto el perfil como los rigidizadores dividen a la placa de anclaje propiamente dicha. Los esfuerzos en cada una de las subplacas se obtienen a partir de las tensiones de contacto con el hormigón y los axiles de los pernos. El modelo generado se resuelve por diferencias finitas.

## 4.3 COMPROBACIÓN MANUAL DE UNIONES SOLDADAS

Para hacer una comprobación manual de las uniones soldadas con el fin de verificar que están bien calculadas, se ha cogido una unión de la estructura del campo de fútbol sala que está

compuesta por 2 perfiles HEB 340 y una placa de refuerzo tal y como se aprecia en la siguiente imagen:

Las características de los elementos que forman la unión necesaria para el cálculo de la misma son los siguientes:

h	340 mm
b	300 mm
t <sub>w</sub>	12 mm
t <sub>f</sub>	21,5 mm
r	27 mm
A	17100 mm <sup>2</sup>
I <sub>y</sub>	432·10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>
W <sub>pl,y</sub>	2400·10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>

Tabla 5.1.17 Características de los perfiles HEB 340 para el cálculo de uniones soldadas

b	345 mm
h	390 mm
e	22 mm

Tabla 5.1.18 Características de la placa de refuerzo para el cálculo de uniones soldadas

Los esfuerzos a los que están sometido las barras en estudio son:

$$N_x = 73,76 \text{ KN}$$

$$V_z = 23,13 \text{ KN}$$

$$M_y = 153,42 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Sin embargo, las soldaduras se van a hacer en un plano vertical que es la disposición en la que se encuentra la placa de refuerzo, por lo que dichos esfuerzos se deben trasladar al plano vertical.

Para ello, se van a descomponer los esfuerzos según los ejes de la placa de refuerzo quedando de la siguiente forma:

$$N_x = 73,76 \cdot \cos(10,12) + 23,13 \cdot \sin(10,12) = 76,7 \text{ KN}$$

$$V_z = -73,76 \cdot \sin(10,12) + 23,13 \cdot \cos(10,12) = 0,9897 \text{ KN}$$

$$M_y = 154,32 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Para el cálculo se elegirá el valor mayor entre el esfuerzo a la que está sometida la placa y los propuestos por la norma.

$$V_{pl,Rd} = A_V \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$A_V = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 17100 - 2 \cdot 300 \cdot 21,5 + (12 + 2 \cdot 27) \cdot 21,5 = 5619 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = 5619 \cdot \frac{275}{\frac{1,05}{\sqrt{3}}} = 849653,4 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ed} &\leq \frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{849653,4}{2} = 424826,7 \text{ N} \\
 9,897 &\leq \frac{849653,4}{2} = 424826,7 \\
 M_{pl,Rd} &= W_{pl,y} \cdot f_{yd} \\
 M_{pl,Rd} &= 2400 \cdot \frac{275}{1,05} = 628,571 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m} \\
 M_{ed} &\leq \frac{M_{pl,Rd}}{2} \\
 154 \cdot 10^3 &\leq \frac{628,571 \cdot 10^3}{2} = 341,29 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, los esfuerzos de cálculo son:

$$V_{ed} = 424,83 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$M_{ed} = 341,29 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Valores límite de la garganta de una soldadura en ángulo

Pieza	Valor de garganta máximo	Valor de garganta mínimo
Ala HEB 340 (e=21,5 cm)	15 mm	6,5 mm
Alma HEB 340 (e=12 cm)	8 mm	4 mm
Placa de refuerzo (e= 22 cm)	15 mm	6,5 mm

Tabla 5.1.19 Valores límite de la garganta de una soldadura en ángulo en una unión de fuerza

Por lo tanto, para las soldaduras del alma el valor de garganta a disponer será de 8 mm y el de las soldaduras del ala será de 15 mm

Como se trata de una unión rígida, en el perfil HEB se van a soldar ambas alas y el alma por lo que va a haber 3 tipos de soldaduras tal y como se indica en la siguiente imagen.

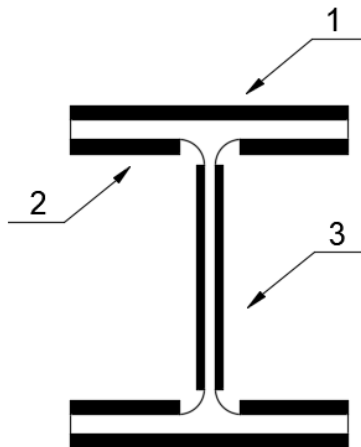


Imagen 5.4. Tipos de soldadura

A continuación, se describen calculan los siguientes parámetros geométricos de dichas soldaduras para el posterior cálculo de los esfuerzos en el plano del espesor de garganta.

- Áreas



$$A_1 = 15 \cdot 300 = 4000 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 117 \cdot 15 = 7020 \text{ mm}^2$$

$$A_3 = 243 \cdot 8 = 3888 \text{ mm}^2$$

$$A_{Total} = 4000 + 7020 + 3888 = 19908 \text{ mm}^2$$

- Momentos de inercia respecto al eje y

$$I_{y1} = \left( \frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 15^3 + 300 \cdot 15 \cdot 177,5^2 \right) \cdot 2 = 283,73 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{y2} = \left( \frac{1}{12} \cdot 117 \cdot 15^3 + 117 \cdot 15 \cdot 141^2 \right) \cdot 4 = 139,69 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{y3} = \left( \frac{1}{12} \cdot 8 \cdot 243^3 \right) \cdot 2 = 19,132 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{ytotal} = 283,73 \cdot 10^6 + 139,69 \cdot 10^6 + 19,132 \cdot 10^6 = 442,55 \cdot 10^6$$

#### Esfuerzos en el plano de espesor de garganta

$$n_{\perp} = \frac{N_{ed}}{A_{total}} + \frac{M_{ed} \cdot z_{max}}{I_{ytotal}} + \frac{M_{ed} \cdot y_{max}}{I_{ztotal}}$$

$$t_{\parallel} = \frac{V_{ed}}{A_i}$$

Se considera que la soldadura en ángula será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumplen las dos condiciones siguientes:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Siendo,

$\beta_w$  = Coeficiente de correlación

$f_u$  = Resistencia última a tracción de la pieza más débil de la union

Los valores de estos últimos parámetros se recogen en las siguientes tablas:

Acero	$\beta_w$
S 235	0,80
S 275	0,85
S 355	0,90

Tabla 5.1.20. Coeficiente de correlación

- Soldadura 1

$$n_{\perp 1} = \frac{76,7 \cdot 10^3}{19908} + \frac{314,29 \cdot 10^6 \cdot 185}{442,55 \cdot 10^6} = 135,24$$

$$\sigma_{\perp 1} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 135,24 = 95,63$$

$$\tau_{\perp 1} = -\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 135,24 = -95,63$$

$$\sqrt{95,63^2 + 3 \cdot (-95,63^2)} \leq \frac{410}{0,85 \cdot 1,1}$$

$$191,26 \leq 438,50 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

$$95,63 \leq \frac{410}{1,1}$$

$$95,63 \leq 372,73 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

- Soldadura 2

$$n_{\perp 2} = \frac{76,7 \cdot 10^3}{19908} + \frac{314,29 \cdot 10^6 \cdot 148,5}{442,55 \cdot 10^6} = 109,31$$

$$\sigma_{\perp 2} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 109,31 = 77,29$$

$$\tau_{\perp 2} = -\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 109,31 = -77,29$$

$$\sqrt{77,29^2 + 3 \cdot (-77,29^2)} \leq \frac{410}{0,85 \cdot 1,1}$$

$$154,58 \leq 438,50 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

$$77,29 \leq \frac{410}{1,1}$$

$$77,29 \leq 372,73 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

- Soldadura 3

$$n_{\perp 3} = \frac{76,7 \cdot 10^3}{19908} + \frac{314,29 \cdot 10^6 \cdot 121,5}{442,55 \cdot 10^6} = 90,139$$

$$t_{\parallel 3} = \frac{424,83 \cdot 10^3}{3888} = 109,27$$

$$\sigma_{\perp 3} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 90,14 = 63,74$$

$$\tau_{\perp 3} = -\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 90,14 = -63,74$$

$$\tau_{\parallel 3} = t_{\parallel 3} = 106,21$$

$$\sqrt{63,74^2 + 3 \cdot (-63,74^2 + 109,27^2)} \leq \frac{410}{0,85 \cdot 1,1}$$

$$228,12 \leq 438,50 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

$$63,74 \leq \frac{410}{1,1}$$

$$63,74 \leq 372,73 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

De manera análoga a la comprobación de las soldaduras de la parte izquierda de la unión, se procede a realizar la comprobación de las soldaduras de la parte derecha de la unión.

$$N_x = -89,06 \text{ KN}$$

$$V_z = -18,3 \text{ KN}$$

$$M_y = 153,329 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$N_x = -89,06 \cdot \cos(10,12) + (-18,3) \cdot \sin(10,12) = -90,9 \text{ KN}$$

$$V_z = -89,06 \cdot \sin(10,12) + (-18,3) \cdot \cos(10,12) = -33,7 \text{ KN}$$

$$M_y = 153,42 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Para el cálculo se elegirá el valor mayor entre el esfuerzo que tiene la placa y los propuestos por la norma.

$$V_{pl,Rd} = A_V \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$A_V = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 17100 - 2 \cdot 300 \cdot 21,5 + (12 + 2 \cdot 27) \cdot 21,5 = 5619 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = 5619 \cdot \frac{275}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = 849653,4 \text{ N}$$

$$V_{ed} \leq \frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{849653,4}{2} = 424826,7 \text{ N}$$

$$33,7 \cdot 10^3 \leq \frac{849653,4}{2} = 424826,7$$

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{pl,Rd} = 2400 \cdot \frac{275}{1,05} = 628,571 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{ed} \leq \frac{M_{pl,Rd}}{2}$$

$$153,42 \cdot 10^3 \leq \frac{628,571 \cdot 10^3}{2} = 314,285 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Con los datos obtenidos en el cálculo de las soldaduras se puede verificar que todas son ellas resisten a los esfuerzos que se generan en la unión.

Valores límite de la garganta de una soldadura en ángulo

Pieza	Valor de garganta máximo	Valor de garganta mínimo
Ala HEB 340 (e=21,5 cm)	15 mm	6,5 mm
Alma HEB 340 (e=12 cm)	8 mm	4 mm
Placa de refuerzo (e= 22 cm)	15 mm	6,5 mm

Tabla 5.1.21 Valores límite de la garganta de una soldadura en ángulo en una unión de fuerza

Por lo tanto, para las soldaduras del alma el valor de garganta a disponer será de 8 mm y el de las soldaduras del ala será de 15 mm

Como se trata de una unión rígida, en el perfil HEB se van a soldar ambas alas y el alma por lo que va a haber 3 tipos de soldaduras tal y como se indica en la siguiente imagen.

A continuación, se describen calculan los siguientes parámetros geométricos de dichas soldaduras para el posterior cálculo de los esfuerzos en el plano del espesor de garganta.

- Áreas

$$A_1 = 15 \cdot 300 = 4000 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 117 \cdot 15 = 7020 \text{ mm}^2$$

$$A_3 = 243 \cdot 8 = 3888 \text{ mm}^2$$

$$A_{Total} = 4000 + 7020 + 3888 = 19908 \text{ mm}^2$$

- Momentos de inercia respecto al eje y

$$I_{y1} = \left( \frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 15^3 + 300 \cdot 15 \cdot 177,5^2 \right) \cdot 2 = 283,73 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{y2} = \left( \frac{1}{12} \cdot 117 \cdot 15^3 + 117 \cdot 15 \cdot 141^2 \right) \cdot 4 = 139,69 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{y3} = \left( \frac{1}{12} \cdot 8 \cdot 243^3 \right) \cdot 2 = 19,132 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{ytotal} = 283,73 \cdot 10^6 + 139,69 \cdot 10^6 + 19,132 \cdot 10^6 = 442,55 \cdot 10^6$$

- Soldadura 1

$$n_{\perp 1} = \frac{90,9 \cdot 10^3}{19908} + \frac{314,29 \cdot 10^6 \cdot 185}{442,55 \cdot 10^6} = 135,95$$

$$\sigma_{\perp 1} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 135,95 = 96,13$$

$$\tau_{\perp 1} = -\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 135,95 = -96,13$$

$$\sqrt{96,13^2 + 3 \cdot (-96,13^2)} \leq \frac{410}{0,85 \cdot 1,1}$$

$$192,26 \leq 438,50 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

$$96,13 \leq \frac{410}{1,1}$$

$$96,13 \leq 372,73 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

- Soldadura 2

$$n_{\perp 2} = \frac{90,0 \cdot 10^3}{19908} + \frac{314,29 \cdot 10^6 \cdot 148,5}{442,55 \cdot 10^6} = 110,03$$

$$\sigma_{\perp 2} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 110,03 = 77,8$$

$$\tau_{\perp 2} = -\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 110,03 = -77,8$$

$$\sqrt{77,8^2 + 3 \cdot (-77,8^2)} \leq \frac{410}{0,85 \cdot 1,1}$$

$$155,6 \leq 438,50 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

$$77,8 \leq \frac{410}{1,1}$$

$$77,29 \leq 372,73 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

• Soldadura 3

$$n_{\perp 3} = \frac{90,9 \cdot 10^3}{19908} + \frac{314,29 \cdot 10^6 \cdot 121,5}{442,55 \cdot 10^6} = 90,85$$

$$t_{\parallel 3} = \frac{424,83 \cdot 10^3}{3888} = 109,27$$

$$\sigma_{\perp 3} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 90,85 = 64,24$$

$$\tau_{\perp 3} = -\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 90,85 = -64,24$$

$$\tau_{\parallel 3} = t_{\parallel 3} = 109,27$$

$$\sqrt{64,24^2 + 3 \cdot (-64,24^2 + 109,27^2)} \leq \frac{410}{0,85 \cdot 1,1}$$

$$166,03 \leq 438,50 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

$$64,24 \leq \frac{410}{1,1}$$

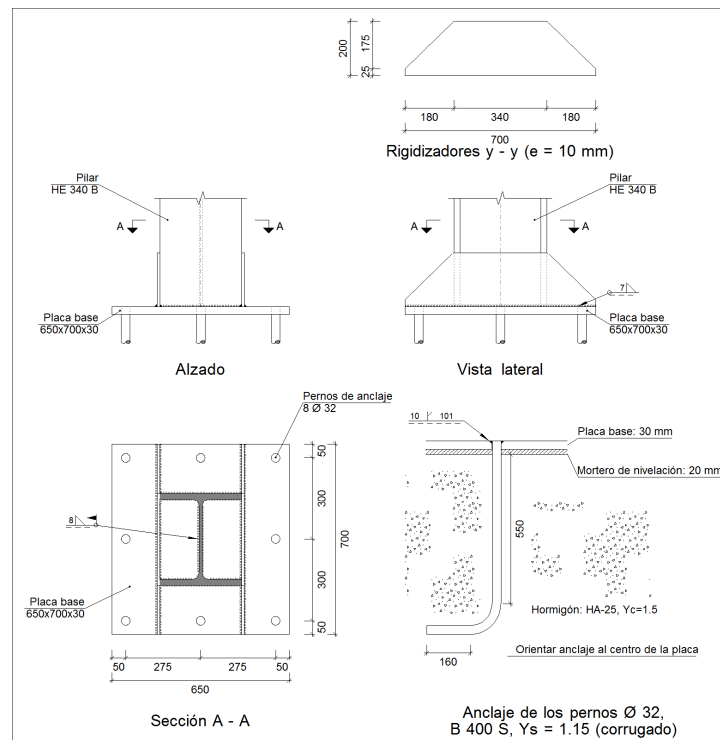
$$64,24 \leq 372,73 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

#### 4.4 MEMORIA DE CÁLCULO

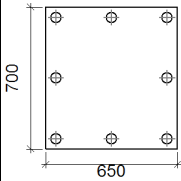
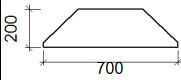
A continuación, se mostrará la memoria de cálculo de los tipos de uniones. Se ha adjuntado una unión de cada tipo.

##### Tipo 1

###### a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios											
Pieza	Geometría				Taladros				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Placa base		650	700	30	8	52	34	10	S275	275.0	410.0
Rigidizador		700	200	10	-	-	-	-	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 340 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	8	1554	12.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 96 mm Calculado: 275 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 48 mm Calculado: 50 mm	Cumple



Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 46.6	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 32 cm Calculado: 55 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 195.57 kN Calculado: 176.01 kN Máximo: 136.9 kN Calculado: 13.17 kN Máximo: 195.57 kN Calculado: 194.82 kN	Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 257.28 kN Calculado: 158.16 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 380.952 MPa Calculado: 198.713 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 502.86 kN Calculado: 11.8 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 119.238 MPa Calculado: 119.232 MPa Calculado: 209.333 MPa Calculado: 221.553 MPa	Cumple Cumple Cumple Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i> - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Mínimo: 250 Calculado: 2326.75 Calculado: 2105.91 Calculado: 3980.1 Calculado: 4294.02	Cumple Cumple Cumple Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 187.149 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	Preparación de bordes (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Rigidizador y-y (x = -155): Soldadura a la placa base	En ángulo	7	--	700	10.0	90.00
Rigidizador y-y (x = 155): Soldadura a la placa base	En ángulo	7	--	700	10.0	90.00
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	--	10	101	30.0	90.00

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	Preparación de bordes (mm)			l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>
	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>∥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Rigidizador y-y (x = -155): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Rigidizador y-y (x = 155): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Soldadura de los pernos a la placa base	0.0	0.0	196.7	340.6	88.27	0.0	0.00	410.0	0.85

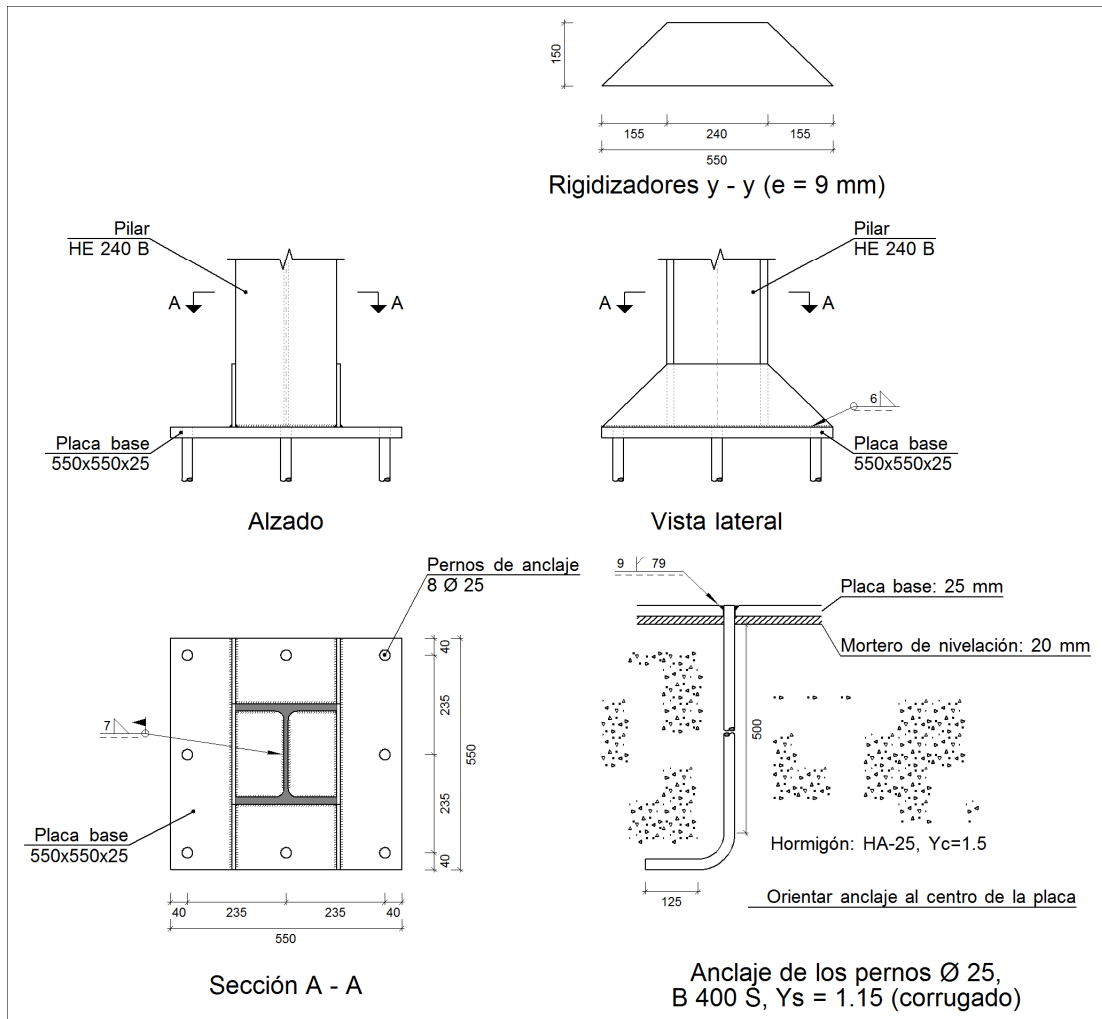
d) Medición

Soldaduras				
f <sub>u</sub> (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	7	2714
		A tope en bisel simple con talón de raíz amplio	10	804
	En el lugar de montaje	En ángulo	8	1554

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	650x700x30	107.15
	Rigidizadores pasantes	2	700/340x200/25x10	17.03
	Total			124.19
B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	Pernos de anclaje	8	Ø 32 - L = 632 + 311	47.62
	Total			47.62



**Tipo 5**  
a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios											
Pieza	Geometría				Taladros				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	f <sub>y</sub> (MPa)	f <sub>u</sub> (MPa)
Placa base		550	550	25	8	43	27	9	S275	275.0	410.0
Rigidizador		550	150	9	-	-	-	-	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 240 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas										
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)					
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	7	1184	10.0	90.00					
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>										
Comprobación de resistencia										
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$	
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)			
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.						410.0	0.85		

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 75 mm Calculado: 236 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 37 mm Calculado: 40 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 41.5	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 50 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 138.9 kN Calculado: 118.85 kN Máximo: 97.23 kN Calculado: 10.45 kN Máximo: 138.9 kN Calculado: 133.77 kN	Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 157.12 kN Calculado: 112.07 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 380.952 MPa Calculado: 231.457 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 327.38 kN Calculado: 9.8 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 261.905 MPa	



Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
- Derecha:	Calculado: 178.222 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 147.218 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 251.199 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 251.192 MPa	Cumple
<b>Flecha global equivalente:</b> <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>		
- Derecha:	Calculado: 1396.68	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 2085.86	Cumple
- Arriba:	Calculado: 2889.41	Cumple
- Abajo:	Calculado: 2889.49	Cumple
<b>Tensión de Von Mises local:</b> <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>		
	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 193.795 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	Preparación de bordes (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)			
Rigidizador y-y (x = -125): Soldadura a la placa base	En ángulo	6	--	550	9.0	90.00			
Rigidizador y-y (x = 125): Soldadura a la placa base	En ángulo	6	--	550	9.0	90.00			
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	--	9	79	25.0	90.00			
<i>a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>
	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>  </sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Rigidizador y-y (x = - 125): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						410.0	0.85	
Rigidizador y-y (x = 125): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						410.0	0.85	
Soldadura de los pernos a la placa base	0.0	0.0	203.8	353.1	91.50	0.0	0.00	410.0	0.85

d) Medición

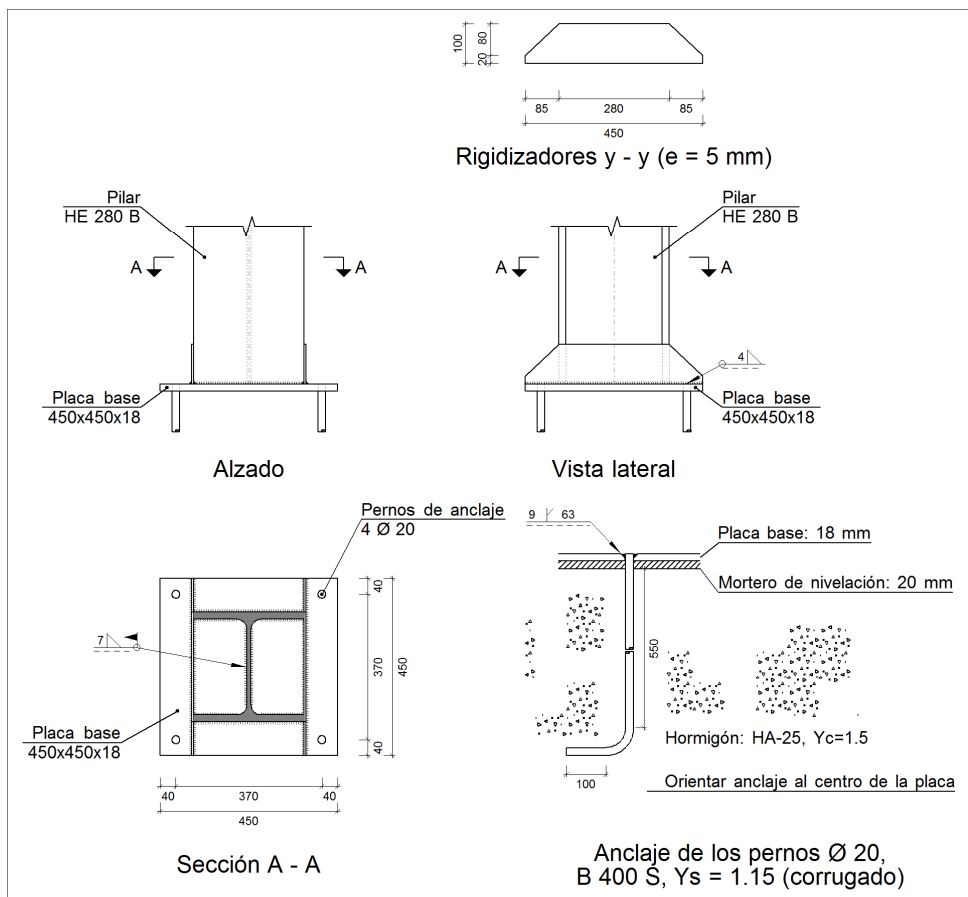


Soldaduras				
$f_u$ (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	6	2132
		A tope en bisel simple con talón de raíz amplio	9	628
	En el lugar de montaje	En ángulo	7	1184

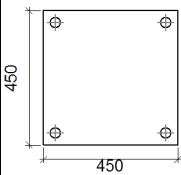
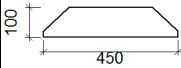
Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	550x550x25	59.37
	Rigidizadores pasantes	2	550/240x150/0x9	8.37
	Total			67.74
B 400 S, $Y_s = 1.15$ (corrugado)	Pernos de anclaje	8	$\varnothing 25 - L = 570 + 243$	25.06
	Total			25.06

**Tipo 40**

a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios											
Pieza	Geometría				Cantidad	Taladros			Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)		Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Placa base		450	450	18	4	38	22	9	S275	275.0	410.0
Rigidizador		450	100	5	-	-	-	-	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 280 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	7	1395	10.5	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 60 mm Calculado: 370 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 30 mm Calculado: 40 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 45.5	Cumple



Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 20 cm Calculado: 55 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 122.23 kN Calculado: 99.02 kN Máximo: 85.56 kN Calculado: 11.48 kN Máximo: 122.23 kN Calculado: 115.42 kN	Cumple Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 100.48 kN Calculado: 92.83 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 380.952 MPa Calculado: 297.955 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 188.57 kN Calculado: 10.83 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 120.315 MPa Calculado: 153.185 MPa Calculado: 216.559 MPa Calculado: 209.313 MPa	Cumple Cumple Cumple Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i> - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Mínimo: 250 Calculado: 1279.7 Calculado: 2191.74 Calculado: 5254.38 Calculado: 5437.99	Cumple Cumple Cumple Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 0 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	Preparación de bordes (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Rigidizador y-y (x = -143): Soldadura a la placa base	En ángulo	4	--	450	5.0	90.00
Rigidizador y-y (x = 143): Soldadura a la placa base	En ángulo	4	--	450	5.0	90.00
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	--	9	63	18.0	90.00
<i>a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas</i>						



Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Rigidizador y-y (x = -143): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Rigidizador y-y (x = 143): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Soldadura de los pernos a la placa base	0.0	0.0	211.1	365.6	94.74	0.0	0.00	410.0	0.85

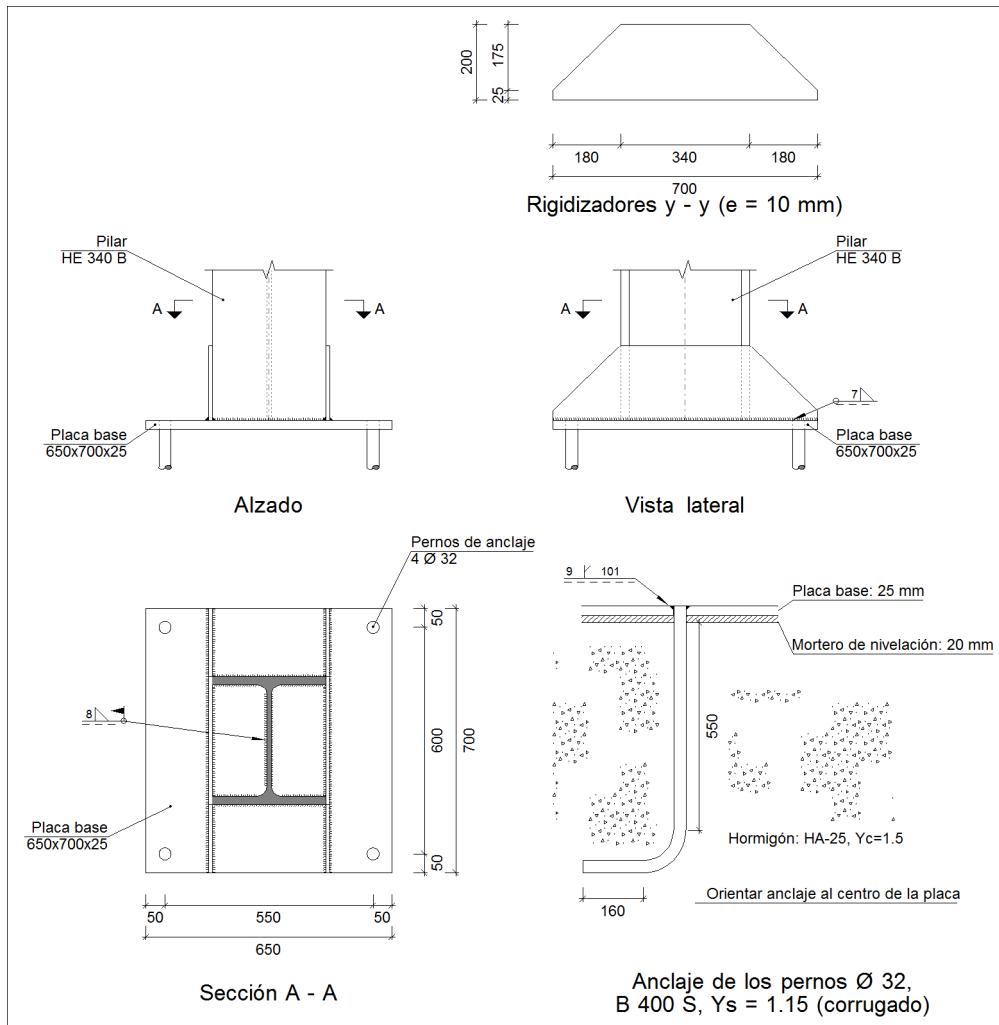
d) Medición

Soldaduras				
$f_u$ (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	4	1728
		A tope en bisel simple con talón de raíz amplio	9	251
	En el lugar de montaje	En ángulo	7	1395

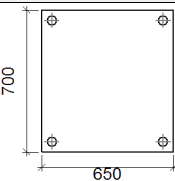
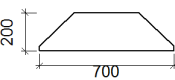
Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	450x450x18	28.61
	Rigidizadores pasantes	2	450/280x100/20x5	3.00
	Total			31.61
B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	Pernos de anclaje	4	Ø 20 - L = 608 + 194	7.91
	Total			7.91

**Tipo 38**

a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios											
Pieza	Geometría				Cantidad	Taladros			Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)		Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Placa base		650	700	25	4	50	34	9	S275	275.0	410.0
Rigidizador		700	200	10	-	-	-	-	S275	275.0	410.0



c) Comprobación

1) Pilar HE 340 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	8	1554	12.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 96 mm Calculado: 550 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 48 mm Calculado: 50 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 46.6	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 32 cm Calculado: 55 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 195.57 kN Calculado: 172.2 kN Máximo: 136.9 kN Calculado: 16.34 kN Máximo: 195.57 kN Calculado: 195.54 kN	Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 257.28 kN Calculado: 155.95 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 380.952 MPa Calculado: 196.745 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 419.05 kN Calculado: 14.68 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 261.905 MPa	



Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
- Derecha:	Calculado: 198.431 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 159.677 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 143.001 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 149.53 MPa	Cumple
<b>Flecha global equivalente:</b> <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>		
- Derecha:	Calculado: 924.942	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 1415.28	Cumple
- Arriba:	Calculado: 5671.12	Cumple
- Abajo:	Calculado: 6095.01	Cumple
<b>Tensión de Von Mises local:</b> <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>		
	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 0 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	Preparación de bordes (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)			
Rigidizador y-y (x = -155): Soldadura a la placa base	En ángulo	7	--	700	10.0	90.00			
Rigidizador y-y (x = 155): Soldadura a la placa base	En ángulo	7	--	700	10.0	90.00			
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	--	9	101	25.0	90.00			
<i>a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>
	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>  </sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Rigidizador y-y (x = -155): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						410.0	0.85	
Rigidizador y-y (x = 155): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						410.0	0.85	
Soldadura de los pernos a la placa base	0.0	0.0	221.6	383.8	99.47	0.0	0.00	410.0	0.85

d) Medición



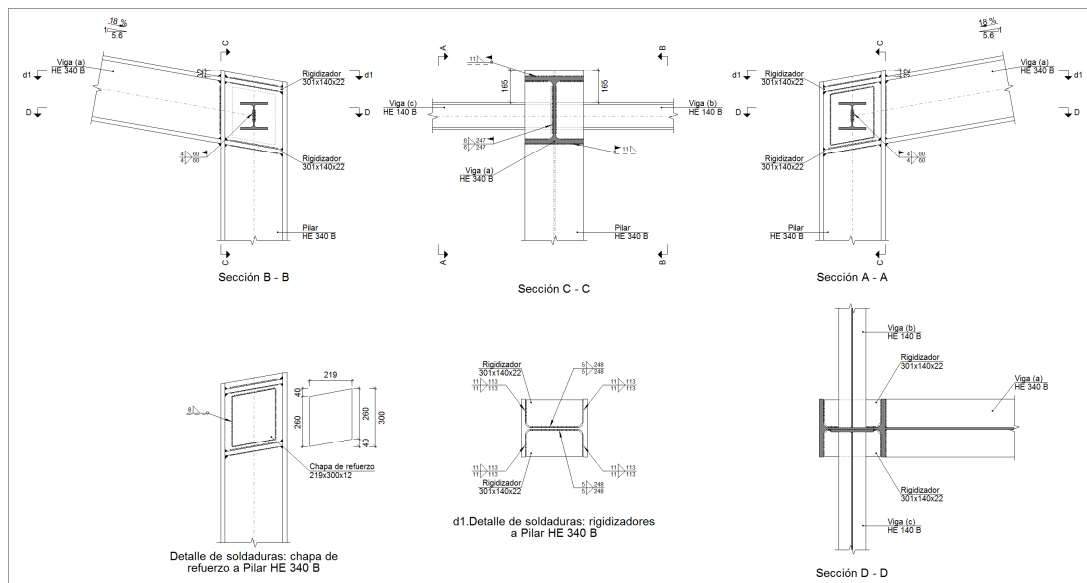
Soldaduras				
$f_u$ (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	7	2714
		A tope en bisel simple con talón de raíz amplio	9	402
	En el lugar de montaje	En ángulo	8	1554

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	650x700x25	89.29
	Rigidizadores pasantes	2	700/340x200/25x10	17.03
	Total			106.33
B 400 S, $Y_s = 1.15$ (corrugado)	Pernos de anclaje	4	$\varnothing 32 - L = 627 + 311$	23.68
	Total			23.68

UNIONES ENTRE BARRAS

**- Tipo 2**

a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría				Acero			
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)



Perfiles									
Pieza	Descripción	Esquema	Geometría				Acero		
			Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Pilar	HE 340 B		340	300	21.5	12	S275	275.0	410.0
Viga	HE 140 B		140	140	12	7	S275	275.0	410.0
Viga	HE 340 B		340	300	21.5	12	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios							
Pieza	Geometría				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Rigidizador		301.7	140	22	S275	275.0	410.0
Chapa de refuerzo		219	300	12	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 340 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Panel	Esbeltez	--	--	--	38.25
	Cortante	kN	991.39	1110.49	89.28
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	166.29	261.90	63.49
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	180.76	261.90	69.02



	Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	166.30	261.90	63.50
	Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	180.75	261.90	69.01
	Ala	Cortante	N/mm <sup>2</sup>	153.68	261.90	58.68
Viga (c) HE 140 B	Alma	Punzonamiento	kN	61.22	316.45	19.35
		Flexión por fuerza perpendicular	kN	0.49	99.57	0.49
Viga (b) HE 140 B	Alma	Punzonamiento	kN	61.22	316.45	19.35
		Flexión por fuerza perpendicular	kN	0.49	99.57	0.49

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	11	113	21.5	79.88	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	248	12.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	11	113	21.5	79.88	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	248	12.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	11	113	21.5	79.88	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	248	12.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	11	113	21.5	79.88	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	248	12.0	90.00	
Soldadura de la chapa de refuerzo al alma	En ángulo	8	968	12.0	90.00	

a: Espesor garganta  
l: Longitud efectiva  
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>
	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>  </sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	106.8	127.5	0.0	245.3	63.57	106.8	32.55	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	169.5	293.7	76.10	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	116.0	138.6	0.0	266.6	69.10	116.0	35.38	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	184.3	319.2	82.72	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	106.8	127.5	0.0	245.3	63.57	106.8	32.55	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	169.5	293.7	76.10	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	116.0	138.6	0.0	266.6	69.10	116.0	35.38	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	184.3	319.2	82.72	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa de refuerzo al alma	La comprobación no procede.							410.0	0.85

2) Viga (a) HE 340 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del ala superior	En ángulo	11	300	21.5	79.88				
Soldadura del alma	En ángulo	6	247	12.0	90.00				
Soldadura del ala inferior	En ángulo	11	300	21.5	79.88				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	132.8	111.2	0.2	234.0	60.64	132.9	40.50	410.0	0.85
Soldadura del alma	91.9	91.9	36.8	194.5	50.40	91.9	28.01	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	118.8	141.8	0.2	272.9	70.71	118.8	36.20	410.0	0.85

3) Viga (c) HE 140 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Alma	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	145.84	261.90	55.68

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del alma	En ángulo	4	60	7.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del alma	90.2	90.2	2.3	180.4	46.76	90.2	27.50	410.0	0.85

4) Viga (b) HE 140 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)

Alma	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	145.84	261.90	55.69
------	----------------------	-------------------	--------	--------	-------

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del alma	En ángulo	4	60	7.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>
	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>  </sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del alma	90.2	90.2	2.3	180.4	46.76	90.2	27.50	410.0	0.85

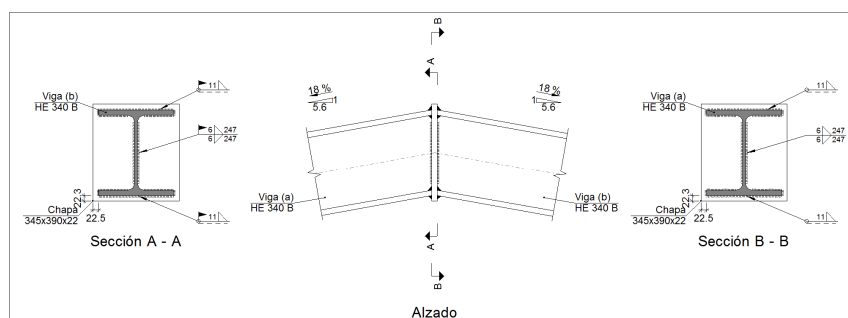
#### d) Medición

Soldaduras				
f <sub>u</sub> (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	5	1982
			8	968
			11	1808
	En el lugar de montaje	En ángulo	4	240
6			494	
			11	1068

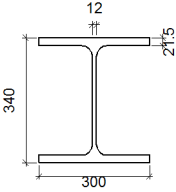
Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	4	301x140x22	29.18
	Chapas	1	219x300x12	6.19
Total				35.37

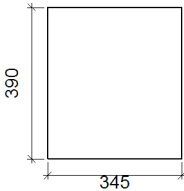
### Tipo 6

#### a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Viga	HE 340 B		340	300	21.5	12	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios							
Pieza	Geometría				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Chapa frontal		345	390	22	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Chapa frontal

Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.00
Deformación admisible	mRad	--	2	0.00

2) Viga (a) HE 340 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del ala superior	En ángulo	11	300	21.5	79.88				
Soldadura del alma	En ángulo	6	247	12.0	90.00				
Soldadura del ala inferior	En ángulo	11	300	21.5	79.88				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	55.6	66.4	0.2	127.8	33.11	55.6	16.95	410.0	0.85



Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del alma	43.7	43.7	2.0	87.4	22.65	43.7	13.31	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	57.0	47.8	0.2	100.5	26.04	57.0	17.39	410.0	0.85

3) Viga (b) HE 340 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	11	300	21.5	79.88	
Soldadura del alma	En ángulo	6	247	12.0	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	11	300	21.5	79.88	

*a: Espesor garganta  
l: Longitud efectiva  
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	55.6	66.4	0.2	127.8	33.11	55.6	16.95	410.0	0.85
Soldadura del alma	43.7	43.7	2.5	87.5	22.66	43.7	13.31	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	57.0	47.8	0.2	100.5	26.04	57.0	17.39	410.0	0.85

d) Medición

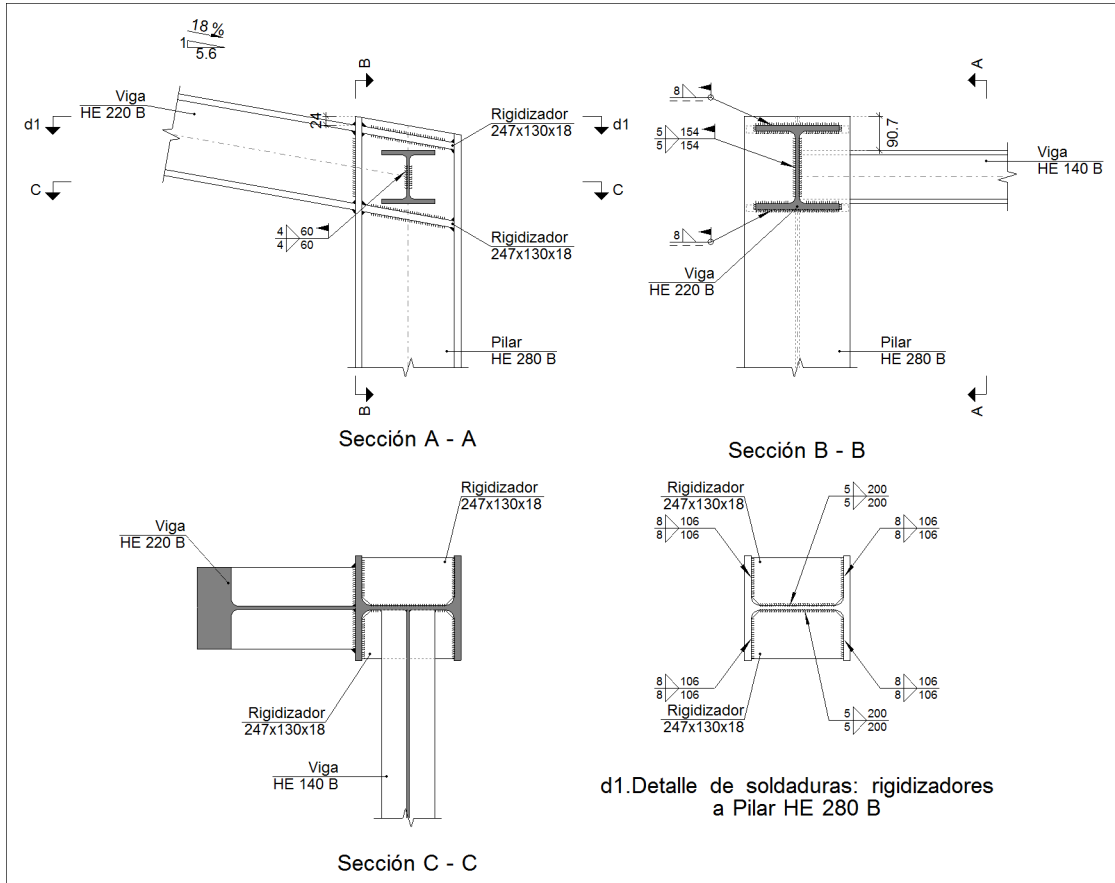
Soldaduras				
$f_u$ (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	6	494
			11	1155
	En el lugar de montaje	En ángulo	6	494
			11	1155

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Chapas	1	345x390x22	23.24
				Total

.-

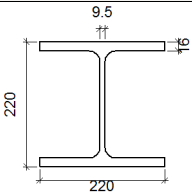
**Tipo 10**

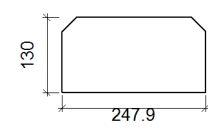
a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Esquema	Geometría				Acero		
			Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Pilar	HE 280 B		280	280	18	10.5	S275	275.0	410.0
Viga	HE 140 B		140	140	12	7	S275	275.0	410.0

Perfiles									
Pieza	Descripción	Esquema	Geometría				Acero		
			Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Viga	HE 220 B		220	220	16	9.5	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios							
Pieza	Esquema	Geometría			Acero		
		Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Rigidizador		247.9	130	18	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 280 B

Comprobaciones de resistencia						
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)	
Panel	Esbeltez	--	--	--	35.91	
	Cortante	kN	109.72	400.10	27.42	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	24.80	261.90	9.47	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	26.08	261.90	9.96	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	24.55	261.90	9.37	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	26.34	261.90	10.06	
Ala	Desgarro	N/mm <sup>2</sup>	14.06	261.90	5.37	
	Cortante	N/mm <sup>2</sup>	19.24	261.90	7.35	
Viga HE 140 B	Alma	Punzonamiento	kN	41.45	276.90	14.97
		Flexión por fuerza perpendicular	kN	41.45	80.02	51.80

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	8	106	18.0	79.88	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	200	10.5	90.00	



<b>Comprobaciones geométricas</b>									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	8	106	18.0	79.88				
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	200	10.5	90.00				
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	8	106	18.0	79.88				
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	200	10.5	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	8	106	18.0	79.88				
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	200	10.5	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
<b>Comprobación de resistencia</b>									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	17.9	21.4	0.1	41.2	10.67	17.9	5.46	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	22.4	38.8	10.06	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	18.8	22.5	0.3	43.3	11.22	18.8	5.74	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	23.6	40.8	10.58	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	17.7	21.2	0.1	40.7	10.56	17.7	5.41	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	22.2	38.4	9.96	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	19.0	22.7	0.3	43.7	11.33	19.0	5.80	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	23.8	41.2	10.68	0.0	0.00	410.0	0.85

2) Viga HE 220 B

Cordones de soldadura

<b>Comprobaciones geométricas</b>									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del ala superior	En ángulo	8	220	16.0	79.88				
Soldadura del alma	En ángulo	5	154	9.5	90.00				
Soldadura del ala inferior	En ángulo	8	220	16.0	79.88				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
<b>Comprobación de resistencia</b>									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	27.9	23.3	0.1	49.1	12.72	27.9	8.49	410.0	0.85
Soldadura del alma	18.0	18.0	6.4	37.7	9.76	18.0	5.50	410.0	0.85



Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala inferior	24.4	29.2	0.2	56.2	14.55	24.4	7.45	410.0	0.85

3) Viga HE 140 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Alma	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	98.73	261.90	37.70

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del alma	En ángulo	4	60	7.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del alma	61.1	61.1	1.4	122.2	31.65	61.1	18.62	410.0	0.85

d) Medición

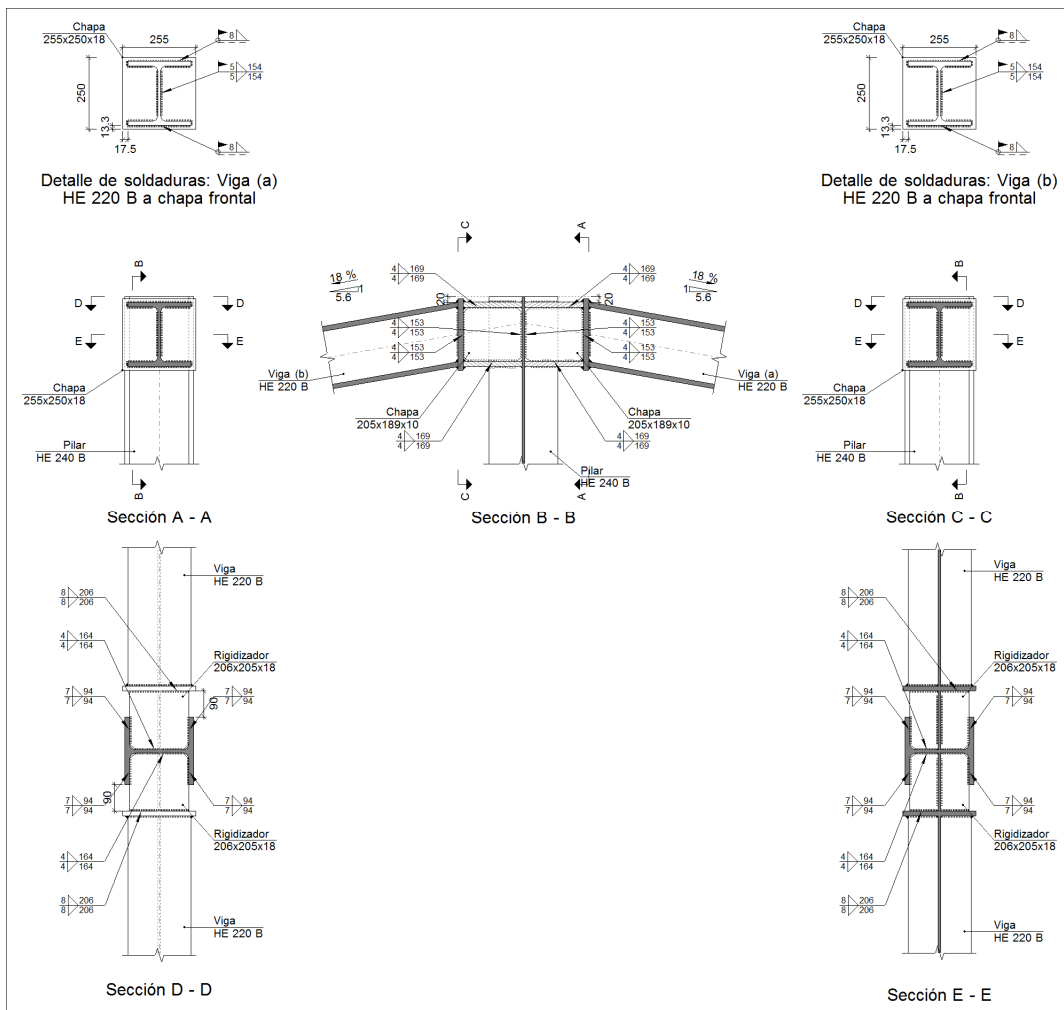
Soldaduras				
$f_u$ (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	5	1599
			8	1696
	En el lugar de montaje	En ángulo	4	120
			5	309
			8	854

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	4	247x130x18	18.21
				Total

.- Tipo 20



a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

		Perfiles							
Pieza	Descripción	Esquema	Geometría				Acero		
			Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Pilar	HE 240 B		240	240	17	10	S275	275.0	410.0
Viga	HE 220 B		220	220	16	9.5	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios



Pieza	Geometría				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Rigidizador		206	205	18	S275	275.0	410.0
Chapa de apoyo de la viga Viga (a) HE 220 B		255	250	18	S275	275.0	410.0
Chapa vertical de la viga Viga (a) HE 220 B		205	189.2	10	S275	275.0	410.0
Chapa de apoyo de la viga Viga (b) HE 220 B		255	250	18	S275	275.0	410.0
Chapa vertical de la viga Viga (b) HE 220 B		205	189.2	10	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 240 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Panel	Esbeltez	--	--	--	31.83
	Cortante	kN	59.10	326.62	18.09
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	103.69	261.90	39.59
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	30.36	261.90	11.59
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	95.73	261.90	36.55
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	30.35	261.90	11.59
Chapa frontal [Viga (a) HE 220 B]	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.00
	Deformación admisible	mRad	--	2	0.00
Chapa vertical [Viga (a) HE 220 B]	Cortante	kN	47.54	255.55	18.60
Chapa frontal [Viga (b) HE 220 B]	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.00
	Deformación admisible	mRad	--	2	0.00



Chapa vertical [Viga (b) HE 220 B]	Cortante	kN	46.65	255.55	18.25
Ala	Desgarro	N/mm <sup>2</sup>	54.89	261.90	20.96
	Cortante	N/mm <sup>2</sup>	64.50	261.90	24.63

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	7	94	17.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	164	10.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	En ángulo	8	255	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	7	94	17.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	164	10.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	En ángulo	8	255	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	7	94	17.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	164	10.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	En ángulo	8	255	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	7	94	17.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	164	10.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	En ángulo	8	255	18.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical al alma	En ángulo	4	153	10.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	En ángulo	4	153	10.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	En ángulo	4	169	10.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	En ángulo	4	169	10.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical al alma	En ángulo	4	153	10.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	En ángulo	4	153	10.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	En ángulo	4	169	10.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	En ángulo	4	169	10.0	90.00	

a: Espesor garganta  
l: Longitud efectiva  
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>
	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>  </sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	0.0	0.0	77.0	133.3	34.55	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	22.5	39.0	10.11	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	32.4	32.4	7.3	66.0	17.10	32.4	9.87	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	0.0	0.0	22.5	39.0	10.11	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	22.0	38.2	9.89	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	3.3	3.3	8.8	16.5	4.29	7.7	2.34	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	0.0	0.0	71.1	123.1	31.90	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	22.5	39.0	10.11	0.0	0.00	410.0	0.85





Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	29.8	29.8	9.0	61.5	15.94	29.8	9.07	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	0.0	0.0	22.5	39.0	10.11	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	22.0	38.1	9.88	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	3.3	3.3	8.8	16.5	4.29	7.7	2.34	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al alma	0.0	0.0	32.9	57.0	14.77	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	0.0	0.0	32.9	57.0	14.77	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	0.0	0.0	35.2	60.9	15.78	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	0.0	0.0	35.2	60.9	15.78	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al alma	0.0	0.0	32.3	55.9	14.49	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	0.0	0.0	32.3	55.9	14.49	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	0.0	0.0	34.5	59.8	15.49	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	0.0	0.0	34.5	59.8	15.49	0.0	0.00	410.0	0.85

2) Viga (a) HE 220 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	8	220	16.0	79.88	
Soldadura del alma	En ángulo	5	154	9.5	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	8	220	16.0	79.88	

*a: Espesor garganta*  
*l: Longitud efectiva*  
*t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	33.2	39.6	7.6	77.4	20.06	35.4	10.78	410.0	0.85
Soldadura del alma	0.0	0.0	26.1	45.3	11.73	0.0	0.00	410.0	0.85



Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala inferior	12.3	14.6	5.7	29.9	7.74	14.5	4.43	410.0	0.85

3) Viga (b) HE 220 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	8	220	16.0	79.88	
Soldadura del alma	En ángulo	5	154	9.5	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	8	220	16.0	79.88	

*a: Espesor garganta  
l: Longitud efectiva  
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	30.0	35.9	9.4	70.9	18.36	32.5	9.92	410.0	0.85
Soldadura del alma	0.0	0.0	25.6	44.4	11.51	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	12.3	14.7	5.7	29.9	7.74	14.5	4.43	410.0	0.85

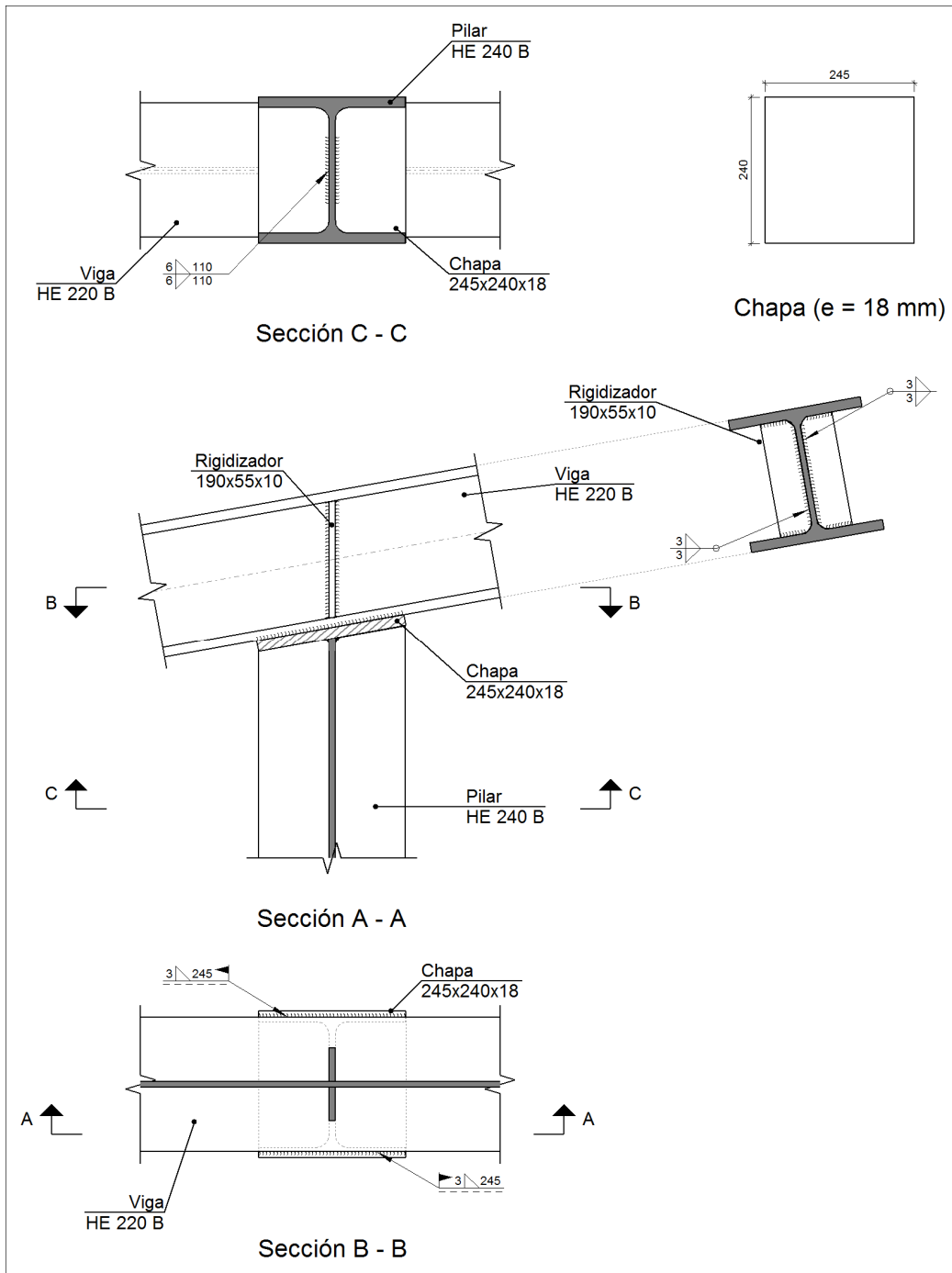
d) Medición

Soldaduras				
$f_u$ (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	4	3890
			7	1504
			8	2040
	En el lugar de montaje	En ángulo	5	618
			8	1708

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	4	206x205x18	23.87
	Chapas	2	205x189x10	6.09
		2	255x250x18	18.02
	Total			

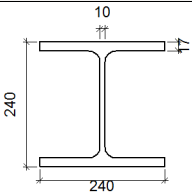
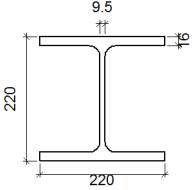
**Tipo 25**

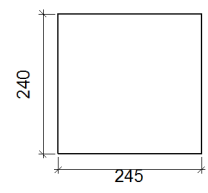
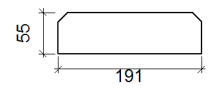
a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Esquema	Geometría				Acero		
			Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)

Perfiles									
Pieza	Descripción	Esquema	Geometría				Acero		
			Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Pilar	HE 240 B		240	240	17	10	S275	275.0	410.0
Viga	HE 220 B		220	220	16	9.5	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios							
Pieza	Esquema	Geometría			Acero		
		Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Chapa frontal		245	240	18	S275	275.0	410.0
Rigidizador		191	55	10	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Viga HE 220 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Rigidizadores	Cortante	kN	31.11	273.65	11.37
	Tracción	kN	31.11	117.86	26.40

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del rigidizador al alma	En ángulo	3	167	9.5	90.00	
Soldadura del rigidizador a las alas	En ángulo	3	40	9.5	79.88	

*a: Espesor garganta  
l: Longitud efectiva  
t: Espesor de piezas*



Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador al alma	0.0	0.0	31.1	53.8	13.94	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador a las alas	La comprobación no procede.							410.0	0.85

2) Pilar HE 240 B

*Pilar HE 240 B: Existen momentos torsores y flectores en el extremo de la pieza que no permiten aplicar una unión articulada.*

d) Medición

Soldaduras				
$f_u$ (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	3	1012
			6	220
	En el lugar de montaje	En ángulo	3	490

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	2	190x55x10	1.65
	Chapas	1	245x240x18	8.31
				Total

## 5. CIMENTACIONES

La cimentación de esta estructura estará formada por zapatas aislada y vigas de atados. En la base de estas se debe disponer una capa de hormigón de limpieza HL-150/B/20 con un espesor mínimo de 10 cm, tal y como indica el Código Técnico de la edificación. El hormigón a emplear en las zapatas y vigas de atado será HA-25.

El armado de estas cimentaciones estará compuesto por barras de acero corrugado B500S.

A continuación se muestra un resumen de las cimentaciones en el que incluye la cantidad de acero y hormigón utilizado así como las comprobaciones realizadas.

### 5.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN

#### 5.1.1 ZAPATAS AISLADAS

Referencias	Geometría	Armado
N3 y N48	Zapata cuadrada Ancho: 155.0 cm Canto: 75.0 cm	X: 5Ø16c/29 Y: 5Ø16c/29
N57 y N58	Zapata rectangular centrada Ancho zapata X: 145.0 cm Ancho zapata Y: 205.0 cm Canto: 75.0 cm	Sup X: 7Ø16c/29 Sup Y: 5Ø16c/29 Inf X: 7Ø16c/29 Inf Y: 5Ø16c/29
N51 y N52	Zapata rectangular centrada Ancho zapata X: 165.0 cm Ancho zapata Y: 245.0 cm Canto: 75.0 cm	Sup X: 8Ø16c/29 Sup Y: 5Ø16c/29 Inf X: 8Ø16c/29 Inf Y: 5Ø16c/29
N53 y N54	Zapata rectangular centrada Ancho zapata X: 135.0 cm Ancho zapata Y: 205.0 cm Canto: 75.0 cm	Sup X: 7Ø16c/29 Sup Y: 4Ø16c/29 Inf X: 7Ø16c/29 Inf Y: 4Ø16c/29
N1 y N46	Zapata cuadrada Ancho: 155.0 cm Canto: 80.0 cm	Sup X: 5Ø16c/27 Sup Y: 5Ø16c/27 Inf X: 5Ø16c/27 Inf Y: 5Ø16c/27
N8 y N43	Zapata rectangular centrada Ancho zapata X: 185.0 cm Ancho zapata Y: 270.0 cm Canto: 85.0 cm	Sup X: 10Ø16c/26 Sup Y: 7Ø16c/26 Inf X: 10Ø16c/26 Inf Y: 7Ø16c/26
N13, N18, N33 y N38	Zapata rectangular centrada Ancho zapata X: 215.0 cm Ancho zapata Y: 310.0 cm Canto: 85.0 cm	Sup X: 12Ø16c/26 Sup Y: 8Ø16c/26 Inf X: 12Ø16c/26 Inf Y: 8Ø16c/26
N23 y N28	Zapata rectangular centrada Ancho zapata X: 215.0 cm Ancho zapata Y: 310.0 cm Canto: 65.0 cm	Sup X: 16Ø12c/19 Sup Y: 11Ø12c/19 Inf X: 16Ø12c/19 Inf Y: 8Ø16c/27
N41 y N6	Zapata rectangular centrada Ancho zapata X: 180.0 cm Ancho zapata Y: 265.0 cm Canto: 100.0 cm	Sup X: 12Ø16c/22 Sup Y: 8Ø16c/22 Inf X: 12Ø16c/22 Inf Y: 8Ø16c/22
N36, N31, N16 y N11	Zapata rectangular centrada Ancho zapata X: 205.0 cm Ancho zapata Y: 310.0 cm Canto: 85.0 cm	Sup X: 12Ø16c/26 Sup Y: 8Ø16c/26 Inf X: 12Ø16c/26 Inf Y: 8Ø16c/26



Referencias	Geometría	Armado
N26 y N21	Zapata rectangular centrada Ancho zapata X: 205.0 cm Ancho zapata Y: 310.0 cm Canto: 65.0 cm	Sup X: 16Ø12c/19 Sup Y: 10Ø12c/19 Inf X: 16Ø12c/19 Inf Y: 7Ø16c/28

Tabla 5.1.22. Características de las zapatas

### 5.1.2 VIGAS DE ATADO

Referencias	Geometría	Armado
C [N3-N8], C [N8-N13], C [N13-N18], C [N18-N23], C [N23-N28], C [N28-N33], C [N33-N38], C [N38-N43], C [N43-N48], C [N46-N41], C [N41-N36], C [N36-N31], C [N31-N26], C [N26-N21], C [N21-N16], C [N16-N11], C [N11-N6] y C [N6-N1]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø12 Inferior: 2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30
C [N48-N58], C [N58-N52], C [N52-N54], C [N54-N46], C [N1-N53], C [N53-N51], C [N51-N57] y C [N57-N3]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø12 Inferior: 2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30

Tabla 5.1.23. Características de las vigas de unión



## ***VESTUARIOS***



## ÍNDICE VESTUARIOS

---

1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	268
2. BARRAS .....	269
2.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS BARRAS.....	269
2.2 CARACTERISTICAS MECÁNICAS.....	269
2.3 RESUMEN MEDICIÓN .....	269
2.4 COMPROBACIÓN DE LAS BARRAS A ELU .....	270
3. UNIONES .....	389
3.1 MEMORIA DE CÁLCULO .....	389
4. CIMENTACIONES .....	410
4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN .....	410
4.1.1 ZAPATAS AISLADAS .....	410
4.1.2 VIGAS DE ATADO.....	410

# 1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

---

## 2. BARRAS

---

2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS BARRAS

2.2 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

2.3 RESUMEN MEDICIÓN

2.4 COMPROBACIÓN DE LAS BARRAS A ELU

## 3. UNIONES

---

3.1 MEMORIA DE CÁLCULO

## 4. CIMENTACIONES

---

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN

4.1.1 ZAPATAS AISLADAS

4.1.2 VIGAS DE ATADO

## 1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La estructura estará compuesta por 8 pórticos metálicos asimétricos a un agua. La distancia entre pórticos será de 5 metros y la luz entre los pilares será de 7 metros. Toda la estructura estará compuesta por perfiles de acero laminado en caliente de distintos tipos y formas.

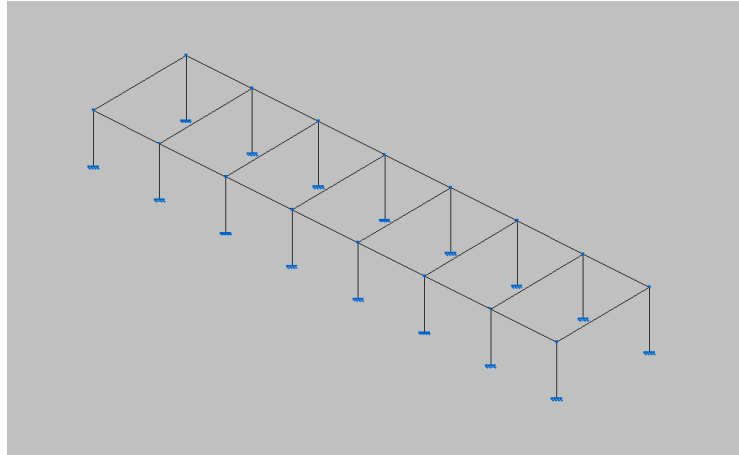


Imagen 5.2.1 Estructura en 3D de la estructura

Las uniones de entre los perfiles serán soldadas.

La cubierta de esta estructura estará formada por un panel de tipo sándwich y unas correas de acero conformado en frío de tipo Z. La separación entre correas será de 1,4 m

El cerramiento lateral estará compuesto por una fachada cara vista de dos hojas de fábrica con cámara de aire no ventilada y aislamiento térmico. En uno de los laterales de la estructura habrá 5 puertas de acceso de 2 m x 0.86 m.

A continuación, se resumen las dimensiones principales de la estructura:

Longitud de la estructura	35 m
Luz entre pilares de pórtico	7 m
Distancia entre pórticos	5 m
Altura pilar más alto	4m
Altura pilar más bajo	3.46 m
Superficie interior de la estructura	245 m <sup>2</sup>

Tabla 5.2.1 Dimensiones principales de la estructura

PP	Peso propio
CM 1	CM 1
Q	Sobrecarga de uso
V(0°) H1	Viento a 0°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior
V(0°) H2	Viento a 0°, presión exterior tipo 1 Succión interior
V(0°) H3	Viento a 0°, presión exterior tipo 2 sin acción en el interior
V(0°) H4	Viento a 0°, presión exterior tipo 2 Succión interior
V(90°) H1	Viento a 90°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior
V(90°) H2	Viento a 90°, presión exterior tipo 1 Succión interior
V(180°) H1	Viento a 180°, presión exterior tipo 1 Presión interior

V(180°) H2	Viento a 180°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior
V(180°) H3	Viento a 180°, presión exterior tipo 2 Presión interior
V(180°) H4	Viento a 180°, presión exterior tipo 2 sin acción en el interior
V(270°) H1	Viento a 270°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior
V(270°) H2	Viento a 270°, presión exterior tipo 1 Succión interior
N(EI)	Nieve (estado inicial)
N(R) 1	Nieve (redistribución) 1
N(R) 2	Nieve (redistribución) 2

Tabla 5.2.2. Nombre de la hipótesis

## 2. BARRAS

### 2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS BARRAS

Materiales utilizados							
Material		E	$\nu$	G	$f_v$	$\alpha_t$	$\gamma$
Tipo	Designación	(kp/cm <sup>2</sup> )		(kp/cm <sup>2</sup> )	(kp/cm <sup>2</sup> )	(m/m°C)	(t/m <sup>3</sup> )
Acero laminado	S275	2140672.8	0.300	825688.1	2803.3	0.000012	7.850

*Notación:*  
*E: Módulo de elasticidad*  
 *$\nu$ : Módulo de Poisson*  
*G: Módulo de cortadura*  
 *$f_v$ : Límite elástico*  
 *$\alpha_t$ : Coeficiente de dilatación*  
 *$\gamma$ : Peso específico*

Tabla 5.2.3 Características de las barras

### 2.2 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A	A <sub>vy</sub>	A <sub>vz</sub>	I <sub>yy</sub>	I <sub>zz</sub>	I <sub>t</sub>
Tipo	Designación			(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>4</sup> )	(cm <sup>4</sup> )	(cm <sup>4</sup> )
Acero laminado	S275	1	HE 180 B, (HEB)	65.30	37.80	11.63	3831.00	1363.00	42.16
		2	HE 160 B, (HEB)	54.30	31.20	9.65	2492.00	889.20	31.24
		3	HE 120 B, (HEB)	34.00	19.80	5.73	864.40	317.50	13.84

*Notación:*  
*Ref.: Referencia*  
*A: Área de la sección transversal*  
*A<sub>vy</sub>: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'*  
*A<sub>vz</sub>: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'*  
*I<sub>yy</sub>: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'*  
*I<sub>zz</sub>: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'*  
*I<sub>t</sub>: Inercia a torsión*  
*Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.*

Tabla 5.2.4 Características mecánicas

### 2.3 RESUMEN MEDICIÓN

Tabla de medición						
Material		Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso (kg)
Tipo	Designación					
Acero laminado	S275	N1/N2	HE 180 B (HEB)	3.460	0.023	177.36
		N3/N4	HE 180 B (HEB)	4.000	0.026	205.04
		N2/N4	HE 160 B (HEB)	7.021	0.038	299.27
		N5/N6	HE 180 B (HEB)	3.460	0.023	177.36
		N7/N8	HE 180 B (HEB)	4.000	0.026	205.04
		N6/N8	HE 160 B (HEB)	7.021	0.038	299.27
		N9/N10	HE 180 B (HEB)	3.460	0.023	177.36



Tabla de medición						
Material		Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso (kg)
Tipo	Designación					
		N11/N12	HE 180 B (HEB)	4.000	0.026	205.04
		N10/N12	HE 160 B (HEB)	7.021	0.038	299.27
		N13/N14	HE 180 B (HEB)	3.460	0.023	177.36
		N15/N16	HE 180 B (HEB)	4.000	0.026	205.04
		N14/N16	HE 160 B (HEB)	7.021	0.038	299.27
		N17/N18	HE 180 B (HEB)	3.460	0.023	177.36
		N19/N20	HE 180 B (HEB)	4.000	0.026	205.04
		N18/N20	HE 160 B (HEB)	7.021	0.038	299.27
		N21/N22	HE 180 B (HEB)	3.460	0.023	177.36
		N23/N24	HE 180 B (HEB)	4.000	0.026	205.04
		N22/N24	HE 160 B (HEB)	7.021	0.038	299.27
		N25/N26	HE 180 B (HEB)	3.460	0.023	177.36
		N27/N28	HE 180 B (HEB)	4.000	0.026	205.04
		N26/N28	HE 160 B (HEB)	7.021	0.038	299.27
		N29/N30	HE 180 B (HEB)	3.460	0.023	177.36
		N31/N32	HE 180 B (HEB)	4.000	0.026	205.04
		N30/N32	HE 160 B (HEB)	7.021	0.038	299.27
		N2/N6	HE 120 B (HEB)	5.000	0.017	133.45
		N6/N10	HE 120 B (HEB)	5.000	0.017	133.45
		N10/N14	HE 120 B (HEB)	5.000	0.017	133.45
		N14/N18	HE 120 B (HEB)	5.000	0.017	133.45
		N18/N22	HE 120 B (HEB)	5.000	0.017	133.45
		N22/N26	HE 120 B (HEB)	5.000	0.017	133.45
		N26/N30	HE 120 B (HEB)	5.000	0.017	133.45
		N28/N32	HE 120 B (HEB)	5.000	0.017	133.45
		N24/N28	HE 120 B (HEB)	5.000	0.017	133.45
		N20/N24	HE 120 B (HEB)	5.000	0.017	133.45
		N16/N20	HE 120 B (HEB)	5.000	0.017	133.45
		N12/N16	HE 120 B (HEB)	5.000	0.017	133.45
		N8/N12	HE 120 B (HEB)	5.000	0.017	133.45
		N4/N8	HE 120 B (HEB)	5.000	0.017	133.45
Notación: Ni: Nudo inicial Nf: Nudo final						

Tabla 5.2.5 Resumen medición

## 2.4 COMPROBACIÓN DE LAS BARRAS A ELU

En estas comprobaciones se muestran los perfiles más solicitados, es decir, se estudian los perfiles en la situación más desfavorable.

Barra N29/N30

Perfil: HE 180 B Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
N29	N30	3.460	65.30	3831.00	1363.00	42.16
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	1.00	0.00	
L <sub>K</sub>		3.460	3.460	3.460	0.000	
C <sub>m</sub>		1.000	1.000	1.000	1.000	
C <sub>1</sub>		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_{wv}$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N29/N30	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_{wv} \leq \lambda_{wv,max}$ Cumple	x: 3.384 m η = 0.7	x: 0 m η = 1.7	x: 3.386 m η = 11.9	x: 0 m η = 17.0	x: 0 m η = 2.3	x: 0 m η = 1.6	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 21.4	η < 0.1	η = 0.4	x: 0 m η = 1.1	x: 0 m η = 1.5	<b>CUMPLE</b> η = 21.4
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ <sub>wv</sub> : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$  : 0.87 ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase :** 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A :** 65.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub> :** 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub> :** 2359.73 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,v</sub> :** 6632.53 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{2359.73} \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{6333.92} \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[ G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{3831.00} \text{ cm}^4$$

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{1363.00} \text{ cm}^4$$

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{42.16} \text{ cm}^4$$

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{93750.00} \text{ cm}^6$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000} \text{ MPa}$$

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{81000} \text{ MPa}$$

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{3.460} \text{ m}$$

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{3.460} \text{ m}$$

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{3.460} \text{ m}$$

**i<sub>0</sub>**: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{8.92} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

**i<sub>y</sub> , i<sub>z</sub>**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{7.66} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{4.57} \text{ cm}$$

**y<sub>0</sub> , z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$17.88 \leq 164.04 \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

$$h_w : \underline{152.00} \text{ mm}$$

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.50} \text{ mm}$$

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

$$A_w : \underline{12.92} \text{ cm}^2$$

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{25.20} \text{ cm}^2$$

**k**: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000} \text{ MPa}$$

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

### Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.007} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.384 m del nudo N29, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H3.

**N<sub>t,Ed</sub>**: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{11.29} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N<sub>t,Rd</sub>** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{1710.24} \text{ kN}$$

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{65.30} \text{ cm}^2$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.010} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.017} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N29, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(90°)H2+1.5·N(EI).

**N<sub>c,Ed</sub>**: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{17.54} \text{ kN}$$



La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{1710.24 \text{ kN}}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{65.30 \text{ cm}^2}$$

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

**$\gamma_{M0}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{1055.06 \text{ kN}}$$

Donde:

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{65.30 \text{ cm}^2}$$

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

**$\gamma_{M1}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

**$\chi$ :** Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.88}$$

$$\chi_z : \underline{0.62}$$

$$\chi_T : \underline{0.82}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\Phi_y : \underline{0.69}$$

$$\Phi_z : \underline{1.05}$$

$$\Phi_T : \underline{0.72}$$

**$\alpha$ :** Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\alpha_T : \underline{0.49}$$

**$\bar{\lambda}$ :** Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.52}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.87}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.53}$$

**$N_{cr}$ :** Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{2359.73 \text{ kN}}$$

$N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.	$N_{cr,y}$ : <u>6632.53</u> kN
$N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.	$N_{cr,z}$ : <u>2359.73</u> kN
$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.	$N_{cr,T}$ : <u>6333.92</u> kN

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.105} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.119} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.386 m del nudo N29, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(90°)H2+1.5·N(EI).

$$M_{Ed}^+ : \underline{13.25} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.386 m del nudo N29, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H3.

$$M_{Ed}^- : \underline{10.29} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} \quad M_{c,Rd} : \underline{126.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : 1

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.  $W_{pl,y}$  : 481.40 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0}$  : 1.05

### Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

El momento flector resistente de cálculo  $M_{b,Rd}$  viene dado por:

$$M_{b,Rd}^+ = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^+ \cdot f_{yd} \quad M_{b,Rd}^+ : \underline{110.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



$$M_{b,Rd}^- = \chi_{LT}^- \cdot W_{pl,y}^- \cdot f_{yd} \quad M_{b,Rd}^- : \underline{126.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.  $W_{pl,v} : \underline{481.40} \text{ cm}^3$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{vd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

$\chi_{LT}$ : Factor de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1 \quad \chi_{LT}^+ : \underline{0.88}$$

$$\chi_{LT}^- : \underline{1.00}$$

Siendo:

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \quad \Phi_{LT}^+ : \underline{0.74}$$

$$\Phi_{LT}^- : \underline{0.00}$$

$\alpha_{LT}$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_{LT} : \underline{0.21}$$

$\bar{\lambda}_{LT}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^+ \cdot f_y}{M_{cr}}} \quad \bar{\lambda}_{LT}^+ : \underline{0.63}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^- \cdot f_y}{M_{cr}}} \quad \bar{\lambda}_{LT}^- : \underline{0.00}$$

$M_{cr}$ : Momento crítico elástico de pandeo lateral.  $M_{cr}^+ : \underline{337.93} \text{ kN}\cdot\text{m}$

$$M_{cr}^- : \underline{\infty}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral  $M_{cr}$  se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTW}^2}$$

Siendo:

$M_{LTV}$ : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z} \quad M_{LTV}^+ : \underline{283.87} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTV}^- : \underline{\infty}$$

$M_{LTW}$ : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2 \quad M_{LTW}^+ : \underline{183.35} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTW}^- : \underline{\infty}$$

Siendo:

$W_{el,y}$ : Módulo resistente elástico de la sección  $W_{el,v} : \underline{425.67} \text{ cm}^3$

bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. **I<sub>z</sub>** : 1363.00 cm<sup>4</sup>

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme. **I<sub>t</sub>** : 42.16 cm<sup>4</sup>

**E**: Módulo de elasticidad. **E** : 210000 MPa

**G**: Módulo de elasticidad transversal. **G** : 81000 MPa

**L<sub>c</sub><sup>+</sup>**: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. **L<sub>c</sub><sup>+</sup>** : 3.460 m

**L<sub>c</sub><sup>-</sup>**: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. **L<sub>c</sub><sup>-</sup>** : 0.000 m

**C<sub>1</sub>**: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. **C<sub>1</sub>** : 1.00

**i<sub>f,z</sub><sup>+</sup>**: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida. **i<sub>f,z</sub><sup>+</sup>** : 4.99 cm

**i<sub>f,z</sub><sup>-</sup>** : 4.99 cm

### **Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

**η** : 0.170 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N29, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

**M<sub>Ed</sub><sup>+</sup>**: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M<sub>Ed</sub><sup>+</sup>** : 9.13 kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N29, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H2.

**M<sub>Ed</sub><sup>-</sup>**: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M<sub>Ed</sub><sup>-</sup>** : 10.28 kN·m

El momento flector resistente de cálculo **M<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

**M<sub>c,Rd</sub>** : 60.50 kN·m

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase** : 1

**W<sub>pl,z</sub>**: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

**W<sub>pl,z</sub>** : 231.00 cm<sup>3</sup>

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ<sub>M0</sub>** : 1.05

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.023} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N29, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H4.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{7.04} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{306.81} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{20.29} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$$h : \underline{180.00} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.50} \text{ mm}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$14.35 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{14.35}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.  $f_{ref}$ : 235.00 MPa
   
 $f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_v$ : 275.00 MPa

### **Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$ : 0.016 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N29, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed}$ : 13.04 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$ : 792.04 kN

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.  $A_v$ : 52.38 cm<sup>2</sup>

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.  $A$ : 65.30 cm<sup>2</sup>

$d$ : Altura del alma.  $d$ : 152.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.  $t_w$ : 8.50 mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd}$ : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y$ : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0}$ : 1.05

### **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**7.04 kN ≤ 153.40 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H4.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : \underline{7.04} \text{ kN}$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd} : \underline{306.81} \text{ kN}$

**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 13.04 \text{ kN} \leq 396.02 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : \underline{13.04} \text{ kN}$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd} : \underline{792.04} \text{ kN}$

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.214} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.211} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N29, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3$ .

Donde:

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.  $N_{t,Ed} : \underline{9.93} \text{ kN}$

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.  $M_{y,Ed}^+ : \underline{7.22} \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{z,Ed}^+ : \underline{9.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a tracción.  $N_{pl,Rd} : \underline{1710.24} \text{ kN}$

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.  $M_{pl,Rd,y} : \underline{126.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{pl,Rd,z} : \underline{60.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$

**Resistencia a pandeo**: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.  $M_{ef,Ed} : \underline{6.64} \text{ kN}\cdot\text{m}$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$ : Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} : \underline{13.79} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

$W_{y,com}$ : Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$W_{y,com} : \underline{481.40} \text{ cm}^3$$

$A$ : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{65.30} \text{ cm}^2$$

$M_{b,Rd,v}$ : Momento flector resistente de cálculo.

$$M_{b,Rd,v} : \underline{110.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$7.04 \text{ kN} \leq 153.40 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{7.04} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{306.81} \text{ kN}$$

### Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$ .

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo  $M_{T,Rd}$  viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{4.55} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{30.11} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$



Siendo:

$$f_v: \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_v : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0}: \text{Coeficiente parcial de seguridad del material.} \quad \gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.011} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N29, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H4+0.75·N(R).

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : \underline{3.45} \text{ kN}$

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.  $M_{T,Ed} : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd} \quad V_{pl,T,Rd} : \underline{306.31} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{pl,Rd} : \underline{306.81} \text{ kN}$

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.  $\tau_{T,Ed} : \underline{0.61} \text{ MPa}$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.  $W_T : \underline{30.11} \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_v : \underline{275.00} \text{ MPa}$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.015} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N29, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H4+0.75·N(R).



**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V<sub>Ed</sub>** : 12.03 kN

**M<sub>T,Ed</sub>**: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. **M<sub>T,Ed</sub>** : 0.02 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V<sub>pl,T,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd} \quad V_{pl,T,Rd} : \underline{790.76} \text{ kN}$$

Donde:

**V<sub>pl,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **V<sub>pl,Rd</sub>** : 792.04 kN

**τ<sub>T,Ed</sub>**: Tensiones tangenciales por torsión. **τ<sub>T,Ed</sub>** : 0.61 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

**W<sub>T</sub>**: Módulo de resistencia a torsión. **W<sub>T</sub>** : 30.11 cm<sup>3</sup>

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero. **f<sub>yd</sub>** : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ<sub>M0</sub>** : 1.05

Barra N31/N32

Perfil: HE 180 B Material: Acero (S275)							
Nudos	Longitud (m)		Características mecánicas				
	Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
N31	N32	4.000	65.30	3831.00	1363.00	42.16	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
Pandeo			Pandeo lateral				
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	1.00			
L <sub>k</sub>	4.000	4.000	0.000	4.000			
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000			
C <sub>1</sub>	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>k</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N31/N32	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 3.91 m η = 0.3	x: 0 m η = 1.9	x: 3.912 m η = 13.5	x: 0 m η = 21.3	x: 0 m η = 2.8	x: 0 m η = 1.7	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 26.7	η < 0.1	η = 0.3	x: 0 m η = 1.2	x: 0 m η = 1.7	<b>CUMPLE</b> η = 26.7
Notación: $\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez $\lambda_w$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$  : **1.01** ✓

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : 1

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 65.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>**: Axil crítico de pandeo elástico. **N<sub>cr</sub>** : 1765.61 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **N<sub>cr,y</sub>** : 4962.62 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **N<sub>cr,z</sub>** : 1765.61 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2}$$



k

z

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

**$N_{cr,T}$  : 5820.15 kN**

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left[ G_t \cdot I + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

<b>I<sub>y</sub></b> : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	<b>I<sub>y</sub></b> : <u>3831.00</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>z</sub></b> : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	<b>I<sub>z</sub></b> : <u>1363.00</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>t</sub></b> : Momento de inercia a torsión uniforme.	<b>I<sub>t</sub></b> : <u>42.16</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>w</sub></b> : Constante de alabeo de la sección.	<b>I<sub>w</sub></b> : <u>93750.00</u> cm <sup>6</sup>
<b>E</b> : Módulo de elasticidad.	<b>E</b> : <u>210000</u> MPa
<b>G</b> : Módulo de elasticidad transversal.	<b>G</b> : <u>81000</u> MPa
<b>L<sub>ky</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	<b>L<sub>ky</sub></b> : <u>4.000</u> m
<b>L<sub>kz</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	<b>L<sub>kz</sub></b> : <u>4.000</u> m
<b>L<sub>kt</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	<b>L<sub>kt</sub></b> : <u>4.000</u> m
<b>i<sub>0</sub></b> : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	<b>i<sub>0</sub></b> : <u>8.92</u> cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

<b>i<sub>y</sub></b> , <b>i<sub>z</sub></b> : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	<b>i<sub>y</sub></b> : <u>7.66</u> cm
	<b>i<sub>z</sub></b> : <u>4.57</u> cm
<b>y<sub>0</sub></b> , <b>z<sub>0</sub></b> : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	<b>y<sub>0</sub></b> : <u>0.00</u> mm
	<b>z<sub>0</sub></b> : <u>0.00</u> mm

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

**17.88 ≤ 164.04** ✓

Donde:

<b>h<sub>w</sub></b> : Altura del alma.	<b>h<sub>w</sub></b> : <u>152.00</u> mm
<b>t<sub>w</sub></b> : Espesor del alma.	<b>t<sub>w</sub></b> : <u>8.50</u> mm
<b>A<sub>w</sub></b> : Área del alma.	<b>A<sub>w</sub></b> : <u>12.92</u> cm <sup>2</sup>
<b>A<sub>fc,ef</sub></b> : Área reducida del ala comprimida.	<b>A<sub>fc,ef</sub></b> : <u>25.20</u> cm <sup>2</sup>
<b>k</b> : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	<b>k</b> : <u>0.30</u>
<b>E</b> : Módulo de elasticidad.	<b>E</b> : <u>210000</u> MPa
<b>f<sub>yf</sub></b> : Límite elástico del acero del ala comprimida.	<b>f<sub>yf</sub></b> : <u>275.00</u> MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

**η : 0.003** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.910 m del nudo N31, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$  : 5.60 kN

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$  : 1710.24 kN

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.

**A** : 65.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** : 1.05

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.010 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.019 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N31, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.9 \cdot V(90^\circ)H2 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$  : 17.48 kN

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$  : 1710.24 kN

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase** : 1

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A** : 65.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** : 1.05



**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{915.02 \text{ kN}}$$

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{65.30 \text{ cm}^2}$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

**γ<sub>M1</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

**χ**: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.84}$$

$$\chi_z : \underline{0.54}$$

$$\chi_T : \underline{0.81}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.75}$$

$$\phi_z : \underline{1.21}$$

$$\phi_T : \underline{0.74}$$

**α**: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\alpha_T : \underline{0.49}$$

**λ̄**: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.60}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.01}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.56}$$

**N<sub>cr</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{1765.61 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,y</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{4962.62 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,z</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{1765.61 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,T</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{5820.15 \text{ kN}}$$

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed} \leq 1}{M_{c,Rd}}$$

$$\eta : \underline{0.115} \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{Ed} \leq 1}{M_{b,Rd}}$$

$$\eta : \underline{0.135} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.912 m del nudo N31, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H3.

**M<sub>Ed</sub><sup>+</sup>**: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{7.02 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Para flexión negativa:



El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.912 m del nudo N31, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(90°)H2+1.5·N(EI).

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^-$  : 14.56 kN·m

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$  : 126.08 kN·m

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase** : 1

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$  : 481.40 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

El momento flector resistente de cálculo  $M_{b,Rd}$  viene dado por:

$$M_{b,Rd}^+ = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^+ \cdot f_{yd}$$

$M_{b,Rd}^+$  : 126.08 kN·m

$$M_{b,Rd}^- = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^- \cdot f_{yd}$$

$M_{b,Rd}^-$  : 107.70 kN·m

Donde:

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$  : 481.40 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1}$  : 1.05

$\chi_{LT}$ : Factor de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}}} \leq 1$$

$\chi_{LT}^+$  : 1.00

$\chi_{LT}^-$  : 0.85

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot \left( \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_{LT}^0} - 0.2 \right) + \lambda_{LT}^2 \right]$$

$\phi_{LT}^+$  : 0.00

$\phi_{LT}^-$  : 0.79

$\alpha_{LT}$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_{LT}$  : 0.21

$\bar{\lambda}_{LT}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^+ \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}^+$  : 0.00

$$\bar{\lambda}_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^- \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}^-$  : 0.69

$M_{cr}$ : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr}^+ : \underline{\infty}$$

$$M_{cr}^- : \underline{281.27 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral  $M_{cr}$  se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTW}^2}$$

Siendo:

$M_{LTV}$ : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTV}^+ : \underline{\infty}$$

$$M_{LTV}^- : \underline{245.55 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$M_{LTW}$ : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_{1,f,z} \cdot i^2$$

$$M_{LTW}^+ : \underline{\infty}$$

$$M_{LTW}^- : \underline{137.18 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Siendo:

$W_{el,y}$ : Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{425.67 \text{ cm}^3}$$

$I_z$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{1363.00 \text{ cm}^4}$$

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{42.16 \text{ cm}^4}$$

$E$ : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000 \text{ MPa}}$$

$G$ : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{81000 \text{ MPa}}$$

$L_c^+$ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{0.000 \text{ m}}$$

$L_c^-$ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{4.000 \text{ m}}$$

$C_1$ : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{f,z}$ : Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{4.99 \text{ cm}}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{4.99 \text{ cm}}$$

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.213} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N31, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{10.92 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N31, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H2.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{12.86 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:



$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{60.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase :** 1

**$W_{pl,z}$ :** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

**$W_{pl,z}$  :** 231.00 cm<sup>3</sup>

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

**$f_{yd}$  :** 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$  :** 275.00 MPa

**$\gamma_{M0}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$  :** 1.05

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

**$\eta$  :** 0.028 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N31, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H4.

**$V_{Ed}$ :** Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**$V_{Ed}$  :** 8.73 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  **$V_{c,Rd}$**  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

**$V_{c,Rd}$  :** 306.81 kN

Donde:

**$A_v$ :** Área transversal a cortante.

**$A_v$  :** 20.29 cm<sup>2</sup>

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

**$h$ :** Canto de la sección.

**$h$  :** 180.00 mm

**$t_w$ :** Espesor del alma.

**$t_w$  :** 8.50 mm

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

**$f_{yd}$  :** 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$  :** 275.00 MPa

**$\gamma_{M0}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$  :** 1.05

### Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

**14.35 < 64.71** ✓

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$\lambda_w : 14.35$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x} : 64.71$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$\varepsilon : 0.92$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$f_{ref} : 235.00$  MPa

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 275.00$  MPa

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed} \leq 1}{V_{c,Rd}}$$

$\eta : 0.017$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N31, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : 13.64$  kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd} : 792.04$  kN

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v : 52.38$  cm<sup>2</sup>

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$A : 65.30$  cm<sup>2</sup>

$d$ : Altura del alma.

$d : 152.00$  mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w : 8.50$  mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 261.90$  MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 275.00$  MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)



No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**8.73 kN ≤ 153.40 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H4.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub>** : 8.73 kN

**V<sub>c,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

**V<sub>c,Rd</sub>** : 306.81 kN

### Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V<sub>Ed</sub>** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V<sub>c,Rd</sub>**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**13.64 kN ≤ 396.02 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub>** : 13.64 kN

**V<sub>c,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

**V<sub>c,Rd</sub>** : 792.04 kN

### Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} & \eta & \\
 + \frac{M_{pl,Rd,y}}{M_{pl,Rd,y}} & & & \\
 + \frac{M_{pl,Rd,z}}{M_{pl,Rd,z}} & \leq 1 & & \\
 & & & \mathbf{0} \\
 & & & \mathbf{.} \\
 & & & \mathbf{2} \\
 & & & \mathbf{5} \\
 & & & \mathbf{9}
 \end{aligned}$$

**0.177** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

**η** :



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.267} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N31, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

Donde:

**$N_{c,Ed}$** : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

**$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$** : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\mathbf{N_{c,Ed}} : \underline{9.94} \text{ kN}$$

$$\mathbf{M_{y,Ed}^+} : \underline{5.06} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M_{z,Ed}^-} : \underline{12.86} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{Clase} : \underline{1}$$



$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{1710.24 \text{ kN}}$$

$M_{pl,Rd,y}$   $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{126.08 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{60.50 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

$A$ : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{65.30 \text{ cm}^2}$$

$W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{481.40 \text{ cm}^3}$$

$$W_{pl,z} : \underline{231.00 \text{ cm}^3}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$k_y$ ,  $k_z$ ,  $k_{y,LT}$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.02}$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_{y,LT} : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}$ ,  $C_{m,z}$ ,  $C_{m,LT}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,LT} : \underline{1.00}$$

$\chi_y$ ,  $\chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.84}$$

$$\chi_z : \underline{0.54}$$

$\chi_{LT}$ : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} : \underline{1.00}$$

$\bar{\lambda}_y$ ,  $\bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.60}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.01}$$

$\alpha_y$ ,  $\alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

### **Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H4.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$8.73 \text{ kN} \leq 153.40 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{8.73 \text{ kN}}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{306.81 \text{ kN}}$$

### Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \mathbf{0.003} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

**M<sub>T,Ed</sub>**: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{T,Ed}} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo **M<sub>T,Rd</sub>** viene dado por:

$$\mathbf{M_{T,Rd}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$\mathbf{M_{T,Rd}} : \underline{4.55} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**W<sub>T</sub>**: Módulo de resistencia a torsión.

$$\mathbf{W_T} : \underline{30.11} \text{ cm}^3$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma_{M0}} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \mathbf{0.012} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N31, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H4+0.75·N(R).

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{V_{Ed}} : \underline{3.63} \text{ kN}$$

**M<sub>T,Ed</sub>**: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{T,Ed}} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V<sub>pl,T,Rd</sub>** viene dado por:

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} : \underline{306.52} \text{ kN}$$

Donde:

**V<sub>pl,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$\mathbf{V_{pl,Rd}} : \underline{306.81} \text{ kN}$$

**τ<sub>T,Ed</sub>**: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\mathbf{\tau_{T,Ed}} : \underline{0.35} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

**W<sub>T</sub>**: Módulo de resistencia a torsión.

$$\mathbf{W_T} : \underline{30.11} \text{ cm}^3$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

### **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.017 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N31, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H4+0.75·N(R).

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 13.62 kN

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$  : 0.01 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$  : 791.31 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$  : 792.04 kN

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$  : 0.35 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T$  : 30.11 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

Barra N30/N32

Perfil: HE 160 B Material: Acero (S275)							
Nudos	Longitud (m)		Características mecánicas				
	Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
N30	N32	7.021	54.30	2492.00	889.20	31.24	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.			
β	1.00	1.00	0.27	1.00			
L <sub>K</sub>	7.021	7.021	1.900	7.021			
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000			
C <sub>1</sub>	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N30/N32	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w, máx}$ Cumple	x: 6.928 m η = 0.4	x: 0.091 m η = 2.4	x: 6.93 m η = 22.0	x: 2.827 m η = 3.0	x: 6.93 m η = 5.4	x: 0.091 m η = 0.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 6.93 m η = 23.6	η < 0.1	η = 0.1	x: 0.091 m η = 2.4	x: 0.091 m η < 0.1	<b>CUMPLE</b> η = 23.6
Notación: $\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez $\lambda_w$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$  : **2.00** ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 54.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico. **N<sub>cr</sub>** : 373.89 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **N<sub>cr,y</sub>** : 1047.84 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **N<sub>cr,z</sub>** : 373.89 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **N<sub>cr,T</sub>** : 4387.45 kN

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left[ G_t \cdot I + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

<b>I<sub>y</sub></b> : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	<b>I<sub>y</sub></b> : <u>2492.00</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>z</sub></b> : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	<b>I<sub>z</sub></b> : <u>889.20</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>t</sub></b> : Momento de inercia a torsión uniforme.	<b>I<sub>t</sub></b> : <u>31.24</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>w</sub></b> : Constante de alabeo de la sección.	<b>I<sub>w</sub></b> : <u>47940.00</u> cm <sup>6</sup>
<b>E</b> : Módulo de elasticidad.	<b>E</b> : <u>210000</u> MPa
<b>G</b> : Módulo de elasticidad transversal.	<b>G</b> : <u>81000</u> MPa
<b>L<sub>ky</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	<b>L<sub>ky</sub></b> : <u>7.021</u> m
<b>L<sub>kz</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	<b>L<sub>kz</sub></b> : <u>7.021</u> m
<b>L<sub>kt</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	<b>L<sub>kt</sub></b> : <u>7.021</u> m
<b>i<sub>0</sub></b> : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	<b>i<sub>0</sub></b> : <u>7.89</u> cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

<b>i<sub>y</sub></b> , <b>i<sub>z</sub></b> : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	<b>i<sub>y</sub></b> : <u>6.77</u> cm
	<b>i<sub>z</sub></b> : <u>4.05</u> cm
<b>y<sub>0</sub></b> , <b>z<sub>0</sub></b> : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	<b>y<sub>0</sub></b> : <u>0.00</u> mm
	<b>z<sub>0</sub></b> : <u>0.00</u> mm

### **Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$16.75 \leq 164.47 \quad \checkmark$$

Donde:

<b>h<sub>w</sub></b> : Altura del alma.	<b>h<sub>w</sub></b> : <u>134.00</u> mm
<b>t<sub>w</sub></b> : Espesor del alma.	<b>t<sub>w</sub></b> : <u>8.00</u> mm
<b>A<sub>w</sub></b> : Área del alma.	<b>A<sub>w</sub></b> : <u>10.72</u> cm <sup>2</sup>
<b>A<sub>fc,ef</sub></b> : Área reducida del ala comprimida.	<b>A<sub>fc,ef</sub></b> : <u>20.80</u> cm <sup>2</sup>
<b>k</b> : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	<b>k</b> : <u>0.30</u>
<b>E</b> : Módulo de elasticidad.	<b>E</b> : <u>210000</u> MPa
<b>f<sub>yf</sub></b> : Límite elástico del acero del ala comprimida.	<b>f<sub>yf</sub></b> : <u>275.00</u> MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

### **Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 6.928 m del nudo N30, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$  : 6.11 kN

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$  : 1422.14 kN

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.

**A** : 54.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** : 1.05

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.005 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.024 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.091 m del nudo N30, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.9 \cdot V(180^\circ)H2 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$  : 6.63 kN

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$  : 1422.14 kN

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase** : 1

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A** : 54.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** : 1.05



**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{279.37 \text{ kN}}$$

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{54.30 \text{ cm}^2}$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

**γ<sub>M1</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

**χ**: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.48}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

$$\chi_T : \underline{0.80}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{1.38}$$

$$\phi_z : \underline{2.94}$$

$$\phi_T : \underline{0.76}$$

**α**: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\alpha_T : \underline{0.49}$$

**λ̄**: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.19}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{2.00}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.58}$$

**N<sub>cr</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{373.89 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,y</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{1047.84 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,z</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{373.89 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,T</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{4387.45 \text{ kN}}$$

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed} \leq 1}{M_{c,Rd}}$$

$$\eta : \underline{0.149} \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{Ed} \leq 1}{M_{b,Rd}}$$

$$\eta : \underline{0.220} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 6.930 m del nudo N30, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H3.





$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.  
Para flexión negativa:

$M_{Ed}^+$  : 6.99 kN·m

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 6.930 m del nudo N30, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.9 \cdot V(90^\circ)H2 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : 13.78 \text{ kN}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : 92.71 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase :** 1

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : 354.00 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 275.00 \text{ MPa}$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

El momento flector resistente de cálculo  $M_{b,Rd}$  viene dado por:

$$M_{b,Rd}^+ = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^+ \cdot f_{yd}$$

$M_{b,Rd}^+ : 87.33 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$$M_{b,Rd}^- = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^- \cdot f_{yd}$$

$M_{b,Rd}^- : 62.77 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : 354.00 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 275.00 \text{ MPa}$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1} : 1.05$

$\chi_{LT}$ : Factor de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}}} \leq 1$$

$\chi_{LT}^+ : 0.94$

$\chi_{LT}^- : 0.68$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot \left( \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_{LT}} - 0.2 \right) + \lambda_{LT}^2 \right]$$

$\Phi_{LT}^+ : 0.62$

$\Phi_{LT}^- : 1.07$

$\alpha_{LT}$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_{LT} : 0.21$

$\bar{\lambda}_{LT}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^+ \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}^+ : 0.44$

$$\bar{\lambda}_{LT}^- =$$

$\bar{\lambda}_{LT}^- : 0.98$



PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
 INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA (BIZKAIA)

$$\sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot F_y}{M_{cr}}}$$

LT \_\_\_\_\_

**M<sub>cr</sub>**: Momento crítico elástico de pandeo lateral.

**M<sub>cr</sub><sup>+</sup>** : 502.68 kN·m

$$M_{cr}^- : \underline{100.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral  $M_{cr}$  se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

$M_{LTV}$ : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTV}^+ : \underline{359.42} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTV}^- : \underline{97.27} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{LTw}$ : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTw}^+ : \underline{351.43} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTw}^- : \underline{25.74} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$ : Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{311.50} \text{ cm}^3$$

$I_z$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{889.20} \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{31.24} \text{ cm}^4$$

$E$ : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000} \text{ MPa}$$

$G$ : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{81000} \text{ MPa}$$

$L_c^+$ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{1.900} \text{ m}$$

$L_c^-$ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{7.021} \text{ m}$$

$C_1$ : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{f,z}$ : Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{4.43} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{4.43} \text{ cm}$$

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.030} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.827 m del nudo N30, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{1.33} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.827 m del nudo N30, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H4.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{1.26} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:



$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{44.52 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase :** 1

**$W_{pl,z}$ :** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

**$W_{pl,z}$  :** 170.00 cm<sup>3</sup>

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

**$f_{yd}$  :** 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$  :** 275.00 MPa

**$\gamma_{M0}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$  :** 1.05

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

**$\eta$  :** 0.054 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 6.930 m del nudo N30, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(90°)H2+1.5·N(EI).

**$V_{Ed}$ :** Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**$V_{Ed}$  :** 14.28 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  **$V_{c,Rd}$**  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

**$V_{c,Rd}$  :** 266.74 kN

Donde:

**$A_v$ :** Área transversal a cortante.

**$A_v$  :** 17.64 cm<sup>2</sup>

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

**$h$ :** Canto de la sección.

**$h$  :** 160.00 mm

**$t_w$ :** Espesor del alma.

**$t_w$  :** 8.00 mm

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

**$f_{yd}$  :** 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$  :** 275.00 MPa

**$\gamma_{M0}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$  :** 1.05

### Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

**13.00 < 64.71**



Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$\lambda_w$  : 13.00

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{\max}$ : Esbeltez máxima.

$\lambda_{\max}$  : 64.71

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$\varepsilon$  : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{\text{ref}}$ : Límite elástico de referencia.

$f_{\text{ref}}$  : 235.00 MPa

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{\text{Ed}}}{V_{\text{c,Rd}}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.002 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.091 m del nudo N30, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

$V_{\text{Ed}}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{\text{Ed}}$  : 1.01 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{\text{c,Rd}}$  viene dado por:

$$V_{\text{c,Rd}} = A_v \cdot \frac{f_{\text{yd}}}{\sqrt{3}}$$

$V_{\text{c,Rd}}$  : 658.98 kN

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v$  : 43.58 cm<sup>2</sup>

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$A$  : 54.30 cm<sup>2</sup>

$d$ : Altura del alma.

$d$  : 134.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$  : 8.00 mm

$f_{\text{yd}}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{\text{yd}}$  : 261.90 MPa

$$f_{\text{yd}} = f_y / \gamma_{\text{M0}}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{\text{M0}}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{\text{M0}}$  : 1.05

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo





cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**13.87 kN ≤ 133.37 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(90°)H2+1.5·N(EI).

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V<sub>Ed</sub>** : 13.87 kN

**V<sub>c,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **V<sub>c,Rd</sub>** : 266.74 kN

**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V<sub>Ed</sub>** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V<sub>c,Rd</sub>**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**1.01 kN ≤ 329.49 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V<sub>Ed</sub>** : 1.01 kN

**V<sub>c,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **V<sub>c,Rd</sub>** : 658.98 kN

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} & \eta & \\
 + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} & & & \\
 + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} & \leq 1 & & \\
 & & & \mathbf{0} \\
 & & & \mathbf{1} \\
 & & & \mathbf{5} \\
 & & & \mathbf{2}
 \end{aligned}$$

**0.228** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

**η** :

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.236} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 6.930 m del nudo N30, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(90°)H2+1.5·N(EI).

Donde:

**N<sub>c,Ed</sub>**: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

**M<sub>y,Ed</sub>**, **M<sub>z,Ed</sub>**: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de

$$\mathbf{N_{c,Ed}} : \underline{4.68} \text{ kN}$$

$$\mathbf{M_{y,Ed}} : \underline{13.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M_{z,Ed}} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{Clase} : \underline{1}$$

desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{1422.14 \text{ kN}}$$

$M_{pl,Rd,y}$   $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{92.71 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{44.52 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

$A$ : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{54.30 \text{ cm}^2}$$

$W_{pl,y}$   $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{354.00 \text{ cm}^3}$$

$$W_{pl,z} : \underline{170.00 \text{ cm}^3}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$k_y$   $k_z$   $k_{y,LT}$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.02}$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{m_{LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_{y,LT} : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}$   $C_{m,z}$   $C_{m,LT}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,LT} : \underline{1.00}$$

$\chi_y$   $\chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.48}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

$\chi_{LT}$ : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} : \underline{0.68}$$

$\bar{\lambda}_y$   $\bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.19}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{2.00}$$

$\alpha_y$   $\alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

### **Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.9 \cdot V(90^\circ)H2 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$13.87 \text{ kN} \leq 133.37 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:



$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{Ed,z} : \frac{13.87}{\quad} \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd,z} : \frac{266.74}{\quad} \text{ kN}$$

### Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H3.

**M<sub>T,Ed</sub>**: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{T,Ed}} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo **M<sub>T,Rd</sub>** viene dado por:

$$\mathbf{M_{T,Rd}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$\mathbf{M_{T,Rd}} : \underline{3.63} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**W<sub>T</sub>**: Módulo de resistencia a torsión.

$$\mathbf{W_T} : \underline{24.03} \text{ cm}^3$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma_{M0}} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.024} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.091 m del nudo N30, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H4+0.75·N(R).

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{V_{Ed}} : \underline{6.46} \text{ kN}$$

**M<sub>T,Ed</sub>**: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{T,Ed}} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V<sub>pl,T,Rd</sub>** viene dado por:

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} : \underline{266.69} \text{ kN}$$

Donde:

**V<sub>pl,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$\mathbf{V_{pl,Rd}} : \underline{266.74} \text{ kN}$$

**τ<sub>T,Ed</sub>**: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\mathbf{\tau_{T,Ed}} : \underline{0.06} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

**W<sub>T</sub>**: Módulo de resistencia a torsión.

$$\mathbf{W_T} : \underline{24.03} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

### Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta < \mathbf{0.001}$  ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.091 m del nudo N30, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H4+0.75·N(R).

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 0.33 kN

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$  : 0.00 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$  : 658.87 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$  : 658.98 kN

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$  : 0.06 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T$  : 24.03 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

Barra N17/N18

Perfil: HE 180 B Material: Acero (S275)							
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas					
		Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
N17	N18	3.460	65.30	3831.00	1363.00	42.16	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
		Pandeo		Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β		1.00	1.00	1.00	0.00		
L <sub>K</sub>		3.460	3.460	3.460	0.000		
C <sub>m</sub>		1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>1</sub>		-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N17/N18	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 3.384 m η = 1.3	x: 0 m η = 3.3	x: 3.386 m η = 24.7	x: 0 m η = 3.9	x: 0 m η = 4.7	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 3.386 m η = 27.7	η < 0.1	M <sub>Eg</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 27.7
Notación: $\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez $\lambda_w$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$  : 0.87 ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase** : 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A** : 65.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub>** : 2359.73 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,y</sub>** : 6632.53 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

**N<sub>cr,z</sub>** : 2359.73 kN



$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left[ G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

$$N_{cr,T} : \underline{6333.92 \text{ kN}}$$

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{3831.00 \text{ cm}^4}$$

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{1363.00 \text{ cm}^4}$$

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{42.16 \text{ cm}^4}$$

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{93750.00 \text{ cm}^6}$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000 \text{ MPa}}$$

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{81000 \text{ MPa}}$$

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{3.460 \text{ m}}$$

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{3.460 \text{ m}}$$

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{3.460 \text{ m}}$$

**i<sub>0</sub>**: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{8.92 \text{ cm}}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

**i<sub>y</sub>**, **i<sub>z</sub>**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{7.66 \text{ cm}}$$

$$i_z : \underline{4.57 \text{ cm}}$$

**y<sub>0</sub>**, **z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00 \text{ mm}}$$

$$z_0 : \underline{0.00 \text{ mm}}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \cdot \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$17.88 \leq 164.04 \quad \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

$$h_w : \underline{152.00 \text{ mm}}$$

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.50 \text{ mm}}$$

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

$$A_w : \underline{12.92 \text{ cm}^2}$$

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{25.20 \text{ cm}^2}$$

**k**: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000 \text{ MPa}}$$

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:



$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.013} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.384 m del nudo N17, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H3.

**N<sub>t,Ed</sub>**: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{N}_{t,Ed} : \underline{22.29} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N<sub>t,Rd</sub>** viene dada por:

$$\mathbf{N}_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$\mathbf{N}_{t,Rd} : \underline{1710.24} \text{ kN}$$

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$\mathbf{A} : \underline{65.30} \text{ cm}^2$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f}_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f}_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma}_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.020} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.033} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H2+0.75·N(EI).

**N<sub>c,Ed</sub>**: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{N}_{c,Ed} : \underline{34.30} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N<sub>c,Rd</sub>** viene dada por:

$$\mathbf{N}_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$\mathbf{N}_{c,Rd} : \underline{1710.24} \text{ kN}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\mathbf{Clase} : \underline{1}$$

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$\mathbf{A} : \underline{65.30} \text{ cm}^2$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f}_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:



**$f_y$** : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$**  : 275.00 MPa

**$\gamma_{M0}$** : Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$**  : 1.05

### Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{1055.06 \text{ kN}}$$

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{65.30 \text{ cm}^2}$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

**γ<sub>M1</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

**χ**: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.88}$$

$$\chi_z : \underline{0.62}$$

$$\chi_T : \underline{0.82}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.69}$$

$$\phi_z : \underline{1.05}$$

$$\phi_T : \underline{0.72}$$

**α**: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\alpha_T : \underline{0.49}$$

**λ̄**: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.52}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.87}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.53}$$

**N<sub>cr</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{2359.73 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,y</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{6632.53 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,z</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{2359.73 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,T</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{6333.92 \text{ kN}}$$

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed} \leq 1}{M_{c,Rd}}$$

$$\eta : \underline{0.217} \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{Ed} \leq 1}{M_{b,Rd}}$$

$$\eta : \underline{0.247} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una



distancia de 3.386 m del nudo N17, para la combinación de acciones  
 $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : 27.40 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.386 m del nudo N17, para la combinación de acciones  $0.8\cdot PP+1.5\cdot V(0^\circ)H3$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : 21.45 \text{ kN}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : 126.08 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase :** 1

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : 481.40 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 275.00 \text{ MPa}$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

El momento flector resistente de cálculo  $M_{b,Rd}$  viene dado por:

$$M_{b,Rd}^+ = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^+ \cdot f_{yd}$$

$M_{b,Rd}^+ : 110.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$$M_{b,Rd}^- = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^- \cdot f_{yd}$$

$M_{b,Rd}^- : 126.08 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : 481.40 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 275.00 \text{ MPa}$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1} : 1.05$

$\chi_{LT}$ : Factor de reducción por pandeo lateral.

$\chi_{LT}^+ : 0.88$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^{-2}}} \leq 1$$

$\chi_{LT}^- : 1.00$

Siendo:

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot \left( \frac{\bar{\lambda}_{LT}}{\lambda_{LT}} - 0.2 \right) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$\phi_{LT}^+ : 0.74$

$\phi_{LT}^- : 0.00$

$\alpha_{LT}$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_{LT} : 0.21$

$\bar{\lambda}_{LT}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^+ \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}^+ : 0.63$



$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^- \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}^- : 0.00$$



$M_{cr}$ : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr}^+ : 337.93 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cr}^- : \infty$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral  $M_{cr}$  se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

$M_{LTV}$ : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTV}^+ : 283.87 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTV}^- : \infty$$

$M_{LTw}$ : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTw}^+ : 183.35 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTw}^- : \infty$$

Siendo:

$W_{el,y}$ : Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : 425.67 \text{ cm}^3$$

$I_z$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : 1363.00 \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : 42.16 \text{ cm}^4$$

$E$ : Módulo de elasticidad.

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

$G$ : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : 81000 \text{ MPa}$$

$L_c^+$ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : 3.460 \text{ m}$$

$L_c^-$ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : 0.000 \text{ m}$$

$C_1$ : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : 1.00$$

$i_{f,z}$ : Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : 4.99 \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : 4.99 \text{ cm}$$

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.039 \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : 2.35 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H4.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : 2.36 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:



$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{60.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

**W<sub>pl,z</sub>:** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{231.00} \text{ cm}^3$$

**f<sub>yd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M0</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed} \leq 1}{V_{c,Rd}}$$

$$\eta : \underline{0.047} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H4.

**V<sub>Ed</sub>:** Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{14.51} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{306.81} \text{ kN}$$

Donde:

**A<sub>v</sub>:** Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{20.29} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

**h:** Canto de la sección.

$$h : \underline{180.00} \text{ mm}$$

**t<sub>w</sub>:** Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.50} \text{ mm}$$

**f<sub>yd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M0</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:



$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$14.35 < 64.71$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$\lambda_w : \underline{14.35}$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$\varepsilon : \underline{0.92}$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$f_{ref} : \underline{235.00}$  MPa

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{275.00}$  MPa

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed} \leq 1}{V_{c,Rd}}$$

$\eta : \underline{0.001}$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H4.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.68}$  kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd} : \underline{792.04}$  kN

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v : \underline{52.38}$  cm<sup>2</sup>

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$A : \underline{65.30}$  cm<sup>2</sup>

$d$ : Altura del alma.

$d : \underline{152.00}$  mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w : \underline{8.50}$  mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{261.90}$  MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{275.00}$  MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**14.51 kN ≤ 153.40 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H4.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 14.51 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$  : 306.81 kN

**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**0.68 kN ≤ 396.02 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H4.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 0.68 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$  : 792.04 kN

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} & \eta & \\
 + \frac{M_{pl,Rd,y}}{M_{pl,Rd,y}} & & & \\
 + \frac{M_{pl,Rd,z}}{M_{pl,Rd,z}} & \leq 1 & & \\
 & & & \mathbf{0} \\
 & & & \mathbf{2} \\
 & & & \mathbf{3} \\
 & & & \mathbf{7}
 \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + k \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \alpha \cdot k \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} \leq \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.271} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.277} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sup>és</sup>imos se producen en un punto situado a una distancia de 3.386 m del nudo N17, para la combinaci3n de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H2+0.75·N(EI).

Donde:

**N<sub>c,Ed</sub>**: Axil de compresi3n solicitante de c3lculo p<sup>és</sup>imo.

**M<sub>y,Ed</sub>**, **M<sub>z,Ed</sub>**: Momentos flectores solicitantes de c3lculo p<sup>és</sup>imos, seg<sup>un</sup> los

$$\underline{N_{c,Ed} : 32.00 \text{ kN}}$$

$$\underline{M_{y,Ed}^+ : 27.40 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

ejes Y y Z, respectivamente.

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

**$N_{pl,Rd}$ :** Resistencia a compresión de la sección bruta.

**$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ :** Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{z,Ed} : \underline{0.05} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$$N_{pl,Rd} : \underline{1710.24} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{126.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{60.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

**A:** Área de la sección bruta.

**$W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$ :** Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$\gamma_{M1}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$A : \underline{65.30} \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y} : \underline{481.40} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{231.00} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

**$k_y$ ,  $k_z$ ,  $k_{y,LT}$ :** Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.03}$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \chi_z \cdot \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}}$$

$$k_{y,LT} : \underline{1.00}$$

**$C_{m,y}$ ,  $C_{m,z}$ ,  $C_{m,LT}$ :** Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,LT} : \underline{1.00}$$

**$\chi_y$ ,  $\chi_z$ :** Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.88}$$

$$\chi_z : \underline{0.62}$$

**$\chi_{LT}$ :** Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} : \underline{0.88}$$

**$\bar{\lambda}_y$ ,  $\bar{\lambda}_z$ :** Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.52}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.87}$$

**$\alpha_y$ ,  $\alpha_z$ :** Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H4.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$





**1**

Donde:

**4.51 kN ≤ 153.40 kN**



$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed,z}$  :  $\frac{14.51}{}$  kN

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd,z}$  :  $\frac{306.81}{}$  kN

#### **Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

#### **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

#### **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N19/N20

Perfil: HE 180 B Material: Acero (S275)							
Nudos	Longitud (m)		Características mecánicas				
	Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
N19	N20	4.000	65.30	3831.00	1363.00	42.16	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
		Pandeo		Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	1.00			
L <sub>K</sub>	4.000	4.000	0.000	4.000			
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000			
C <sub>1</sub>	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N19/N20	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 3.91 m η = 0.7	x: 0 m η = 3.7	x: 3.912 m η = 29.4	x: 0 m η = 4.1	x: 0 m η = 5.8	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 3.912 m η = 32.8	η < 0.1	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 32.8
Notación: $\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez $\lambda_w$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$  : **1.01** ✓

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase** : 1

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A** : 65.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>**: Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub>** : 1765.61 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,y</sub>** : 4962.62 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

**N<sub>cr,z</sub>** : 1765.61 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left[ G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

$$N_{cr,T} : \underline{5820.15 \text{ kN}}$$

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{3831.00 \text{ cm}^4}$$

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{1363.00 \text{ cm}^4}$$

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{42.16 \text{ cm}^4}$$

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{93750.00 \text{ cm}^6}$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000 \text{ MPa}}$$

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{81000 \text{ MPa}}$$

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{4.000 \text{ m}}$$

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{4.000 \text{ m}}$$

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{4.000 \text{ m}}$$

**i<sub>0</sub>**: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{8.92 \text{ cm}}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

**i<sub>y</sub>**, **i<sub>z</sub>**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{7.66 \text{ cm}}$$

$$i_z : \underline{4.57 \text{ cm}}$$

**y<sub>0</sub>**, **z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00 \text{ mm}}$$

$$z_0 : \underline{0.00 \text{ mm}}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \cdot \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$17.88 \leq 164.04 \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

$$h_w : \underline{152.00 \text{ mm}}$$

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.50 \text{ mm}}$$

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

$$A_w : \underline{12.92 \text{ cm}^2}$$

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{25.20 \text{ cm}^2}$$

**k**: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000 \text{ MPa}}$$

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:



$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.007} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.910 m del nudo N19, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{12.31} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{1710.24} \text{ kN}$$

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{65.30} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.020} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.037} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N19, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{33.92} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{1710.24} \text{ kN}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$A$ : Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{65.30} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:



**$f_y$** : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$**  : 275.00 MPa

**$\gamma_{M0}$** : Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$**  : 1.05

### Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{915.02 \text{ kN}}$$

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{65.30 \text{ cm}^2}$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

**γ<sub>M1</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

**χ**: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.84}$$

$$\chi_z : \underline{0.54}$$

$$\chi_T : \underline{0.81}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + (\lambda)^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.75}$$

$$\phi_z : \underline{1.21}$$

$$\phi_T : \underline{0.74}$$

**α**: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\alpha_T : \underline{0.49}$$

**λ̄**: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.60}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.01}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.56}$$

**N<sub>cr</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{1765.61 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,y</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{4962.62 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,z</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{1765.61 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,T</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{5820.15 \text{ kN}}$$

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.251} \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.294} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una





distancia de 3.912 m del nudo N19, para la combinación de acciones  
 $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : 14.99 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.912 m del nudo N19, para la combinación de acciones  $1.35\cdot PP + 1.5\cdot V(270^\circ)H2 + 0.75\cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : 31.66 \text{ kN}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : 126.08 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase :** 1

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : 481.40 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 275.00 \text{ MPa}$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

El momento flector resistente de cálculo  $M_{b,Rd}$  viene dado por:

$$M_{b,Rd}^+ = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^+ \cdot f_{yd}$$

$M_{b,Rd}^+ : 126.08 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$$M_{b,Rd}^- = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^- \cdot f_{yd}$$

$M_{b,Rd}^- : 107.70 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : 481.40 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 275.00 \text{ MPa}$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1} : 1.05$

$\chi_{LT}$ : Factor de reducción por pandeo lateral.

$\chi_{LT}^+ : 1.00$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^{-2}}} \leq 1$$

$\chi_{LT}^- : 0.85$

Siendo:

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot \left( \frac{\bar{\lambda}_{LT}}{\lambda_{LT}} - 0.2 \right) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$\phi_{LT}^+ : 0.00$

$\phi_{LT}^- : 0.79$

$\alpha_{LT}$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_{LT} : 0.21$

$\bar{\lambda}_{LT}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^+ \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}^+ : 0.00$



$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^- \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}^- : 0.69$$

$M_{cr}$ : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr}^+ : \infty$$

$$M_{cr}^- : \underline{281.27 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral  $M_{cr}$  se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

$M_{LTV}$ : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTV}^+ : \infty$$

$$M_{LTV}^- : \underline{245.55 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$M_{LTw}$ : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTw}^+ : \infty$$

$$M_{LTw}^- : \underline{137.18 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Siendo:

$W_{el,y}$ : Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{425.67 \text{ cm}^3}$$

$I_z$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{1363.00 \text{ cm}^4}$$

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{42.16 \text{ cm}^4}$$

$E$ : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000 \text{ MPa}}$$

$G$ : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{81000 \text{ MPa}}$$

$L_c^+$ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{0.000 \text{ m}}$$

$L_c^-$ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{4.000 \text{ m}}$$

$C_1$ : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{f,z}$ : Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{4.99 \text{ cm}}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{4.99 \text{ cm}}$$

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.041} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N19, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{2.46 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N19, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H4.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{2.47 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:



$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{60.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

**W<sub>pl,z</sub>:** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{231.00} \text{ cm}^3$$

**f<sub>yd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M0</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed} \leq 1}{V_{c,Rd}}$$

$$\eta : \underline{0.058} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N19, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H4.

**V<sub>Ed</sub>:** Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{17.77} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{306.81} \text{ kN}$$

Donde:

**A<sub>v</sub>:** Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{20.29} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

**h:** Canto de la sección.

$$h : \underline{180.00} \text{ mm}$$

**t<sub>w</sub>:** Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.50} \text{ mm}$$

**f<sub>yd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M0</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:



$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$14.35 < 64.71$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$\lambda_w : \underline{14.35}$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$\varepsilon : \underline{0.92}$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$f_{ref} : \underline{235.00}$  MPa

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{275.00}$  MPa

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed} \leq 1}{V_{c,Rd}}$$

$\eta : \underline{0.001}$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H4.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.62}$  kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd} : \underline{792.04}$  kN

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v : \underline{52.38}$  cm<sup>2</sup>

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$A : \underline{65.30}$  cm<sup>2</sup>

$d$ : Altura del alma.

$d : \underline{152.00}$  mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w : \underline{8.50}$  mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{261.90}$  MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{275.00}$  MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)



No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**17.77 kN ≤ 153.40 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H4.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 17.77 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$  : 306.81 kN

**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**0.62 kN ≤ 396.02 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H4.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 0.62 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$  : 792.04 kN

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} & \eta &= \\
 + \frac{M_{pl,Rd,y}}{M_{pl,Rd,y}} & & & \\
 + \frac{M_{pl,Rd,z}}{M_{pl,Rd,z}} & \leq 1 & & \\
 & & & \mathbf{0} \\
 & & & \mathbf{2} \\
 & & & \mathbf{7} \\
 & & & \mathbf{0}
 \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + k \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \alpha \cdot k \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} \leq \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{z} \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.319} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.328} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sup>és</sup>imos se producen en un punto situado a una distancia de 3.912 m del nudo N19, para la combinaci3n de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H2+0.75·N(EI).

Donde:

**N<sub>c,Ed</sub>**: Axil de compresi3n solicitante de c3lculo p<sup>és</sup>imo.

$$\underline{N_{c,Ed} : 31.26 \text{ kN}}$$

**M<sub>y,Ed</sub>**, **M<sub>z,Ed</sub>**: Momentos flectores solicitantes de c3lculo p<sup>és</sup>imos, seg<sup>un</sup> los

$$\underline{M_{y,Ed} : 31.66 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

ejes Y y Z, respectivamente.

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

**$N_{pl,Rd}$ :** Resistencia a compresión de la sección bruta.

**$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ :** Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{z,Ed} : \underline{0.05} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$$N_{pl,Rd} : \underline{1710.24} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{126.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{60.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

**A:** Área de la sección bruta.

**$W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$ :** Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$\gamma_{M1}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$A : \underline{65.30} \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y} : \underline{481.40} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{231.00} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

**$k_y$ ,  $k_z$ ,  $k_{y,LT}$ :** Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.05}$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \chi_z \cdot \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}}$$

$$k_{y,LT} : \underline{1.00}$$

**$C_{m,y}$ ,  $C_{m,z}$ ,  $C_{m,LT}$ :** Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,LT} : \underline{1.00}$$

**$\chi_y$ ,  $\chi_z$ :** Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.84}$$

$$\chi_z : \underline{0.54}$$

**$\chi_{LT}$ :** Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} : \underline{0.85}$$

**$\bar{\lambda}_y$ ,  $\bar{\lambda}_z$ :** Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.60}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.01}$$

**$\alpha_y$ ,  $\alpha_z$ :** Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H4.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

2



**1**

Donde:

**7.77 kN ≤ 153.40 kN**



$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed,z}$  :  $\frac{17.77}{}$  kN

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd,z}$  :  $\frac{306.81}{}$  kN

### **Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

### **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

### **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N18/N20

**Perfil: HE 160 B**  
**Material: Acero (S275)**

Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
Inicial	Final					
N18	N20	7.021	54.30	2492.00	889.20	31.24

Notas:				
<sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado				
<sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme				
	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.27	1.00
L <sub>K</sub>	7.021	7.021	1.900	7.021
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000
C <sub>1</sub>	-		1.000	

Notación:  
 β: Coeficiente de pandeo  
 L<sub>K</sub>: Longitud de pandeo (m)  
 C<sub>m</sub>: Coeficiente de momentos  
 C<sub>1</sub>: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	λ̄	λ <sub>w</sub>	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N18/N20	λ̄ < 2.0 Cumple	λ <sub>w</sub> ≤ λ <sub>w,max</sub> Cumple	x: 6.928 m η = 0.9	x: 0.091 m η = 5.2	x: 6.93 m η = 48.1	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	x: 6.93 m η = 11.4	V <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(2)</sup>	η < 0.1	N.P. <sup>(3)</sup>	x: 6.93 m η = 52.3	η < 0.1	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 52.3

Notación:  
 λ̄: Limitación de esbeltez  
 λ<sub>w</sub>: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida  
 N<sub>t</sub>: Resistencia a tracción  
 N<sub>c</sub>: Resistencia a compresión  
 M<sub>y</sub>: Resistencia a flexión eje Y  
 M<sub>z</sub>: Resistencia a flexión eje Z  
 V<sub>z</sub>: Resistencia a corte Z  
 V<sub>y</sub>: Resistencia a corte Y  
 M<sub>y</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados  
 M<sub>z</sub>V<sub>y</sub>: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados  
 NM<sub>y</sub>M<sub>z</sub>: Resistencia a flexión y axil combinados  
 NM<sub>y</sub>M<sub>z</sub>V<sub>y</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados  
 M<sub>t</sub>: Resistencia a torsión  
 M<sub>t</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados  
 M<sub>t</sub>V<sub>y</sub>: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados  
 x: Distancia al origen de la barra  
 η: Coeficiente de aprovechamiento (%)  
 N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):  
<sup>(1)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.  
<sup>(2)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.  
<sup>(3)</sup> No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.  
<sup>(4)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.  
<sup>(5)</sup> No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ̄ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\lambda \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ̄ : **2.00** ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase :** 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A :** 54.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub> :** 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico. **N<sub>cr</sub> :** 373.89 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,y</sub> :** 1047.84 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$



b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

**$N_{cr,z}$  : 373.89 kN**

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left[ G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

$$N_{cr,T} : 4387.45 \text{ kN}$$

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : 2492.00 \text{ cm}^4$$

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : 889.20 \text{ cm}^4$$

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : 31.24 \text{ cm}^4$$

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : 47940.00 \text{ cm}^6$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : 81000 \text{ MPa}$$

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : 7.021 \text{ m}$$

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : 7.021 \text{ m}$$

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : 7.021 \text{ m}$$

**i<sub>0</sub>**: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : 7.89 \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

**i<sub>y</sub>**, **i<sub>z</sub>**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : 6.77 \text{ cm}$$

$$i_z : 4.05 \text{ cm}$$

**y<sub>0</sub>**, **z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : 0.00 \text{ mm}$$

$$z_0 : 0.00 \text{ mm}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \cdot \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$16.75 \leq 164.47 \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

$$h_w : 134.00 \text{ mm}$$

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

$$t_w : 8.00 \text{ mm}$$

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

$$A_w : 10.72 \text{ cm}^2$$

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : 20.80 \text{ cm}^2$$

**k**: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : 0.30$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : 275.00 \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:





$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.009} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 6.928 m del nudo N18, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H3.

**N<sub>t,Ed</sub>**: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{N_{t,Ed}} : \underline{12.46} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N<sub>t,Rd</sub>** viene dada por:

$$\mathbf{N_{t,Rd}} = A \cdot f_{yd}$$

$$\mathbf{N_{t,Rd}} : \underline{1422.14} \text{ kN}$$

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$\mathbf{A} : \underline{54.30} \text{ cm}^2$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma_{M0}} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.010} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.052} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.091 m del nudo N18, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H2+0.75·N(EI).

**N<sub>c,Ed</sub>**: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{N_{c,Ed}} : \underline{14.41} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N<sub>c,Rd</sub>** viene dada por:

$$\mathbf{N_{c,Rd}} = A \cdot f_{yd}$$

$$\mathbf{N_{c,Rd}} : \underline{1422.14} \text{ kN}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\mathbf{Clase} : \underline{1}$$

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$\mathbf{A} : \underline{54.30} \text{ cm}^2$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y /$$

Siendo:



$\gamma_{M0}$

**$f_y$** : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$**  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$

$N_{b,Rd} : \underline{279.37 \text{ kN}}$

Donde:

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A :**  $\underline{54.30 \text{ cm}^2}$

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

**$f_{yd}$  :**  $\underline{261.90 \text{ MPa}}$

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$  :**  $\underline{275.00 \text{ MPa}}$

**$\gamma_{M1}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M1}$  :**  $\underline{1.05}$

$\chi$ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$\chi_y : \underline{0.48}$

$\chi_z : \underline{0.20}$

$\chi_T : \underline{0.80}$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$\phi_y : \underline{1.38}$

$\phi_z : \underline{2.94}$

$\phi_T : \underline{0.76}$

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_y : \underline{0.34}$

$\alpha_z : \underline{0.49}$

$\alpha_T : \underline{0.49}$

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_y : \underline{1.19}$

$\bar{\lambda}_z : \underline{2.00}$

$\bar{\lambda}_T : \underline{0.58}$

**$N_{cr}$ :** Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

**$N_{cr}$  :**  $\underline{373.89 \text{ kN}}$

**$N_{cr,y}$ :** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**$N_{cr,y}$  :**  $\underline{1047.84 \text{ kN}}$

**$N_{cr,z}$ :** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

**$N_{cr,z}$  :**  $\underline{373.89 \text{ kN}}$

**$N_{cr,T}$ :** Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

**$N_{cr,T}$  :**  $\underline{4387.45 \text{ kN}}$

**Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$\eta = \frac{M_{Ed} \leq 1}{M_{c,Rd}}$

$\eta : \underline{0.326} \checkmark$

$\eta = \frac{M_{Ed} \leq 1}{M_{b,Rd}}$

$\eta : \underline{0.481} \checkmark$



Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 6.930 m del nudo N18, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : 14.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 6.930 m del nudo N18, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : 30.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : 92.71 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase :** 1

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : 354.00 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 275.00 \text{ MPa}$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

El momento flector resistente de cálculo  $M_{b,Rd}$  viene dado por:

$$M_{b,Rd}^+ = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^+ \cdot f_{yd}$$

$M_{b,Rd}^+ : 87.33 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$$M_{b,Rd}^- = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^- \cdot f_{yd}$$

$M_{b,Rd}^- : 62.77 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : 354.00 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 275.00 \text{ MPa}$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1} : 1.05$

$\chi_{LT}$ : Factor de reducción por pandeo lateral.

$\chi_{LT}^+ : 0.94$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}}} \leq 1$$

$\chi_{LT}^- : 0.68$

Siendo:

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot \left( \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_{LT}} - 0.2 \right) + \lambda_{LT}^2 \right]$$

$\phi_{LT}^+ : 0.62$

$\phi_{LT}^- : 1.07$

$\alpha_{LT}$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_{LT} : 0.21$

$\lambda_{LT}$ : Esbeltez reducida.

PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA (BIZKAIA)

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^+ \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ : \underline{0.44}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^- \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^- : \underline{0.98}$$

$M_{cr}$ : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr}^+ : \underline{502.68 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{cr}^- : \underline{100.62 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral  $M_{cr}$  se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTW}^2}$$

Siendo:

$M_{LTV}$ : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTV}^+ : \underline{359.42 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{LTV}^- : \underline{97.27 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$M_{LTW}$ : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTW}^+ : \underline{351.43 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{LTW}^- : \underline{25.74 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Siendo:

$W_{el,y}$ : Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{311.50 \text{ cm}^3}$$

$I_z$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{889.20 \text{ cm}^4}$$

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{31.24 \text{ cm}^4}$$

$E$ : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000 \text{ MPa}}$$

$G$ : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{81000 \text{ MPa}}$$

$L_c^+$ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{1.900 \text{ m}}$$

$L_c^-$ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{7.021 \text{ m}}$$

$C_1$ : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{f,z}$ : Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{4.43 \text{ cm}}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{4.43 \text{ cm}}$$

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.114} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 6.930 m del nudo N18, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H2+0.75·N(EI).





**$V_{Ed}$** : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**$V_{Ed}$**  : 30.49 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{266.74 \text{ kN}}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.  $A_v : \underline{17.64 \text{ cm}^2}$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.  $h : \underline{160.00 \text{ mm}}$

$t_w$ : Espesor del alma.  $t_w : \underline{8.00 \text{ mm}}$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} : \underline{261.90 \text{ MPa}}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

#### Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad 13.00 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.  $\lambda_w : \underline{13.00}$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.  $\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.  $\varepsilon : \underline{0.92}$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.  $f_{ref} : \underline{235.00 \text{ MPa}}$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$

#### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

#### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 29.16 \text{ kN} \leq 133.37 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{29.16} \text{ kN}$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd} : \underline{266.74} \text{ kN}$

**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$\underline{0.507}$  ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta :$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.523}$  ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 6.930 m del nudo N18, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed} : \underline{12.49} \text{ kN}$

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed} : \underline{30.22} \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{z,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

**Clase** : 1

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.

$N_{pl,Rd} : \underline{1422.14} \text{ kN}$

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y} : \underline{92.71} \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{pl,Rd,z} : \underline{44.52} \text{ kN}\cdot\text{m}$

**Resistencia a pandeo**: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

**A**: Área de la sección bruta.

**A** : 54.30 cm<sup>2</sup>

$W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de

comprimida, alrededor de

los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{354.00} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{170.00} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$k_y, k_z, k_{y,LT}$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.06}$$

$$k_{y,LT} = 1 - C_{m,LT} \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{-0.25 \cdot \chi_z} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}}$$

$$k_{y,LT} : \underline{0.99}$$

$C_{m,y}$ ,  $C_{m,z}$ ,  $C_{m,LT}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,LT} : \underline{1.00}$$

$\chi_y$ ,  $\chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.48}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

$\chi_{LT}$ : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} : \underline{0.68}$$

$\bar{\lambda}_y$ ,  $\bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.19}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{2.00}$$

$\alpha_y$ ,  $\alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$29.16 \text{ kN} \leq 133.37 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{29.16} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{266.74} \text{ kN}$$

### Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

### Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

### Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N26/N30

Perfil: HE 120 B Material: Acero (S275)							
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas					
		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )		
Inicial	Final						
N26	N30	5.000	34.00	864.40	317.50	13.84	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
		Pandeo		Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00			
L <sub>K</sub>	5.000	5.000	0.000	0.000			
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000			
C <sub>1</sub>	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>	
N26/N30	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.313 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 1.0$	$\eta = 3.6$	x: 2.5 m $\eta = 2.6$	M <sub>Ed</sub> = 0,00 N.P. <sup>(1)</sup>	x: 0 m $\eta = 0.5$	V <sub>Ed</sub> = 0,00 N.P. <sup>(2)</sup>	x: 0.313 m $\eta < 0.1$	N.P. <sup>(3)</sup>	x: 2.5 m $\eta = 5.2$	x: 0.313 m $\eta < 0.1$	M <sub>Ed</sub> = 0,00 N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	<b>CUMPLE</b> $\eta = 5.2$
Notación: $\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez $\lambda_w$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$  : **1.88** ✓

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase** : 1

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A** : 34.00 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>**: Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub>** : 263.22 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,y</sub>** : 716.63 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$



b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$  : 263.22 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left[ G \cdot I_t + \frac{\pi_w^2}{L_{kt}^2} \cdot E \cdot I \right]$$

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{864.40} \text{ cm}^4$$

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{317.50} \text{ cm}^4$$

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{13.84} \text{ cm}^4$$

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{9410.00} \text{ cm}^6$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000} \text{ MPa}$$

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{81000} \text{ MPa}$$

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{5.000} \text{ m}$$

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{5.000} \text{ m}$$

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m } i_0 :$$

Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{5.90} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

**i<sub>y</sub>**, **i<sub>z</sub>**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{5.04} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.06} \text{ cm}$$

**y<sub>0</sub>**, **z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$15.08 \leq 159.14 \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

$$h_w : \underline{98.00} \text{ mm}$$

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.50} \text{ mm}$$

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

$$A_w : \underline{6.37} \text{ cm}^2$$

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{13.20} \text{ cm}^2$$

**k**: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000} \text{ MPa}$$

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:





$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.010} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{8.77} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{890.48} \text{ kN}$$

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{34.00} \text{ cm}^2$$

**$f_{yd}$** : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$** : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**$\gamma_{M0}$** : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### **Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.008} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.036} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H4$ .

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{7.03} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{890.48} \text{ kN}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{34.00} \text{ cm}^2$$

**$f_{yd}$** : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$** : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$



$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

### Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{193.31 \text{ kN}}$$

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{34.00 \text{ cm}^2}$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

**γ<sub>M1</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

**χ**: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.51}$$

$$\chi_z : \underline{0.22}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{1.31}$$

$$\phi_z : \underline{2.69}$$

**α**: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

**λ̄**: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.88}$$

**N<sub>cr</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{263.22 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,y</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{716.63 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,z</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{263.22 \text{ kN}}$$

**N<sub>cr,T</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed} \leq 1}{M_{c,Rd}}$$

$$\eta : \underline{0.026} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N26, para la combinación de acciones 1.35·PP.

**M<sub>Ed</sub><sup>+</sup>**: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{1.10 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Para flexión negativa:

**M<sub>Ed</sub><sup>-</sup>**: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$



El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{43.27 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase :** 1

**$W_{pl,y}$ :** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

**$W_{pl,y}$  :** 165.20 cm<sup>3</sup>

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

**$f_{yd}$  :** 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$  :** 275.00 MPa

**$\gamma_{M0}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$  :** 1.05

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

**Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

**$\eta$  :** 0.005 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N26, para la combinación de acciones 1.35·PP.

**$V_{Ed}$ :** Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**$V_{Ed}$  :** 0.88 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  **$V_{c,Rd}$**  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

**$V_{c,Rd}$  :** 165.65 kN

Donde:

**$A_v$ :** Área transversal a cortante.

**$A_v$  :** 10.96 cm<sup>2</sup>

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

**$h$ :** Canto de la sección.

**$h$  :** 120.00 mm

**$t_w$ :** Espesor del alma.

**$t_w$  :** 6.50 mm

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

**$f_{yd}$  :** 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$  :** 275.00 MPa

**$\gamma_{M0}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$  :** 1.05

**Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)



Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$11.38 < 64.71$$



Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{11.38}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{\max}$ : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{\max} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00 \text{ MPa}}$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.77 \text{ kN} \leq 82.83 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N26, para la combinación de acciones 1.35·PP.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.77} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{165.65} \text{ kN}$$

### Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

### Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{z_{,Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq \eta : \underline{0.03}$$

$\frac{1}{3}$





$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.041}$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.052} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N26, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H4.

Donde:

**N<sub>c,Ed</sub>**: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{7.03} \text{ kN}$$

**M<sub>y,Ed</sub>, M<sub>z,Ed</sub>**: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{1.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

**N<sub>pl,Rd</sub>**: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{890.48} \text{ kN}$$

**M<sub>pl,Rd,y</sub>, M<sub>pl,Rd,z</sub>**: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{43.27} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{21.21} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**Resistencia a pandeo**: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

**A**: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{34.00} \text{ cm}^2$$

**W<sub>pl,y</sub>, W<sub>pl,z</sub>**: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{165.20} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{80.97} \text{ cm}^3$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M1</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

**k<sub>y</sub>, k<sub>z</sub>**: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.05}$$

**C<sub>m,y</sub>, C<sub>m,z</sub>**: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

**χ<sub>y</sub>, χ<sub>z</sub>**: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.51}$$

$$\chi_z : \underline{0.22}$$

**λ̄<sub>y</sub>, λ̄<sub>z</sub>**: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.88}$$

**α<sub>y</sub>, α<sub>z</sub>**: Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V<sub>Ed</sub>** es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>**.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N26, para la combinaci3n de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.77 \text{ kN} \leq 82.83 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{Ed,z} : \quad 0.77 \quad \text{kN}$$

$$V_{c,Rd,z} : \quad 165.65 \quad \text{kN}$$

#### **Resistencia a torsi3n** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobaci3n no procede, ya que no hay momento torsor.

#### **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacci3n entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinaci3n. Por lo tanto, la comprobaci3n no procede.

#### **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacci3n entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinaci3n. Por lo tanto, la comprobaci3n no procede.

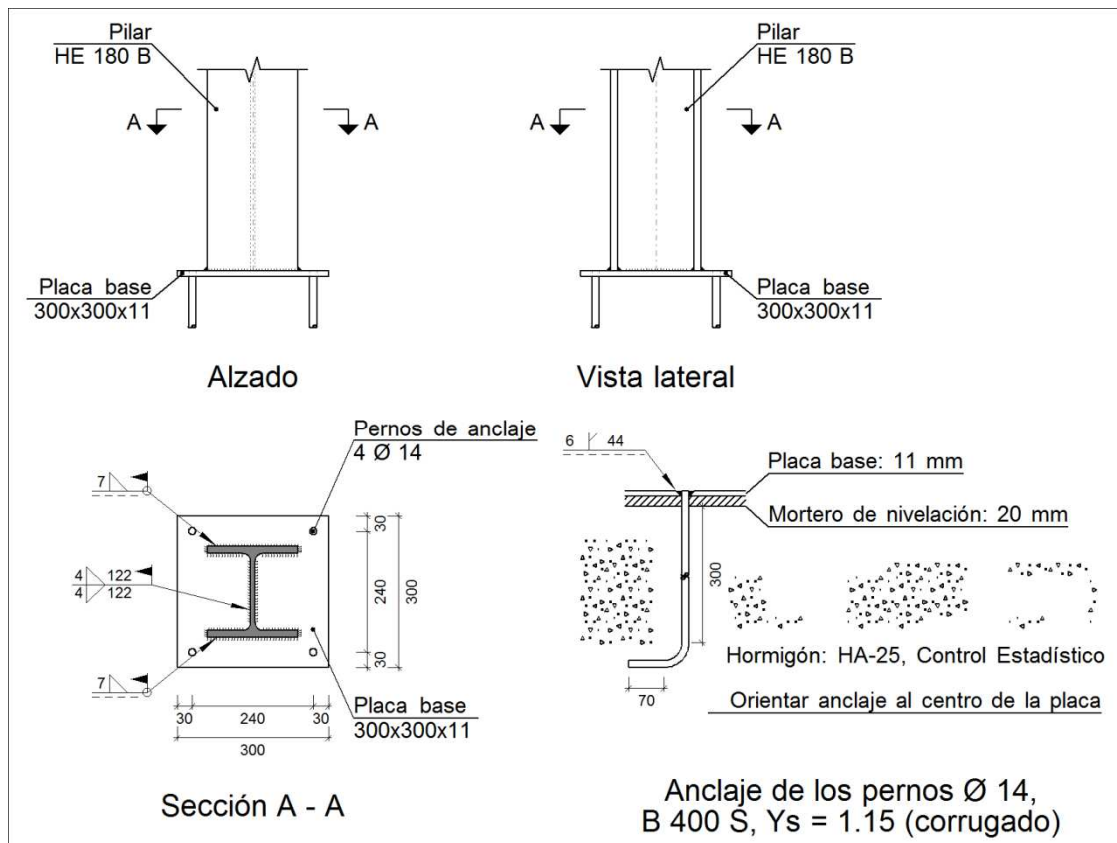
### 3. UNIONES

Todas las uniones que se van a realizar en los nudos de la estructura van a ser uniones soldadas. Como ya se ha explicado en el apartado de “Campo de fútbol sala” el procedimiento a seguir en uniones soldadas se procede a indicar únicamente las comprobaciones de dichas uniones

#### 3.1 MEMORIA DE CÁLCULO

##### Tipo 1

a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios											
Pieza	Geometría				Taladros				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	f <sub>v</sub> (MPa)	f <sub>u</sub> (MPa)



Elementos complementarios											
Pieza	Geometría				Cantidad	Taladros			Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)		Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Placa base		300	300	11	4	26	16	6	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 180 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	7	180	11.0	90.00	
Soldadura del alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	7	180	11.0	90.00	

*a: Espesor garganta  
l: Longitud efectiva  
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	55.8	55.8	2.9	111.7	28.95	55.8	17.01	410.0	0.85
Soldadura del alma	13.1	13.1	6.8	28.8	7.45	13.1	4.00	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	58.4	58.4	2.9	116.8	30.28	58.4	17.79	410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 42 mm Calculado: 241 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 21 mm Calculado: 30 mm	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 30 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción:	Máximo: 46.67 kN Calculado: 33.71 kN	Cumple



Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
- Cortante:	Máximo: 32.67 kN Calculado: 3.78 kN	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 46.67 kN Calculado: 39.11 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 49.28 kN Calculado: 32.08 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 380.952 MPa Calculado: 213.048 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 80.67 kN Calculado: 3.56 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 261.905 MPa	
- Derecha:	Calculado: 230.674 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 235.128 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 208.827 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 181.432 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 510.192	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 442.23	Cumple
- Arriba:	Calculado: 559.503	Cumple
- Abajo:	Calculado: 722.605	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 0 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	Preparación de bordes (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	6	44	11.0	90.00				
<i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura de los pernos a la placa base	0.0	0.0	182.4	315.9	81.86	0.0	0.00	410.0	0.85

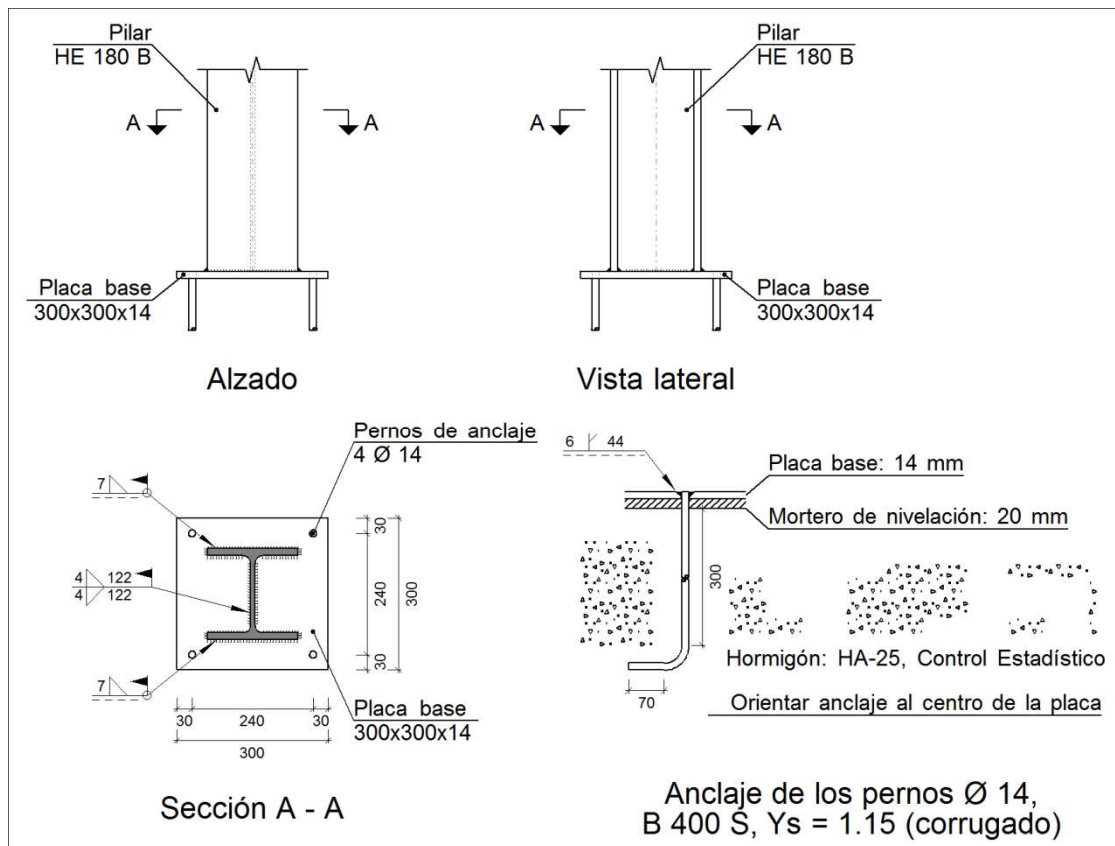
d) Medición

Soldaduras				
$f_u$ (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	A tope en bisel simple con talón de raíz amplio	6	176
	En el lugar de montaje	En ángulo	4	244
			7	699

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	300x300x11	7.77
	Total			7.77
B 400 S, $Y_s = 1.15$ (corrugado)	Pernos de anclaje	4	$\varnothing 14 - L = 345 + 136$	2.32
	Total			2.32

**Tipo 19**

a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión



Elementos complementarios											
Pieza	Geometría				Taladros				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Placa base		300	300	14	4	26	16	6	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 180 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	7	180	14.0	90.00	
Soldadura del alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	7	180	14.0	90.00	

*a: Espesor garganta  
l: Longitud efectiva  
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	33.5	33.5	0.1	67.0	17.36	33.5	10.21	410.0	0.85
Soldadura del alma	24.8	24.8	12.7	54.2	14.05	24.8	7.55	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	37.0	37.0	0.1	74.0	19.19	37.0	11.29	410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 42 mm Calculado: 241 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 21 mm Calculado: 30 mm	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 30 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción:	Máximo: 46.67 kN Calculado: 37.67 kN	Cumple



Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
- Cortante:	Máximo: 32.67 kN Calculado: 3.8 kN	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 46.67 kN Calculado: 43.1 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 49.28 kN Calculado: 36.11 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 380.952 MPa Calculado: 238.813 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 102.67 kN Calculado: 3.63 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 261.905 MPa	
- Derecha:	Calculado: 93.2186 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 91.148 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 256.481 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 220.709 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 4883.48	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 5137.96	Cumple
- Arriba:	Calculado: 426.853	Cumple
- Abajo:	Calculado: 485.731	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 0 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo		Preparación de bordes (mm)		l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)		
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial		6		44	14.0	90.00		
<i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura de los pernos a la placa base	0.0	0.0	205.2	355.5	92.12	0.0	0.00	410.0	0.85

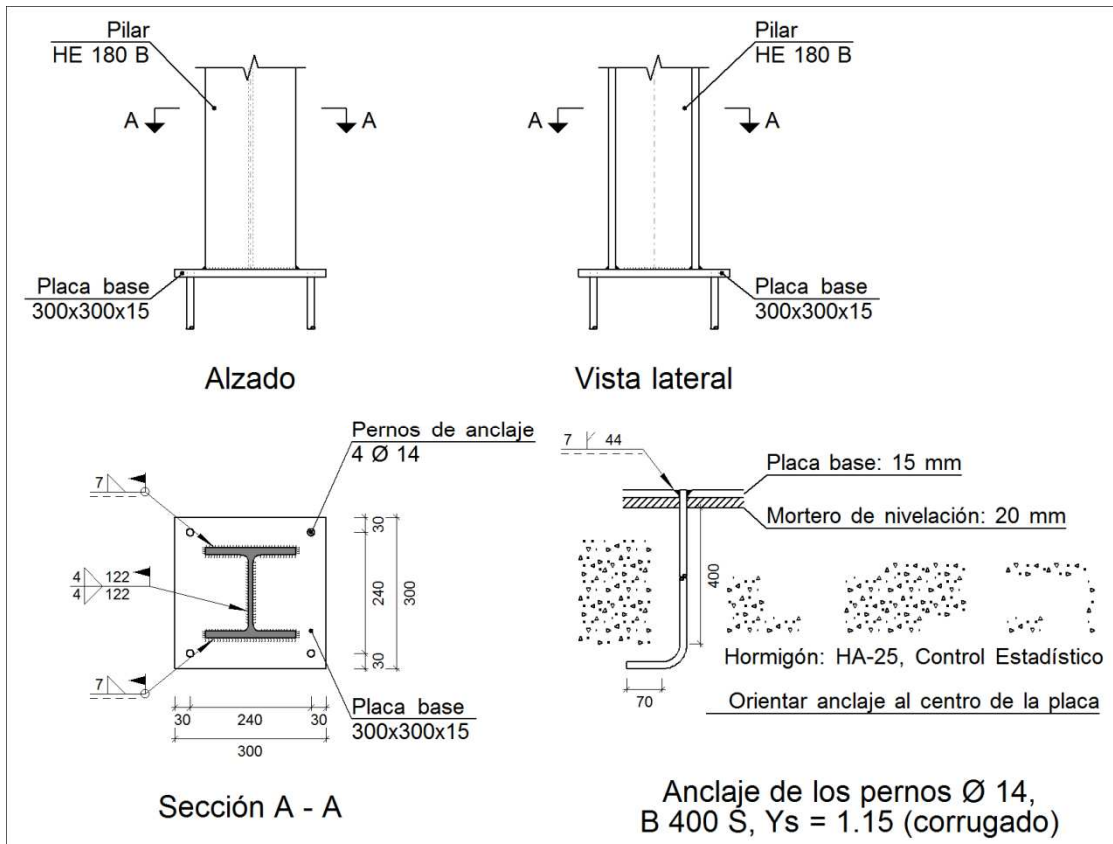
d) Medición

<b>Soldaduras</b>				
$f_u$ (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	A tope en bisel simple con talón de raíz amplio	6	176
	En el lugar de montaje	En ángulo	4	244
			7	699

<b>Placas de anclaje</b>				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	300x300x14	9.89
	Total			9.89
B 400 S, $Y_s = 1.15$ (corrugado)	Pernos de anclaje	4	$\varnothing 14 - L = 348 + 136$	2.34
	Total			2.34

**Tipo 20**

a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

**Elementos complementarios**



Pieza	Geometría				Taladros				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Placa base		300	300	15	4	28	16	7	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 180 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	7	180	14.0	90.00	
Soldadura del alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	7	180	14.0	90.00	

*a: Espesor garganta  
l: Longitud efectiva  
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	48.9	48.9	0.2	97.8	25.33	48.9	14.90	410.0	0.85
Soldadura del alma	28.6	28.6	16.6	64.0	16.59	28.6	8.72	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	41.2	41.2	0.0	82.4	21.36	41.2	12.56	410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 42 mm Calculado: 241 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 21 mm Calculado: 30 mm	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 40 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción:	Máximo: 62.23 kN Calculado: 48.24 kN	Cumple



Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
- Cortante:	Máximo: 43.56 kN Calculado: 4.67 kN	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 62.23 kN Calculado: 54.91 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 49.28 kN Calculado: 46.24 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 380.952 MPa Calculado: 304.509 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 110 kN Calculado: 4.45 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 261.905 MPa	
- Derecha:	Calculado: 98.8999 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 98.0301 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 248.766 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 251.259 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 5873.71	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 6009.44	Cumple
- Arriba:	Calculado: 463.587	Cumple
- Abajo:	Calculado: 512.336	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 0 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo		Preparación de bordes (mm)		l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)		
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial		7		44	14.0	90.00		
<i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura de los pernos a la placa base	0.0	0.0	210.3	364.2	94.38	0.0	0.00	410.0	0.85

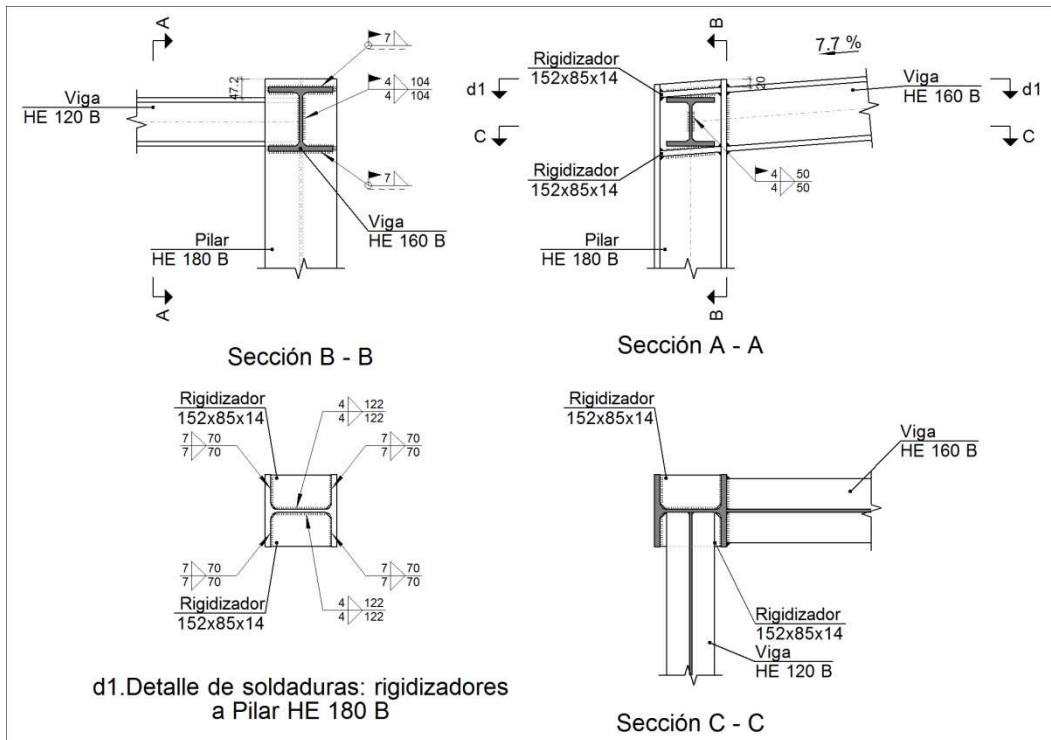
d) Medición

Soldaduras				
$f_u$ (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	A tope en bisel simple con talón de raíz amplio	7	176
	En el lugar de montaje	En ángulo	4	244
			7	699

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	300x300x15	10.60
	Total			10.60
B 400 S, $Y_s = 1.15$ (corrugado)	Pernos de anclaje	4	$\varnothing 14 - L = 449 + 136$	2.83
	Total			2.83

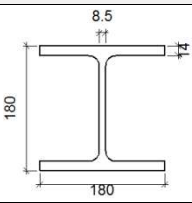
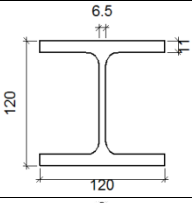
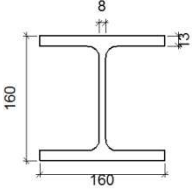
Tipo 2

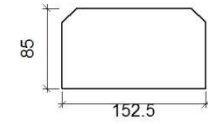
a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles		
Pieza	Descripción	Acero
	Geometría	

		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Pilar	HE 180 B		180	180	14	8.5	S275	275.0	410.0
Viga	HE 120 B		120	120	11	6.5	S275	275.0	410.0
Viga	HE 160 B		160	160	13	8	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios							
Pieza	Geometría				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Rigidizador		152.5	85	14	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 180 B

Comprobaciones de resistencia						
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)	
Panel	Esbeltéz	--	--	--	27.63	
	Cortante	kN	89.69	208.22	43.07	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	37.42	261.90	14.29	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	39.91	261.90	15.24	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	37.25	261.90	14.22	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	40.11	261.90	15.31	
Ala	Cortante	N/mm <sup>2</sup>	34.37	261.90	13.12	
Viga HE 120 B	Alma	Punzonamiento	kN	8.77	189.03	4.64
	Alma	Flexión por fuerza perpendicular	kN	8.77	57.14	15.35



Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	7	70	14.0	85.59				
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	7	70	14.0	85.59				
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00				
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	7	70	14.0	85.59				
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	7	70	14.0	85.59				
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	25.4	27.5	0.1	53.9	13.98	25.4	7.75	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	37.5	65.0	16.85	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	27.1	29.3	0.1	57.5	14.91	27.1	8.27	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	40.0	69.4	17.98	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	25.3	27.3	0.0	53.7	13.91	25.3	7.71	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	37.4	64.7	16.77	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	27.2	29.4	0.1	57.8	14.98	27.3	8.31	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	40.2	69.7	18.06	0.0	0.00	410.0	0.85

2) Viga HE 160 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	7	160	13.0	85.59	
Soldadura del alma	En ángulo	4	104	8.0	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	7	160	13.0	85.59	
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>						
Comprobación de resistencia						



Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	35.2	32.6	0.1	66.5	17.23	35.2	10.73	410.0	0.85
Soldadura del alma	22.6	22.6	19.3	56.2	14.56	22.6	6.89	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	34.4	37.2	0.1	73.0	18.92	34.4	10.49	410.0	0.85

### 3) Viga HE 120 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Alma	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	27.40	261.90	10.46

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del alma	En ángulo	4	50	6.5	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del alma	15.5	15.5	2.2	31.3	8.10	15.5	4.73	410.0	0.85

### d) Medición

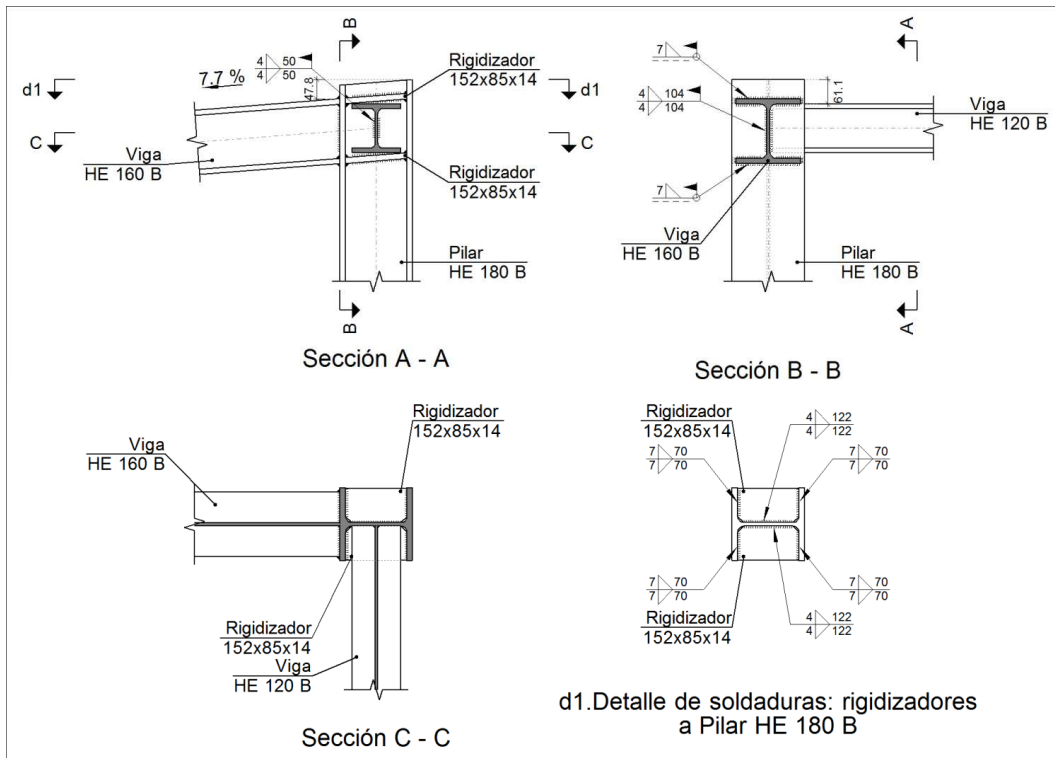
Soldaduras				
$f_u$ (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	4	980
			7	1120
	En el lugar de montaje	En ángulo	4	309
			7	616

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	4	152x85x14	5.70
				Total

### Tipo 4



a) Detalle

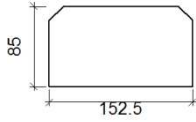


b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Pilar	HE 180 B		180	180	14	8.5	S275	275.0	410.0
Viga	HE 120 B		120	120	11	6.5	S275	275.0	410.0
Viga	HE 160 B		160	160	13	8	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios		
Pieza	Geometría	Acero



	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Rigidizador		152.5	85	14	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 180 B

Comprobaciones de resistencia						
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)	
Panel	Esbeltez	--	--	--	27.63	
	Cortante	kN	104.71	208.22	50.29	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	43.53	261.90	16.62	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	46.86	261.90	17.89	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	43.62	261.90	16.65	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	46.78	261.90	17.86	
Ala	Cortante	N/mm <sup>2</sup>	39.02	261.90	14.90	
Viga HE 120 B	Alma	Punzonamiento	kN	7.32	189.03	3.87
		Flexión por fuerza perpendicular	kN	7.32	57.14	12.81

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	7	70	14.0	85.59	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	7	70	14.0	85.59	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	7	70	14.0	85.59	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	7	70	14.0	85.59	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	

*a: Espesor garganta  
l: Longitud efectiva  
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	29.6	31.9	0.1	62.7	16.26	29.6	9.02	410.0	0.85

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	43.7	75.7	19.61	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	31.8	34.4	0.0	67.5	17.50	31.8	9.71	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	47.0	81.4	21.11	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	29.6	32.0	0.1	62.9	16.29	29.6	9.03	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	43.8	75.8	19.64	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	31.8	34.3	0.0	67.4	17.47	31.8	9.69	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	46.9	81.3	21.07	0.0	0.00	410.0	0.85

## 2) Viga HE 160 B

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	7	160	13.0	85.59	
Soldadura del alma	En ángulo	4	104	8.0	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	7	160	13.0	85.59	

*a: Espesor garganta  
l: Longitud efectiva  
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	38.0	41.0	0.1	80.5	20.87	38.0	11.57	410.0	0.85
Soldadura del alma	26.4	26.4	18.8	62.1	16.10	26.5	8.06	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	43.4	40.2	0.0	82.0	21.25	43.4	13.23	410.0	0.85

## 3) Viga HE 120 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Alma	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	23.00	261.90	8.78

### Cordones de soldadura



Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del alma	En ángulo	4	50	6.5	90.00				
a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises				Tensión normal		f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>	
	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>  </sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )			Aprov. (%)
Soldadura del alma	12.9	12.9	2.2	26.2	6.78	12.9	3.95	410.0	0.85

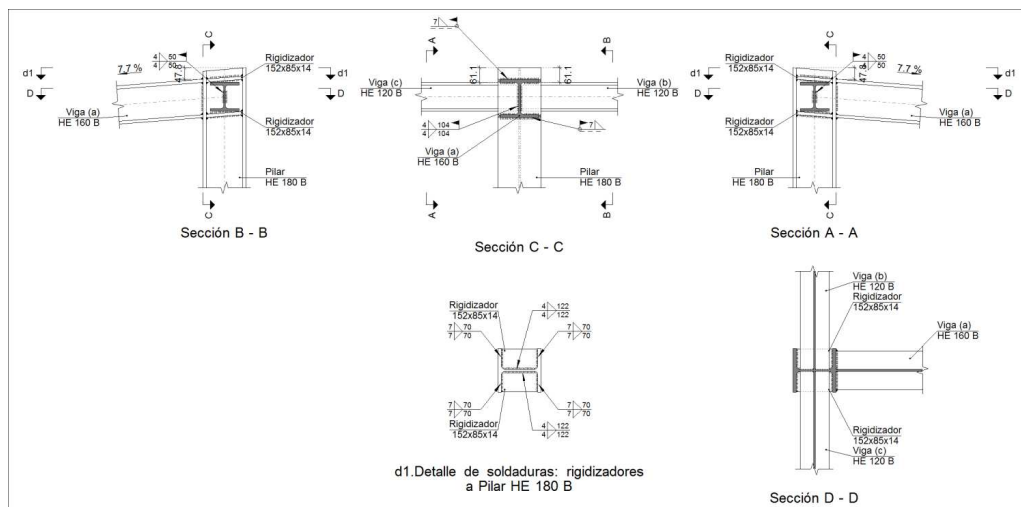
d) Medición

Soldaduras				
f <sub>u</sub> (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	4	980
			7	1120
	En el lugar de montaje	En ángulo	4	309
			7	616

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	4	152x85x14	5.70
				Total

Tipo 6

a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Pilar	HE 180 B		180	180	14	8.5	S275	275.0	410.0
Viga	HE 120 B		120	120	11	6.5	S275	275.0	410.0
Viga	HE 160 B		160	160	13	8	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios							
Pieza	Geometría				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Tipo	$f_v$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Rigidizador		152.5	85	14	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 180 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Panel	Esbeltz	--	--	--	27.63
	Cortante	kN	197.04	208.22	94.63
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	82.00	261.90	31.31
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	88.15	261.90	33.66
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	82.00	261.90	31.31
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	88.15	261.90	33.66



	Ala	Cortante	N/mm <sup>2</sup>	73.39	261.90	28.02
Viga (c) HE 120 B	Alma	Punzonamiento	kN	7.32	189.03	3.87
		Flexión por fuerza perpendicular	kN	0.62	57.14	1.08
Viga (b) HE 120 B	Alma	Punzonamiento	kN	7.30	189.03	3.86
		Flexión por fuerza perpendicular	kN	0.61	57.14	1.06

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	7	70	14.0	85.59	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	7	70	14.0	85.59	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	7	70	14.0	85.59	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	7	70	14.0	85.59	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	

a: Espesor garganta  
l: Longitud efectiva  
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>
	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>  </sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	55.7	60.2	0.0	118.2	30.62	55.7	16.98	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	82.3	142.5	36.93	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	59.9	64.7	0.0	127.0	32.92	59.9	18.26	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	88.5	153.2	39.70	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	55.7	60.2	0.0	118.2	30.62	55.7	16.98	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	82.3	142.5	36.93	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	59.9	64.7	0.0	127.0	32.92	59.9	18.26	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	88.5	153.2	39.70	0.0	0.00	410.0	0.85

2) Viga (a) HE 160 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas
----------------------------



Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	7	160	13.0	85.59
Soldadura del alma	En ángulo	4	104	8.0	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	7	160	13.0	85.59

*a: Espesor garganta  
l: Longitud efectiva  
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	71.3	77.1	0.1	151.3	39.22	71.3	21.75	410.0	0.85
Soldadura del alma	49.8	49.8	35.3	116.8	30.28	49.8	15.18	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	81.6	75.5	0.1	154.2	39.96	81.6	24.88	410.0	0.85

### 3) Viga (c) HE 120 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Alma	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	23.00	261.90	8.78

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del alma	En ángulo	4	50	6.5	90.00	

*a: Espesor garganta  
l: Longitud efectiva  
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del alma	12.9	12.9	2.2	26.2	6.78	12.9	3.95	410.0	0.85

### 4) Viga (b) HE 120 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Alma	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	22.95	261.90	8.76

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
----------------------------	--	--	--	--	--	--



Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del alma	En ángulo	4	50	6.5	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises				Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$	
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )			Aprov. (%)
Soldadura del alma	12.9	12.9	2.2	26.1	6.76	12.9	3.94	410.0	0.85

d) Medición

Soldaduras				
$f_u$ (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	4	980
			7	1120
	En el lugar de montaje	En ángulo	4	409
			7	616

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	4	152x85x14	5.70
				Total



## 4. CIMENTACIÓN

La cimentación de esta estructura estará formada por zapatas aisladas y vigas de atado. En la base de estas se debe disponer una capa de hormigón de limpieza HL-150/B/20 con un espesor mínimo de 10 cm, tal y como indica el Código Técnico de la edificación. El hormigón a emplear en las zapatas y vigas de atado será HA-25.

El armado de estas cimentaciones estará compuesto por barras de acero corrugado B500S.

A continuación se muestra un resumen de las cimentaciones en el que incluye la cantidad de acero y hormigón utilizado así como las comprobaciones realizadas.

### 4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN

#### 4.1.1 ZAPATAS AISLADAS

Referencias	Geometría	Armado
N3	Zapata cuadrada Ancho: 160.0 cm Canto: 45.0 cm	Sup X: 6Ø12c/25 Sup Y: 6Ø12c/25 Inf X: 6Ø12c/25 Inf Y: 6Ø12c/25
N7, N11, N15, N19, N23 y N27	Zapata cuadrada Ancho: 180.0 cm Canto: 60.0 cm	Sup X: 10Ø12c/18 Sup Y: 10Ø12c/18 Inf X: 10Ø12c/18 Inf Y: 10Ø12c/18
N31	Zapata cuadrada Ancho: 160.0 cm Canto: 60.0 cm	Sup X: 9Ø12c/18 Sup Y: 9Ø12c/18 Inf X: 9Ø12c/18 Inf Y: 9Ø12c/18
N29 y N1	Zapata cuadrada Ancho: 180.0 cm Canto: 45.0 cm	Sup X: 7Ø12c/25 Sup Y: 7Ø12c/25 Inf X: 7Ø12c/25 Inf Y: 7Ø12c/25
N25, N21, N17, N13, N9 y N5	Zapata cuadrada Ancho: 200.0 cm Canto: 50.0 cm	Sup X: 9Ø12c/22 Sup Y: 9Ø12c/22 Inf X: 9Ø12c/22 Inf Y: 9Ø12c/22

Tabla 5.2.6 Características de las zapatas

#### 4.1.2 VIGAS DE ATADO

Referencias	Geometría	Armado
C [N3-N7], C [N7-N11], C [N11-N15], C [N15-N19], C [N19-N23], C [N23-N27], C [N27-N31], C [N29-N25], C [N25-N21], C [N21-N17], C [N17-N13], C [N13-N9], C [N9-N5] y C [N5-N1]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø12 Inferior: 2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30
C [N31-N29], C [N3-N1], C [N7-N5], C [N11-N9], C [N15-N13], C [N19-N17], C [N23-N21] y C [N27-N25]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø12 Inferior: 2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30

Tabla 5.2.7 Características de la viga de atado



## ***RAMPA DE MINUSVÁLIDOS***

## ÍNDICE RAMPA DE MINUSVÁLIDOS

---

1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	412
2. BARRAS .....	412
2.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS BARRAS.....	412
2.2 CARACTERISTICAS MECÁNICAS.....	413
2.3 RESUMEN MEDICIÓN .....	413
2.4 COMPROBACIÓN DE LAS BARRAS A ELU .....	413
3. UNIONES .....	532
3.1 MEMORIA DE CÁLCULO .....	532
4. CIMENTACIONES .....	566
4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN .....	566
4.1.1 ZAPATAS AISLADAS .....	566

# 1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

---

## 2. BARRAS

---

2.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS BARRAS

2.2 CARACTERISTICAS MECÁNICAS

2.3 RESUMEN MEDICIÓN

2.4 COMPROBACIÓN DE LAS BARRAS A ELU

## 3. UNIONES

---

3.1 MEMORIA DE CÁLCULO

## 4. CIMENTACIONES

---

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN

4.1.1 ZAPATAS AISLADAS

4.1.2 VIGAS DE ATADO

## 1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La estructura estará compuesta pilares y vigas de perfiles de acero laminado en caliente. Las dimensiones de dicha estructura cumplirán con la Normativa de Accesibilidad en cuestión de longitudes y pendientes y se podrán ver en los documentos de Planos.

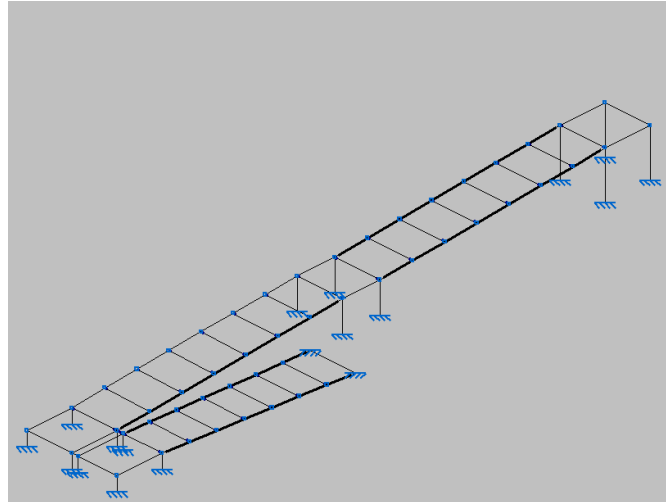


Imagen 5.3.1 Estructura en 3D de la estructura

Las uniones de entre los perfiles serán soldadas.

La cubierta de esta estructura estará formada por un panel de tipo sándwich y unas correas de acero conformado en frío de tipo Z. La separación entre correas será de 1,4 m

La solera será una losa mixta de chapa y hormigón armado.

PP	Peso propio
CM 1	CM 1
CM 2	CM 2
Q 1	Q 1

Tabla 5.3.1. Nombre de la hipótesis

## 2. BARRAS

### 2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS BARRAS

Materiales utilizados							
Material		E	v	G	f <sub>v</sub>	α <sub>t</sub>	γ
Tipo	Designación	(kp/cm <sup>2</sup> )		(kp/cm <sup>2</sup> )	(kp/cm <sup>2</sup> )	(m/m°C)	(t/m <sup>3</sup> )
Acero laminado	S275	2140672.8	0.300	825688.1	2803.3	0.000012	7.850
Notación: <i>E</i> : Módulo de elasticidad <i>v</i> : Módulo de Poisson <i>G</i> : Módulo de cortadura <i>f<sub>v</sub></i> : Límite elástico <i>α<sub>t</sub></i> : Coeficiente de dilatación <i>γ</i> : Peso específico							

Tabla 5.3.2 Características de las barras

## 2.2 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm <sup>2</sup> )	Avy (cm <sup>2</sup> )	Avz (cm <sup>2</sup> )	Iyy (cm <sup>4</sup> )	Izz (cm <sup>4</sup> )	It (cm <sup>4</sup> )
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275	1	HE 180 B, (HEB)	65.30	37.80	11.63	3831.00	1363.00	42.16
		2	IPE 100, (IPE)	10.30	4.70	3.27	171.00	15.90	1.20
		3	HE 120 B, (HEB)	34.00	19.80	5.73	864.40	317.50	13.84
		4	IPE 160, (IPE)	20.10	9.10	6.53	869.00	68.30	3.60
		5	HE 160 B, (HEB)	54.30	31.20	9.65	2492.00	889.20	31.24

*Notación:*  
 Ref.: Referencia  
 A: Área de la sección transversal  
 Avy: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'  
 Avz: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'  
 Iyy: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'  
 Izz: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'  
 It: Inercia a torsión  
 Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.

Tabla 5.3.3 Características mecánicas

## 2.3 RESUMEN MEDICIÓN

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m <sup>3</sup> )	Serie (m <sup>3</sup> )	Material (m <sup>3</sup> )	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HE 180 B	16.200	81.571	129.418	0.106	0.433	0.484	830.42	3396.96	3797.68
			HE 120 B	13.800			0.047			368.32		
			HE 160 B	51.571			0.280			2198.22		
		IPE	IPE 100	46.047	0.047	372.31						
			IPE 160	1.800	0.004	28.40						
				47.847	0.051	400.71						

Tabla 5.3.4 Resumen medición

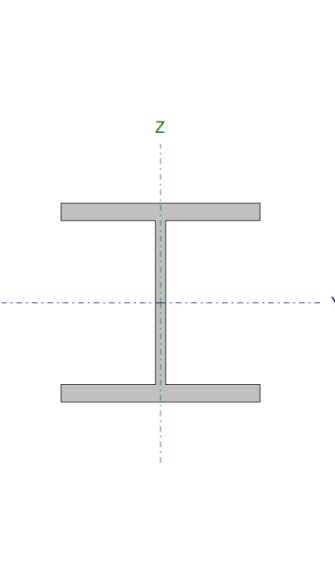
## 2.4 COMPROBACIÓN DE LAS BARRAS A ELU

En estas comprobaciones se muestran los perfiles más solicitados, es decir, se estudian los perfiles en la situación más desfavorable.

Barra N24/N23

**Perfil: HE 120 B**  
**Material: Acero (S275)**



Perfil: HE 120 B Material: Acero (S275)							
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
N24	N23	1.500	34.00	864.40	317.50	13.84	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.			
	β	1.00	1.00	0.00	0.00		
	L <sub>K</sub>	1.500	1.500	0.000	0.000		
	C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>1</sub>	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N24/N23	$\bar{\lambda} \leq 3.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	η = 2.3	N <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	x: 1.41 m η = 38.3	x: 1.41 m η = 0.1	x: 1.41 m η = 13.0	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.09 m η < 0.1	x: 1.41 m η = 40.7	η < 0.1	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(3)</sup>	N.P. <sup>(3)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 40.7
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ <sub>w</sub> : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (3) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

### Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras traccionadas no debe superar el valor 3.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$  : **0.57** ✓

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.

**A** : 34.00 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>**: Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub>** : 2924.69 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **N<sub>cr,y</sub>** : 7962.53 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **N<sub>cr,z</sub>** : 2924.69 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \infty$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[ G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

<b>I<sub>y</sub></b> : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	<b>I<sub>y</sub></b> : <u>864.40</u> cm4
<b>I<sub>z</sub></b> : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	<b>I<sub>z</sub></b> : <u>317.50</u> cm4
<b>I<sub>t</sub></b> : Momento de inercia a torsión uniforme.	<b>I<sub>t</sub></b> : <u>13.84</u> cm4
<b>I<sub>w</sub></b> : Constante de alabeo de la sección.	<b>I<sub>w</sub></b> : <u>9410.00</u> cm6
<b>E</b> : Módulo de elasticidad.	<b>E</b> : <u>210000</u> MPa
<b>G</b> : Módulo de elasticidad transversal.	<b>G</b> : <u>81000</u> MPa
<b>L<sub>ky</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	<b>L<sub>ky</sub></b> : <u>1.500</u> m
<b>L<sub>kz</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	<b>L<sub>kz</sub></b> : <u>1.500</u> m
<b>L<sub>kt</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	<b>L<sub>kt</sub></b> : <u>0.000</u> m
<b>i<sub>0</sub></b> : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	<b>i<sub>0</sub></b> : <u>5.90</u> cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

<b>i<sub>y</sub></b> , <b>i<sub>z</sub></b> : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	<b>i<sub>y</sub></b> : <u>5.04</u> cm
	<b>i<sub>z</sub></b> : <u>3.06</u> cm
<b>y<sub>0</sub></b> , <b>z<sub>0</sub></b> : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	<b>y<sub>0</sub></b> : <u>0.00</u> mm
	<b>z<sub>0</sub></b> : <u>0.00</u> mm

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$15.08 \leq 159.14 \checkmark$$

Donde:

<b>h<sub>w</sub></b> : Altura del alma.	<b>h<sub>w</sub></b> : <u>98.00</u> mm
<b>t<sub>w</sub></b> : Espesor del alma.	<b>t<sub>w</sub></b> : <u>6.50</u> mm
<b>A<sub>w</sub></b> : Área del alma.	<b>A<sub>w</sub></b> : <u>6.37</u> cm <sup>2</sup>
<b>A<sub>fc,ef</sub></b> : Área reducida del ala comprimida.	<b>A<sub>fc,ef</sub></b> : <u>13.20</u> cm <sup>2</sup>
<b>k</b> : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	<b>k</b> : <u>0.30</u>
<b>E</b> : Módulo de elasticidad.	<b>E</b> : <u>210000</u> MPa
<b>f<sub>yf</sub></b> : Límite elástico del acero del ala comprimida.	<b>f<sub>yf</sub></b> : <u>275.00</u> MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$



### Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.023} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{20.62} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{890.48} \text{ kN}$$

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{34.00} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.383} \checkmark$$

Para flexión positiva:

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.410 m del nudo N24, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{16.59} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{43.27} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase :** 1

**$W_{pl,y}$ :** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

**$W_{pl,y}$  :** 165.20 cm<sup>3</sup>

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

**$f_{yd}$  :** 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$  :** 275.00 MPa

**$\gamma_{M0}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$  :** 1.05

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

**Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

**$\eta$  :** 0.001 ✓

Para flexión positiva:

**$M_{Ed}^+$ :** Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

**$M_{Ed}^+$  :** 0.00 kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.410 m del nudo N24, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

**$M_{Ed}^-$ :** Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

**$M_{Ed}^-$  :** 0.02 kN·m

El momento flector resistente de cálculo  **$M_{c,Rd}$**  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

**$M_{c,Rd}$  :** 21.21 kN·m

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase :** 1

**$W_{pl,z}$ :** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

**$W_{pl,z}$  :** 80.97 cm<sup>3</sup>

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

**$f_{yd}$  :** 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**$f_y$  :** 275.00 MPa

**$\gamma_{M0}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

**$\gamma_{M0}$  :** 1.05

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.130 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.410 m del nudo N24, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 21.55 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$  : 165.65 kN

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v$  : 10.96 cm<sup>2</sup>

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$h$  : 120.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$  : 6.50 mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

### Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

**11.38 < 64.71** ✓

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$\lambda_w$  : 11.38

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$  : 64.71

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$\varepsilon$  : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.  $f_{ref}$  : 235.00 MPa
  
 $f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_v$  : 275.00 MPa

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \qquad \eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed}$  : 0.02 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \qquad V_{c,Rd} : \underline{417.80} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.  $A_v$  : 27.63 cm<sup>2</sup>

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.  $A$  : 34.00 cm<sup>2</sup>

$d$ : Altura del alma.  $d$  : 98.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.  $t_w$  : 6.50 mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_v$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0}$  : 1.05

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \qquad 9.69 \text{ kN} \leq 82.83 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : \underline{9.69} \text{ kN}$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd} : \underline{165.65} \text{ kN}$

**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad \mathbf{0.02 \text{ kN} \leq 208.90 \text{ kN} \checkmark}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.090 m del nudo N24, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : \underline{0.02} \text{ kN}$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd} : \underline{417.80} \text{ kN}$

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.407} \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.366} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.410 m del nudo N24, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

Donde:

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.  $N_{t,Ed} : \underline{20.62} \text{ kN}$

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.  $M_{y,Ed} : \underline{16.59} \text{ kN}\cdot\text{m}$   
 $M_{z,Ed} : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a tracción.  $N_{pl,Rd} : \underline{890.48} \text{ kN}$

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.  $M_{pl,Rd,y} : \underline{43.27} \text{ kN}\cdot\text{m}$   
 $M_{pl,Rd,z} : \underline{21.21} \text{ kN}\cdot\text{m}$

**Resistencia a pandeo**: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.  $M_{ef,Ed} : \underline{-15.79} \text{ kN}\cdot\text{m}$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$ : Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} : \underline{95.57} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

$W_{y,com}$ : Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$W_{y,com} : \underline{165.20} \text{ cm}^3$$

$A$ : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{34.00} \text{ cm}^2$$

$M_{b,Rd,v}$ : Momento flector resistente de cálculo.

$$M_{b,Rd,v} : \underline{43.27} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

### **Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$9.69 \text{ kN} \leq 82.83 \text{ kN}$$



Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{9.69} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{165.65} \text{ kN}$$

### **Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

### **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

### **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N23/N45

Perfil: HE 160 B Material: Acero (S275)							
Nudos	Longitud (m)		Características mecánicas				
	Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
N23	N45	1.312	54.30	2492.00	889.20	31.24	
Notas: <sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado <sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme							
		Pandeo		Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00			
L <sub>K</sub>	1.312	1.312	0.000	0.000			
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000			
C <sub>1</sub>	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	λ̄	λ <sub>w</sub>	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N23/N45	λ̄ < 2.0 Cumple	λ <sub>w</sub> ≤ λ <sub>w,max</sub> Cumple	N <sub>Ed</sub> = 0,00 N.P. <sup>(1)</sup>	x: 0.091 m η = 1.9	x: 0.091 m η = 54.5	x: 0.091 m η < 0.1	x: 0.091 m η = 13.9	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.091 m η = 56.3	η < 0.1	M <sub>Ed</sub> = 0,00 N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(3)</sup>	N.P. <sup>(3)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 56.3
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ <sub>w</sub> : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): <sup>(1)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. <sup>(2)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. <sup>(3)</sup> No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ̄ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\lambda \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ̄ : **0.37** ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase :** 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A :** 54.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub> :** 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico. **N<sub>cr</sub> :** 10706.21 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **N<sub>cr,y</sub> :** 30004.34 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **N<sub>cr,z</sub> :** 10706.21 kN





$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left[ G \cdot I_t + \frac{\pi_w^2}{L_{kt}^2} \cdot E \cdot I \right]$$

$$N_{cr,T} : \infty$$

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : 2492.00 \text{ cm}^4$$

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : 889.20 \text{ cm}^4$$

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : 31.24 \text{ cm}^4$$

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : 47940.00 \text{ cm}^6$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : 81000 \text{ MPa}$$

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : 1.312 \text{ m}$$

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : 1.312 \text{ m}$$

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : 0.000 \text{ m}$$

**i<sub>0</sub>**: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : 7.89 \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

**i<sub>y</sub>, i<sub>z</sub>**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : 6.77 \text{ cm}$$

$$i_z : 4.05 \text{ cm}$$

**y<sub>0</sub>, z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : 0.00 \text{ mm}$$

$$z_0 : 0.00 \text{ mm}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$16.75 \leq 164.47 \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

$$h_w : 134.00 \text{ mm}$$

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

$$t_w : 8.00 \text{ mm}$$

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

$$A_w : 10.72 \text{ cm}^2$$

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : 20.80 \text{ cm}^2$$

**k**: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : 0.30$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : 275.00 \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.018} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.019} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.091 m del nudo N23, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

**N<sub>c,Ed</sub>**: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{25.00} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N<sub>c,Rd</sub>** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{1422.14} \text{ kN}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{54.30} \text{ cm}^2$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **N<sub>b,Rd</sub>** en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{1295.95} \text{ kN}$$

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{54.30} \text{ cm}^2$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M1</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

**χ**: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$+ \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2$$

$$0.2) + (\bar{\lambda})^2$$

Siendo:



$$\chi_y : \underline{0.99}$$

$$\chi_z : \underline{0.91}$$

$$\phi_y : \underline{0.53}$$

$$\phi_z : \underline{0.61}$$

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.22}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.37}$$

$N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr} : \underline{10706.21} \text{ kN}$$

$N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,y} : \underline{30004.34} \text{ kN}$$

$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,z} : \underline{10706.21} \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.545} \checkmark$$

Para flexión positiva:

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.091 m del nudo N23, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{50.49} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{92.71} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{354.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)



Se debe satisfacer:



$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \mathbf{0.001} \checkmark$$

Para flexión positiva:

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.091 m del nudo N23, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{44.52} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\mathbf{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{170.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \mathbf{0.139} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.091 m del nudo N23, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{37.20} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{266.74} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{17.64} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$$h : \underline{160.00} \text{ mm}$$



$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$  : 8.00 mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

#### Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

**13.00 < 64.71** ✓

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$\lambda_w$  : 13.00

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$  : 64.71

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$\varepsilon$  : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$f_{ref}$  : 235.00 MPa

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

#### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta < \mathbf{0.001}$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 0.01 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$  : 658.98 kN

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v$  : 43.58 cm<sup>2</sup>

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$A$  : 54.30 cm<sup>2</sup>

$d$ : Altura del alma.

$d$  : 134.00 mm





$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$  : 8.00 mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**37.20 kN ≤ 133.37 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 37.20 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$  : 266.74 kN

### Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**0.01 kN ≤ 329.49 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 0.01 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$  : 658.98 kN

### Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.563 ✓

✓



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{\underline{0.563}}$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.347} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.091 m del nudo N23, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

Donde:

**N<sub>c,Ed</sub>**: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{25.00} \text{ kN}$$

**M<sub>y,Ed</sub>, M<sub>z,Ed</sub>**: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{50.49} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

**N<sub>pl,Rd</sub>**: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{1422.14} \text{ kN}$$

**M<sub>pl,Rd,y</sub>, M<sub>pl,Rd,z</sub>**: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{92.71} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{44.52} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**Resistencia a pandeo**: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

**A**: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{54.30} \text{ cm}^2$$

**W<sub>pl,y</sub>, W<sub>pl,z</sub>**: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{354.00} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{170.00} \text{ cm}^3$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M1</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

**k<sub>y</sub>, k<sub>z</sub>**: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

**C<sub>m,y</sub>, C<sub>m,z</sub>**: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

**χ<sub>y</sub>, χ<sub>z</sub>**: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.99}$$

$$\chi_z : \underline{0.91}$$

**λ̄<sub>y</sub>, λ̄<sub>z</sub>**: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.22}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.37}$$

**α<sub>y</sub>, α<sub>z</sub>**: Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

**Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$37.20 \text{ kN} \leq 133.37 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \frac{37.20}{\quad} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \frac{266.74}{\quad} \text{ kN}$$

#### **Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

#### **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

#### **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N70/N64

**Perfil: IPE 100**  
**Material: Acero (S275)**

Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
Inicial	Final					
N70	N64	1.763	10.30	171.00	15.90	1.20

Pandeo		Pandeo lateral	
Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	0.00	1.00	0.00
L <sub>K</sub>	0.000	1.763	0.000
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000
C <sub>1</sub>	-	-	1.000

*Notación:*  
β: Coeficiente de pandeo  
L<sub>K</sub>: Longitud de pandeo (m)  
C<sub>m</sub>: Coeficiente de momentos  
C<sub>1</sub>: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	λ̄	λ <sub>w</sub>	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N70/N64	λ̄ < 2.0 Cumple	x: 0.22 m λ <sub>w</sub> ≤ λ <sub>w,max</sub> Cumple	N <sub>Ed</sub> = 0,00 N.P. <sup>(1)</sup>	η < 0.1	x: 0.882 m η = 53.7	M <sub>Ed</sub> = 0,00 N.P. <sup>(2)</sup>	x: 0 m η = 16.4	V <sub>Ed</sub> = 0,00 N.P. <sup>(3)</sup>	x: 0.22 m η < 0.1	N.P. <sup>(4)</sup>	x: 0.882 m η = 53.7	x: 0.22 m η < 0.1	M <sub>Ed</sub> = 0,00 N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(6)</sup>	N.P. <sup>(6)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 53.7

*Notación:*  
λ̄: Limitación de esbeltez  
λ<sub>w</sub>: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida  
N<sub>t</sub>: Resistencia a tracción  
N<sub>c</sub>: Resistencia a compresión  
M<sub>y</sub>: Resistencia a flexión eje Y  
M<sub>z</sub>: Resistencia a flexión eje Z  
V<sub>z</sub>: Resistencia a corte Z  
V<sub>y</sub>: Resistencia a corte Y  
M<sub>y</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados  
M<sub>z</sub>V<sub>y</sub>: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados  
NM<sub>y</sub>M<sub>z</sub>: Resistencia a flexión y axil combinados  
NM<sub>y</sub>M<sub>z</sub>V<sub>y</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados  
M<sub>t</sub>: Resistencia a torsión  
M<sub>t</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados  
M<sub>t</sub>V<sub>y</sub>: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados  
x: Distancia al origen de la barra  
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)  
N.P.: No procede

*Comprobaciones que no proceden (N.P.):*  
(1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.  
(2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.  
(3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.  
(4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.  
(5) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.  
(6) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)**

La esbeltez reducida λ̄ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\lambda \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ̄ : **0.50** ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase :** 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A :** 10.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub> :** 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub> :** 1140.07 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,y</sub> :** 1140.07 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$



b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$  :            $\infty$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left[ G \cdot I_t + \frac{\pi_w^2}{L_{kt}^2} \cdot E \cdot I \right]$$

$$N_{cr,T} : \infty$$

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : 171.00 \text{ cm}^4$$

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : 15.90 \text{ cm}^4$$

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : 1.20 \text{ cm}^4$$

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : 350.00 \text{ cm}^6$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : 81000 \text{ MPa}$$

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : 1.763 \text{ m}$$

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : 0.000 \text{ m}$$

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : 0.000 \text{ m } i_0 :$$

Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : 4.26 \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

**i<sub>y</sub>**, **i<sub>z</sub>**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : 4.07 \text{ cm}$$

$$i_z : 1.24 \text{ cm}$$

**y<sub>0</sub>**, **z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : 0.00 \text{ mm}$$

$$z_0 : 0.00 \text{ mm}$$

$$z_0 : 0.00 \text{ mm}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$21.61 \leq 246.60 \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

$$h_w : 88.60 \text{ mm}$$

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

$$t_w : 4.10 \text{ mm}$$

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

$$A_w : 3.63 \text{ cm}^2$$

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : 3.14 \text{ cm}^2$$

**k**: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : 0.30$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : 275.00 \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.



### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{269.76} \text{ kN}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{10.30} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{249.46} \text{ kN}$$

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{10.30} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$\chi$ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.92}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi : \underline{0.66}$$



PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA (BIZKAIA)



**y**

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_y$  : 0.21

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_y$  : 0.50

$N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr}$  : 1140.07 kN

$N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$  : 1140.07 kN

$N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$  :  $\infty$

$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$  :  $\infty$

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.537 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.882 m del nudo N70, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+$  : 5.54 kN·m

Para flexión negativa:

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^-$  : 0.00 kN·m

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$  : 10.32 kN·m

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase** : 1

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$  : 39.40 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

### Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : **0.164** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N70, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub>** : 12.58 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

**V<sub>c,Rd</sub>** : 76.54 kN

Donde:

**A<sub>v</sub>**: Área transversal a cortante.

**A<sub>v</sub>** : 5.06 cm<sup>2</sup>

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

**h**: Canto de la sección.

**h** : 100.00 mm

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

**t<sub>w</sub>** : 4.10 mm

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** : 1.05

### Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

**18.20 < 64.71** ✓

Donde:

**λ<sub>w</sub>**: Esbeltez del alma.

**λ<sub>w</sub>** : 18.20

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

**λ<sub>máx</sub>**: Esbeltez máxima.

**λ<sub>máx</sub>** : 64.71

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

**ε**: Factor de reducción.

**ε** : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

**f<sub>ref</sub>**: Límite elástico de referencia.

**f<sub>ref</sub>** : 235.00 MPa

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa



**Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

**Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$9.43 \text{ kN} \leq 38.27 \text{ kN}$  ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.220 m del nudo N70, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : 9.43 \text{ kN}$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd} : 76.54 \text{ kN}$

**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

0  
5  
3  
Z

✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : 0.537$  ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : 0.322$  ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.882 m del nudo N70, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed} : 0.01 \text{ kN}$



$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

**A:** Área de la sección bruta.

$$M_{y,Ed}^+ : 5.54 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{Clase} : 1$$

$$N_{pl,Rd} : 269.76 \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : 10.32 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : 2.41 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$A : 10.30 \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{39.40} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{9.20} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$k_y$ ,  $k_z$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}$ ,  $C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$\chi_y$ ,  $\chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.92}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$\bar{\lambda}_y$ ,  $\bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.50}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.00}$$

$\alpha_y$ ,  $\alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.220 m del nudo N70, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$9.43 \text{ kN} \leq 38.27 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{9.43} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{76.54} \text{ kN}$$

### Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

### Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la





comprobación no procede.

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N6/N5

**Perfil: IPE 100**  
**Material: Acero (S275)**

Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
Inicial	Final					
N6	N5	1.800	10.30	171.00	15.90	1.20

<p>Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme</p>			
Pandeo		Pandeo lateral	
Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	0.00	1.00	0.00
L <sub>K</sub>	0.000	1.800	0.000
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000
C <sub>1</sub>	-	1.000	

Notación:  
β: Coeficiente de pandeo  
L<sub>K</sub>: Longitud de pandeo (m)  
C<sub>m</sub>: Coeficiente de momentos  
C<sub>1</sub>: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N6/N5	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.091 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	N <sub>Ed</sub> = 0,00 N.P. <sup>(1)</sup>	η = 0.2	x: 0.9 m η = 24.3	M <sub>Ed</sub> = 0,00 N.P. <sup>(2)</sup>	x: 0.09 m η = 9.0	V <sub>Ed</sub> = 0,00 N.P. <sup>(3)</sup>	x: 0.091 m η < 0.1	N.P. <sup>(4)</sup>	x: 0.9 m η = 24.5	x: 0.091 m η < 0.1	M <sub>Ed</sub> = 0,00 N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(6)</sup>	N.P. <sup>(6)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 24.5

Notación:  
 $\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez  
 $\lambda_w$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida  
N<sub>t</sub>: Resistencia a tracción  
N<sub>c</sub>: Resistencia a compresión  
M<sub>y</sub>: Resistencia a flexión eje Y  
M<sub>z</sub>: Resistencia a flexión eje Z  
V<sub>z</sub>: Resistencia a corte Z  
V<sub>y</sub>: Resistencia a corte Y  
M<sub>y</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados  
M<sub>z</sub>V<sub>y</sub>: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados  
NM<sub>y</sub>M<sub>z</sub>: Resistencia a flexión y axil combinados  
NM<sub>y</sub>M<sub>z</sub>V<sub>y</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados  
M<sub>t</sub>: Resistencia a torsión  
M<sub>t</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados  
M<sub>t</sub>V<sub>y</sub>: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados  
x: Distancia al origen de la barra  
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)  
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):  
<sup>(1)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.  
<sup>(2)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.  
<sup>(3)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.  
<sup>(4)</sup> No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.  
<sup>(5)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.  
<sup>(6)</sup> No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$ : 0.51 ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase:** 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A:** 10.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>:** 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub>:** 1093.88 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,y</sub>:** 1093.88 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$



b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$  :            $\infty$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left[ G \cdot I_t + \frac{\pi_w^2}{L_{kt}^2} \cdot E \cdot I \right]$$

$$N_{cr,T} : \infty$$

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : 171.00 \text{ cm}^4$$

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : 15.90 \text{ cm}^4$$

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : 1.20 \text{ cm}^4$$

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : 350.00 \text{ cm}^6$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : 81000 \text{ MPa}$$

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : 1.800 \text{ m}$$

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : 0.000 \text{ m}$$

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : 0.000 \text{ m } i_0 :$$

Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : 4.26 \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

**i<sub>y</sub>**, **i<sub>z</sub>**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : 4.07 \text{ cm}$$

$$i_z : 1.24 \text{ cm}$$

**y<sub>0</sub>**, **z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : 0.00 \text{ mm}$$

$$z_0 : 0.00 \text{ mm}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$21.61 \leq 246.60 \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

$$h_w : 88.60 \text{ mm}$$

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

$$t_w : 4.10 \text{ mm}$$

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

$$A_w : 3.63 \text{ cm}^2$$

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : 3.14 \text{ cm}^2$$

**k**: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : 0.30$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : 275.00 \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

**N<sub>c,Ed</sub>**: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{N_{c,Ed}} : \underline{0.45} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N<sub>c,Rd</sub>** viene dada por:

$$\mathbf{N_{c,Rd}} = A \cdot f_{yd}$$

$$\mathbf{N_{c,Rd}} : \underline{269.76} \text{ kN}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\mathbf{Clase} : \underline{1}$$

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$\mathbf{A} : \underline{10.30} \text{ cm}^2$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma_{M0}} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **N<sub>b,Rd</sub>** en una barra comprimida viene dada por:

$$\mathbf{N_{b,Rd}} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$\mathbf{N_{b,Rd}} : \underline{248.59} \text{ kN}$$

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$\mathbf{A} : \underline{10.30} \text{ cm}^2$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M1</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma_{M1}} : \underline{1.05}$$

**χ**: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\mathbf{\chi_y} : \underline{0.92}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + (\lambda)^2 \right]$$

$$\mathbf{\phi} : \underline{0.66}$$



PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA (BIZKAIA)



**y**

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_y : 0.21$

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_y : 0.51$

$N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr} : 1093.88 \text{ kN}$

$N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y} : 1093.88 \text{ kN}$

$N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z} : \infty$

$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T} : \infty$

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : 0.243$  ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.900 m del nudo N6, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : 2.51 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : 10.32 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase** : 1

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : 39.40 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 275.00 \text{ MPa}$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

### Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.



### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.090 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.090 m del nudo N6, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 6.89 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$  : 76.54 kN

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v$  : 5.06 cm<sup>2</sup>

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$h$  : 100.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$  : 4.10 mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

### Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

18.20 < 64.71 ✓

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$\lambda_w$  : 18.20

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$  : 64.71

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$\varepsilon$  : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$f_{ref}$  : 235.00 MPa

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$6.88 \text{ kN} \leq 38.27 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.091 m del nudo N6, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{6.88} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{76.54} \text{ kN}$$

### Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

### Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$\eta$   
 $\underline{0}$   
 $\underline{2}$   
 $\underline{4}$   
 $\underline{5}$   
 $\checkmark$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.245} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.148} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.900 m del nudo N6, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

Donde:



$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

**Resistencia a pandeo**: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

$$N_{c,Ed} : 0.45 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed}^+ : 2.51 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{Clase} : 1$$

$$N_{pl,Rd} : 269.76 \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : 10.32 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : 2.41 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**A:** Área de la sección bruta.

$$A : 10.30 \text{ cm}^2$$

**W<sub>pl,y</sub>, W<sub>pl,z</sub>:** Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : 39.40 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : 9.20 \text{ cm}^3$$

**f<sub>yd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : 275.00 \text{ MPa}$$

**γ<sub>M1</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : 1.05$$

**k<sub>y</sub>, k<sub>z</sub>:** Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : 1.00$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : 1.00$$

**C<sub>m,y</sub>, C<sub>m,z</sub>:** Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : 1.00$$

$$C_{m,z} : 1.00$$

**χ<sub>y</sub>, χ<sub>z</sub>:** Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : 0.92$$

$$\chi_z : 1.00$$

**λ̄<sub>y</sub>, λ̄<sub>z</sub>:** Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : 0.51$$

$$\bar{\lambda}_z : 0.00$$

**α<sub>y</sub>, α<sub>z</sub>:** Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : 0.60$$

$$\alpha_z : 0.60$$

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V<sub>Ed</sub>** es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>**.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.091 m del nudo N6, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$6.88 \text{ kN} \leq 38.27 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

**V<sub>Ed,z</sub>:** Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : 6.88 \text{ kN}$$

**V<sub>c,Rd,z</sub>:** Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : 76.54 \text{ kN}$$

### Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

### Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)



No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N15/N14

**Perfil: IPE 160**  
**Material: Acero (S275)**

Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
N15	N14	1.800	20.10	869.00	68.30	3.60

Pandeo		Pandeo lateral	
Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	0.00	1.00	0.00
L <sub>K</sub>	0.000	1.800	0.000
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000
C <sub>1</sub>	-	1.000	

*Notación:*  
β: Coeficiente de pandeo  
L<sub>K</sub>: Longitud de pandeo (m)  
C<sub>m</sub>: Coeficiente de momentos  
C<sub>1</sub>: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N15/N14	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.091 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	N <sub>Ed</sub> = 0,00 N.P. <sup>(1)</sup>	η = 1.2	x: 0.9 m η = 70.2	M <sub>Ed</sub> = 0,00 N.P. <sup>(2)</sup>	x: 1.71 m η = 47.4	V <sub>Ed</sub> = 0,00 N.P. <sup>(3)</sup>	x: 0.091 m η < 0.1	N.P. <sup>(4)</sup>	x: 0.9 m η = 71.5	x: 0.091 m η < 0.1	M <sub>Ed</sub> = 0,00 N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(6)</sup>	N.P. <sup>(6)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 71.5

*Notación:*  
 $\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez  
 $\lambda_w$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida  
N<sub>t</sub>: Resistencia a tracción  
N<sub>c</sub>: Resistencia a compresión  
M<sub>y</sub>: Resistencia a flexión eje Y  
M<sub>z</sub>: Resistencia a flexión eje Z  
V<sub>z</sub>: Resistencia a corte Z  
V<sub>y</sub>: Resistencia a corte Y  
M<sub>y</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados  
M<sub>z</sub>V<sub>y</sub>: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados  
NM<sub>y</sub>M<sub>z</sub>: Resistencia a flexión y axil combinados  
NM<sub>y</sub>M<sub>z</sub>V<sub>y</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados  
M<sub>t</sub>: Resistencia a torsión  
M<sub>t</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados  
M<sub>t</sub>V<sub>y</sub>: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados  
x: Distancia al origen de la barra  
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)  
N.P.: No procede

*Comprobaciones que no proceden (N.P.):*  
<sup>(1)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.  
<sup>(2)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.  
<sup>(3)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.  
<sup>(4)</sup> No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.  
<sup>(5)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.  
<sup>(6)</sup> No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$  : 0.32 ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase :** 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A :** 20.10 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub> :** 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub> :** 5558.96 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,y</sub> :** 5558.96 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$



b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$  :            $\infty$



$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left[ G \cdot I_t + \frac{\pi_w^2}{L_{kt}^2} \cdot E \cdot I \right]$$

$$N_{cr,T} : \infty$$

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : 869.00 \text{ cm}^4$$

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : 68.30 \text{ cm}^4$$

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : 3.60 \text{ cm}^4$$

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : 3960.00 \text{ cm}^6$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : 81000 \text{ MPa}$$

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : 1.800 \text{ m}$$

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : 0.000 \text{ m}$$

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : 0.000 \text{ m } i_0:$$

Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : 6.83 \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

**i<sub>y</sub>**, **i<sub>z</sub>**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : 6.58 \text{ cm}$$

$$i_z : 1.84 \text{ cm}$$

**y<sub>0</sub>**, **z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : 0.00 \text{ mm}$$

$$z_0 : 0.00 \text{ mm}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$29.04 \leq 250.58 \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

$$h_w : 145.20 \text{ mm}$$

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

$$t_w : 5.00 \text{ mm}$$

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

$$A_w : 7.26 \text{ cm}^2$$

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : 6.07 \text{ cm}^2$$

**k**: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : 0.30$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : 275.00 \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.012} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.012} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  
0.8·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

**N<sub>c,Ed</sub>**: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{N_{c,Ed}} : \underline{6.24} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N<sub>c,Rd</sub>** viene dada por:

$$\mathbf{N_{c,Rd}} = A \cdot f_{yd}$$

$$\mathbf{N_{c,Rd}} : \underline{526.43} \text{ kN}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\mathbf{Clase} : \underline{1}$$

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$\mathbf{A} : \underline{20.10} \text{ cm}^2$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma_{M0}} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **N<sub>b,Rd</sub>** en una barra comprimida viene dada por:

$$\mathbf{N_{b,Rd}} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$\mathbf{N_{b,Rd}} : \underline{512.68} \text{ kN}$$

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$\mathbf{A} : \underline{20.10} \text{ cm}^2$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M1</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma_{M1}} : \underline{1.05}$$

**χ**: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\mathbf{\chi_y} : \underline{0.97}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\mathbf{\phi} : \underline{0.56}$$



PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA (BIZKAIA)



**y**

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_y$  : 0.21

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_y$  : 0.32

$N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr}$  : 5558.96 kN

$N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$  : 5558.96 kN

$N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$  :  $\infty$

$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$  :  $\infty$

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.702 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.900 m del nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+$  : 22.80 kN·m

Para flexión negativa:

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^-$  : 0.00 kN·m

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$  : 32.48 kN·m

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase** : 1

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$  : 124.00 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

### Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed} \leq 1}{V_{c,Rd}}$$

$\eta$  : 0.474 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.710 m del nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 69.30 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$  : 146.16 kN

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v$  : 9.67 cm<sup>2</sup>

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$h$  : 160.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$  : 5.00 mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

### Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

25.44 < 64.71 ✓

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$\lambda_w$  : 25.44

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$  : 64.71

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$\varepsilon$  : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$f_{ref}$  : 235.00 MPa

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

**Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

**Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**50.23 kN ≤ 73.08 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.091 m del nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 50.23 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$  : 146.16 kN

**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{pl,Rd,y}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta$  : **0.715** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta$  : **0.434** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.900 m del nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

Donde:



$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

**Resistencia a pandeo**: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

$$N_{c,Ed} : \underline{6.24} \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{22.80} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$$N_{pl,Rd} : \underline{526.43} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{32.48} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{6.84} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**A:** Área de la sección bruta.

$$A : 20.10 \text{ cm}^2$$

**W<sub>pl,y</sub>, W<sub>pl,z</sub>:** Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : 124.00 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : 26.10 \text{ cm}^3$$

**f<sub>yd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : 275.00 \text{ MPa}$$

**γ<sub>M1</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : 1.05$$

**k<sub>y</sub>, k<sub>z</sub>:** Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : 1.00$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : 1.00$$

**C<sub>m,y</sub>, C<sub>m,z</sub>:** Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : 1.00$$

$$C_{m,z} : 1.00$$

**χ<sub>y</sub>, χ<sub>z</sub>:** Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : 0.97$$

$$\chi_z : 1.00$$

**λ̄<sub>y</sub>, λ̄<sub>z</sub>:** Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : 0.32$$

$$\bar{\lambda}_z : 0.00$$

**α<sub>y</sub>, α<sub>z</sub>:** Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : 0.60$$

$$\alpha_z : 0.60$$

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V<sub>Ed</sub>** es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>**.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.091 m del nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$50.23 \text{ kN} \leq 73.08 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

**V<sub>Ed,z</sub>:** Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : 50.23 \text{ kN}$$

**V<sub>c,Rd,z</sub>:** Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : 146.16 \text{ kN}$$

### Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

### Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)





No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N18/N25

Perfil: IPE 100 Material: Acero (S275)							
Nudos	Longitud (m)		Características mecánicas				
	Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
N18	N25	0.250	10.30	171.00	15.90	1.20	
Notas: <sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado <sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo			Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.			
β	1.00	1.00	0.00	0.00			
L <sub>K</sub>	0.250	0.250	0.000	0.000			
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000			
C <sub>1</sub>	-			1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N18/N25	$\bar{\lambda} \leq 3.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	$\eta < 0.1$	N <sub>E<sub>d</sub></sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	x: 0.16 m $\eta = 0.2$	x: 0.16 m $\eta = 4.9$	x: 0.16 m $\eta = 0.7$	$\eta = 3.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.16 m $\eta = 5.1$	$\eta < 0.1$	M <sub>E<sub>d</sub></sub> = 0.00 N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(3)</sup>	N.P. <sup>(3)</sup>	<b>CUMPLE</b> $\eta = 5.1$
Notación: $\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez $\lambda_w$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): <sup>(1)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. <sup>(2)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. <sup>(3)</sup> No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras traccionadas no debe superar el valor 3.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{0.23}$  ✓

Donde:

- A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.
- f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
- N<sub>cr</sub>**: Axil crítico de pandeo elástico.

**A** : 10.30 cm<sup>2</sup>  
**f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa  
**N<sub>cr</sub>** : 5272.74 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

- a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,y</sub>** : 56706.80 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

- b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

**N<sub>cr,z</sub>** : 5272.74 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$



c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$  :            $\infty$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{\gamma_{cr,T}} \cdot \left[ G_0 \cdot I + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

<b>I<sub>y</sub></b> : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	<b>I<sub>y</sub></b> : <u>171.00</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>z</sub></b> : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	<b>I<sub>z</sub></b> : <u>15.90</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>t</sub></b> : Momento de inercia a torsión uniforme.	<b>I<sub>t</sub></b> : <u>1.20</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>w</sub></b> : Constante de alabeo de la sección.	<b>I<sub>w</sub></b> : <u>350.00</u> cm <sup>6</sup>
<b>E</b> : Módulo de elasticidad.	<b>E</b> : <u>210000</u> MPa
<b>G</b> : Módulo de elasticidad transversal.	<b>G</b> : <u>81000</u> MPa
<b>L<sub>ky</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	<b>L<sub>ky</sub></b> : <u>0.250</u> m
<b>L<sub>kz</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	<b>L<sub>kz</sub></b> : <u>0.250</u> m
<b>L<sub>kt</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	<b>L<sub>kt</sub></b> : <u>0.000</u> m
<b>i<sub>0</sub></b> : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	<b>i<sub>0</sub></b> : <u>4.26</u> cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

<b>i<sub>y</sub></b> , <b>i<sub>z</sub></b> : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	<b>i<sub>y</sub></b> : <u>4.07</u> cm
	<b>i<sub>z</sub></b> : <u>1.24</u> cm
<b>y<sub>0</sub></b> , <b>z<sub>0</sub></b> : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	<b>y<sub>0</sub></b> : <u>0.00</u> mm
	<b>z<sub>0</sub></b> : <u>0.00</u> mm

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

**21.61 ≤ 246.60** ✓

Donde:

<b>h<sub>w</sub></b> : Altura del alma.	<b>h<sub>w</sub></b> : <u>88.60</u> mm
<b>t<sub>w</sub></b> : Espesor del alma.	<b>t<sub>w</sub></b> : <u>4.10</u> mm
<b>A<sub>w</sub></b> : Área del alma.	<b>A<sub>w</sub></b> : <u>3.63</u> cm <sup>2</sup>
<b>A<sub>fc,ef</sub></b> : Área reducida del ala comprimida.	<b>A<sub>fc,ef</sub></b> : <u>3.14</u> cm <sup>2</sup>
<b>k</b> : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	<b>k</b> : <u>0.30</u>
<b>E</b> : Módulo de elasticidad.	<b>E</b> : <u>210000</u> MPa
<b>f<sub>yf</sub></b> : Límite elástico del acero del ala comprimida.	<b>f<sub>yf</sub></b> : <u>275.00</u> MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

**η < 0.001** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed} : 0.01 \text{ kN}$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd} : 269.76 \text{ kN}$

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.

**A** :  $10.30 \text{ cm}^2$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** :  $261.90 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** :  $275.00 \text{ MPa}$

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** :  $1.05$

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : 0.002$  ✓

Para flexión positiva:

**M<sub>Ed</sub><sup>+</sup>**: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

**M<sub>Ed</sub><sup>+</sup>** :  $0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.160 m del nudo N18, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

**M<sub>Ed</sub><sup>-</sup>**: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

**M<sub>Ed</sub><sup>-</sup>** :  $0.02 \text{ kN}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo **M<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

**M<sub>c,Rd</sub>** :  $10.32 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase** :  $1$

**W<sub>pl,y</sub>**: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

**W<sub>pl,y</sub>** :  $39.40 \text{ cm}^3$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** :  $261.90 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** :  $275.00 \text{ MPa}$

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** :  $1.05$



**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.049} \checkmark$$

Para flexión positiva:

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.160 m del nudo N18, para la combinación de acciones  $0.8\cdot PP + 1.35\cdot CM1 + 0.8\cdot CM2 + 1.5\cdot Q1$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{2.41} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{9.20} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.007} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.160 m del nudo N18, para la combinación de acciones  $0.8\cdot PP + 1.35\cdot CM1 + 0.8\cdot CM2 + 1.5\cdot Q1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.53} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$\frac{V_c}{\sqrt{3}}$$

$$= A_v$$





$f_{yd}$

$$\frac{V}{76} = 54 \text{ kN}$$

Donde:

**A<sub>v</sub>**: Área transversal a cortante.

**A<sub>v</sub>** : 5.06 cm<sup>2</sup>

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

**h**: Canto de la sección.

**h** : 100.00 mm

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

**t<sub>w</sub>** : 4.10 mm

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** : 1.05

### Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

**18.20 < 64.71** ✓

Donde:

**λ<sub>w</sub>**: Esbeltez del alma.

**λ<sub>w</sub>** : 18.20

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

**λ<sub>máx</sub>**: Esbeltez máxima.

**λ<sub>máx</sub>** : 64.71

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

**ε**: Factor de reducción.

**ε** : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

**f<sub>ref</sub>**: Límite elástico de referencia.

**f<sub>ref</sub>** : 235.00 MPa

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

**η** : 0.031 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub>** : 3.15 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot f_{yd}$$

**V<sub>c,Rd</sub>** : 100.82 kN



Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v$ : 6.67 cm<sup>2</sup>

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$A$ : 10.30 cm<sup>2</sup>

$d$ : Altura del alma.

$d$ : 88.60 mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$ : 4.10 mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$ : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$ : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$ : 1.05

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**0.52 kN ≤ 38.27 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$ : 0.52 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$ : 76.54 kN

### Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**3.15 kN ≤ 50.41 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$ : 3.15 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$ : 100.82 kN

### Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)



Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} \quad \text{---} \quad \eta$$

$$+ \quad y,Ed \quad M_{pl,Rd,y} \quad :$$

$$+ \quad z,Ed \leq 1 \quad M_{pl,Rd,z}$$

$$\underline{\underline{0}}$$

$$\underline{\underline{0}}$$

$$\underline{\underline{5}}$$

$$\underline{\underline{1}}$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} \quad \text{---} \quad \eta$$

$$+ \quad z,Ed \leq 1 \quad M_{pl,Rd,z}$$

$$\underline{\underline{0}}$$

$$\underline{\underline{0}}$$

$$\underline{\underline{5}}$$

$$\underline{\underline{1}}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.160 m del nudo N18, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

Donde:

**N<sub>t,Ed</sub>**: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

**M<sub>y,Ed</sub>, M<sub>z,Ed</sub>**: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

**N<sub>pl,Rd</sub>**: Resistencia a tracción.

**M<sub>pl,Rd,y</sub>, M<sub>pl,Rd,z</sub>**: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

**Resistencia a pandeo**: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

**M<sub>ef,Ed</sub>**: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

**σ<sub>com,Ed</sub>**: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

**W<sub>y,com</sub>**: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

**A**: Área de la sección bruta.

**M<sub>b,Rd,y</sub>**: Momento flector resistente de cálculo.

<b>N<sub>t,Ed</sub></b>	: <u>0.01</u> kN
<b>M<sub>y,Ed</sub></b>	: <u>0.02</u> kN·m
<b>M<sub>z,Ed</sub></b>	: <u>0.12</u> kN·m
<b>Clase</b>	: <u>1</u>
<b>N<sub>pl,Rd</sub></b>	: <u>269.76</u> kN
<b>M<sub>pl,Rd,y</sub></b>	: <u>10.32</u> kN·m
<b>M<sub>pl,Rd,z</sub></b>	: <u>2.41</u> kN·m
<b>M<sub>ef,Ed</sub></b>	: <u>-0.02</u> kN·m

**σ<sub>com,Ed</sub>**: 0.56 MPa

**W<sub>y,com</sub>**: 39.40 cm<sup>3</sup>

**A**: 10.30 cm<sup>2</sup>

**M<sub>b,Rd,y</sub>**: 10.32 kN·m

**Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V<sub>Ed</sub>** es menor o igual que el 50%



del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$3.15 \text{ kN} \leq 50.41 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \frac{3.15}{\text{ kN}}$$

$V_{c,Rd,y}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \frac{100.82}{\text{ kN}}$$

### **Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.



**Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.



Barra N8/N5

Perfil: HE 180 B Material: Acero (S275)							
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas					
		Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
N8	N5	1.800	65.30	3831.00	1363.00	42.16	
Notas: <sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado <sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme							
		Pandeo		Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β		0.70	0.70	0.00	0.00		
L <sub>K</sub>		1.260	1.260	0.000	0.000		
C <sub>m</sub>		1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>1</sub>		-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	λ̄	λ <sub>w</sub>	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N8/N5	λ̄ < 2.0 Cumple	λ <sub>w</sub> ≤ λ <sub>w,máx</sub> Cumple	N <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	x: 0 m η = 3.5	x: 1.713 m η = 0.4	x: 1.713 m η = 50.0	η = 0.1	η = 3.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.713 m η = 53.8	η < 0.1	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(3)</sup>	N.P. <sup>(3)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 53.8
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ <sub>w</sub> : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): <sup>(1)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. <sup>(2)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. <sup>(3)</sup> No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ̄ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\lambda \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ̄ : **0.32** ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase :** 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A :** 65.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub> :** 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico. **N<sub>cr</sub> :** 17794.01 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **N<sub>cr,y</sub> :** 50013.83 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **N<sub>cr,z</sub> :** 17794.01 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left[ G \cdot I_t + \frac{\pi_w^2}{L_{kt}^2} \cdot E \cdot I \right]$$

$$N_{cr,T} : \infty$$

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : 3831.00 \text{ cm}^4$$

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : 1363.00 \text{ cm}^4$$

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : 42.16 \text{ cm}^4$$

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : 93750.00 \text{ cm}^6$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : 81000 \text{ MPa}$$

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : 1.260 \text{ m}$$

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : 1.260 \text{ m}$$

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : 0.000 \text{ m}$$

**i<sub>0</sub>**: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : 8.92 \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

**i<sub>y</sub>, i<sub>z</sub>**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : 7.66 \text{ cm}$$

$$i_z : 4.57 \text{ cm}$$

**y<sub>0</sub>, z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : 0.00 \text{ mm}$$

$$z_0 : 0.00 \text{ mm}$$

$$z_0 : 0.00 \text{ mm}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$17.88 \leq 164.04 \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

$$h_w : 152.00 \text{ mm}$$

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

$$t_w : 8.50 \text{ mm}$$

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

$$A_w : 12.92 \text{ cm}^2$$

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : 25.20 \text{ cm}^2$$

**k**: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : 0.30$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : 275.00 \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.033} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.035} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

**N<sub>c,Ed</sub>**: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{56.34} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N<sub>c,Rd</sub>** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{1710.24} \text{ kN}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{65.30} \text{ cm}^2$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **N<sub>b,Rd</sub>** en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{1607.81} \text{ kN}$$

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{65.30} \text{ cm}^2$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M1</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

**χ**: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{0.94}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.52}$$

$$\phi_z : \underline{0.58}$$



$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_y$  : 0.34

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.19}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.32}$$

$$N_{cr} : \underline{17794.01} \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} : \underline{50013.83} \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} : \underline{17794.01} \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.713 m del nudo N8, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.55} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{126.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{481.40} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:



$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.500} \checkmark$$

Para flexión positiva:

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.713 m del nudo N8, para la combinación de acciones  $1.35\cdot PP + 1.35\cdot CM1 + 0.8\cdot CM2 + 1.5\cdot Q1$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{30.27} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{60.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{231.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $1.35\cdot PP + 1.35\cdot CM1 + 0.8\cdot CM2 + 1.5\cdot Q1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.44} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{306.81} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{20.29} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$$h : \underline{180.00} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.50} \text{ mm}$$



**$f_{yd}$** : Resistencia de cálculo del acero.

**$f_{yd}$**  : 261.90 MPa



$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$14.35 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{14.35}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00 \text{ MPa}}$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{26.99 \text{ kN}}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{792.04 \text{ kN}}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{52.38 \text{ cm}^2}$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{65.30 \text{ cm}^2}$$

$d$ : Altura del alma.

$$d : \underline{152.00 \text{ mm}}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.50 \text{ mm}}$$



$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.44 \text{ kN} \leq 153.40 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.44} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{306.81} \text{ kN}$$

### Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$26.99 \text{ kN} \leq 396.02 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{26.99} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{792.04} \text{ kN}$$

### Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} \quad \eta = \frac{0.537}{1} \quad \checkmark$$

$$+ \quad {}_{y,Ed} M_{pl,Rd,y} \quad :$$

$$+ \quad {}_{z,Ed} M_{pl,Rd,z} \leq 1 \quad M_{pl,Rd,z}$$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.337}$  ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.538 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.713 m del nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$  : 55.18 kN

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}^+$  : 0.55 kN·m

$M_{z,Ed}^-$  : 30.27 kN·m

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

**Clase** : 1

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.

$N_{pl,Rd}$  : 1710.24 kN

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y}$  : 126.08 kN·m

$M_{pl,Rd,z}$  : 60.50 kN·m

**Resistencia a pandeo**: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

**A**: Área de la sección bruta.

**A** : 65.30 cm<sup>2</sup>

$W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$W_{pl,y}$  : 481.40 cm<sup>3</sup>

$W_{pl,z}$  : 231.00 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1}$  : 1.05

$k_y$ ,  $k_z$ : Coeficientes de interacción.

$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$

$k_y$  : 1.00

$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$

$k_z$  : 1.00

$C_{m,y}$ ,  $C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$C_{m,y}$  : 1.00

$C_{m,z}$  : 1.00

$\chi_y$ ,  $\chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$\chi_y$  : 1.00

$\chi_z$  : 0.94

$\bar{\lambda}_y$ ,  $\bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$\bar{\lambda}_y$  : 0.19

$\bar{\lambda}_z$  : 0.32

$\alpha_y$ ,  $\alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.

$\alpha_y$  : 0.60

$\alpha_z$  : 0.60

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$26.99 \text{ kN} \leq 396.02 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \frac{26.99}{\quad} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,y}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \frac{792.04}{\quad} \text{ kN}$$

#### **Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

#### **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

#### **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N9/N22

Perfil: HE 180 B Material: Acero (S275)							
Nudos	Longitud (m)		Características mecánicas				
	Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
N9	N22	1.170	65.30	3831.00	1363.00	42.16	
Notas: <sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado <sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme							
		Pandeo		Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	0.70	0.70	0.00	0.00			
L <sub>K</sub>	0.819	0.819	0.000	0.000			
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000			
C <sub>1</sub>	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N9/N22	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	N <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	x: 0 m η = 3.6	x: 0 m η < 0.1	x: 1.096 m η = 53.3	η < 0.1	η = 5.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.096 m η = 56.9	η < 0.1	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(3)</sup>	N.P. <sup>(3)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 56.9
Notación: $\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez $\lambda_w$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): <sup>(1)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. <sup>(2)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. <sup>(3)</sup> No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$  : 0.21 ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase :** 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A :** 65.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub> :** 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub> :** 42116.00 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,y</sub> :** 118375.93 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$



b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$  : 42116.00 kN



$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left[ G \cdot I_t + \frac{\pi_w^2}{L_{kt}^2} E \cdot I \right]$$

$$N_{cr,T} : \infty$$

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : 3831.00 \text{ cm}^4$$

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : 1363.00 \text{ cm}^4$$

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : 42.16 \text{ cm}^4$$

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : 93750.00 \text{ cm}^6$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : 81000 \text{ MPa}$$

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : 0.819 \text{ m}$$

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : 0.819 \text{ m}$$

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : 0.000 \text{ m}$$

**i<sub>0</sub>**: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : 8.92 \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

**i<sub>y</sub>**, **i<sub>z</sub>**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : 7.66 \text{ cm}$$

$$i_z : 4.57 \text{ cm}$$

**y<sub>0</sub>**, **z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : 0.00 \text{ mm}$$

$$z_0 : 0.00 \text{ mm}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$17.88 \leq 164.04 \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

$$h_w : 152.00 \text{ mm}$$

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

$$t_w : 8.50 \text{ mm}$$

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

$$A_w : 12.92 \text{ cm}^2$$

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : 25.20 \text{ cm}^2$$

**k**: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : 0.30$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : 210000 \text{ MPa}$$

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : 275.00 \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)



La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.036} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.036} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{61.17} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{1710.24} \text{ kN}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{65.30} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{1704.58} \text{ kN}$$

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{65.30} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$\chi$ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.49}$$

$$\phi_z : \underline{0.52}$$

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.12}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.21}$$

$N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr} : \underline{42116.00 \text{ kN}}$$

$$N_{cr,y} : \underline{118375.93 \text{ kN}}$$

$N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{42116.00 \text{ kN}}$$

$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \checkmark$$

Para flexión positiva:

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.03 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{126.08 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{481.40 \text{ cm}^3}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:



$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.533} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.096 m del nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{32.26} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{60.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{231.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.03} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{306.81} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{20.29} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$$h : \underline{180.00} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.50} \text{ mm}$$



**$f_{yd}$** : Resistencia de cálculo del acero.

**$f_{yd}$**  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$14.35 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{14.35}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{\text{máx}}$ : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{\text{máx}} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{\text{máx}} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{\text{ref}}$ : Límite elástico de referencia.

$$f_{\text{ref}} : \underline{235.00 \text{ MPa}}$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.055} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{43.21 \text{ kN}}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{792.04 \text{ kN}}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{52.38 \text{ cm}^2}$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{65.30 \text{ cm}^2}$$

$d$ : Altura del alma.

$$d : \underline{152.00 \text{ mm}}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.50 \text{ mm}}$$





$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.03 \text{ kN} \leq 153.40 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.03} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{306.81} \text{ kN}$$

### Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$43.21 \text{ kN} \leq 396.02 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{43.21} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{792.04} \text{ kN}$$

### Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} \quad \eta = \frac{0.569}{1} \quad \checkmark$$

+  ${}_{y,Ed} M_{pl,Rd,y}$  :  ${}_{z,Ed} M_{pl,Rd,z}$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.353} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.565 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.096 m del nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$  : 60.42 kN

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}^+$  : 0.01 kN·m

$M_{z,Ed}^+$  : 32.26 kN·m

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

**Clase** : 1

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.

$N_{pl,Rd}$  : 1710.24 kN

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y}$  : 126.08 kN·m

$M_{pl,Rd,z}$  : 60.50 kN·m

**Resistencia a pandeo**: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

**A**: Área de la sección bruta.

**A** : 65.30 cm<sup>2</sup>

$W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$W_{pl,y}$  : 481.40 cm<sup>3</sup>

$W_{pl,z}$  : 231.00 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1}$  : 1.05

$k_y$ ,  $k_z$ : Coeficientes de interacción.

$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$

$k_y$  : 1.00

$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$

$k_z$  : 0.99

$C_{m,y}$ ,  $C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$C_{m,y}$  : 1.00

$C_{m,z}$  : 1.00

$\chi_y$ ,  $\chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$\chi_y$  : 1.00

$\chi_z$  : 1.00

$\bar{\lambda}_y$ ,  $\bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$\bar{\lambda}_y$  : 0.12

$\bar{\lambda}_z$  : 0.21

$\alpha_y$ ,  $\alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.

$\alpha_y$  : 0.60

$\alpha_z$  : 0.60

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .



Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sup>s</sup>imos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$43.21 \text{ kN} \leq 396.02 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo p<sup>s</sup>imo.

$$V_{Ed,y} : \frac{43.21}{\quad} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,y}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \frac{792.04}{\quad} \text{ kN}$$

### **Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

### **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

### **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N32/N29

Perfil: HE 180 B Material: Acero (S275)							
Nudos	Longitud (m)		Características mecánicas				
	Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
N32	N29	0.540	65.30	3831.00	1363.00	42.16	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
		Pandeo		Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	0.70	0.70	0.00	0.00			
L <sub>K</sub>	0.378	0.378	0.000	0.000			
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000			
C <sub>1</sub>	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N32/N29	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	N <sub>Ed</sub> = 0,00 N.P. <sup>(1)</sup>	x: 0 m η = 2.4	x: 0 m η = 0.7	x: 0.453 m η = 34.7	η = 0.1	η = 6.7	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.453 m η = 37.8	η < 0.1	η = 0.1	η = 0.1	η = 6.7	<b>CUMPLE</b> η = 37.8
Notación: $\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez $\lambda_w$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.																

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$  : 0.10 ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase :** 1

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A :** 65.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub> :** 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub> :** 197711.21 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,y</sub> :** 555709.21 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

**N<sub>cr,z</sub> :** 197711.21 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left[ G \cdot I_t + \frac{\pi_w^2}{L_{kt}^2} E \cdot I \right]$$

$$N_{cr,T} : \infty$$

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \frac{3831.00}{cm^4}$$

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \frac{1363.00}{cm^4}$$

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \frac{42.16}{cm^4}$$

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \frac{93750.00}{cm^6}$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : \frac{210000}{MPa}$$

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \frac{81000}{MPa}$$

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \frac{0.378}{m}$$

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \frac{0.378}{m}$$

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \frac{0.000}{m}$$

**i<sub>0</sub>**: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \frac{8.92}{cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

**i<sub>y</sub>**, **i<sub>z</sub>**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \frac{7.66}{cm}$$

$$i_z : \frac{4.57}{cm}$$

**y<sub>0</sub>**, **z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \frac{0.00}{mm}$$

$$z_0 : \frac{0.00}{mm}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$17.88 \leq 164.04 \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

$$h_w : \frac{152.00}{mm}$$

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

$$t_w : \frac{8.50}{mm}$$

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

$$A_w : \frac{12.92}{cm^2}$$

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \frac{25.20}{cm^2}$$

**k**: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \frac{0.30}$$

**E**: Módulo de elasticidad.

$$E : \frac{210000}{MPa}$$

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \frac{275.00}{MPa}$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)



La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.



### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.024} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N32, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{40.78} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{1710.24} \text{ kN}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{65.30} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces  $\bar{\lambda} \leq 0.2$  se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} : \underline{0.10}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{65.30} \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{197711.21} \text{ kN}$$

$N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{555709.21} \text{ kN}$$

$N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{197711.21} \text{ kN}$$

$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.007} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N32, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.92} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{126.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{481.40} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.347} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.453 m del nudo N32, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{21.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{60.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$



**$W_{pl,z}$** : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor

**$W_{pl,z}$**  : 231.00 cm<sup>3</sup>

tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 0.24 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$  : 306.81 kN

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v$  : 20.29 cm<sup>2</sup>

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$h$  : 180.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$  : 8.50 mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

### Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \epsilon$$

14.35 < 64.71 ✓

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$\lambda_w$  : 14.35

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$



$\lambda_{\text{máx}}$ : Esbeltez máxima.

$\lambda_{\text{máx}}$  : 64.71

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{\text{ref}}$ : Límite elástico de referencia.

$$f_{\text{ref}} : \underline{235.00 \text{ MPa}}$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{\text{Ed}}}{V_{\text{c,Rd}}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.067} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  
1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$V_{\text{Ed}}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{\text{Ed}} : \underline{52.87 \text{ kN}}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{\text{c,Rd}}$  viene dado por:

$$V_{\text{c,Rd}} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{\text{c,Rd}} : \underline{792.04 \text{ kN}}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{52.38 \text{ cm}^2}$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{65.30 \text{ cm}^2}$$

$d$ : Altura del alma.

$$d : \underline{152.00 \text{ mm}}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.50 \text{ mm}}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{\text{Ed}}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{\text{c,Rd}}$ .

$$V_{\text{Ed}} \leq \frac{V_{\text{c,Rd}}}{2}$$

$$0.24 \text{ kN} \leq 153.40 \text{ kN} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 0.24 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$  : 306.81 kN

### Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

**52.87 kN ≤ 396.02 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 52.87 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$  : 792.04 kN

### Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.239 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.375



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.453 m del nudo N32, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$N_{c,Ed} : \underline{40.47 \text{ kN}}$$

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.84 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{21.02 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$$N_{pl,Rd} : \underline{1710.24 \text{ kN}}$$

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{126.08 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{60.50 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$



### Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

**A:** Área de la sección bruta.

$$A : \underline{65.30 \text{ cm}^2}$$

**W<sub>pl,y</sub>, W<sub>pl,z</sub>:** Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{481.40 \text{ cm}^3}$$

$$W_{pl,z} : \underline{231.00 \text{ cm}^3}$$

**f<sub>yd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

**γ<sub>M1</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

**k<sub>y</sub>, k<sub>z</sub>:** Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

**C<sub>m,y</sub>, C<sub>m,z</sub>:** Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

**χ<sub>y</sub>, χ<sub>z</sub>:** Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

**λ̄<sub>y</sub>, λ̄<sub>z</sub>:** Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.06}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.10}$$

**α<sub>y</sub>, α<sub>z</sub>:** Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V<sub>Ed</sub>** es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>**.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+0.8·CM2+1.5·Q1.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$52.87 \text{ kN} \leq 395.88 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

**V<sub>Ed,y</sub>:** Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \underline{52.87 \text{ kN}}$$

**V<sub>c,Rd,y</sub>:** Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \underline{791.76 \text{ kN}}$$

### Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$M_{T,Rd}$$



$\eta : \underline{0.001}$   
✓



El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 0.8 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$  : 0.00 kN·m

El momento torsor resistente de cálculo  $M_{T,Rd}$  viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$M_{T,Rd}$  : 4.55 kN·m

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T$  : 30.11 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

### Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.001 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.35 \cdot CM2 + 1.5 \cdot Q1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 0.17 kN

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$  : 0.00 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$  : 306.70 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$  : 306.81 kN

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$  : 0.13 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T$  : 30.11 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

### Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.067} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.35·CM2+1.5·Q1.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{52.87} \text{ kN}$$

**M<sub>T,Ed</sub>**: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V<sub>pl,T,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{791.76} \text{ kN}$$

Donde:

**V<sub>pl,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{792.04} \text{ kN}$$

**τ<sub>T,Ed</sub>**: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.13} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

**W<sub>T</sub>**: Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{30.11} \text{ cm}^3$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

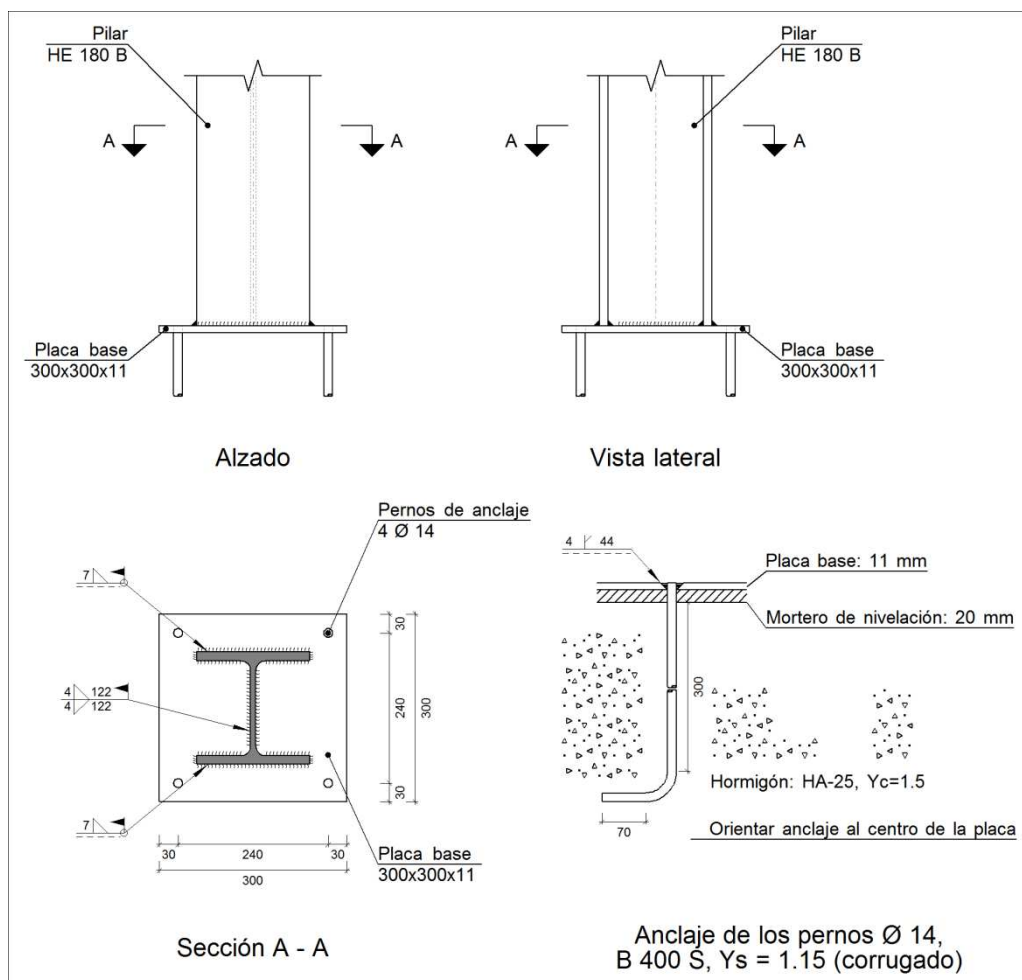
### 3. UNIONES

Todas las uniones que se van a realizar en los nudos de la estructura van a ser uniones soldadas. Como ya se ha explicado en el apartado de “Campo de fútbol sala” el procedimiento a seguir en uniones soldadas se procede a indicar únicamente las comprobaciones de dichas uniones

#### 3.1 MEMORIA DE CÁLCULO

##### TIPO 1

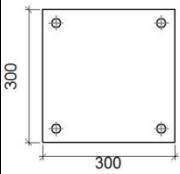
a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios											
Pieza	Geometría				Cantidad	Taladros			Tipo	Acero	
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)		Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)		$f_y$ (kp/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )



Elementos complementarios											
Pieza	Geometría				Taladros				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	$f_y$ (kp/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )
Placa base		300	300	11	4	22	16	4	S275	2803.3	4179.4

c) Comprobación

1) Pilar HE 180 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	7	180	11.0	90.00	
Soldadura del alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	7	180	11.0	90.00	

*a: Espesor garganta  
l: Longitud efectiva  
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	30.4	30.4	3.9	61.2	15.85	30.4	9.27	410.0	0.85
Soldadura del alma	1.7	1.7	1.7	4.5	1.16	1.7	0.51	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	30.4	30.4	3.9	61.1	15.84	30.4	9.26	410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 42 mm Calculado: 241 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 21 mm Calculado: 30 mm	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 30 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción:	Máximo: 4.757 t Calculado: 1.521 t	Cumple



Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
- Cortante:	Máximo: 3.33 t Calculado: 0.51 t	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 4.757 t Calculado: 2.249 t	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 5.023 t Calculado: 1.349 t	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 3883.31 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 1042.37 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 8.223 t Calculado: 0.452 t	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 2669.77 kp/cm <sup>2</sup>	
- Derecha:	Calculado: 1544.83 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 1373.79 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple
- Arriba:	Calculado: 483.101 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple
- Abajo:	Calculado: 485.178 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 549.964	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 704.851	Cumple
- Arriba:	Calculado: 5550.73	Cumple
- Abajo:	Calculado: 5500.7	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 2669.77 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 0 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	Preparación de bordes (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	4	44	11.0	90.00				
<i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>
	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>  </sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura de los pernos a la placa base	0.0	0.0	150.5	260.6	67.54	0.0	0.00	410.0	0.85

d) Medición

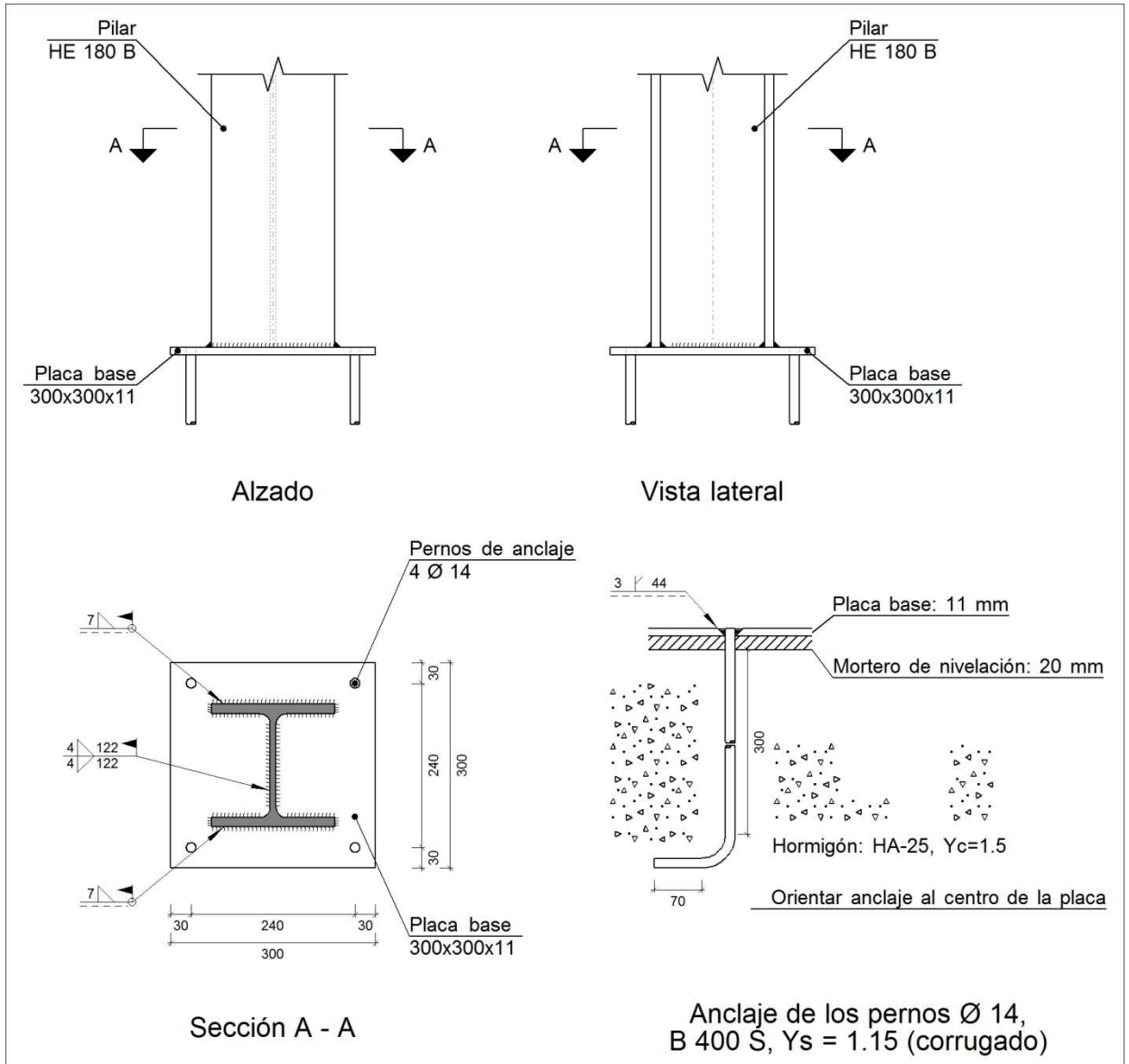
<b>Soldaduras</b>				
$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
4179.4	En taller	A tope en bisel simple con talón de raíz amplio	4	176
	En el lugar de montaje	En ángulo	4	244
			7	699

<b>Placas de anclaje</b>				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	300x300x11	7.77
				Total
B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	Pernos de anclaje	4	Ø 14 - L = 345 + 136	2.32
				Total

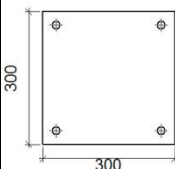
**Tipo 4**

a) Detalle





b) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios												
Pieza	Geometría				Cantidad	Taladros			Acero			
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)		Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	$f_y$ (kp/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )	
Placa base		300	300	11	4	20	16	3	S275	2803.3	4179.4	

c) Comprobación

1) Pilar HE 180 B



Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del ala superior	En ángulo	7	180	11.0	90.00				
Soldadura del alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00				
Soldadura del ala inferior	En ángulo	7	180	11.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises				Tensión normal		f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>	
	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>  </sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )			Aprov. (%)
Soldadura del ala superior	20.8	20.8	11.7	46.4	12.02	20.8	6.35	410.0	0.85
Soldadura del alma	6.4	6.4	1.0	13.0	3.37	6.5	1.97	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	17.6	17.6	11.8	40.7	10.55	17.6	5.37	410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 42 mm Calculado: 241 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 21 mm Calculado: 30 mm	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 30 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón:		
- Tracción:	Máximo: 4.757 t Calculado: 0.079 t	Cumple
- Cortante:	Máximo: 3.33 t Calculado: 1.519 t	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 4.757 t Calculado: 2.249 t	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 5.023 t Calculado: 0.07 t	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 3883.31 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 1684.18 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 8.223 t Calculado: 1.348 t	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:		
- Derecha:	Calculado: 111.327 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 1033.41 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple
- Arriba:	Calculado: 347.793 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
- Abajo:	Calculado: 629.904 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 89958.7	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 1089.2	Cumple
- Arriba:	Calculado: 6622.45	Cumple
- Abajo:	Calculado: 2643.04	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 2669.77 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 0 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	Preparación de bordes (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	3	44	11.0	90.00				
<i>l: Longitud efectiva</i>									
<i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>
	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>∥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura de los pernos a la placa base	0.0	0.0	15.6	27.0	7.01	0.0	0.00	410.0	0.85

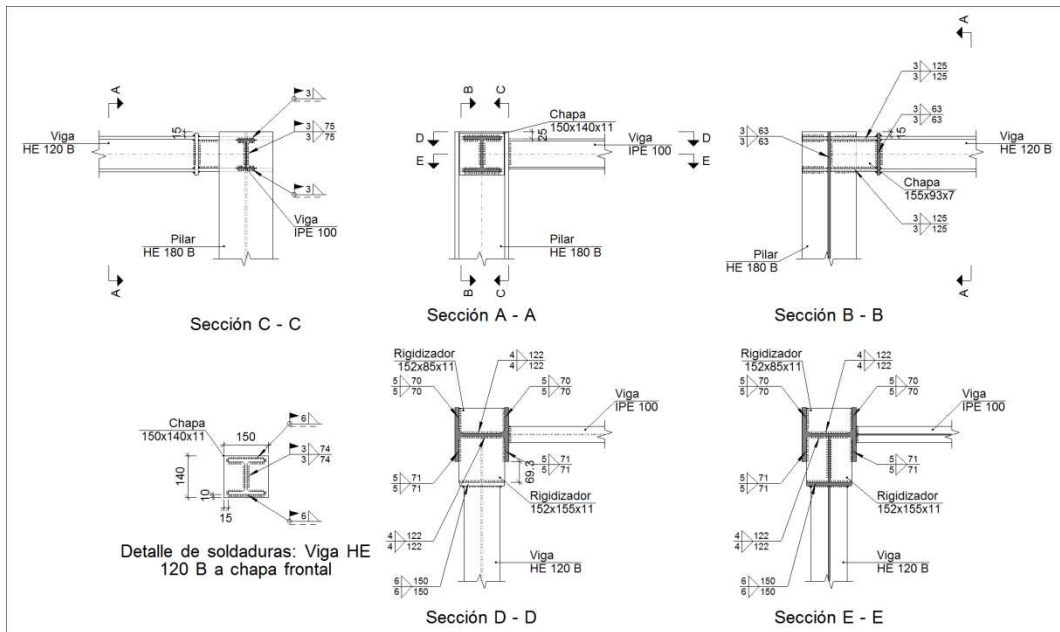
#### d) Medición

Soldaduras				
f <sub>u</sub> (kp/cm <sup>2</sup> )	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
4179.4	En taller	A tope en bisel simple con talón de raíz amplio	3	176
			4	244
	En el lugar de montaje	En ángulo	7	699

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	300x300x11	7.77
	Total			7.77
B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	Pernos de anclaje	4	Ø 14 - L = 345 + 136	2.32
	Total			2.32

**Tipo 2**

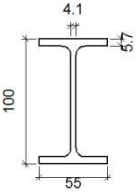
a) Detalle

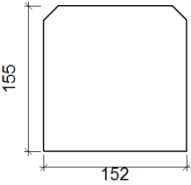
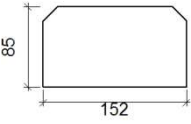
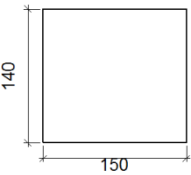
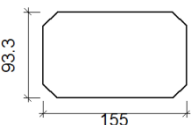


b) Descripción de los componentes de la unión

		Perfiles							
Pieza	Descripción	Geometría				Acero			
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f <sub>v</sub> (kp/cm <sup>2</sup> )	f <sub>u</sub> (kp/cm <sup>2</sup> )
Pilar	HE 180 B		180	180	14	8.5	S275	2803.3	4179.4
Viga	HE 120 B		120	120	11	6.5	S275	2803.3	4179.4



Perfiles									
Pieza	Descripción	Esquema	Geometría				Acero		
			Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	$f_v$ (kp/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )
Viga	IPE 100		100	55	5.7	4.1	S275	2803.3	4179.4

Elementos complementarios								
Pieza	Esquema	Geometría			Tipo	Acero		
		Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)		$f_v$ (kp/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )	
Rigidizador		152	155	11	S275	2803.3	4179.4	
Rigidizador		152	85	11	S275	2803.3	4179.4	
Chapa de apoyo de la viga Viga HE 120 B		150	140	11	S275	2803.3	4179.4	
Chapa vertical de la viga Viga HE 120 B		155	93.3	7	S275	2803.3	4179.4	

c) Comprobación

1) Pilar HE 180 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Panel	Esbeltz	--	--	--	27.63
	Cortante	kN	16.24	208.22	7.80
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	71.26	261.90	27.21
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	76.66	261.90	29.27
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	15.39	261.90	5.87
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	16.97	261.90	6.48



Chapa frontal [Viga HE 120 B]	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.00
	Deformación admisible	mRad	--	2	0.00
Chapa vertical [Viga HE 120 B]	Cortante	kN	12.64	67.00	18.86
Ala	Desgarro	N/mm <sup>2</sup>	51.94	261.90	19.83
	Cortante	N/mm <sup>2</sup>	36.63	261.90	13.99

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	71	11.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	En ángulo	6	150	11.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	71	11.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	En ángulo	6	150	11.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	70	11.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	70	11.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura de la chapa vertical al alma	En ángulo	3	63	7.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	En ángulo	3	63	7.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	En ángulo	3	125	7.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	En ángulo	3	125	7.0	90.00	

a: Espesor garganta  
l: Longitud efectiva  
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>
	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>∥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	12.0	12.0	44.2	80.2	20.78	12.0	3.65	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	3.9	6.7	1.73	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	19.7	19.7	0.0	39.3	10.19	19.7	5.99	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	13.2	13.2	47.5	86.4	22.38	13.2	4.02	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	4.3	7.4	1.91	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	21.9	21.9	0.0	43.9	11.37	22.0	6.69	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	12.0	12.0	0.0	23.9	6.20	12.0	3.65	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	3.9	6.7	1.73	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	13.2	13.2	0.0	26.4	6.84	13.2	4.02	410.0	0.85



Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	4.3	7.4	1.91	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al alma	0.0	0.0	33.3	57.6	14.94	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	0.0	0.0	33.3	57.6	14.94	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	0.0	0.0	30.0	51.9	13.46	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	0.0	0.0	30.0	51.9	13.46	0.0	0.00	410.0	0.85

## 2) Viga IPE 100

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	3	55	5.7	90.00	
Soldadura del alma	En ángulo	3	75	4.1	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	3	55	5.7	90.00	

*a: Espesor garganta  
l: Longitud efectiva  
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	52.7	52.7	0.1	105.4	27.32	52.7	16.07	410.0	0.85
Soldadura del alma	40.8	40.8	15.4	85.9	22.25	40.8	12.44	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	55.8	55.8	0.1	111.5	28.90	55.8	17.00	410.0	0.85

## 3) Viga HE 120 B

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	120	11.0	90.00	
Soldadura del alma	En ángulo	3	74	6.5	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	120	11.0	90.00	



Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>
	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>  </sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	24.5	24.5	0.0	49.0	12.70	24.5	7.47	410.0	0.85
Soldadura del alma	0.0	0.0	28.5	49.3	12.78	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	27.1	27.1	0.0	54.3	14.06	27.1	8.27	410.0	0.85

d) Medición

Soldaduras				
f <sub>u</sub> (kp/cm <sup>2</sup> )	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
4179.4	En taller	En ángulo	3	753
			4	976
			5	1126
			6	600
	En el lugar de montaje	En ángulo	3	504
			6	463

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	2	152x155x11	4.07
		2	152x85x11	2.23
	Chapas	1	155x93x7	0.79
		1	150x140x11	1.81
	Total			

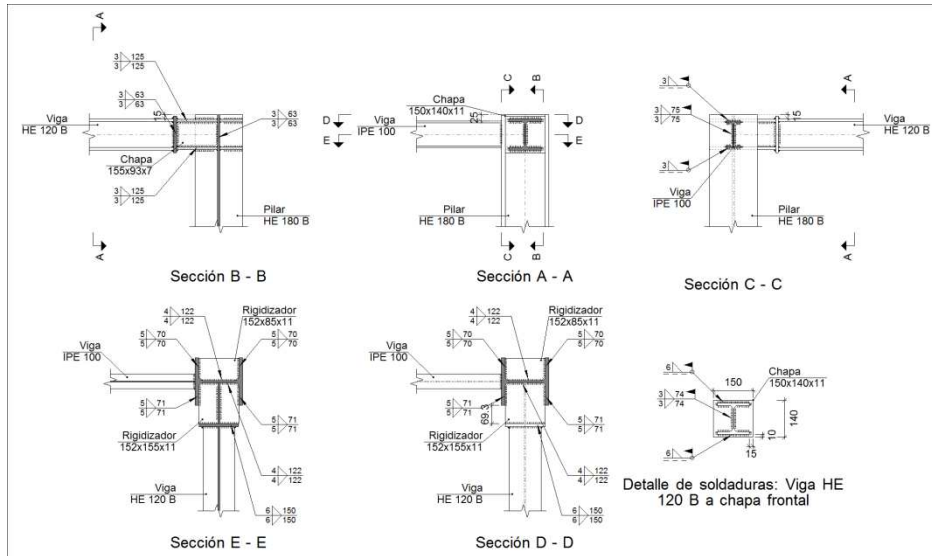
**Tipo 5**

a) Detalle





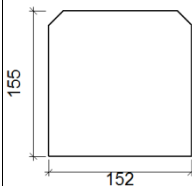
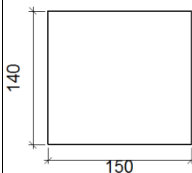
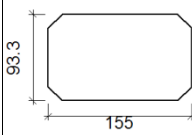
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA (BIZKAIA)



b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría				Acero			
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	$f_v$ (kp/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )
Pilar	HE 180 B		180	180	14	8.5	S275	2803.3	4179.4
Viga	HE 120 B		120	120	11	6.5	S275	2803.3	4179.4
Viga	IPE 100		100	55	5.7	4.1	S275	2803.3	4179.4

Elementos complementarios							
Pieza	Geometría				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Tipo	$f_v$ (kp/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )
Rigidizador		152	85	11	S275	2803.3	4179.4

Elementos complementarios							
Pieza	Geometría				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Tipo	$f_y$ (kp/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )
Rigidizador		152	155	11	S275	2803.3	4179.4
Chapa de apoyo de la viga Viga HE 120 B		150	140	11	S275	2803.3	4179.4
Chapa vertical de la viga Viga HE 120 B		155	93.3	7	S275	2803.3	4179.4

c) Comprobación

1) Pilar HE 180 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Panel	Esbeltez	--	--	--	27.63
	Cortante	kN	0.23	208.22	0.11
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	0.24	261.90	0.09
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	0.58	261.90	0.22
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	14.60	261.90	5.57
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	11.54	261.90	4.41
Chapa frontal [Viga HE 120 B]	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.00
	Deformación admisible	mRad	--	2	0.00
Chapa vertical [Viga HE 120 B]	Cortante	kN	5.26	67.00	7.86
Ala	Desgarro	N/mm <sup>2</sup>	5.73	261.90	2.19
	Cortante	N/mm <sup>2</sup>	6.76	261.90	2.58

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	70	11.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	70	11.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	



<b>Comprobaciones geométricas</b>									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	71	11.0	90.00				
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00				
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	En ángulo	6	150	11.0	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	71	11.0	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	En ángulo	6	150	11.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al alma	En ángulo	3	63	7.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	En ángulo	3	63	7.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	En ángulo	3	125	7.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	En ángulo	3	125	7.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
<b>Comprobación de resistencia</b>									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	0.2	0.2	0.0	0.4	0.10	0.2	0.06	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	0.1	0.1	0.03	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	0.5	0.5	0.0	0.9	0.24	0.5	0.14	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	0.1	0.3	0.06	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	0.4	0.4	9.3	16.1	4.16	0.5	0.14	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	0.1	0.3	0.06	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	1.8	1.8	0.0	3.6	0.94	1.8	0.55	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	0.0	0.0	7.3	12.7	3.29	0.2	0.07	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	0.1	0.1	0.03	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	2.4	2.4	0.0	4.9	1.26	2.4	0.74	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al alma	0.0	0.0	13.9	24.0	6.22	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	0.0	0.0	13.9	24.0	6.22	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	0.0	0.0	12.5	21.6	5.61	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	0.0	0.0	12.5	21.6	5.61	0.0	0.00	410.0	0.85

2) Viga IPE 100



Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del ala superior	En ángulo	3	55	5.7	90.00				
Soldadura del alma	En ángulo	3	75	4.1	90.00				
Soldadura del ala inferior	En ángulo	3	55	5.7	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>
	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>  </sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	3.0	3.0	0.1	5.9	1.53	3.0	0.90	410.0	0.85
Soldadura del alma	0.6	0.6	0.2	1.2	0.32	0.6	0.18	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	2.9	2.9	0.1	5.8	1.51	2.9	0.89	410.0	0.85

3) Viga HE 120 B

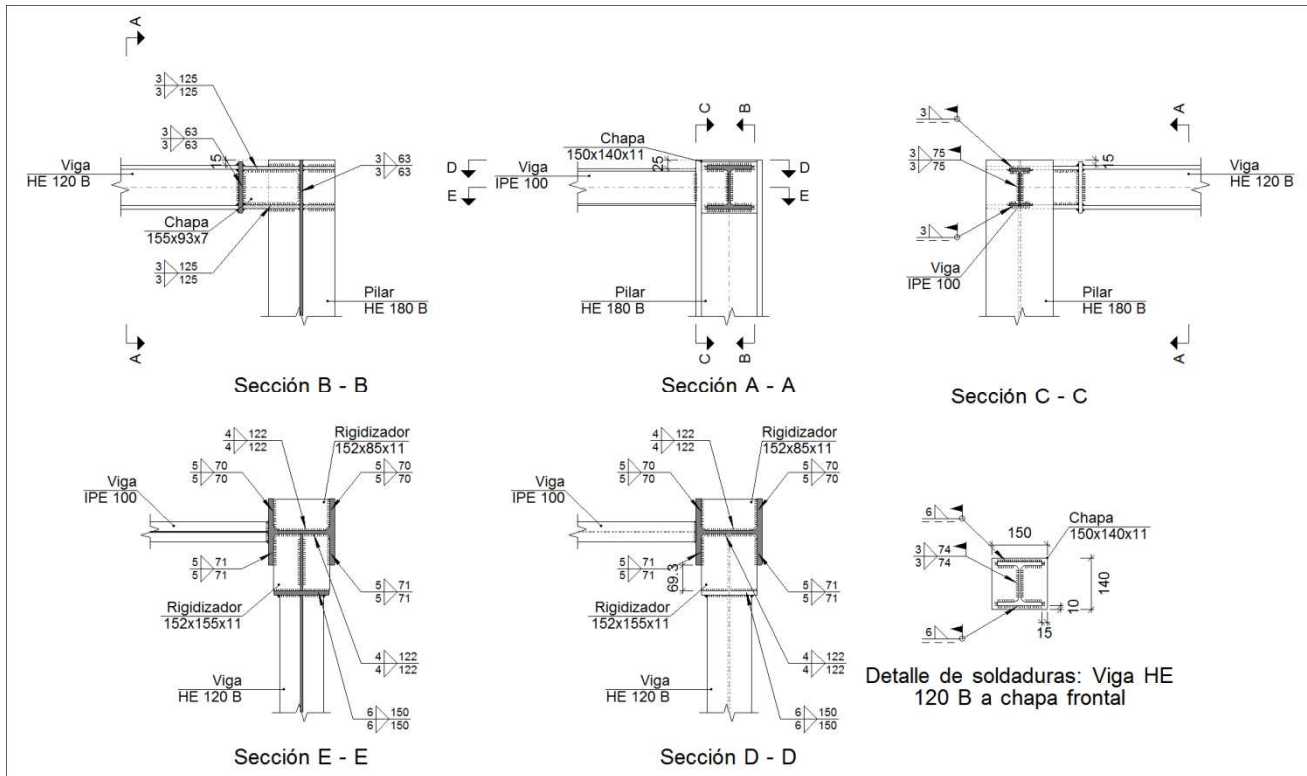
Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	120	11.0	90.00				
Soldadura del alma	En ángulo	3	74	6.5	90.00				
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	120	11.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>
	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>  </sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	2.3	2.3	0.0	4.6	1.19	2.3	0.70	410.0	0.85
Soldadura del alma	0.0	0.0	11.9	20.5	5.32	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	3.0	3.0	0.0	5.9	1.53	3.0	0.90	410.0	0.85

d) Medición

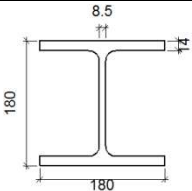
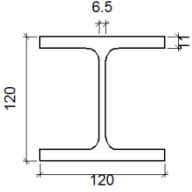
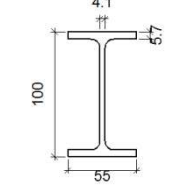
Soldaduras				
$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
4179.4	En taller	En ángulo	3	753
			4	976
			5	1126
			6	600
	En el lugar de montaje	En ángulo	3	504
			6	463

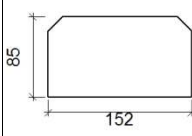
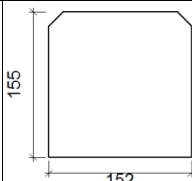
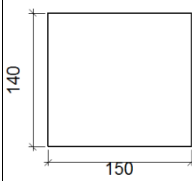
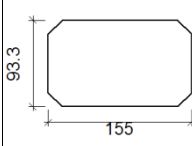
Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	2	152x85x11	2.23
		2	152x155x11	4.07
	Chapas	1	155x93x7	0.79
		1	150x140x11	1.81
	Total			



b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Esquema	Geometría				Tipo	Acero	
			Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)		$f_v$ (kp/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )

Perfiles									
Pieza	Descripción	Esquema	Geometría				Acero		
			Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	$f_v$ (kp/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )
Pilar	HE 180 B		180	180	14	8.5	S275	2803.3	4179.4
Viga	HE 120 B		120	120	11	6.5	S275	2803.3	4179.4
Viga	IPE 100		100	55	5.7	4.1	S275	2803.3	4179.4

Elementos complementarios							
Pieza	Esquema	Geometría			Acero		
		Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Tipo	$f_v$ (kp/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )
Rigidizador		152	85	11	S275	2803.3	4179.4
Rigidizador		152	155	11	S275	2803.3	4179.4
Chapa de apoyo de la viga Viga HE 120 B		150	140	11	S275	2803.3	4179.4
Chapa vertical de la viga Viga HE 120 B		155	93.3	7	S275	2803.3	4179.4

c) Comprobación



1) Pilar HE 180 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Panel	Esbeltez	--	--	--	27.63
	Cortante	kN	16.26	208.22	7.81
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	15.40	261.90	5.88
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	16.99	261.90	6.49
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	71.56	261.90	27.32
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	77.00	261.90	29.40
Chapa frontal [Viga HE 120 B]	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.00
	Deformación admisible	mRad	--	2	0.00
Chapa vertical [Viga HE 120 B]	Cortante	kN	12.67	67.00	18.91
Ala	Desgarro	N/mm <sup>2</sup>	52.17	261.90	19.92
	Cortante	N/mm <sup>2</sup>	36.80	261.90	14.05

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	70	11.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	70	11.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	71	11.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	En ángulo	6	150	11.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	71	11.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	En ángulo	6	150	11.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical al alma	En ángulo	3	63	7.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	En ángulo	3	63	7.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	En ángulo	3	125	7.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	En ángulo	3	125	7.0	90.00	

a: Espesor garganta  
l: Longitud efectiva  
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>
	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>  </sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	12.0	12.0	0.0	24.0	6.21	12.0	3.65	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	3.9	6.7	1.73	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	13.2	13.2	0.0	26.4	6.85	13.2	4.03	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	4.3	7.4	1.91	0.0	0.00	410.0	0.85



Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	12.0	12.0	44.4	80.5	20.86	12.0	3.65	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	3.9	6.7	1.73	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	19.8	19.8	0.0	39.5	10.25	19.8	6.03	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	13.2	13.2	47.7	86.7	22.48	13.2	4.03	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	4.3	7.4	1.91	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	22.1	22.1	0.0	44.1	11.44	22.1	6.73	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al alma	0.0	0.0	33.4	57.8	14.97	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	0.0	0.0	33.4	57.8	14.97	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	0.0	0.0	30.1	52.1	13.49	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	0.0	0.0	30.1	52.1	13.49	0.0	0.00	410.0	0.85

2) Viga IPE 100

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	3	55	5.7	90.00	
Soldadura del alma	En ángulo	3	75	4.1	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	3	55	5.7	90.00	

*a: Espesor garganta*  
*l: Longitud efectiva*  
*t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	52.8	52.8	0.1	105.5	27.34	52.8	16.08	410.0	0.85
Soldadura del alma	40.8	40.8	15.4	85.9	22.27	40.8	12.45	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	55.8	55.8	0.1	111.6	28.92	55.8	17.01	410.0	0.85





3) Viga HE 120 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	120	11.0	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	3	74	6.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	120	11.0	90.00

*a: Espesor garganta  
l: Longitud efectiva  
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>
	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>  </sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	24.6	24.6	0.0	49.3	12.77	24.6	7.51	410.0	0.85
Soldadura del alma	0.0	0.0	28.5	49.4	12.81	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	27.3	27.3	0.0	54.6	14.14	27.3	8.32	410.0	0.85

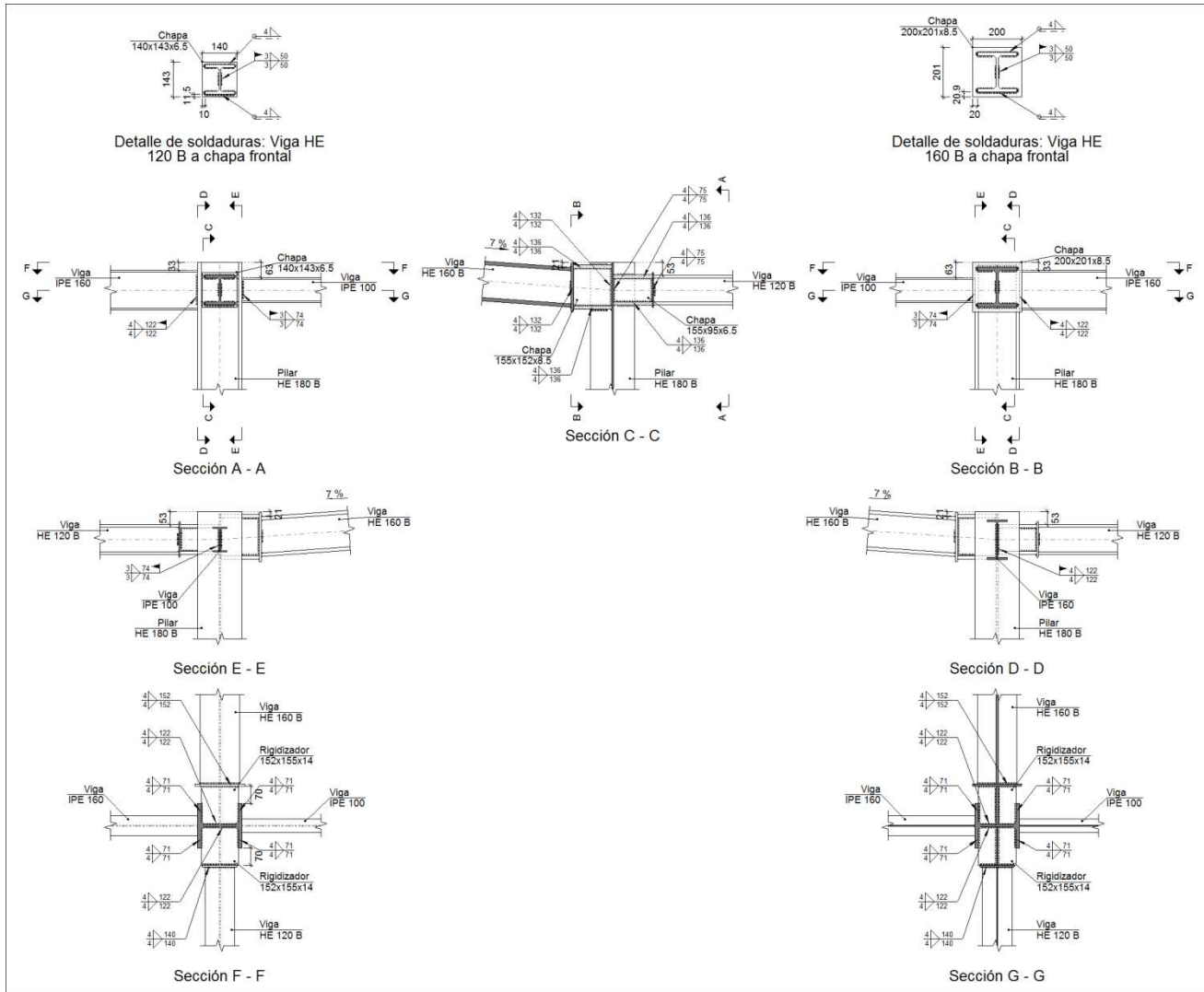
d) Medición

Soldaduras				
f <sub>u</sub> (kp/cm <sup>2</sup> )	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
4179.4	En taller	En ángulo	3	753
			4	976
			5	1126
			6	600
	En el lugar de montaje	En ángulo	3	504
			6	463

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	2	152x85x11	2.23
		2	152x155x11	4.07
	Chapas	1	155x93x7	0.79
		1	150x140x11	1.81
	Total			

Tipo 8

a) Detalle



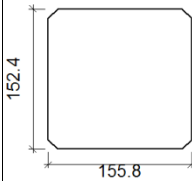
b) Descripción de los componentes de la unión

		Perfiles							
Pieza	Descripción	Geometría				Acero			
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	$f_v$ (kp/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )
Pilar	HE 180 B		180	180	14	8.5	S275	2803.3	4179.4
Viga	HE 120 B		120	120	11	6.5	S275	2803.3	4179.4



Perfiles									
Pieza	Descripción	Esquema	Geometría				Acero		
			Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	$f_v$ (kp/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )
Viga	HE 160 B		160	160	13	8	S275	2803.3	4179.4
Viga	IPE 100		100	55	5.7	4.1	S275	2803.3	4179.4
Viga	IPE 160		160	82	7.4	5	S275	2803.3	4179.4

Elementos complementarios							
Pieza	Esquema	Geometría			Acero		
		Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Tipo	$f_v$ (kp/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )
Rigidizador		152	155.8	14	S275	2803.3	4179.4
Chapa de apoyo de la viga Viga HE 120 B		140	143	6.5	S275	2803.3	4179.4
Chapa vertical de la viga Viga HE 120 B		155.8	95	6.5	S275	2803.3	4179.4
Chapa de apoyo de la viga Viga HE 160 B		200	201	8.5	S275	2803.3	4179.4

Elementos complementarios							
Pieza	Geometría				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Tipo	$f_v$ (kp/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )
Chapa vertical de la viga Viga HE 160 B		155.8	152.4	8.5	S275	2803.3	4179.4

c) Comprobación

1) Pilar HE 180 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Panel	Esbeltez	--	--	--	27.63
	Cortante	kN	0.12	208.22	0.06
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	47.40	261.90	18.10
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	45.87	261.90	17.51
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	30.33	261.90	11.58
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	25.78	261.90	9.84
Chapa frontal [Viga HE 120 B]	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.00
	Deformación admisible	mRad	--	2	0.00
Chapa vertical [Viga HE 120 B]	Cortante	kN	10.37	73.72	14.07
Chapa frontal [Viga HE 160 B]	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.00
	Deformación admisible	mRad	--	2	0.00
Chapa vertical [Viga HE 160 B]	Cortante	kN	3.02	174.48	1.73
Ala	Desgarro	N/mm <sup>2</sup>	23.70	261.90	9.05
	Cortante	N/mm <sup>2</sup>	38.18	261.90	14.58

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	4	71	14.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	En ángulo	4	140	6.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	4	71	14.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	En ángulo	4	140	6.5	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	4	71	14.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	En ángulo	4	200	8.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	4	71	14.0	90.00	



<b>Comprobaciones geométricas</b>									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	En ángulo	4	200	8.5	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al alma	En ángulo	4	75	6.5	90.00				
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	En ángulo	4	75	6.5	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	En ángulo	4	136	6.5	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	En ángulo	4	136	6.5	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al alma	En ángulo	4	132	8.5	90.00				
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	En ángulo	4	132	8.5	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	En ángulo	4	136	8.5	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	En ángulo	4	136	8.5	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
<b>Comprobación de resistencia</b>									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	0.0	0.0	47.9	82.9	21.49	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	0.1	0.2	0.05	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	26.2	26.2	0.1	52.5	13.60	26.2	8.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	0.0	0.0	46.3	80.3	20.80	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	0.1	0.2	0.05	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	25.0	25.0	0.1	49.9	12.94	25.0	7.61	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	0.0	0.0	30.6	53.1	13.76	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	18.3	18.3	0.0	36.6	9.48	18.3	5.58	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	0.0	0.0	26.0	45.1	11.69	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	15.4	15.4	0.0	30.7	7.96	15.4	4.68	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al alma	0.0	0.0	17.3	29.9	7.76	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	0.0	0.0	17.3	29.9	7.76	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	0.0	0.0	16.3	28.3	7.32	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	0.0	0.0	16.3	28.3	7.32	0.0	0.00	410.0	0.85



Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura de la chapa vertical al alma	0.0	0.0	2.6	4.6	1.19	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	0.0	0.0	2.6	4.6	1.19	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	0.0	0.0	2.8	4.8	1.25	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	0.0	0.0	2.8	4.8	1.25	0.0	0.00	410.0	0.85

2) Viga IPE 100

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Alma	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	5.38	261.90	2.05

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del alma	En ángulo	3	74	4.1	90.00	

*a: Espesor garganta*  
*l: Longitud efectiva*  
*t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del alma	2.6	2.6	0.0	5.2	1.35	2.6	0.79	410.0	0.85

3) Viga IPE 160

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Alma	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	196.56	261.90	75.05

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	



Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del alma	En ángulo	4	122	5.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises				Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$	
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )			Aprov. (%)
Soldadura del alma	4.5	4.5	70.8	123.0	31.88	4.5	1.38	410.0	0.85

4) Viga HE 120 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del ala superior	En ángulo	4	120	6.5	90.00				
Soldadura del alma	En ángulo	3	50	6.5	90.00				
Soldadura del ala inferior	En ángulo	4	120	6.5	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises				Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$	
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )			Aprov. (%)
Soldadura del ala superior	33.2	33.2	0.1	66.5	17.23	33.2	10.13	410.0	0.85
Soldadura del alma	0.0	0.0	34.6	59.9	15.52	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	31.8	31.8	0.1	63.5	16.46	31.8	9.68	410.0	0.85

5) Viga HE 160 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas							
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)		
Soldadura del ala superior	En ángulo	4	160	8.5	86.00		
Soldadura del alma	En ángulo	3	50	8.0	90.00		
Soldadura del ala inferior	En ángulo	4	160	8.5	86.00		
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>							
Comprobación de resistencia							
Ref.	Tensión de Von Mises				Tensión normal	$f_u$	$\beta_w$



	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	(N/mm <sup>2</sup> )	
Soldadura del ala superior	22.3	20.8	0.0	42.3	10.96	22.3	6.79	410.0	0.85
Soldadura del alma	0.0	0.0	9.4	16.2	4.20	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	17.1	18.4	0.0	36.2	9.37	17.1	5.23	410.0	0.85

d) Medición

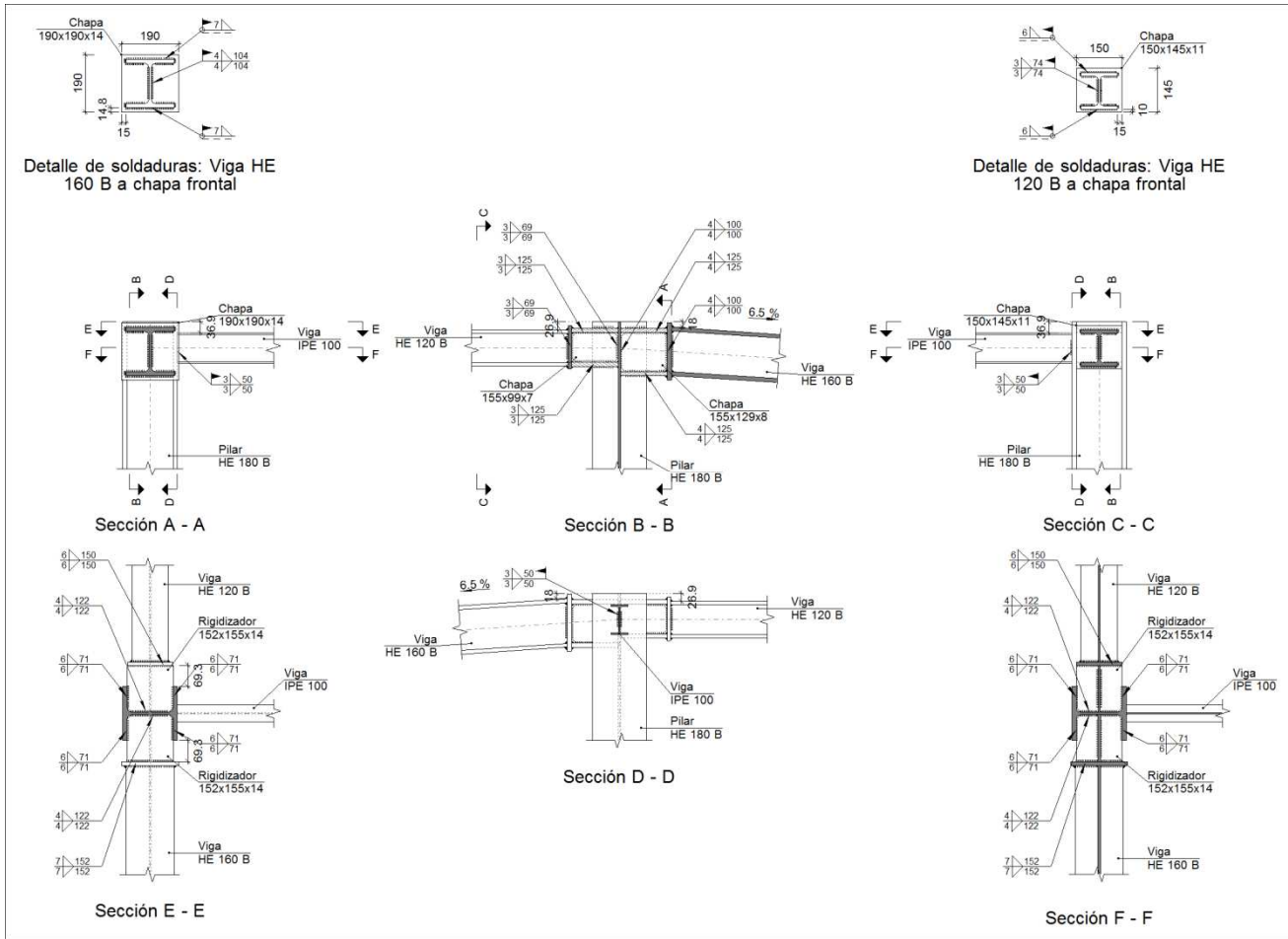
<b>Soldaduras</b>				
$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
4179.4	En taller	En ángulo	4	6463
	En el lugar de montaje	En ángulo	3	348
			4	245

<b>Chapas</b>				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	4	152x155x14	10.41
	Chapas	1	140x143x6.5	1.02
		1	155x95x6.5	0.75
		1	200x201x8.5	2.68
		1	155x152x8.5	1.58
	Total			

**Tipo 15**

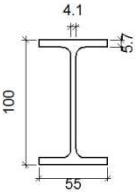
a) Detalle

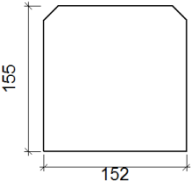
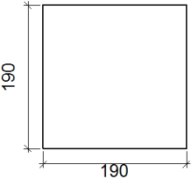
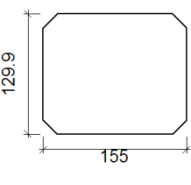
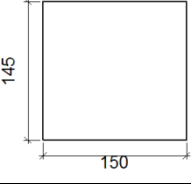
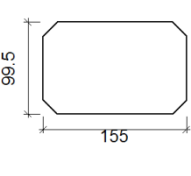




b) Descripción de los componentes de la unión

		Perfiles							
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	$f_v$ (kp/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )
Pilar	HE 180 B		180	180	14	8.5	S275	2803.3	4179.4
Viga	HE 160 B		160	160	13	8	S275	2803.3	4179.4
Viga	HE 120 B		120	120	11	6.5	S275	2803.3	4179.4

Perfiles									
Pieza	Descripción	Esquema	Geometría				Acero		
			Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	$f_v$ (kp/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )
Viga	IPE 100		100	55	5.7	4.1	S275	2803.3	4179.4

Elementos complementarios								
Pieza	Esquema	Geometría			Tipo	Acero		
		Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)		$f_v$ (kp/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )	
Rigidizador		152	155	14	S275	2803.3	4179.4	
Chapa de apoyo de la viga Viga HE 160 B		190	190	14	S275	2803.3	4179.4	
Chapa vertical de la viga Viga HE 160 B		155	129.9	8	S275	2803.3	4179.4	
Chapa de apoyo de la viga Viga HE 120 B		150	145	11	S275	2803.3	4179.4	
Chapa vertical de la viga Viga HE 120 B		155	99.5	7	S275	2803.3	4179.4	

c) Comprobación

1) Pilar HE 180 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Panel	Esbeltex	--	--	--	27.63



	Cortante	kN	0.00	208.22	0.00
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	28.31	261.90	10.81
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	25.16	261.90	9.61
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	39.48	261.90	15.07
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	57.00	261.90	21.76
Chapa frontal [Viga HE 160 B]	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.00
	Deformación admisible	mRad	--	2	0.00
Chapa vertical [Viga HE 160 B]	Cortante	kN	4.36	151.21	2.89
Chapa frontal [Viga HE 120 B]	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.00
	Deformación admisible	mRad	--	2	0.00
Chapa vertical [Viga HE 120 B]	Cortante	kN	9.69	73.52	13.17
Ala	Desgarro	N/mm <sup>2</sup>	63.03	261.90	24.06
	Cortante	N/mm <sup>2</sup>	38.67	261.90	14.76

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	71	14.0	90.00				
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00				
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	En ángulo	7	190	14.0	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	71	14.0	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	En ángulo	7	190	14.0	90.00				
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	71	14.0	90.00				
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00				
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	En ángulo	6	150	11.0	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	71	14.0	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	En ángulo	6	150	11.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al alma	En ángulo	4	100	8.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	En ángulo	4	100	8.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	En ángulo	4	125	8.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	En ángulo	4	125	8.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al alma	En ángulo	3	69	7.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	En ángulo	3	69	7.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	En ángulo	3	125	7.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	En ángulo	3	125	7.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>
	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>  </sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	0.0	0.0	19.1	33.0	8.56	0.0	0.00	410.0	0.85



<b>Comprobación de resistencia</b>									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	9.3	9.3	0.0	18.6	4.81	9.3	2.83	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	0.0	0.0	16.9	29.4	7.61	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	8.3	8.3	0.0	16.6	4.31	8.3	2.54	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	0.0	0.0	26.6	46.1	11.94	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	14.2	14.2	0.0	28.4	7.37	14.2	4.34	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	0.0	0.0	38.4	66.5	17.23	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	24.0	24.0	0.0	48.0	12.45	24.0	7.32	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al alma	0.0	0.0	4.2	7.3	1.88	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	0.0	0.0	4.2	7.3	1.88	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	0.0	0.0	4.4	7.6	1.96	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	0.0	0.0	4.4	7.6	1.96	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al alma	0.0	0.0	23.2	40.3	10.43	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	0.0	0.0	23.2	40.3	10.43	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	0.0	0.0	21.6	37.3	9.67	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	0.0	0.0	21.6	37.3	9.67	0.0	0.00	410.0	0.85

2) Viga IPE 100

<b>Comprobaciones de resistencia</b>					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Alma	Tensión de Von Mises	N/mm <sup>2</sup>	131.94	261.90	50.38



Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del alma	En ángulo	3	50	4.1	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del alma	1.7	1.7	52.0	90.2	23.37	1.7	0.51	410.0	0.85

3) Viga HE 160 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del ala superior	En ángulo	7	160	13.0	86.28				
Soldadura del alma	En ángulo	4	104	8.0	90.00				
Soldadura del ala inferior	En ángulo	7	160	13.0	86.28				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	10.4	11.1	0.0	21.9	5.66	10.4	3.17	410.0	0.85
Soldadura del alma	0.0	0.0	4.0	7.0	1.81	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	10.0	9.4	0.0	19.1	4.95	10.0	3.05	410.0	0.85

4) Viga HE 120 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	120	11.0	90.00	
Soldadura del alma	En ángulo	3	74	6.5	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	120	11.0	90.00	



Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises				Tensión normal		f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>	
	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>  </sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>⊥</sub> (N/mm <sup>2</sup> )			Aprov. (%)
Soldadura del ala superior	18.3	18.3	0.0	36.5	9.46	18.3	5.56	410.0	0.85
Soldadura del alma	0.0	0.0	21.8	37.8	9.79	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	29.5	29.5	0.0	59.0	15.28	29.5	8.99	410.0	0.85

d) Medición

Soldaduras				
f <sub>u</sub> (kp/cm <sup>2</sup> )	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
4179.4	En taller	En ángulo	3	778
			4	1875
			6	1732
			7	760
	En el lugar de montaje	En ángulo	3	248
			4	208
			6	463
			7	616

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	4	152x155x14	10.36
	Chapas	1	155x99x7	0.85
		1	155x129x8	1.26
		1	150x145x11	1.88
		1	190x190x14	3.97
	Total			

## 4. CIMENTACIÓN

La cimentación de esta estructura estará formada únicamente por zapatas aisladas. En la base de estas se debe disponer una capa de hormigón de limpieza HL-150/B/20 con un espesor mínimo de 10 cm, tal y como indica el Código Técnico de la edificación. El hormigón a emplear en las zapatas y vigas de atado será HA-25.

El armado de estas cimentaciones estará compuesto por barras de acero corrugado B500S.

A continuación se muestra un resumen de las cimentaciones en el que incluye la cantidad de acero y hormigón utilizado así como las comprobaciones realizadas.

### 4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN

#### 4.1.1 ZAPATAS AISLADAS

Referencias	Geometría	Armado
(N4 - N8), (N1 - N7), (N30 - N31) y (N16 - N20)	Zapata rectangular centrada Ancho zapata X: 80.0 cm Ancho zapata Y: 440.0 cm Canto: 105.0 cm	Sup X: 20Ø16c/21 Sup Y: 3Ø16c/21 Inf X: 20Ø16c/21 Inf Y: 3Ø16c/21
(N9 - N11) y (N10 - N12)	Zapata rectangular centrada Ancho zapata X: 80.0 cm Ancho zapata Y: 380.0 cm Canto: 90.0 cm	Sup X: 15Ø16c/24 Sup Y: 3Ø16c/24 Inf X: 15Ø16c/24 Inf Y: 3Ø16c/24
(N13 - N19 - N26 - N32)	Zapata rectangular centrada Ancho zapata X: 140.0 cm Ancho zapata Y: 500.0 cm Canto: 120.0 cm	Sup X: 17Ø20c/29 Sup Y: 5Ø20c/29 Inf X: 17Ø20c/29 Inf Y: 5Ø20c/29

Tabla 5.3.5 Características de las zapatas

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y OBRAS PÚBLICAS

## TRABAJO FIN DE GRADO

***“PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN  
APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO  
MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA  
(BIZKAIA)”***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

***ANEJO 6- EVACUACIÓN DE AGUAS***

**Alumno/Alumna:** García, Arroyo, David

**Director/Directora:** Larrauri, Gil, Marcos

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 21, junio, 2019



# ÍNDICE

---

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.	EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES.....	2
2.1	ELEMENTOS DEL SISTEMA DE EVACUACIÓN.....	2
2.1.1	BAJANTES Y CANALONES .....	2
2.1.2	COLECTORES .....	2
2.1.3	ARQUETA A PIE DE BAJANTE .....	2
2.2	DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES.....	3
2.2.1	DIMENSIONAMIENTO MANUAL.....	3
2.2.2	DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES DE AGUAS PLUVIALES.....	7
3.	EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES .....	14
3.1	ELEMENTOS DEL SISTEMA.....	14
3.1.1	CIERRES HIDRAULICOS .....	14
3.1.2	BAJANTES .....	14
3.1.3	COLECTORES .....	14
3.1.4	ARQUETA A PIE DE BAJANTE.....	15
3.2	DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE EVACUACION DE AGUAS RESIDUALES.....	15
3.2.1	DIMENSIONAMIENTO MANUAL .....	15
3.2.2	DIMENSIONAMIENTO .....	18

## 1. INTRODUCCIÓN

La finalidad del presente anejo es describir y dimensionar los elementos que se van a utilizar para la recogida y evacuación de aguas tanto pluviales como residuales que se generen en los edificios del presente proyecto.

Para conseguir dicha finalidad se va a seguir las indicaciones del Documento Básico HS Salubridad “Sección HS 5 Evacuación de aguas”

## 2. EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES

Este sistema está compuesto por los distintos tipos de elementos necesarios para la recogida del agua pluvial y su posterior evacuación, como canalones, colectores, bajantes y arquetas.

En este apartado se van a describir los distintos elementos que van a formar parte del sistema y posteriormente se van a dimensionar. Para lo cual, tal y como se ha mencionado al inicio del anejo, se va a seguir el procedimiento que indica el Documento Básico HS Salubridad “Sección HS 5 Evacuación de aguas”.

### 2.1 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE EVACUACIÓN

#### 2.1.1 BAJANTES Y CANALONES

Las bajantes deben realizarse sin desviaciones ni retranqueos y con diámetro uniforme en toda su altura excepto. Por otro lado, no se debe disminuir el diámetro en el sentido de la corriente. Sin embargo, se podrá disponer un aumento de diámetro cuando acometan a la bajante caudales de magnitud mucho mayor que los del tramo situado aguas arriba.

#### 2.1.2 COLECTORES

Los colectores son los elementos que recogen el agua caída por las bajantes para transportarla hasta la red general de evacuación de aguas. Dichos elementos se disponen de manera horizontal con una pequeña pendiente para que el agua circule por gravedad.

Existen dos tipos de colectores, enterrados y colgados. En este proyecto, se ha decidido colocar colectores enterrados. Este tipo de colectores debe cumplir una serie de exigencias:

- Los tubos deben instalarse en zanjas de dimensiones adecuadas, siempre situados por debajo de la red de distribución de agua potable.
- La pendiente tiene que ser mayor o igual que 2%.
- La acometida de los manguetones y de las bajantes a esta red se hará con interposición de una arqueta a pie de bajante, que en ningún caso debe ser sifónica.
- Se podrán registrar para que no haya tramos superiores a 15 m.

#### 2.1.3 ARQUETA A PIE DE BAJANTE

La arqueta a pie de bajante es un elemento de conexión que se usa en redes enterradas para la unión, en este caso, de las bajantes y los colectores. Este elemento se coloca sobre cimiento de hormigón y debe tener una tapa practicable. Es de suma importancia que la arqueta solo puede ser acometida por un colector por cada cara de manera que el colector y la salida forme un ángulo igual o mayor que 90°.

La arqueta a pie de bajante se utiliza para registrar cuando la conducción vaya enterrada, como es este caso.

## 2.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES

En los siguientes apartados se van a dimensionar los sistemas de evacuación de la cubierta del campo de fútbol sala y de la cubierta perteneciente a los vestuarios determinando las dimensiones que debe de tener cada uno de los elementos que componen dichos sistemas.

Primero se va realizar el dimensionamiento manual y posteriormente se hará el dimensionamiento mediante el programa informático CYPE 2017.d a modo de comprobación.

### 2.2.1 DIMENSIONAMIENTO MANUAL

#### NÚMERO DE SUMIDEROS EN CUBIERTA

En la siguiente tabla se indica el número mínimo de sumideros que debe de tener la cubierta que depende de la superficie proyectada de la misma.

Superficie de cubierta en proyección horizontal (m <sup>2</sup> )	Nº de sumideros
$S < 100$	2
$100 \leq S < 200$	3
$200 \leq S < 500$	4
$S > 500$	1 cada 150 m <sup>2</sup>

Tabla 6.1. Número de sumideros en función de la superficie de cubierta

- Cubierta de vestuarios: El área de esta cubierta es de 262, 5 m<sup>2</sup> por lo que es necesario disponer de 4 sumideros.
- Cubierta campo de fútbol sala: El área de esta cubierta es de 630 m<sup>2</sup> por cada faldón lo cual es mayor que 500 m<sup>2</sup> por lo tanto le corresponde poner 1 sumidero cada 150 m<sup>2</sup>. Sin embargo, al dividir 630 m<sup>2</sup> entre 150 m<sup>2</sup> da un total de 4,2 sumideros por lo que se ha decidido colocar 5 sumideros por cada faldón quedando 1 sumidero cada 126 m<sup>2</sup>. Esto no supone ningún problema ya que está del lado de la seguridad.

#### CANALONES

Los valores de la siguiente tabla, correspondientes al diámetro nominal del canalón, vienen definidos para un canalón semicircular con una intensidad pluviométrica de 100 mm/h.

Máxima superficie de cubierta en proyección horizontal (m <sup>2</sup> )				Diámetro nominal de canalón (mm)
Pendiente del canalón				
0,5 %	1 %	2 %	4 %	
35	45	65	95	100
60	80	115	165	125
90	125	175	255	150
185	260	370	520	200
335	475	670	930	250

Tabla 6.2. Diámetro los canalones en función de la superficie proyectada

Para un régimen con intensidad pluviométrica diferente a 100 mm/h, se debe aplicar un factor de corrección "f" a la superficie servida, tal que:

$$f = i/100$$



siendo:

$i$  = Intensidad pluviométrica a considerar

Dicha intensidad pluviométrica depende de la zona en la que se encuentre la construcción en cuestión y se determina mediante el siguiente mapa.

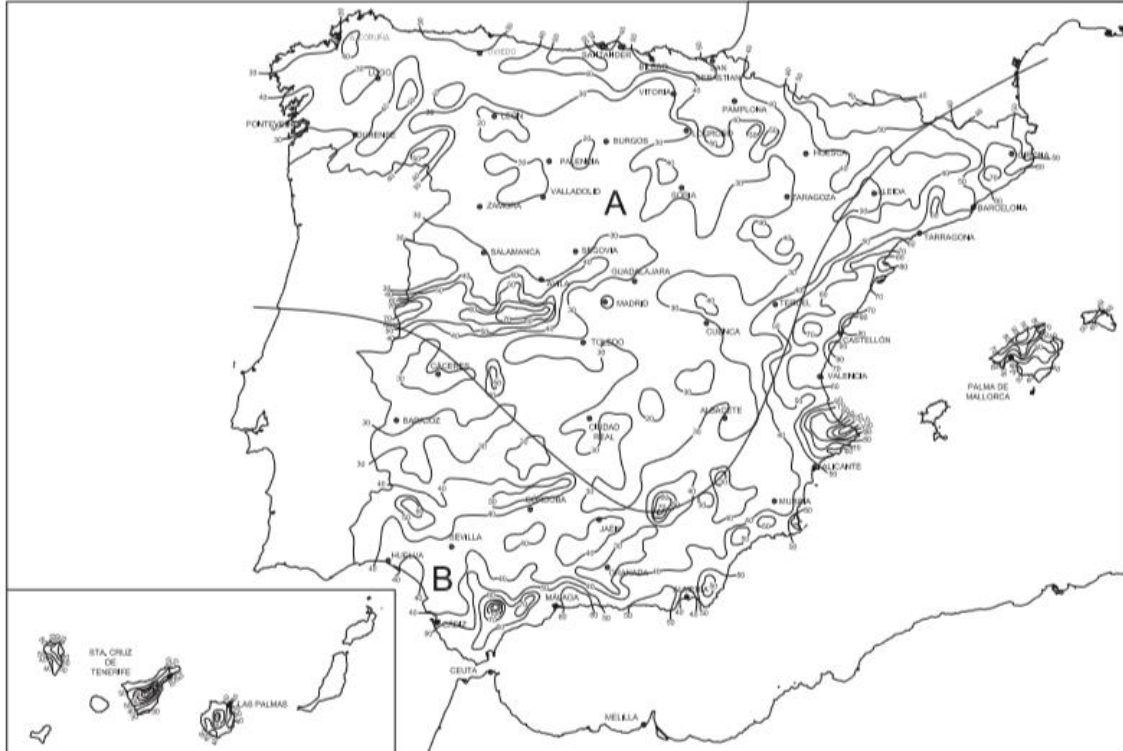


Imagen 6.1 Mapa de isoyetas zona A y zona B

	Intensidad Pluviométrica $i$ (mm/h)											
Isoyeta	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Zona A	30	65	90	125	155	180	210	240	275	300	330	365
Zona B	30	50	70	90	110	135	150	170	195	220	240	265

Tabla 6.3 Intensidades pluviométricas

Como el proyecto se va a llevar a cabo en Ermua (Bizkaia), municipio que está en la Zona A, concretamente en la isoyeta 50 con una intensidad pluviométrica es 155 mm/h. Por lo tanto:

$$f = 155/100 = 1,55$$

A continuación, se procede a aplicar el factor de corrección a la superficie de cubierta para que sean válidos los valores de la tabla 6.2 para la intensidad pluviométrica correspondiente a la dicha localidad.

- Cubierta de vestuarios:

$$S = (262,5 / 4) * 1,55 = 101,72 \text{ m}^2$$

- Cubierta campo de fútbol sala:

$$S = (630 / 5) * 1,55 = 195,3 \text{ m}^2$$

Finalmente, los diámetros nominales de los canalones semicirculares a disponer en cada una de las cubiertas son las siguientes:

- Cubierta de vestuarios: Como el área es de 101,72 y la pendiente del canalón es del 2% el diámetro nominal que le corresponde es de 125 mm.
- Cubierta campo de fútbol sala: El área es de 195,3 y la pendiente del canalón es del 2% el diámetro nominal que le corresponde es de 200 mm.

Los canalones a instalar en ambos edificios serán canalones circulares de PVC con óxido de titanio, para encolar, color gris claro, según UNE-EN 1200-1.

#### BAJANTES

Las bajantes son las conducciones que transportan el agua pluvial desde los canalones hasta los colectores enterrados. En la siguiente tabla se muestran los diámetros necesarios de las bajantes en función de la superficie, en proyección horizontal, que sirve cada bajante.

Superficie en proyección horizontal servida (m <sup>2</sup> )	Diámetro nominal de la bajante (mm)
65	50
113	63
177	75
318	90
580	110
805	125
1.544	160
2.700	200

Tabla 6.4 Diámetro de los colectores para un régimen pluviométrico de 100 mm/h

De la misma manera que en los canalones, la tabla es válida para una intensidad pluviométrica de 100 mm/h por lo que nuevamente se debe de usar la superficie en proyección horizontal multiplicada por el factor de corrección. Por lo tanto:

- Cubierta de vestuarios: El diámetro correspondiente a un área de 101,72 m<sup>2</sup> es de 63 mm.
- Cubierta campo de fútbol sala: El diámetro que se le atribuye a un área de 195,3 m<sup>2</sup> es de 90 mm.

El material de las bajantes que se instalen en el presente proyecto serán bajantes circulares de PVC con óxido de titanio, color gris claro, según UNE-EN 12200-1.

#### COLECTORES ENTERRADOS

Los colectores son los conductos que reciben el agua de las bajantes y transportan el agua hasta la red general de evacuación de aguas. Dichos conductos se calculan a sección llena en régimen permanente. En la tabla que se muestra a continuación se indican los diámetros nominales de los colectores en función de su pendiente y de la superficie a la que sirve.

Superficie proyectada (m <sup>2</sup> )			Diámetro nominal de canalón (mm)
Pendiente del colector			
1 %	2 %	4 %	
125	178	253	90
229	323	458	110
310	440	620	125
614	862	1.228	160
1.070	1.510	2.140	200
1.920	2.710	3.850	250
2.016	4.589	6.500	315

Tabla 6.5 Diámetro de los colectores para un régimen pluviométrico de 100mm/h

La tabla anterior, al igual que para las bajantes y para los canalones, es para una intensidad pluviométrica de 100 mm/h por lo que es necesario aplicar el coeficiente de corrección para poder usar dicha tabla.

En las instalaciones se van a disponer distintos diámetros de colectores ya que a medida que dicha instalación se acerca la red general, el caudal es mayor. Esto se debe a que se va acumulando el agua de las bajantes y del colector anterior. Por ello, a continuación, se muestran los diámetros a disponer en los distintos colectores de la instalación dependiendo de la superficie que sirven.

- Cubierta de vestuarios:
  - Colector 1: Área=101,72 m<sup>2</sup> y pendiente=2 % --> 90 mm.
  - Colector 2: Área=203,44 m<sup>2</sup> y pendiente=2 % --> 110 mm.
  - Colector 3: Área=305,16 m<sup>2</sup> y pendiente=2 % --> 110 mm.
  - Colector 4: Área=406,88 m<sup>2</sup> y pendiente=2 % --> 125 mm.
  
- Cubierta campo fútbol sala:
  - Colector 1: Área= 195,3 m<sup>2</sup> y pendiente=2 % -->110 mm.
  - Colector 2: Área= 390,6 m<sup>2</sup> y pendiente=2 % -->125 mm.
  - Colector 3: Área= 585,9 m<sup>2</sup> y pendiente=2 % -->160 mm.
  - Colector 4: Área= 781,2 m<sup>2</sup> y pendiente=2 % -->160 mm.
  - Colector 5: Área= 976,5 m<sup>2</sup> y pendiente=2 % --> 200 mm.

Estos colectores serán enterrados de saneamiento, de tubo de PVC liso, serie SN-2, rigidez anular nominal 2 kN/m<sup>2</sup>, según UNE-EN 1401-1, con junta elástica.

## ARQUETAS

Las arquetas son elementos de conexión que sirven para conectar las bajantes y los colectores. En la siguiente tabla se muestran las dimensiones mínimas (longitud "L" y anchura "A") que tienen que tener las arquetas en función del diámetro del colector de salida de esta.

	Diámetro del colector de salida (mm)								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
L x A (cm)	40 x 40	50 x 50	60 x 60	60 x 70	70 x 70	70 x 80	80 x 80	80 x 90	90 x 90

Tabla 6.6 Dimensiones de las arquetas

- Cubierta de vestuarios:
  - Arqueta 1: Diámetro de salida=90 mm -->Dimensiones arqueta=40 x 40
  - Arqueta 2: Diámetro de salida=110 mm -->Dimensiones arqueta=50 x 50
  - Arqueta 3: Diámetro de salida=110 mm -->Dimensiones arqueta=50 x 50
  - Arqueta 4: Diámetro de salida=125 mm -->Dimensiones arqueta=50 x 50
  
- Cubierta campo de fútbol sala:
  - Arqueta 1: Diámetro de salida=110 mm -->Dimensiones arqueta=50 x 50
  - Arqueta 2: Diámetro de salida=125 mm -->Dimensiones arqueta=50 x 50
  - Arqueta 3: Diámetro de salida=160 mm -->Dimensiones arqueta=60 x 60
  - Arqueta 4: Diámetro de salida=160 mm -->Dimensiones arqueta=60 x 60
  - Arqueta 5: Diámetro de salida=200 mm -->Dimensiones arqueta=60 x 60

### 2.2.2 DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES DE AGUAS PLUVIALES

Para el término municipal seleccionado (Ermua) la isoyeta es '10' y la zona pluviométrica 'A'. Con estos valores le corresponde una intensidad pluviométrica '155 mm/h'.

## CANALONES

- VESTUARIOS

Canalones								
Tramo	A (m <sup>2</sup> )	L (m)	i (%)	D <sub>min</sub> (mm)	I (mm/h)	C	Cálculo hidráulico	
							Y/D (%)	v (m/s)
8-9	40.81	5.83	0.50	200	155.00	1.00	-	-
11-12	40.81	5.83	0.50	200	155.00	1.00	-	-
11-13	40.88	0.01	0.50	200	155.00	1.00	-	-
15-16	40.83	5.83	0.50	200	155.00	1.00	-	-
Abreviaturas utilizadas								
A	Área de descarga al canalón Longitud				I	Intensidad pluviométrica		
L	medida sobre planos Pendiente				C	Coeficiente de escorrentía		
i	Diámetro nominal mínimo				Y/D	Nivel de llenado		
D <sub>min</sub>					v	Velocidad		

Tabla 6.7 Dimensionamiento de cana de canalones de la acometida 1 de los vestuarios

- CAMPO DE FÚTBOL SALA

Canalones								
Tramo	A (m <sup>2</sup> )	L (m)	i (%)	D <sub>min</sub> (mm)	I (mm/h)	C	Cálculo hidráulico	
							Y/D (%)	v (m/s)
8-9	78.75	5.63	0.50	200	155.00	1.00	-	-
8-10	78.75	5.63	0.50	200	155.00	1.00	-	-
15-16	78.75	5.63	0.50	200	155.00	1.00	-	-
18-19	78.75	5.63	0.50	200	155.00	1.00	-	-
Abreviaturas utilizadas								
A	Área de descarga al canalón				I	Intensidad pluviométrica		
L	Longitud medida sobre				C	Coeficiente de escorrentía		
i	planos Pendiente				Y/D	Nivel de llenado		
D <sub>min</sub>	Diámetro nominal mínimo				v	Velocidad		

Tabla 6.8 Dimensionamiento de los canalones de la acometida 1 del campo de futbol sala



Canalones								
Tramo	A (m <sup>2</sup> )	L (m)	i (%)	D <sub>min</sub> (mm)	I (mm/h)	C	Cálculo hidráulico	
							Y/D (%)	v (m/s)
27-28	78.75	5.63	0.50	200	155.00	1.00	-	-
27-29	78.75	5.63	0.50	200	155.00	1.00	-	-
32-33	78.75	5.63	0.50	200	155.00	1.00	-	-
36-37	78.75	5.63	0.50	200	155.00	1.00	-	-

Abreviaturas utilizadas			
A	Área de descarga al canalón	I	Intensidad pluviométrica
L	Longitud medida sobre	C	Coefficiente de escorrentía
i	planos Pendiente	Y/D	Nivel de llenado
D <sub>min</sub>	Diámetro nominal mínimo	v	Velocidad

Tabla 6.9 Dimensionamiento de los canalones de la acometida 2 del campo de fútbol sala

### BAJANTES

- VESTUARIOS

Bajantes (canalones)								
Ref.	A (m <sup>2</sup> )	D <sub>min</sub> (mm)	I (mm/h)	C	Cálculo hidráulico			
					Q (m <sup>3</sup> /h)	f	D <sub>int</sub> (mm)	D <sub>com</sub> (mm)
7-8	40.81	125	155.00	1.00	6.33	0.082	122	125
10-11	81.69	125	155.00	1.00	12.66	0.124	122	125
14-15	81.66	125	155.00	1.00	12.66	0.124	122	125
17-18	40.83	125	155.00	1.00	6.33	0.082	122	125

Abreviaturas utilizadas			
A	Área de descarga a la bajante	Q	Caudal
D <sub>min</sub>	Diámetro nominal mínimo	f	Nivel de llenado
I	Intensidad pluviométrica	D <sub>int</sub>	Diámetro interior comercial
C	Coefficiente de escorrentía	D <sub>com</sub>	Diámetro comercial

Tabla 6.10 Dimensionamiento de las bajantes de la acometida 1 de los vestuarios

- CAMPO DE FÚTBOL SALA

Bajantes (canalones)								
Ref.	A (m <sup>2</sup> )	D <sub>min</sub> (mm)	I (mm/h)	C	Cálculo hidráulico			
					Q (m <sup>3</sup> /h)	f	D <sub>int</sub> (mm)	D <sub>com</sub> (mm)
7-8	157.50	125	155.00	1.00	24.41	0.184	122	125
12-13	78.75	125	155.00	1.00	12.21	0.121	122	125
14-15	157.50	125	155.00	1.00	24.41	0.184	122	125
17-18	157.50	125	155.00	1.00	24.41	0.184	122	125
20-21	78.75	125	155.00	1.00	12.21	0.121	122	125
Abreviaturas utilizadas								
A	Área de descarga a la bajante				Q	Caudal		
D <sub>min</sub>	Diámetro nominal mínimo				f	Nivel de llenado		
C	Intensidad pluviométrica				D <sub>int</sub>	Diámetro interior comercial		
	Coeficiente de escorrentía				D <sub>com</sub>	Diámetro comercial		

Tabla 6.11 Dimensionamiento de las bajantes de la acometida 1 del campo de fútbol sala

Bajantes (canalones)								
Ref.	A (m <sup>2</sup> )	D <sub>min</sub> (mm)	I (mm/h)	C	Cálculo hidráulico			
					Q (m <sup>3</sup> /h)	f	D <sub>int</sub> (mm)	D <sub>com</sub> (mm)
26-27	157.50	125	155.00	1.00	24.41	0.184	122	125
31-32	157.50	125	155.00	1.00	24.41	0.184	122	125
35-36	157.50	125	155.00	1.00	24.41	0.184	122	125
39-40	78.75	125	155.00	1.00	12.21	0.121	122	125
41-42	78.75	125	155.00	1.00	12.21	0.121	122	125
Abreviaturas utilizadas								
A	Área de descarga a la bajante				Q	Caudal		
D <sub>min</sub>	Diámetro nominal mínimo				f	Nivel de llenado		
C	Intensidad pluviométrica				D <sub>int</sub>	Diámetro interior comercial		
	Coeficiente de escorrentía				D <sub>com</sub>	Diámetro comercial		

Tabla 6.12 Dimensionamiento de las bajantes de la acometida 2 del campo de fútbol sala

COLECOTRES

- VESTUARIOS

Colectores								
Tramo	L (m)	i (%)	D <sub>min</sub> (mm)	Q <sub>c</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Cálculo hidráulico			
					Y/D (%)	v (m/s)	D <sub>int</sub> (mm)	D <sub>com</sub> (mm)
1-2	1.70	2.00	160	37.97	41.71	1.47	152	160
2-3	5.87	2.00	160	37.97	41.07	1.47	154	160
3-4	11.27	2.00	160	31.64	37.20	1.40	154	160
4-5	11.26	2.00	160	18.99	28.46	1.21	154	160
5-6	11.27	4.83	160	6.33	13.30	1.20	154	160
6-7	0.57	4.41	125	6.33	19.02	1.20	119	125
5-10	0.57	39.42	125	12.66	15.63	3.19	119	125
4-14	0.57	83.21	125	12.66	13.05	4.14	119	125
3-17	0.57	127.11	125	6.33	8.48	3.90	119	125
Abreviaturas utilizadas								
L	Longitud medida sobre planos			Y/D	Nivel de llenado			
i	Pendiente			v	Velocidad			
D <sub>min</sub>	Diámetro nominal mínimo			D <sub>int</sub>	Diámetro interior comercial			
Q <sub>c</sub>	Caudal calculado con simultaneidad			D <sub>com</sub>	Diámetro comercial			

Tabla 6.13 Dimensionamiento de los colectores de la acometida 1 de los vestuarios

- CAMPOS DE FÚTBOL SALA



Colectores								
Tramo	L (m)	i (%)	D <sub>min</sub> (mm)	Q <sub>c</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Cálculo hidráulico			
					Y/D (%)	v (m/s)	D <sub>int</sub> (mm)	D <sub>com</sub> (mm)
1-2	3.85	2.00	200	97.65	50.84	1.87	190	200
2-3	8.36	2.00	200	97.65	50.09	1.87	192	200
3-4	10.79	2.00	160	85.44	67.40	1.79	154	160
4-5	10.85	2.00	160	61.03	53.99	1.66	154	160
5-6	10.85	2.00	160	36.62	40.26	1.46	154	160
6-7	3.57	1.55	125	24.41	50.86	1.20	119	125
6-11	10.91	2.78	160	12.21	20.98	1.20	154	160
11-12	3.57	2.58	125	12.21	30.29	1.20	119	125
5-14	3.57	6.31	125	24.41	34.45	2.01	119	125
4-17	3.57	11.91	125	24.41	29.19	2.53	119	125
3-20	3.57	17.51	125	12.21	18.72	2.37	119	125
Abreviaturas utilizadas								
L	Longitud medida sobre planos			Y/D v	Nivel de llenado			
i	Pendiente			D <sub>int</sub>	Velocidad			
D <sub>min</sub>	Diámetro nominal mínimo			D <sub>com</sub>	Diámetro interior comercial			
Q <sub>c</sub>	Caudal calculado con simultaneidad				Diámetro comercial			

Tabla 6.14 Dimensionamiento de los colectores de la acometida 1 del campo de futbol sala

Colectores								
Tramo	L (m)	i (%)	D <sub>min</sub> (mm)	Q <sub>c</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Cálculo hidráulico			
					Y/D (%)	v (m/s)	D <sub>int</sub> (mm)	D <sub>com</sub> (mm)
22-23	3.85	2.00	200	97.65	50.84	1.87	190	200
23-24	8.25	2.00	200	97.65	50.09	1.87	192	200
24-25	10.91	2.00	160	85.44	67.40	1.79	154	160
25-26	3,69	11.51	125	24.41	29.45	2.50	119	125
25-30	10.85	2.00	160	61.03	53.99	1.66	154	160
30-31	3.69	6.09	125	24.41	34.76	1.99	119	125
30-34	10.85	2.00	160	36.62	40.26	1.46	154	160
34-35	3.69	1.55	125	24.41	50.86	1.20	119	125
34-38	10.79	2.78	160	12.21	20.98	1.20	154	160
38-39	3.57	2.58	125	12.21	30.29	1.20	119	125
24-41	3.57	16.92	125	12.21	18.88	2.34	119	125

Abreviaturas utilizadas			
L	Longitud medida sobre planos	Y/D v	Nivel de llenado
i	Pendiente	D <sub>int</sub>	Velocidad
D <sub>min</sub>	Diámetro nominal mínimo	D <sub>com</sub>	Diámetro interior comercial
Q <sub>c</sub>	Caudal calculado con simultaneidad		Diámetro comercial

Tabla 6.15 Dimensionamiento de los colectores de la acometida 2 del campo de fútbol sala

### ARQUETAS

- VESTUARIOS

Arquetas				
Ref.	Ltr (m)	ic (%)	Dsal (mm)	Dimensiones comerciales (cm)
3	5.87	2.00	160	100x100x125 cm
4	11.27	2.00	160	100x100x115 cm
5	11.26	2.00	160	80x80x95 cm
6	11.27	4.83	160	60x60x50 cm

Abreviaturas utilizadas			
Ref.	Referencia en planos	ic	Pendiente del colector
Ltr	Longitud entre arquetas	D <sub>sal</sub>	Diámetro del colector de salida

Tabla 6.16 Dimensionamiento de las arquetas de la acometida 1 de los vestuarios

- CAMPO DE FÚTBOL SALA

Arquetas				
Ref.	Ltr (m)	ic (%)	Dsal (mm)	Dimensiones comerciales (cm)
3	8.36	2.00	200	125x125x145 cm
4	10.79	2.00	160	100x100x125 cm
5	10.85	2.00	160	100x100x105 cm
6	10.85	2.00	160	70x70x85 cm
11	10.91	2.78	160	60x60x55 cm

Abreviaturas utilizadas			
Ref.	Referencia en planos	ic	Pendiente del colector
Ltr	Longitud entre arquetas	D <sub>sal</sub>	Diámetro del colector de salida

Tabla 6.17 Dimensionamiento de las arquetas de pluviales de la acometida 1 del campo de fútbol sala

Arquetas				
Ref.	Ltr (m)	ic (%)	Dsal (mm)	Dimensiones comerciales (cm)
24	8.25	2.00	200	125x125x145 cm
25	10.91	2.00	160	100x100x125 cm
30	10.85	2.00	160	100x100x105 cm
34	10.85	2.00	160	70x70x85 cm
38	10.79	2.78	160	60x60x55 cm
Abreviaturas utilizadas				
Ref.	<i>Referencia en planos</i>		ic	Pendiente del colector
Ltr	<i>Longitud entre arquetas</i>		D <sub>sal</sub>	Diámetro del colector de salida

Tabla 6.18 Dimensionamiento de las arquetas de pluviales de la acometida 2 del campo de fútbol sala

## 3. EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

### 3.1 ELEMENTOS DEL SISTEMA

#### 3.1.1 CIERRES HIDRAULICOS

Este elemento tiene como misión evitar que los malos olores de las aguas residuales se filtren a las instalaciones. Estos cierres tienen que tener un mantenimiento exhaustivo para evitar la retención de materias sólidas y así garantizar el correcto funcionamiento del aparato.

La altura mínima de cierre hidráulico debe de ser, en este caso, 50 mm por ser de uso continuo. La altura máxima debe de ser de 100 mm. Es esencial que este elemento se instale cerca de la válvula de desagüe del aparato, para reducir la longitud del tubo sucio.

#### 3.1.2 BAJANTES

Las tuberías bajantes son conductos que llevan el agua residual generada en las instalaciones hasta los colectores. Deben realizarse sin desviaciones ni retranqueos y con diámetro uniforme en toda su altura excepto cuando existan obstáculos insalvables en su recorrido y cuando la presencia de inodoros exija un diámetro concreto desde los tramos superiores que no es superado por el resto de la bajante.

Por otro lado, el diámetro de las bajantes no se debe de disminuir en el sentido de la corriente. Cabe a destacar que se podrá disponer un aumento de diámetro cuando acometan a la bajante caudales de magnitud mucho mayor que los del tramo situado aguas arriba.

#### 3.1.3 COLECTORES

Los colectores son unas conducciones que se encargan de transportar el agua residual procedente de las bajantes hasta la red general de evacuación de aguas residuales. Estos conductos se colocan de manera horizontal con una leve pendiente descendente para permitir que el agua circule por gravedad.

En este proyecto, de los dos tipos de colectores que existen, colgados y enterrados, se ha decidido usar los segundos. Estos colectores tienen las siguientes exigencias:

- Los tubos deben instalarse en zanjas de dimensiones adecuadas siempre situados por debajo de la red de distribución de agua potable.
- La pendiente tiene que ser mayor o igual que 2%
- La acometida de los manguetones y de las bajantes a esta red se realizará con interposición de una arqueta a pie de bajante, que ningún caso debe de ser sifónica.
- Se pondrán registros para que no haya tramos superiores a 15 m.

### 3.1.4 ARQUETA A PIE DE BAJANTE

La arqueta a pie de bajante es un elemento de conexión que se utilizar en redes enterrados para la unión de las bajantes con los colectores. Dicha arqueta se instala sobre cimiento de hormigón y debe de tener una tapa accesible y practicable. Es muy importante que la arqueta solo pueda ser acometida por un colector por cara, de manera que el colector y la salida forme un ángulo igual o superior a 90º.

La arqueta a pie de bajante se usa para registro cuando, como en este caso, las conducciones sean enterradas.

## 3.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE EVACUACION DE AGUAS RESIDUALES

A continuación, se va a dimensionar el sistema de evacuación de aguas residuales del edificio de los vestuarios de manera manual y posteriormente, a modo de comprobación, se va a dimensionar mediante el programa informático CYPEMEP 2017.d

### 3.2.1 DIMENSIONAMIENTO MANUAL

#### DERIVACIONES INDIVIDUALES

Las derivaciones individuales son los conductos de unión entre cada uno de los aparatos sanitarios y el ramal colector. Sus dimensiones dependen de las unidades de desagüe (UD) que se le atribuyen a cada aparato sanitario. En la tabla 6.19 se muestran los tipos de aparatos sanitarios, así como sus UD y sus diámetros mínimos. Cabe a destacar que, al tratarse de las instalaciones de un polideportivo, su uso es público.

Tipo de aparato sanitario	Unidades de desagüe (UD)		Diámetro mínimo para el sifón y la derivación individual (mm)	
	Uso privado	Uso público	Uso privado	Uso público
Lavabo	1	2	32	40
Bidé	2	3	32	40
Ducha	2	3	40	50
Bañera (con o sin ducha)	3	4	40	50
Inodoro con cisterna	4	5	100	100
Inodoro con fluxómetro	8	10	100	100
Urinario con pedestal	-	4	-	50
Urinario suspendido	-	2	-	40
Urinario en batería	-	3.5	-	-
Fregadero doméstico	3	6	40	50
Fregadero industrial	-	2	-	40
Lavadero	3	-	40	-
Vertedero	-	8	-	100

Fuente para beber	-	0.5	-	25
Sumidero	1	3	40	50
Lavavajillas doméstico	3	6	40	50
Lavadora doméstica	3	6	40	50
Cuarto de baño (Inodoro con cisterna)	7	-	100	-
Cuarto de baño (Inodoro con fluxómetro)	8	-	100	-
Cuarto de aseo (Inodoro con cisterna)	6	-	100	-
Cuarto de aseo (Inodoro con fluxómetro)	8	-	100	-

Tabla 6.19 UD's correspondientes a los distintos aparatos sanitarios

En el proyecto se pueden diferenciar dos tipos de salas dependiendo de la cantidad de aparatos sanitarios utilizados. Por un lado, están los vestuarios 1 y 2 que son los correspondientes a cada equipo y por otro lado está el vestuario 3 que es el de los árbitros.

En las siguientes tablas se especifican los distintos aparatos sanitarios que componen cada vestuario, así como sus unidades de desagüe y los diámetros mínimos de sifones y derivaciones individuales.

- Vestuarios 1 y 2

Aparatos sanitarios	UD (c/u)	UD totales	Diámetro individual (mm)
2 Lavabos	3	6	40
2 Urinarios	2	4	40
2 Inodoros	5	10	100
8 Duchas	3	24	50

Tabla 6.20 UD's por aparato sanitario y diámetros mínimos de los vestuarios 1 y 2.

- Vestuario 3

Aparatos sanitarios	UD (c/u)	UD totales	Diámetro individual (mm)
1 Lavabo	2	2	40
1 Urinario	2	2	40
1 Inodoro	5	5	100
2 Ducha	3	6	50

Tabla 6.21 UD's por aparato sanitario y diámetros mínimos del vestuario 3.

#### *BOTES SIFÓNICOS*

Los botes sifónicos deberán tener el mismo diámetro que la válvula de desagüe que va conectada. Además, deberán tener el número y tamaño de entradas adecuado y una altura suficiente de manera que la descarga de un aparato sanitario alto no salga por otro de una altura inferior.

#### *RAMALES COLECTORES*

Los ramales colectores son las conducciones que recogen el agua residual que proviene de los botes sifónicos y la transporta hasta las bajantes. En la tabla que se muestra a continuación se



determinan los diámetros de los colectores en función del número máximo de unidades de desagüe y de la pendiente del ramal colector.

Máximo número de UD			Diámetro (mm)
Pendiente			
1 %	2 %	4 %	
-	1	1	32
-	2	3	40
-	6	8	50
-	11	14	63
-	21	28	75
47	60	75	90
123	151	181	110
180	234	280	125
438	582	800	160
870	1.150	1.680	200

Tabla 6.22 Diámetros de los ramales colectores entre aparatos sanitarios y bajante

Por lo tanto,

- Vestuarios 1 y 2

Como el máximo número de UD son 42 en cada vestuario y la pendiente es del 2%, el diámetro que les corresponde es de 90 mm. Sin embargo, al tener inodoros en la instalación, cuyo diámetro es de 100 mm, el diámetro del colector tiene que ser mayor o igual al de estos. Por lo tanto, el diámetro de cada ramal colector es de 100 mm.

- Vestuario 3

Con un número máximo de UD de 15 y una pendiente del 2%, el diámetro correspondiente a este ramal colector es de 75 mm, pero al igual que en los vestuarios 1 y 2, se trata de unas instalaciones con inodoro por lo que finalmente el diámetro del ramal colector será de 100 mm.

#### COLECTORES

El diámetro se ha calculado a partir de la siguiente tabla, en función del número máximo de unidades de desagüe y de la pendiente:

Diámetro (mm)	Máximo número de UD's Pendiente		
	1 %	2 %	4 %
50	-	20	25
63	-	24	29
75	-	38	57
90	96	130	160
110	264	321	382
125	390	480	580
160	880	1056	1300

Diámetro (mm)	Máximo número de UDs Pendiente		
	1 %	2 %	4 %
200	1600	1920	2300
250	2900	3520	4200
315	5710	6920	8290
350	8300	10000	12000

Tabla 6.23 Diámetro de los colectores en función del número máximo de UD

Los diámetros mostrados, obtenidos de la tabla 4.5 (CTE DB HS 5), garantizan que, bajo condiciones de flujo uniforme, la superficie ocupada por el agua no supera la mitad de la sección transversal de la tubería.

### 3.2.2 DIMENSIONAMIENTO

#### RED DE PEQUEÑA EVACUACIÓN

Red de pequeña evacuación												
Tramo	L (m)	i (%)	UDs	D <sub>min</sub> (mm)	Cálculo hidráulico							
					Q <sub>b</sub> (m <sup>3</sup> /h)	K	Q <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Y/D (%)	v (m/s)	D <sub>int</sub> (mm)	D <sub>com</sub> (mm)	
24-25	1.11	4.43	12.00	90	20.30	0.58	11.72	42.20	1.48	84	90	
25-26	2.16	2.00	3.00	50	5.08	1.00	5.08	-	-	44	50	
25-27	1.23	3.53	3.00	50	5.08	1.00	5.08	-	-	44	50	
25-28	1.20	3.61	3.00	50	5.08	1.00	5.08	-	-	44	50	
25-29	2.12	2.04	3.00	50	5.08	1.00	5.08	-	-	44	50	
24-30	1.71	2.52	12.00	90	20.30	0.58	11.72	49.56	1.20	84	90	
30-31	2.47	2.00	3.00	50	5.08	1.00	5.08	-	-	44	50	
30-32	1.55	3.18	3.00	50	5.08	1.00	5.08	-	-	44	50	
30-33	1.05	4.00	3.00	50	5.08	1.00	5.08	-	-	44	50	
30-34	1.71	2.89	3.00	50	5.08	1.00	5.08	-	-	44	50	
36-37	0.36	2.89	48.00	110	81.22	0.28	22.53	49.93	1.49	104	110	
37-38	0.10	2.35	36.00	110	60.91	0.33	20.30	49.92	1.34	104	110	
38-39	2.90	2.31	24.00	110	40.61	0.45	18.16	46.99	1.30	104	110	
39-40	0.16	2.57	7.00	110	11.84	1.00	11.84	36.06	1.20	104	110	
40-41	1.20	2.00	2.00	40	3.38	1.00	3.38	-	-	34	40	
40-42	0.58	4.18	5.00	110	8.46	1.00	8.46	-	-	104	110	
39-43	0.16	2.57	7.00	110	11.84	1.00	11.84	36.06	1.20	104	110	
43-44	1.20	2.00	2.00	40	3.38	1.00	3.38	-	-	34	40	
43-45	0.55	4.39	5.00	110	8.46	1.00	8.46	-	-	104	110	
39-46	0.19	2.00	5.00	110	8.46	1.00	8.46	-	-	104	110	
46-47	0.39	2.00	5.00	110	8.46	1.00	8.46	-	-	104	110	
39-48	0.46	2.00	5.00	110	8.46	1.00	8.46	-	-	104	110	
48-49	0.13	2.00	5.00	110	8.46	1.00	8.46	-	-	104	110	
38-51	0.92	2.52	12.00	90	20.30	0.58	11.72	49.56	1.20	84	90	
51-52	1.21	2.52	12.00	90	20.30	0.58	11.72	49.56	1.20	84	90	
52-53	1.72	2.42	4.00	50	6.77	1.00	6.77	-	-	44	50	
52-54	1.82	2.29	4.00	50	6.77	1.00	6.77	-	-	44	50	
52-55	1.15	3.63	2.00	40	3.38	1.00	3.38	-	-	34	40	
52-56	2.08	2.00	2.00	40	3.38	1.00	3.38	-	-	34	40	
37-58	0.79	2.83	12.00	90	20.30	0.58	11.72	47.90	1.25	84	90	
58-59	1.15	2.52	12.00	90	20.30	0.58	11.72	49.56	1.20	84	90	

Red de pequeña evacuación											
Tramo	L (m)	i (%)	UDs	D <sub>min</sub> (mm)	Cálculo hidráulico						
					Q <sub>b</sub> (m <sup>3</sup> /h)	K	Q <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Y/D (%)	v (m/s)	D <sub>int</sub> (mm)	D <sub>com</sub> (mm)
59-60	1.50	3.08	4.00	50	6.77	1.00	6.77	-	-	44	50
59-61	1.55	2.98	4.00	50	6.77	1.00	6.77	-	-	44	50
59-62	1.37	3.39	2.00	40	3.38	1.00	3.38	-	-	34	40
59-63	2.31	2.00	2.00	40	3.38	1.00	3.38	-	-	34	40
67-68	1.04	4.71	12.00	90	20.30	0.58	11.72	41.48	1.51	84	90
68-69	2.15	2.00	3.00	50	5.08	1.00	5.08	-	-	44	50
68-70	2.06	2.09	3.00	50	5.08	1.00	5.08	-	-	44	50
68-71	1.11	3.86	3.00	50	5.08	1.00	5.08	-	-	44	50
68-72	1.17	3.67	3.00	50	5.08	1.00	5.08	-	-	44	50
67-73	1.70	2.52	12.00	90	20.30	0.58	11.72	49.56	1.20	84	90
73-74	2.46	2.00	3.00	50	5.08	1.00	5.08	-	-	44	50
73-75	1.48	3.32	3.00	50	5.08	1.00	5.08	-	-	44	50
73-76	1.00	4.00	3.00	50	5.08	1.00	5.08	-	-	44	50
73-77	1.69	2.91	3.00	50	5.08	1.00	5.08	-	-	44	50
21-79	0.62	7.04	17.00	110	28.76	0.50	14.38	30.64	1.82	104	110
79-80	2.45	2.83	6.00	90	10.15	1.00	10.15	44.16	1.21	84	90
80-81	0.28	5.15	6.00	75	10.15	1.00	10.15	49.87	1.51	69	75
81-82	0.63	2.00	3.00	50	5.08	1.00	5.08	-	-	44	50
81-83	0.58	2.15	3.00	50	5.08	1.00	5.08	-	-	44	50
79-85	1.96	2.37	11.00	110	18.61	0.71	13.16	39.01	1.20	104	110
85-86	0.91	2.00	5.00	110	8.46	1.00	8.46	-	-	104	110
85-87	0.98	2.79	6.00	90	10.15	1.00	10.15	44.32	1.20	84	90
87-88	0.61	3.70	4.00	50	6.77	1.00	6.77	-	-	44	50
87-89	1.13	2.00	2.00	40	3.38	1.00	3.38	-	-	34	40

Abreviaturas utilizadas				
L	Longitud medida sobre planos		Qs	Caudal con simultaneidad (Q <sub>b</sub> x k)
i	Pendiente		Y/D	Nivel de llenado
UDs	Unidades de desagüe		v	Velocidad
D <sub>min</sub>	Diámetro nominal mínimo		D <sub>int</sub>	Diámetro interior comercial
Q <sub>b</sub>	Caudal bruto		D <sub>com</sub>	Diámetro comercial
K	Coeficiente de simultaneidad			

Tabla 6.24 Dimensionamiento de la red de pequeña evacuación de la acometida 1 de los vestuarios

### BAJANTES CON VENTILACIÓN PRIMARIA

Arquetas						
Ref.	L (m)	UDs	D <sub>min</sub> (mm)	Q <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> /h)	D <sub>int</sub> (mm)	D <sub>com</sub> (mm)
23-35	5.42	24.00	110	15.35	107	110
39-44	5.22	20.00	110	19.54	107	110
45-51	5.41	12.00	90	11.72	88	90
52-58	5.41	12.00	90	11.72	88	90

50-72	5.41	24.00	110	15.35	107	110
74-78	5.41	6.00	90	10.15	88	90
79-84	5.32	11.00	110	13.16	107	110
Abreviaturas utilizadas						
Ref.	Referencia en planos		Qt	Caudal total		
L	Longitud medida sobre planos		D <sub>int</sub>	Diámetro interior comercial		
UDs	Unidades de desagüe		D <sub>com</sub>	Diámetro comercial		
D <sub>min</sub>	Diámetro nominal mínimo					

Tabla 6.25 Bajantes de ventilación primaria de residuales de la acometida 1 de los vestuarios

### COLECTORES

Colectores											
Tramo	L (m)	i (%)	UDs	D <sub>min</sub> (mm)	Cálculo hidráulico						
					Q <sub>b</sub> (m <sup>3</sup> /h)	K	Q <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Y/D (%)	v (m/s)	D <sub>int</sub> (mm)	D <sub>com</sub> (mm)
19-20	6.85	2.00	113.00	160	191.20	0.17	32.79	38.49	1.41	152	160
20-21	12.08	2.00	113.00	160	191.20	0.17	32.79	37.92	1.41	154	160
21-22	4.45	2.00	96.00	160	162.43	0.19	30.16	36.25	1.38	154	160
22-23	0.43	2.12	24.00	110	40.61	0.38	15.35	43.79	1.20	104	110
23-24	0.15	4.22	24.00	90	40.61	0.38	15.35	49.90	1.56	84	90
22-36	7.40	2.00	72.00	160	121.82	0.22	26.58	33.90	1.33	154	160
36-65	7.34	2.30	24.00	160	40.61	0.38	15.35	24.66	1.20	154	160
65-66	0.45	2.12	24.00	110	40.61	0.38	15.35	43.79	1.20	104	110
66-67	0.18	4.22	24.00	90	40.61	0.38	15.35	49.90	1.56	84	90
Abreviaturas utilizadas											
L	Longitud medida sobre planos				Q <sub>s</sub>	Caudal con simultaneidad (Q <sub>b</sub> x k)					
i	Pendiente				Y/D	Nivel de llenado					
UDs	Unidades de desagüe				v	Velocidad					
D <sub>min</sub>	Diámetro nominal mínimo				D <sub>int</sub>	Diámetro interior comercial					
Q <sub>b</sub>	Caudal bruto				D <sub>com</sub>	Diámetro comercial					
K	Coeficiente de simultaneidad										

Tabla 6.26 Dimensionamiento de los colectores de residuales de la acometida 1 de los vestuarios

### ARQUETAS

Arquetas				
Ref.	Ltr (m)	ic (%)	D <sub>sal</sub> (mm)	Dimensiones comerciales (cm)
21	12.08	2.00	160	80x80x95 cm
22	4.45	2.00	160	70x70x85 cm
36	7.40	2.00	160	60x60x70 cm
65	7.34	2.30	160	60x60x55 cm



<b>Arquetas</b>				
Ref.	Ltr (m)	ic (%)	D <sub>sal</sub> (mm)	Dimensiones comerciales (cm)
Abreviaturas utilizadas				
Ref.	Referencia en planos		ic	Pendiente del colector
Ltr	Longitud entre arquetas		D <sub>sal</sub>	Diámetro del colector de salida

Tabla 6.27 Dimensionamiento de las arquetas de residuales de la acometida 1 de los vestuarios

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y OBRAS PÚBLICAS

## TRABAJO FIN DE GRADO

***“PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA (BIZKAIA)”***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

***ANEJO 7- SUMINISTRO DE AGUA POTABLE***

**Alumno/Alumna:** García, Arroyo, David

**Director/Directora:** Larrauri, Gil, Marcos

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 21, junio, 2019

# ÍNDICE

---

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.	DISEÑO DE LA INSTALACIÓN .....	3
3.	ELEMENTOS DE LA RED DE ABASTECIMIENTO.....	3
3.1	ACOMETIDA.....	3
3.2	INSTALACIÓN GENERAL.....	4
3.2.1	LLAVE DE CORTE GENERAL.....	4
3.2.2	FILTRO DE INSTALACIÓN GENERAL .....	4
3.2.3	CONTADOR GENERAL.....	4
3.2.4	GRIFO O RACOR DE PRUEBA .....	4
3.2.5	VALVULA DE RETENCIÓN .....	4
3.2.6	LLAVE DE SALIDA.....	4
3.2.7	ARMARIO DE CONTADOR GENERAL.....	4
3.2.8	MONTANTES .....	5
3.3	INSTALACIÓN PARTICULAR.....	5
3.4	SISTEMAS DE CONTROL Y REGULACIÓN DE PRESIÓN .....	5
3.4.1	GRUPO DE PRESIÓN .....	5
3.4.2	VÁLVULAS LIMITADORAS DE PRESIÓN.....	5
4.	DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO .....	6
4.1	APARATOS SANITARIOS DE LA INSTALACIÓN.....	6
4.2	CONDICIONES MINIMAS DE SUMINISTRO .....	6
4.3	REDES DE DISTRIBUCIÓN.....	6
4.4	COMPROBACIÓN DE LA PRESIÓN.....	7
4.5	DERIVACIONES A CUERTOS HÚMEDOS Y RAMALES DE ENLACE.....	8
4.6	REDES DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS) .....	8
4.6.1	REDES DE IMPULSIÓN .....	8
4.6.2	REDES DE RETORNO .....	8
4.6.3	AISLAMIENTO TÉRMICO.....	9
4.6.4	DILATADORES.....	9
4.7	EQUIPOS, ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS DE LA INSTALACIÓN .....	9
4.7.1	CONTADORES.....	9
4.8	CÁLCULO HIDRÁULICO .....	10
4.8.1	ACOMETIDAS.....	10
4.8.2	TUBOS DE ALIMENTACIÓN.....	10



4.8.3	INSTALACIONES PARTICULARES.....	11
4.8.4	PRODUCCIÓN DE ACS.....	11
4.8.5	BOMBAS DE CIRCULACIÓN.....	12



## 1. INTRODUCCIÓN

La finalidad del presente anejo consiste en determinar y dimensionar los elementos necesarios para el sistema de abastecimiento de agua potable que ira desde la red general de suministro de agua hasta el edificio de los vestuarios y sala de mantenimiento.

Para dicha finalidad se va a seguir el Documento Básico HS Salubridad en su sección “HS 4 Suministro de agua”

## 2. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

La instalación de los vestuarios estará compuesta por la acometida, por una instalación general (con un tubo alimentador, un distribuidor principal y las derivaciones colectivas) y por un contador general para todo el recinto. El DB HS 4, para este tipo de diseño propone el esquema que se muestra a continuación:

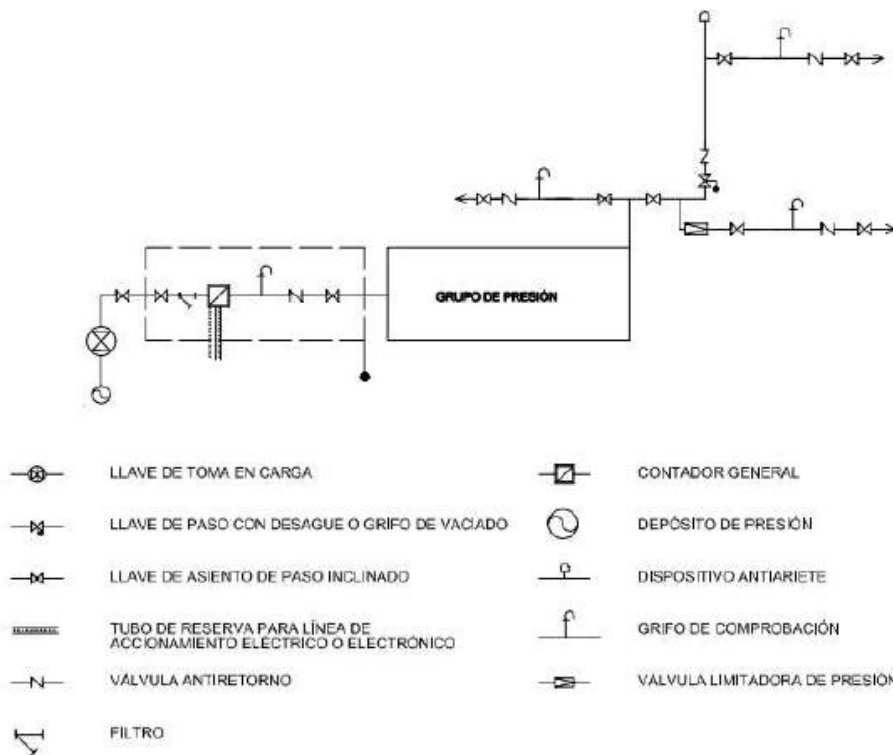


Imagen 7.1 Esquema de la instalación de suministro de agua de los vestuarios

## 3. ELEMENTOS DE LA RED DE ABASTECIMIENTO

Se mencionarán uno a uno los elementos principales que van a componer la red de abastecimiento. De esta manera se comprenderá mejor el funcionamiento de dicha red.

### 3.1 ACOMETIDA

Es el elemento que sirve de conexión entre la red general de suministro de agua hasta la edificación en la que se vaya a instalar el sistema de abastecimiento. La acometida está compuesta por los siguientes elementos:

- Llave de toma (sobre la tubería de distribución) que permita abrir el paso a la acometida.

- Tubo de acometida que enlaza la llave de toma con la llave de corte general.
- Llave de corte en el exterior de la propiedad.

### 3.2 INSTALACIÓN GENERAL

La Instalación general, tal y como se indica en el esquema del apartado 3 contendrá los siguientes elementos:

1. Llave de corte general
2. Filtro de instalación general
3. Contador general
4. Grifo o racor de prueba
5. Válvula de retención
6. Llave de salida

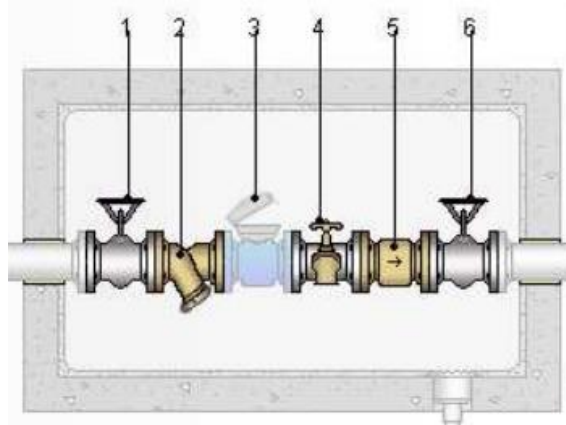


Imagen 7.2 Croquis instalación general

#### 3.2.1 LLAVE DE CORTE GENERAL

Es la llave que servirá para interrumpir el suministro total al edificio y deberá estar situado dentro de la propiedad, siempre en una zona común, de manera que sea accesible para su manipulación y correctamente señalizada para que no haya dificultades de identificación.

#### 3.2.2 FILTRO DE INSTALACIÓN GENERAL

El filtro de instalación general es un elemento de contención de los residuos que se puedan generar debido a las corrosiones en las canalizaciones metálicas. Deberá ser instalado justo después de la llave de corte general.

#### 3.2.3 CONTADOR GENERAL

Es el elemento encargado de hacer las lecturas del consumo general del agua del edificio. Contarán con una preinstalación de lectura a distancia.

#### 3.2.4 GRIFO O RACOR DE PRUEBA

Es un grifo que permite la salida del agua que pasa por ese lugar para comprobar si funciona correctamente el contador, para vaciar la montante hasta el contador... Se coloca seguido al contador general.

#### 3.2.5 VALVULA DE RETENCIÓN

Es el elemento encargado en impedir el paso del flujo de agua en sentido contrario al programado, protegiendo así, posibles contaminaciones por múltiples causas.

#### 3.2.6 LLAVE DE SALIDA

La llave de salida es la encargada de abrir o cerrar el flujo de agua al edificio al que se está abasteciendo el agua.

#### 3.2.7 ARMARIO DE CONTADOR GENERAL

El armario de contador general es el encargado de contener todos los elementos de la instalación general mencionados anteriormente, en el orden que se han descrito. Se debe de instalar en un plano paralelo al suelo.

### 3.2.8 MONTANTES

Son los conductos que llevan el agua hasta las instalaciones particulares. Deben ir por unos huecos destinados para ello y deberán de estar en una zona común.

Dichas montantes, en el caso de que sean verticales, deberán tener una válvula de retención en su base, una llave de corte para su mantenimiento y una llave de paso con grifo de vaciado en una zona accesible y señalada. En la parte superior se deberán de instalar elementos de purga y una cámara de reducción de la velocidad del agua.

### 3.3 INSTALACIÓN PARTICULAR

Dispondrán de una llave de paso accesible en el interior de la propiedad o local y de unas derivaciones interiores para independizar cada local húmedo. Desde estas derivaciones partirán unos ramales de enlace que llevarán el agua hasta los puntos de consumos. Todos los puntos de consumo dispondrán de una llave de corte individual.

1. Tuberías
2. Llave de paso

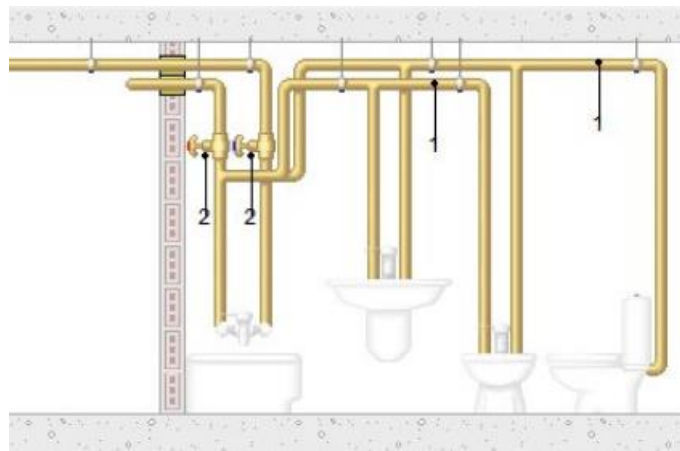


Imagen 7.3 Croquis de la instalación particular

### 3.4 SISTEMAS DE CONTROL Y REGULACIÓN DE PRESIÓN

Es de suma importancia tener unos sistemas que permitan regular la presión del agua que va a circular por la red de suministro con el fin de evitar daños no deseados. La instalación de proyecto contará con un grupo de presión y varias válvulas limitadoras de presión.

#### 3.4.1 GRUPO DE PRESIÓN

Es un sistema que se debe de diseñar para que pueda suministrar a zonas del edificio alimentables con presión de red, sin necesidad de la puesta en marcha del grupo.

Existen dos tipos de grupos de bombeo, pero para el presente proyecto se va a utilizar de tipo convencional. Este tipo de grupo de presión contará con un depósito auxiliar de alimentación, que evite la toma de agua directa por el equipo de bombeo. También contará con un equipo de bombeo compuesto por dos bombas de iguales características y de funcionamiento alterno que deberán ir montadas en paralelo. Por último, se instalarán depósitos de presión de membrana, conectados a dispositivos de valoración de parámetros de presión para su puesta en marcha y parada automática.

#### 3.4.2 VÁLVULAS LIMITADORAS DE PRESIÓN

Se tratan de válvulas que se colocan en el ramal o derivación pertinente para que no se supere la presión de servicio máxima.

## 4. DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO

Se va a dimensionar la red de abastecimiento de agua potable para los vestuarios de manera que se determinaran las características y dimensiones que van a tener los elementos de la instalación. Dicho dimensionamiento se ha realizado mediante el programa informático CYPE 2017.d.

### 4.1 APARATOS SANITARIOS DE LA INSTALACIÓN

La instalación que se va a dimensionar cuenta con los siguientes aparatos sanitarios a los que se ha de abastecer son:

Aparato sanitario	Vestuario 1	Vestuario 2	Vestuario 3	Total vestuarios
Duchas	8	8	2	18
Lavabos	3	3	1	7
Urinaris (fluxor)	2	2	1	5
Inodoros (cisterna)	2	2	1	5

Tabla 7.1 Unidades de aparatos sanitarios

### 4.2 CONDICIONES MINIMAS DE SUMINISTRO

En la siguiente tabla se muestran los caudales mínimos que se deberá suministrar a los aparatos sanitarios del proyecto dependiendo si dicho suministro es de agua fría o agua caliente sanitaria (ACS) así como la presión mínima.

Condiciones mínimas de suministro a garantizar en cada punto de consumo			
Tipo de aparato	Q <sub>min</sub> AF (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>min</sub> A.C.S. (m <sup>3</sup> /h)	P <sub>min</sub> (m.c.a.)
Ducha	0.72	0.360	12
Lavabo	0.36	0.234	12
Urinario con fluxor	1.80	-	12
Inodoro con cisterna	0.36	-	12
Abreviaturas utilizadas			
Q <sub>min</sub> AF	Caudal instantáneo mínimo de agua fría		P <sub>min</sub> Presión mínima
Q <sub>min</sub> A.C.S.	Caudal instantáneo mínimo de A.C.S.		

Tabla 7.2 Caudal mínimo y presión mínima de cada aparato sanitario

La presión en cualquier punto de consumo no es superior a 40 m.c.a lo cual cumple con la Norma. Además, Se debe de tener en cuenta que la temperatura de ACS en los puntos de consumo tiene que estar comprendida entre 50°C y 65°C.

### 4.3 REDES DE DISTRIBUCIÓN

Inicialmente se realiza un primer dimensionamiento seleccionando el tramo más desfavorable de manera que se obtiene unos diámetros que serán comprobados en función de las pérdidas de carga siguiendo las siguientes formula:

$$\lambda = 0,25 \cdot \left[ \log \left( \frac{\varepsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{5,47}{Re^{0,9}} \right) \right]^{-2}$$

### FACTOR DE FRICCIÓN

Siendo,

$\epsilon$ : Rugosidad absoluta

D: Diámetro (mm)

Re: Número de Reynolds

### PÉRDIDAS DE CARGA LINEALES

$$J = f(Re, \epsilon_r) \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Siendo,

Re: Número de Reynolds

$\epsilon_r$ : Rugosidad relativa

L: Longitud (m)

D: Diámetro (mm)

V: Velocidad (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

### MONTANTES E INSTALACIÓN INTERIOR

$$Q_c = Q_t$$

Siendo,

$Q_c$ : Caudal simultáneo (l/s)

$Q_t$ : Caudal bruto (l/s)

$$Q_c = 4,4 \cdot Q_t^{0,27} - 3,41$$

Siendo,

$Q_c$ : Caudal simultáneo (l/s)

$Q_t$ : Caudal bruto (l/s)

La obtención del caudal de cálculo en cada tramo se realiza mediante el producto del caudal máximo por el coeficiente de simultaneidad correspondiente.

La velocidad de cálculo tiene que estar entre:

- 0,5 y 1,5 m/s para tuberías metálicas
- 0.5 y 2.5 m/s para tuberías termoplásticas y multicapas.

La obtención del diámetro de las tuberías en cada tramo depende del caudal y de la velocidad.

### 4.4 COMPROBACIÓN DE LA PRESIÓN

Tras comprobar la presión en la instalación se ha determinado que la presión disponible en el punto de consumo más desfavorable supera los valores mínimos que se indicaban anteriormente en el apartado 3.3 "Condiciones mínimas de suministro". También se ha determinado que en todos los puntos de consumo no se supera el valor máximo indicado en el mismo apartado, de acuerdo con lo siguiente:

Se ha determinado la pérdida de presión del circuito sumando las pérdidas de presión total de cada tramo. Las pérdidas de carga localizadas se estiman en un 20% al 30% de la producida sobre la longitud real del tramo y se evalúan los elementos de la instalación donde es conocida la pérdida de carga localizada sin necesidad de estimarla.

Se ha comprobado la suficiencia de la presión disponible: una vez obtenidos los valores de las pérdidas de presión del circuito, se ha comprobado si son sensiblemente iguales a la presión disponible que queda después de descontar a la presión total, la altura geométrica y la residual del punto de consumo más desfavorable.

#### 4.5 DERIVACIONES A CUERTOS HÚMEDOS Y RAMALES DE ENLACE

Los ramales de enlace a los aparatos sanitarios de cada uno de los cuartos húmedos se han dimensionado teniendo en cuenta los criterios que se han descrito a lo largo de del apartado de dimensionamiento, quedando de la siguiente manera:

<b>Diámetros mínimos de derivaciones a los aparatos</b>		
Aparato o punto de consumo	Diámetro nominal del ramal de enlace	
	Tubo de acero (")	Tubo de cobre o plástico (mm)
Ducha	---	16
Lavabo	---	16
Urinario con fluxor	---	25
Inodoro con cisterna	---	16

Tabla 7.3 Diámetros mínimos de derivaciones a los aparatos

En el resto de ramales de enlace de la red de suministro se ha tenido en cuenta los diámetros de cada aparato sanitario y han sido dimensionados en consecuencia.

Los diámetros de los diferentes tramos que componen la red de suministro se han dimensionado teniendo en cuenta el procedimiento que se describe en el apartado de "Redes de distribución" de manera que quedan los siguientes diámetros mínimos:

<b>Diámetros mínimos de alimentación</b>		
Tramo considerado	Diámetro nominal del tubo de alimentación	
	Acero (")	Cobre o plástico (mm)
Alimentación a cuarto húmedo privado: baño, aseo, cocina.	3/4	20
Alimentación a derivación particular: vivienda, apartamento, local comercial	3/4	20
Columna (montante o descendente)	3/4	20
Distribuidor principal	1	25

Tabla 7.4 Diámetros mínimos de alimentación

#### 4.6 REDES DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS)

##### 4.6.1 REDES DE IMPULSIÓN

Para las redes de impulsión, es decir, para las redes de ida de ACS se ha llevado a cabo el mismo procedimiento de cálculo y dimensionamiento que se ha utilizado en las redes de agua fría anteriormente analizadas.

##### 4.6.2 REDES DE RETORNO

Para establecer el caudal que circulará por el circuito de retorno, se ha estimado que. En el grifo más alejado de la instalación, la pérdida de temperatura será como máximo de 3°C desde su salida del acumulador o intercambiador en su caso. No se circularán menos de 250 l/h en cada columna para poder efectuar un equilibrado hidráulico correcto.

El caudal de retorno se ha estimado con unas reglas empíricas en las que se considera que recircula un 10% del agua de alimentación y que el diámetro interior de las tuberías que se van a instalar es de, como mínimo, de 16 mm.

De esta manera, en la tabla que se presenta a continuación se indican los diámetros de las redes de retorno en función del caudal recirculado:

<b>Relación entre diámetro de tubería y caudal recirculado de A.C.S.</b>	
Diámetro de la tubería (pulgadas)	Caudal recirculado (l/h)
1/2	140
3/4	300
1	600
1 <sup>1/4</sup>	1100
1 <sup>1/2</sup>	1800
2	3300

Tabla 7.5 Relación entre el diámetro de tubería y el caudal recirculado de ACS

#### 4.6.3 AISLAMIENTO TÉRMICO

El espesor del aislamiento térmico de las conducciones, tanto de impulsión como de retorno, se han dimensionado según lo indicado en el “Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)” y sus Instrucciones complementarias (ITE)”. De esta manera, los aislamientos térmicos colocados a lo largo de toda la instalación son los siguientes:

- Aislamiento térmico de tuberías en instalación interior de A.C.S., colocada superficialmente, para la distribución de fluidos calientes (de +60°C a +100°C), formado por coquilla de espuma elastomérica. Se ha colocado este tipo de aislamiento con los siguientes diámetros interiores y espesores:
  - 43,5 mm de diámetro interior y 30 mm de espesor.
  - 36 mm de diámetro interior y 25 mm de espesor.
  - 26 mm de diámetro interior y 25 mm de espesor.
  - 23 mm de diámetro interior y 25 mm de espesor.
  - 19 mm de diámetro interior y 25 mm de espesor.
- Aislamiento térmico de tuberías en instalación interior de A.C.S., empotrada en paramento, para la distribución de fluidos calientes (de +40°C a +60°C), formado por coquilla de espuma elastomérica, con un elevado factor de resistencia a la difusión del vapor de agua, de 16,0 mm de diámetro interior y 9,5 mm de espesor.

#### 4.6.4 DILATADORES

En los tramos rectos sin conexiones intermedias cuya longitud sea superior a 25 metros se deben adoptar las medidas necesarias colocando dilatadores para evitar posibles tensiones excesivas provocadas por las dilataciones y contracciones que producen las variaciones de temperatura. El punto más adecuado para poner los dilatadores se ubica equidistante de las derivaciones más próximas en los montantes.

Para los materiales metálicos se ha aplicado lo indicado en la norma UNE 100 156:1989 y para los materiales termoplásticos lo indicado en la norma UNE ENV 12 108:2002.

### 4.7 EQUIPOS, ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS DE LA INSTALACIÓN

#### 4.7.1 CONTADORES

El calibre nominal del contador se adecuará a los caudales nominales y máximos de la instalación, tanto en agua caliente como en agua fría

## 4.8 CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se incluye un resumen del cálculo hidráulico de los elementos que componen la instalación de abastecimiento de agua potable para los vestuarios del proyecto.

### 4.8.1 ACOMETIDAS

La acometida a instalar en el proyecto será un tubo de polietileno PE-100, de PN= 10 atm, según lo establecido en la norma UNE-EN ISO 12201-2. En la siguiente tabla se muestran las principales características de dicho tubo:

Cálculo hidráulico de las acometidas												
Tramo	L <sub>r</sub> (m)	L <sub>t</sub> (m)	Q <sub>b</sub> (m <sup>3</sup> /h)	K	Q (m <sup>3</sup> /h)	h (m.c.a.)	D <sub>int</sub> (mm)	D <sub>com</sub> (mm)	v (m/s)	J (m.c.a.)	P <sub>ent</sub> (m.c.a.)	P <sub>sal</sub> (m.c.a.)
1-2	3.06	3.67	26.28	0.56	14.82	0.30	44.00	50.00	2.71	0.61	39.50	38.59
Abreviaturas utilizadas												
L <sub>r</sub>	Longitud medida sobre planos						D <sub>int</sub>	Diámetro interior				
L <sub>t</sub>	Longitud total de cálculo (L <sub>r</sub> + L <sub>eq</sub> )						D <sub>com</sub>	Diámetro comercial				
Q <sub>b</sub>	Caudal bruto						v	Velocidad				
K	Coeficiente de simultaneidad						J	Pérdida de carga del tramo				
Q	Caudal, aplicada simultaneidad (Q <sub>b</sub> × K)						P <sub>ent</sub>	Presión de entrada				
h	Desnivel						P <sub>sal</sub>	Presión de salida				

Tabla 7.6 Descripción de las acometidas

### 4.8.2 TUBOS DE ALIMENTACIÓN

Los tubos que componen la instalación de alimentación de agua potable serán de acero galvanizado estirado sin soldadura según lo indicado en la Norma UNE 19048. Las características principales de estos tubos se resumen en la siguiente tabla:

Cálculo hidráulico de los tubos de alimentación												
Tramo	L <sub>r</sub> (m)	L <sub>t</sub> (m)	Q <sub>b</sub> (m <sup>3</sup> /h)	K	Q (m <sup>3</sup> /h)	h (m.c.a.)	D <sub>int</sub> (mm)	D <sub>com</sub> (mm)	v (m/s)	J (m.c.a.)	P <sub>ent</sub> (m.c.a.)	P <sub>sal</sub> (m.c.a.)
2-3	6.79	8.15	26.28	0.56	14.82	-0.30	53.10	50.00	1.86	0.56	34.59	33.83
Abreviaturas utilizadas												
L <sub>r</sub>	Longitud medida sobre planos						D <sub>int</sub>	Diámetro interior				
L <sub>t</sub>	Longitud total de cálculo (L <sub>r</sub> + L <sub>eq</sub> )						D <sub>com</sub>	Diámetro comercial				
Q <sub>b</sub>	Caudal bruto						v	Velocidad				
K	Coeficiente de simultaneidad						J	Pérdida de carga del tramo				
Q	Caudal, aplicada simultaneidad (Q <sub>b</sub> × K)						P <sub>ent</sub>	Presión de entrada				
h	Desnivel						P <sub>sal</sub>	Presión de salida				

Tabla 7.7 Descripción de los tubos de alimentación



## 4.8.3 INSTALACIONES PARTICULARES

Todas las instalaciones particulares estarán compuestas con tubos de polietileno reticulado (PE-X), serie 5, PN=6 atm, según establece la Norma UNE-EN ISO 15875-2. En la tabla 7.8 se indican las características de los tubos de dichas instalaciones particulares.

Cálculo hidráulico de las instalaciones particulares													
Tramo	T <sub>tub</sub>	L <sub>r</sub> (m)	L <sub>t</sub> (m)	Q <sub>b</sub> (m <sup>3</sup> /h)	K	Q (m <sup>3</sup> /h)	h (m.c.a.)	D <sub>int</sub> (mm)	D <sub>com</sub> (mm)	v (m/s)	J (m.c.a.)	P <sub>ent</sub> (m.c.a.)	P <sub>sal</sub> (m.c.a.)
3-4	Instalación interior (F)	3.60	4.32	26.28	0.56	14.82	3.43	51.40	63.00	1.98	0.33	33.83	30.06
4-5	Instalación interior (F)	4.04	4.85	8.12	0.92	7.45	-1.70	32.60	40.00	2.48	1.00	30.06	30.77
5-6	Instalación interior (C)	12.20	14.64	8.12	0.92	7.45	1.71	32.60	40.00	2.48	3.01	29.77	25.05
6-7	Instalación interior (C)	11.06	13.27	7.16	0.95	6.80	0.00	32.60	40.00	2.26	2.30	25.05	22.75
7-8	Instalación interior (C)	4.46	5.35	3.58	1.00	3.58	-3.44	26.20	32.00	1.85	0.83	22.75	24.85
8-9	Cuarto húmedo (C)	7.97	9.56	3.58	1.00	3.58	3.61	26.20	32.00	1.85	1.49	24.85	19.75
9-10	Cuarto húmedo (C)	3.30	3.96	3.35	1.00	3.35	0.19	26.20	32.00	1.73	0.54	19.75	19.01
10-11	Cuarto húmedo (C)	1.00	1.20	3.11	1.00	3.11	0.00	26.20	32.00	1.60	0.14	19.01	18.87
11-12	Cuarto húmedo (C)	0.39	0.47	2.88	1.00	2.88	0.00	20.40	25.00	2.45	0.17	18.87	18.70
12-13	Cuarto húmedo (C)	1.25	1.50	1.44	1.00	1.44	-0.08	16.20	20.00	1.94	0.47	18.70	18.31
13-14	Cuarto húmedo (C)	2.82	3.38	1.08	1.00	1.08	-0.10	12.40	16.00	2.48	2.34	18.31	16.07
14-15	Cuarto húmedo (C)	1.22	1.46	0.72	1.00	0.72	0.00	12.40	16.00	1.66	0.48	16.07	15.60
15-16	Puntal (C)	3.87	4.64	0.36	1.00	0.36	-2.53	12.40	16.00	0.83	0.43	15.60	17.69
Abreviaturas utilizadas													
T <sub>tub</sub>	Tipo de tubería: F (Agua fría), C (Agua caliente)					D <sub>int</sub>	Diámetro interior						
L <sub>r</sub>	Longitud medida sobre planos					D <sub>com</sub>	Diámetro comercial						
L <sub>t</sub>	Longitud total de cálculo (L <sub>r</sub> + L <sub>no</sub> )					v	Velocidad						
Q <sub>b</sub>	Caudal bruto					J	Pérdida de carga del tramo						
K	Coeficiente de simultaneidad					P <sub>ent</sub>	Presión de entrada						
Q	Caudal, aplicada simultaneidad (Q <sub>b</sub> x K)					P <sub>sal</sub>	Presión de salida						
h	Desnivel												
Instalación interior: Llave de abonado (Llave de abonado)													
Punto de consumo con mayor caída de presión (Du): Ducha													

Tabla 7.8 Descripción de las instalaciones particulares

## 4.8.4 PRODUCCIÓN DE ACS

Para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) se ha instalado una caldera cuyo caudal se indica en la tabla que se presenta a continuación.

Cálculo hidráulico de los equipos de producción de A.C.S.		
Referencia	Descripción	Q <sub>cal</sub> (m <sup>3</sup> /h)
Llave de abonado	Caldera a gas para calefacción y ACS	7.45
Abreviaturas utilizadas		
Q <sub>cal</sub>	Caudal de cálculo	

Tabla 7.9 Descripción de los equipos de producción de ACS



#### 4.8.5 BOMBAS DE CIRCULACIÓN

Las especificaciones de bomba de circulación se definen en la siguiente tabla:

<b>Cálculo hidráulico de las bombas de circulación</b>			
Ref	Descripción	Q <sub>cal</sub> (m <sup>3</sup> /h)	P <sub>cal</sub> (m.c.a.)
	Electrobomba centrífuga, de hierro fundido, de tres velocidades, con una potencia de 0,071 kW	0.95	0.65
Abreviaturas utilizadas			
Ref	Referencia de la unidad de ocupación a la que pertenece la bomba de circulación	P <sub>cal</sub>	Presión de cálculo
Q <sub>cal</sub>	Caudal de cálculo		

Tabla 7.10 Descripción de la bomba de circulación

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y OBRAS PÚBLICAS

## TRABAJO FIN DE GRADO

***“PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN  
APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO  
MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA  
(BIZKAIA)”***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

***ANEJO 8- CLIMATIZACIÓN Y GAS***

**Alumno/Alumna:** García, Arroyo, David

**Director/Directora:** Larrauri, Gil, Marcos

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 21, junio, 2019

# ÍNDICE

---

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2.EXIGENCIAS TÉCNICAS .....	2
2.1    EXIGENCIA DE BIENESTAR E HIGIENE .....	2
2.1.1    EXIGENCIA DE LA CALIDAD TÉRMICA DEL AMBIENTE.....	2
2.1.2    EXIGENCIA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR .....	3
FILTRACIÓN DE AIRE EXTERIOR.....	3
2.1.3    EXIGENCIA DE HIGIENE .....	3
2.1.4    EXIGENCIA DE CALIDAD ACÚSTICA .....	4
2.2    EXIGENCIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	4
2.2.1    EXIGENCIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA GENERACIÓN DE CALOR Y FRIO. ....	4
2.2.2    EXIGENCIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS REDES DE TUBERIAS Y CONDUCTOS DE CALOR Y FRIO .....	5
2.2.3    EXIGENCIA DE EFICIENCIA ENERGETICA EN EL CONTROL DE INSTALACIONES TÉRMICAS.....	7
2.2.4    EXIGENCIA DE RECUPERACIÓN DE ENERGIA.....	8
2.2.5    EXIGENCIA DE APROVECHAMIENTO DE ENERGIAS RENOVABLES .....	9
2.2.6    EXIGENCIA DE LA UTILIZACIÓN DE ENERGIA CONVENCIONAL .....	9
2.2.7    EQUIPOS CONSUMIDORES DE ENERGÍA EMPLEADOS .....	9
2.3    EXIGENCIA DE SEGURIDAD.....	9
2.3.1    EXIGENCIA DE SEGURIDAD EN LAS REDES DE CALOR Y FRÍO .....	9
2.3.2    EXIGENCIA DE SEGURIDAD Y UTILIZACIÓN .....	9
3. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN .....	10
3.1    SISTEMAS DE CONDUCCIÓN DE AIRE .....	10
3.2    SISTEMAS DE CONDUCCIÓN DE AGUA.....	11
3.3    EMISORES DE CALEFACCIÓN .....	14
4. INSTALACIÓN DE GAS.....	15

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este anejo es determinar las características de la instalación del sistema de climatización únicamente de los vestuarios ya que el campo de fútbol sala no dispondrá dicho sistema. Esta instalación estará compuesta por un sistema de calefacción mediante radiadores y por un sistema de conductos de ventilación para mejorar la calidad del aire.

Dicho dimensionamiento se ha obtenido con la ayuda del programa informático CYPE MEP 2017.d que cumple con todas las exigencias técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

## 2. EXIGENCIAS TÉCNICAS

Las instalaciones térmicas del edificio objeto del presente proyecto han sido diseñadas y calculadas de forma que:

- Se obtiene una calidad térmica del ambiente, una calidad del aire interior y una calidad de la dotación de agua caliente sanitaria que son aceptables para los usuarios de la vivienda sin que se produzca menoscabo de la calidad acústica del ambiente, cumpliendo la exigencia de bienestar e higiene.
- Se reduce el consumo de energía convencional de las instalaciones térmicas y, como consecuencia, las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos, cumpliendo la exigencia de eficiencia energética.
- Se previene y reduce a límites aceptables el riesgo de sufrir accidentes y siniestros capaces de producir daños o perjuicios a las personas, flora, fauna, bienes o al medio ambiente, así como de otros hechos susceptibles de producir en los usuarios molestias o enfermedades, cumpliendo la exigencia de seguridad.

### 2.1 EXIGENCIA DE BIENESTAR E HIGIENE

#### 2.1.1 EXIGENCIA DE LA CALIDAD TÉRMICA DEL AMBIENTE

La exigencia de calidad térmica del ambiente se considera satisfecha en el diseño y dimensionamiento de la instalación térmica. Por tanto, todos los parámetros que definen el bienestar térmico se mantienen dentro de los valores establecidos.

Parámetros	Límite
Temperatura operativa en verano (°C)	$23 \leq T \leq 25$
Humedad relativa en verano (%)	$45 \leq HR \leq 60$
Temperatura operativa en invierno (°C)	$21 \leq T \leq 23$
Humedad relativa en invierno (%)	$40 \leq HR \leq 50$
Velocidad media admisible con difusión por mezcla (m/s)	$V \leq 0.14$

Tabla 8.1 Valores límites de los parámetros del bienestar térmicos

A continuación, se muestra la tabla con todos los límites de los distintos parámetros que cumplen en la zona ocupada.

Referencia	Condiciones interiores de diseño		
	Temperatura de verano	Temperatura de invierno	Humedad relativa interior
Baño calefactado	24	21	50

Tabla 8.2 Límites de los parámetros en las zonas ocupada del proyecto

## 2.1.2 EXIGENCIA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR

### CATEGORIAS

En función del tipo de local o edificio que se esté estudiando, la categoría de calidad del aire interior (IDA) tiene distintas exigencias. En la siguiente lista se menciona las categorías IDA y a qué tipo de edificios o locales le corresponde cada una de ellas:

- IDA 1 (aire de óptima calidad): Hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.
- IDA 2 (aire de buena calidad): Oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.
- IDA 3 (aire de calidad media): Edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiesta, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas)
- IDA 4 (aire de calidad baja)

### CAUDAL MÍNIMO DE AIRE EXTERIOR

El caudal mínimo de aire exterior de ventilación necesario se calcula según el método indirecto de caudal de aire exterior por persona y el método de caudal de aire por unidad de superficie, especificados en la instrucción técnica I.T.1.1.4.2.3.

En la tabla 8.3 se describe la ventilación que se ha diseñado para los recintos del edificio de los vestuarios.

Referencia	Caudales de ventilación	
	Por unidad de superficie (m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> ))	Por recinto (m <sup>3</sup> /h)
Baño calefactado	2.7	54.0

Tabla 8.3 Caudales de ventilación del proyecto.

### FILTRACIÓN DE AIRE EXTERIOR

El aire exterior de ventilación se debe de introducir en el edificio filtrándose tal y como indica el apartado I.T.1.1.4.2.4.

Las clases de filtración empleadas en la instalación cumplen lo establecido en la tabla 8.4 para los filtros previos y los finales

Clases de filtración:

Calidad del aire exterior	Calidad del aire interior			
	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
ODA 1	F9	F8	F7	F5
ODA 2	F7 + F9	F6 + F8	F5 + F7	F5 + F6
ODA 3	F7+GF+F9	F7+GF+F9	F5 + F7	F5 + F6

Tabla 8.4 Clases de filtración

Para este proyecto se ha considerado un nivel de calidad de aire exterior para toda la instalación ODA 2, es decir, aire con concentraciones altas de partículas y/o de gases contaminantes.

## 2.1.3 EXIGENCIA DE HIGIENE

La producción de agua caliente sanitaria (ACS) se ha realizado con la legislación vigente higiénico-sanitaria para la prevención y control de la legionelosis.

La instalación interior de ACS se ha dimensionado acorde con las especificaciones que establece el Documento Básico HS-4 del CTE.

#### 2.1.4 EXIGENCIA DE CALIDAD ACÚSTICA

La instalación térmica cumple con la exigencia básica HR “Protección frente al ruido” del CTE conforme a su documento básico.

### 2.2 EXIGENCIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

#### 2.2.1 EXIGENCIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA GENERACIÓN DE CALOR Y FRÍO.

##### GENERALIDADES

Las unidades de producción del proyecto utilizan energías convencionales ajustándose a la carga máxima simultánea de las instalaciones servidas considerando las ganancias o pérdidas de calor a través de las redes de tuberías de los fluidos portadores, así como el equivalente térmico de la potencia absorbida por los equipos de transporte de fluidos.

##### CARGAS TÉRMICAS

- Cargas máximas simultáneas

En la siguiente tabla se muestra el resumen de la carga máxima simultánea para cada uno de los vestuarios que componen el único conjunto de recintos: en el presente proyecto:

##### Calefacción

Carga térmica de diseño total del conjunto de recintos: 1						
Recinto	Planta	Pérdida térmica por transmisión $F_{T,i}$ (W)	Pérdida térmica por ventilación $F_{V,i}$ (W)	Capacidad térmica de calentamiento $F_{RH,i}$ (W)	Carga térmica de diseño simultánea $F_{HL,CR,i}^*$ (W)	Carga térmica de diseño $F_{HL,i}$ (W)
Vestuario2	Planta baja	2502.94	1529.19	1061.07	4934.33	5093.19
Vestuario3	Planta baja	1454.15	696.62	483.36	2561.76	2634.13
Vestuario1	Planta baja	2997.87	1526.34	1059.08	5424.72	5583.29
<b>Total</b>					<b>12920.80</b>	<b>13310.61</b>

*\* Excluida la transferencia de calor hacia espacios pertenecientes al mismo conjunto de recintos*

Tabla 8.5 Carga térmica de diseño de los vestuarios.

- Cargas parciales y mínimas

De la misma manera que en las cargas máxima simultaneas, se muestran en la tabla 8.6 las demandas parciales por meses para el único conjunto de recintos que se ha climatizado.

Conjunto de recintos	Carga máxima simultánea por mes (kW)		
	Diciembre	Enero	Febrero
1	12.92	12.92	12.92

Tabla 8.6 Cargas parciales por meses.

### POTENCIA TERMICA INSTALADA

En la tabla que se muestra a continuación, se resume el cálculo de la carga máxima simultánea, la pérdida de calor en las tuberías y el equivalente térmico de la potencia absorbida por los equipos de transporte de fluidos con la potencia instalada para cada conjunto de recintos.

Conjunto de recintos	P <sub>instalada</sub> (kW)	%q <sub>tub</sub>	%q <sub>equipos</sub>	Q <sub>cal</sub> (kW)	Total (kW)
1	40.00	2.94	2.00	12.92	14.90
Abreviaturas utilizadas					
P <sub>instalada</sub>	Potencia instalada (kW)		%q <sub>equipos</sub>	Porcentaje del equivalente térmico de la potencia absorbida por los equipos de transporte de fluidos respecto a la potencia instalada (%)	
%q <sub>tub</sub>	Porcentaje de pérdida de calor en tuberías para calefacción respecto a la potencia instalada (%)		Q <sub>cal</sub>	Carga máxima simultánea de calefacción (kW)	

Tabla 8.7 Potencia térmica instalada en el recinto

La potencia instalada del equipo es la siguiente:

Equipos	Potencia instalada de calefacción (kW)	Potencia de calefacción (kW)
Tipo 1	40.00	12.92
<b>Total</b>	40.0	12.9

Tabla 8.8 Resumen potencia térmica instalada de calefacción en el proyecto

Equipos	Referencia
Tipo 1	Caldera de pie, de condensación, con cuerpo de fundición de aluminio/silicio y quemador presurizado a gas, para calefacción y A.C.S. acumulada, sonda de A.C.S. y sonda exterior

Tabla 8.9 Descripción de en los equipos de calefacción en el proyecto.

## 2.2.2 EXIGENCIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS REDES DE TUBERIAS Y CONDUCTOS DE CALOR Y FRIO

### REDES DE TUBERIAS

El aislamiento de las tuberías se ha realizado según la I.T.1.2.4.2.1.1 "Procedimiento simplificado". Este método define los espesores de aislamiento según la temperatura del fluido y el diámetro exterior de la tubería sin aislar. Se muestra el aislamiento mínimo para un material con conductividad de referencia a 10 °C de 0.040 W/(m·K).

El cálculo de la transmisión de calor en las tuberías se ha realizado según las especificaciones de la norma UNE-EN ISO 12241.

- Tuberías en contacto con el ambiente exterior:

Para el cálculo de la pérdida de calor se han considerado las siguientes condiciones exteriores:

- Temperatura seca exterior de verano: 25,5°C
- Temperatura seca exterior de invierno: 0,2°C
- Velocidad del viento: 5,7 m/s

- Tuberías en contacto con el ambiente interior:



Para el cálculo de las pérdidas en las tuberías se han considerado las condiciones interiores de diseño en los recintos que se especifican en el apartado 2.1.1 "Exigencia de la calidad térmica de calidad del ambiente".

A continuación, se describen las tuberías en el ambiente interior y los aislamientos empleados en cada una de ellas, además de las pérdidas por metro lineal y las pérdidas totales de calor.

Tubería	Ø	$l_{\text{aisl.}}$ (W/(m·K))	$e_{\text{aisl.}}$ (mm)	$L_{\text{imp.}}$ (m)	$L_{\text{ret.}}$ (m)	$F_{\text{m.ref.}}$ (W/m)	$q_{\text{ref.}}$ (W)	$F_{\text{m.cal.}}$ (W/m)	$q_{\text{cal.}}$ (W)
Tipo 1	25 mm	0.037	25	13.72	13.67	0.00	0.0	10.31	282.4
Tipo 1	16 mm	0.037	25	73.92	66.27	0.00	0.0	6.76	948.3
Tipo 1	20 mm	0.037	25	11.30	11.30	0.00	0.0	7.77	175.5
						<b>Total</b>	1406		
Abreviaturas utilizadas									
Ø	Diámetro nominal				$F_{\text{m.ref.}}$	Valor medio de las pérdidas de calor para refrigeración por unidad de longitud			
$l_{\text{aisl.}}$	Conductividad del aislamiento				$q_{\text{ref.}}$	Pérdidas de calor para refrigeración			
$e_{\text{aisl.}}$	Espesor del aislamiento				$F_{\text{m.cal.}}$	Valor medio de las pérdidas de calor para calefacción por unidad de longitud			
$L_{\text{imp.}}$	Longitud de impulsión				$q_{\text{cal.}}$	Pérdidas de calor para calefacción			
$L_{\text{ret.}}$	Longitud de retorno								

Tabla 8.10 Características de las tuberías del ambiente interior.

Tubería	Referencia
Tipo 1	Tubería de distribución de agua fría y caliente de climatización formada por tubo de polietileno reticulado (PE-X), con barrera de oxígeno (EVOH), de 16 mm de diámetro exterior y 2 mm de espesor, PN=6 atm, colocado superficialmente en el interior del edificio, con aislamiento mediante coquilla flexible de espuma elastomérica.

Tabla 8.11 Descripción de las tuberías del ambiente interior.

Cabe a destacar que se ha añadido un 15% al cálculo de las pérdidas de calor ya que se ha tenido en cuenta la presencia de las válvulas en el sistema de tuberías.

- Pérdidas de calor en las tuberías

La potencia instalada en el equipo es la siguiente:

Equipos	Potencia de calefacción (kW)
Tipo 1	40.00
<b>Total</b>	40.00

Tabla 8.12 Potencia instalada en el equipo del proyecto

Equipos	Referencia
Tipo 1	Caldera de pie, de condensación, con cuerpo de fundición de aluminio/silicio y quemador presurizado a gas, para calefacción y A.C.S. acumulada, sonda de A.C.S. y sonda exterior.

Tabla 8.13 Descripción del equipo de calefacción

El porcentaje de pérdidas de calor en las tuberías de la instalación de calefacción es el siguiente:

- Calefacción

Potencia de los equipos (kW)	q <sub>cal</sub> (W)	Pérdida de calor (%)
40.00	1175.2	2.9

Tabla 8.14 Pérdidas de calor en las tuberías de la instalación

Como se puede observar, las pérdidas de calor en las tuberías de la instalación son inferiores al 4,0%.

#### EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS EQUIPOS PARA EL TRANSPORTE DE FLUIDOS

En la siguiente tabla se describe la potencia específica de los equipos de propulsión de fluidos y sus valores límite según la I.T.1.2.4.2.5.

Equipos	Sistema	Categoría	Categoría límite
Tipo 1 (Almacén - Planta 0)	Ventilación y extracción	SFP4	SFP2

Tabla 8.15 Categoría y valores límite los equipos de propulsión de fluidos

Equipos	Referencia
Tipo 1	Ventilador centrífugo de perfil bajo, con motor para alimentación trifásica a 400 V y 50 Hz de frecuencia, con protección térmica, aislamiento clase F, protección IP 55 y caja de bornes ignífuga, modelo ILT/4-250 "S&P", de 1170 r.p.m., potencia absorbida 930 W, caudal máximo de 2650 m <sup>3</sup> /h, dimensiones 520x320 mm y 565 mm de largo y nivel de presión sonora de 66 dBA

Tabla 8.16 Descripción de los equipos de transporte de fluidos

#### EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

Los motores eléctricos que se han utilizado en la instalación de climatización quedan excluidos de la exigencia de rendimiento mínimo, según el punto 3 de la instrucción técnica I.T.1.2.4.2.6

#### TRAZADO REDES DE TUBERÍAS

El trazado de las tuberías se ha diseñado teniendo en cuenta el horario de funcionamiento de cada subsistema, longitud hidráulica del circuito y el tipo de unidades terminales servidas.

### 2.2.3 EXIGENCIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE INSTALACIONES TÉRMICAS

La instalación térmica proyectada está compuesta de los sistemas de control automático necesarios de manera que se puedan mantener las condiciones de diseño previstas en los recintos.

#### CONTROL DE LAS CONDICIONES TERMOHIGROTÉRMICAS

El equipamiento mínimo de aparatos de control de las condiciones de temperatura y humedad relativa de los recintos, según las categorías descritas, es el siguiente:

- **THM-C1:** Variación de la temperatura del fluido portador (agua-aire) en función de la temperatura exterior y/o control de la temperatura del ambiente por zona térmica.
- **THM-C2:** Como THM-C1, más el control de la humedad relativa media o la del local más representativo.
- **THM-C3:** Como THM-C1, más variación de la temperatura del fluido portador frío en función de la temperatura exterior y/o control de la temperatura del ambiente por zona térmica.
- **THM-C4:** Como THM-C3, más control de la humedad relativa media o la del recinto más representativo.
- **THM-C5:** Como THM-C3, más control de la humedad relativa en locales.

En el conjunto de los recintos formado por los tres vestuarios, la categoría del sistema de control se muestra en la siguiente tabla:

Conjunto de recintos	Sistema de control
1	THM-C1

Tabla 8.17 Sistema de control del conjunto de recintos

#### CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN LAS INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN

El control de la calidad del aire interior puede realizarse de mediante distintos procedimientos. En la tabla siguiente se clasifican dichos procedimientos en distintas categorías.

Categoría	Tipo	Descripción
IDA-C1		El sistema funciona continuamente
IDA-C2	Control manual	El sistema funciona manualmente, controlado por un interruptor
IDA-C3	Control por tiempo	El sistema funciona de acuerdo a un determinado horario
IDA-C4	Control por presencia	El sistema funciona por una señal de presencia
IDA-C5	Control por ocupación	El sistema funciona dependiendo del número de personas presentes
IDA-C6	Control directo	El sistema está controlado por sensores que miden parámetros de calidad del aire interior

Tabla 8.18 Categorías de control de calidad del aire interior

Para las instalaciones de climatización del edificio de los vestuarios se ha utilizado el procedimiento IDA-C1.

#### 2.2.4 EXIGENCIA DE RECUPERACIÓN DE ENERGIA

##### RECUPERACIÓN DEL AIRE EXTERIOR

El caudal del aire extraído es superior a 0,5 m<sup>3</sup>/s y por tanto se debe recuperar la energía del aire expulsado.

En la tabla 8.19 se describe la eficiencia mínima y la presión máxima del recuperador en función del caudal del aire exterior y del número de horas anuales de funcionamiento.

Horas anuales de funcionamiento	Caudal de aire exterior (m <sup>3</sup> /s)									
	> 0,5...1,5		> 1,5...3,0		> 3,0...6,0		> 6,0...12,0		> 12	
	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa
≤ 2.000	40	100	44	120	47	140	55	160	60	180
> 2.000...4.000	44	140	47	160	52	180	58	200	64	220
> 4.000...6.000	47	160	50	180	55	200	64	220	70	240
> 6.000	50	180	55	200	60	220	70	240	75	260

Tabla 8.19 Calidad del aire exterior

El sistema de recuperación de calor cumple con lo establecido en dicha tabla.

##### ZONIFICACIÓN

El diseño de la instalación se ha llevado a cabo teniendo en cuenta la zonificación, para obtener un elevado bienestar y ahorro de energía. Los sistemas se han dividido en subsistemas, considerando los espacios interiores y su orientación, así como su uso, ocupación y horario de funcionamiento.

### 2.2.5 EXIGENCIA DE APROVECHAMIENTO DE ENERGIAS RENOVABLES

La instalación térmica destinada a la producción de agua caliente sanitaria que se ha utilizado en el proyecto cumple con la exigencia básica CTE HE 4 'Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria' mediante la justificación de su documento básico.

### 2.2.6 EXIGENCIA DE LA UTILIZACIÓN DE ENERGIA CONVENCIONAL

Para el cumplimiento de la exigencia, a continuación, se mencionan los puntos que la justifican:

- El sistema de calefacción empleado no es un sistema centralizado que utilice la energía eléctrica por "efecto Joule"
- No se ha climatizado ninguno de los recintos no habitables incluidos en el proyecto.
- No se realizan procesos sucesivos d enfriamiento y calentamiento, ni se produce la interacción de dos fluidos con temperatura de efectos opuestos.
- No se contempla en el proyecto el empleo de ningún tipo de combustible fósil sólido en las instalaciones térmicas.

### 2.2.7 EQUIPOS CONSUMIDORES DE ENERGÍA EMPLEADOS

#### CALDERAS Y GRUPOS TÉRMICOS

Equipos	Referencia
Tipo 1	Caldera de pie, de condensación, con cuerpo de fundición de aluminio/silicio y quemador presurizado a gas, para calefacción y A.C.S. acumulada, sonda de A.C.S. y sonda exterior

Tabla 8.20 Descripción de las calderas y grupos térmicos

#### EQUIPOS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Equipos	Referencia
Tipo 1	Ventilador centrífugo de perfil bajo, con motor para alimentación trifásica a 400 V y 50 Hz de frecuencia, con protección térmica, aislamiento clase F, protección IP 55 y caja de bornes ignífuga, modelo ILT/4-250 "S&P", de 1170 r.p.m., potencia absorbida 930 W, caudal máximo de 2650 m <sup>3</sup> /h, dimensiones 520x320 mm y 565 mm de largo y nivel de presión sonora de 66 dBA
Tipo 2	Electrobomba centrífuga, de hierro fundido, de tres velocidades, con una potencia de 0,071 kW

Tabla 8.21 Descripción de los equipos de transporte de fluidos

## 2.3 EXIGENCIA DE SEGURIDAD

### 2.3.1 EXIGENCIA DE SEGURIDAD EN LAS REDES DE CALOR Y FRÍO

Los generadores de calor y frío que se van a instalar en el proyecto cumplen con lo establecido en la instrucción técnica 1.3.4.1.1 "Condiciones generales" del RITE.

El cálculo y dimensionamiento de la red de conductos de la instalación, así como elementos complementarios (plenums, conexión de unidades terminales, pasillos, tratamiento de agua, unidades terminales) se ha realizado teniendo en cuenta la instrucción técnica 1.3.4.2.10 "Conductos de aire" del RITE.

### 2.3.2 EXIGENCIA DE SEGURIDAD Y UTILIZACIÓN

Ninguna superficie con la que existe posibilidad de contacto accidental, salvo las superficies de los emisores de calor, tiene una temperatura mayor que 60°C. Las superficies calientes de las unidades terminales que son accesibles al usuario tienen una temperatura menor que 80°C.

La accesibilidad a la instalación, la señalización y la medición de la misma se ha diseñado conforme a la instrucción técnica 1.3.3.4 "Seguridad de utilización" del RITE

### 3. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

En este apartado se va describir los componentes y las características de la instalación de climatización que se ha llevado a cabo para los vestuarios del complejo deportivo.

Dicha instalación está compuesta por:

- Sistemas de conducción de aire:
  - Conductos
  - Difusores y rejillas
- Sistemas de conducción de agua:
  - Tuberías
- Emisores de calefacción

#### 3.1 SISTEMAS DE CONDUCCIÓN DE AIRE

Conductos									
Tramo		Q	w x h	V	F	L	DP <sub>1</sub>	DP	D
Inicio	Final	(m <sup>3</sup> /h)	(mm)	(m/s)	(mm)	(m)	(Pa)	(Pa)	(Pa)
A130-Planta baja	N8-Planta baja	2000.0	500x250	4.9	380.8	0.91	16.94	40.26	40.76
A130-Planta baja	N8-Planta baja	1640.0	400x250	4.9	343.3	1.87	16.94	46.05	34.97
A130-Planta baja	N8-Planta baja	1280.0	400x200	4.9	304.7	3.30	16.94	53.19	27.82
A130-Planta baja	N8-Planta baja	920.0	250x250	4.4	273.3	4.01	38.11	81.01	
A130-Planta baja	N8-Planta baja	560.0	250x200	3.3	244.1	10.01	23.10	73.65	7.36
A130-Planta baja	N8-Planta baja	279.7	200x200	2.1	218.6	6.43	23.01	76.11	4.90
A130-Planta baja	N8-Planta baja		200x200		218.6	0.15		53.10	
A132-Planta baja	A130-Planta baja	2000.0	500x250	4.9	380.8	0.78	10.31	18.43	

Abreviaturas utilizadas			
Q	Caudal	L	Longitud
w x h	Dimensiones (Ancho x Alto)	DP <sub>1</sub>	Pérdida de presión
V	Velocidad	DP	Pérdida de presión acumulada
F	Diámetro equivalente.	D	Diferencia de presión respecto al difusor o rejilla más desfavorable

Tabla 8.22 Características de los conductos de aire

Difusores y rejillas									
Tipo	F (mm)	w x h (mm)	Q (m <sup>3</sup> /h)	A (cm <sup>2</sup> )	X (m)	P (dBA)	DP <sub>i</sub> (Pa)	DP (Pa)	D (Pa)
A132-Planta baja: Rejilla de toma de aire		600x330	2000.0	1003.86		36.0	10.31	18.43	0.00
A130 -> N8, (33.15, 6.10), 0.91 m: Rejilla de impulsión		325x125	360.0	210.00	8.8	32.4	16.94	40.26	40.76
A130 -> N8, (31.29, 6.10), 2.77 m: Rejilla de impulsión		325x125	360.0	210.00	8.8	32.4	16.94	46.05	34.97
A130 -> N8, (27.99, 6.10), 6.07 m: Rejilla de impulsión		325x125	360.0	210.00	8.8	32.4	16.94	53.19	27.82
A130 -> N8, (23.98, 6.10), 10.08 m: Rejilla de impulsión		225x125	360.0	140.00	10.7	44.8	38.11	81.01	0.00
A130 -> N8, (13.97, 6.10), 20.09 m: Rejilla de impulsión		225x125	280.3	140.00	8.4	37.2	23.10	73.65	7.36
A130 -> N8, (7.54, 6.10), 26.52 m: Rejilla de impulsión		225x125	279.7	140.00	8.3	37.1	23.01	76.11	4.90
Abreviaturas utilizadas									
F	Diámetro			P	Potencia sonora				
w x h	Dimensiones (Ancho x Alto)			DP <sub>i</sub>	Pérdida de presión				
Q	Caudal			DP	Pérdida de presión acumulada				
A	Área efectiva			D	Diferencia de presión respecto al difusor o rejilla más desfavorable				
X	Alcance								

Tabla 8.23 Características de los difusores y rejillas de los conductos de aire

### 3.2 SISTEMAS DE CONDUCCIÓN DE AGUA

Nuevamente, se muestran las siguientes tablas con las características del sistema de conducción de agua y su leyenda correspondiente.

Tuberías (Calefacción)								
Tramo			F (mm)	Q (l/s)	V (m/s)	L (m)	DP <sub>i</sub> (kPa)	DP (kPa)
Inicio	Final	Tipo						
A122-Planta baja	A122-Planta baja	Impulsión	16	0.01	0.1	3.44	0.098	7.36
A123-Planta baja	A123-Planta baja	Impulsión (*)	25	0.16	0.5	3.52	0.573	5.48
A123-Planta baja	N1-Planta baja	Impulsión (*)	25	0.16	0.5	0.10	0.016	5.49
N1-Planta baja	A125-Planta baja	Impulsión (*)	25	0.16	0.5	0.25	0.041	5.54
N2-Planta baja	N9-Planta baja	Impulsión (*)	25	0.14	0.4	1.47	0.188	7.06
A124-Planta baja	A124-Planta baja	Impulsión	16	0.01	0.1	3.39	0.089	6.98
A124-Planta baja	N3-Planta baja	Impulsión	16	0.01	0.1	0.95	0.017	6.70
N3-Planta baja	N2-Planta baja	Impulsión (*)	25	0.15	0.5	1.33	0.192	6.88
A125-Planta baja	N4-Planta baja	Impulsión (*)	25	0.16	0.5	2.06	0.336	5.87
N4-Planta baja	N6-Planta baja	Impulsión (*)	25	0.16	0.5	2.77	0.451	6.32
N6-Planta baja	N3-Planta baja	Impulsión (*)	25	0.16	0.5	2.22	0.362	6.68



A134-Planta baja	A134-Planta baja	Impulsión	16	0.02	0.2	3.62	0.278	9.62
A134-Planta baja	N11-Planta baja	Impulsión	16	0.02	0.2	0.74	0.043	9.15
A135-Planta baja	A135-Planta baja	Impulsión	16	0.02	0.2	3.62	0.288	9.62
A136-Planta baja	A136-Planta baja	Impulsión	16	0.02	0.2	3.46	0.244	9.37
N9-Planta baja	A122-Planta baja	Impulsión	16	0.01	0.1	0.28	0.006	7.07
N9-Planta baja	N12-Planta baja	Impulsión (*)	20	0.13	0.6	4.21	1.472	8.54
N11-Planta baja	A135-Planta baja	Impulsión	16	0.02	0.2	0.60	0.035	9.14
N11-Planta baja	N12-Planta baja	Impulsión	16	0.04	0.4	2.98	0.570	9.11
N12-Planta baja	N10-Planta baja	Impulsión (*)	20	0.09	0.4	2.10	0.371	8.91
A137-Planta baja	A137-Planta baja	Impulsión	16	0.02	0.2	3.46	0.261	9.95
A137-Planta baja	N14-Planta baja	Impulsión	16	0.02	0.2	0.55	0.032	9.50
<b>Abreviaturas utilizadas</b>								
F	Diámetro nominal			L	Longitud			
Q	Caudal			DP <sub>1</sub>	Pérdida de presión			
V	Velocidad			DP	Pérdida de presión acumulada			

Tabla 8.24 Características de las tuberías de calefacción

<b>Tuberías (Calefacción)</b>								
Tramo			F (mm)	Q (l/s)	V (m/s)	L (m)	DP <sub>1</sub> (kPa)	DP (kPa)
Inicio	Final	Tipo						
A138-Planta baja	A138-Planta baja	Impulsión	16	0.02	0.2	3.46	0.332	11.06
N10-Planta baja	A136-Planta baja	Impulsión	16	0.02	0.2	0.49	0.026	8.93
N10-Planta baja	N14-Planta baja	Impulsión (*)	20	0.07	0.3	4.99	0.559	9.47
N14-Planta baja	N15-Planta baja	Impulsión (*)	16	0.05	0.4	4.52	1.041	10.51
A139-Planta baja	A139-Planta baja	Impulsión (*)	16	0.02	0.2	3.62	0.337	11.36
N15-Planta baja	A138-Planta baja	Impulsión	16	0.02	0.2	0.51	0.037	10.54
N15-Planta baja	A139-Planta baja	Impulsión (*)	16	0.02	0.2	4.92	0.331	10.84
A126-Planta baja	A126-Planta baja	Impulsión	16	0.01	0.1	3.67	0.085	7.24
A126-Planta baja	N2-Planta baja	Impulsión	16	0.01	0.1	5.17	0.093	6.97
A122-Planta baja	A122-Planta baja	Retorno	16	0.01	0.1	3.44	0.090	2.43



A123-Planta baja	A123-Planta baja	Retorno (*)	25	0.16	0.5	3.52	0.623	0.62
A123-Planta baja	N1-Planta baja	Retorno (*)	25	0.16	0.5	0.05	0.009	0.63
N1-Planta baja	A125-Planta baja	Retorno (*)	25	0.16	0.5	0.25	0.045	0.68
N2-Planta baja	N9-Planta baja	Retorno (*)	25	0.14	0.4	1.47	0.205	2.34
A124-Planta baja	A124-Planta baja	Retorno	16	0.01	0.1	3.39	0.082	2.02
A124-Planta baja	N3-Planta baja	Retorno	16	0.01	0.1	0.95	0.019	1.94
N3-Planta baja	N2-Planta baja	Retorno (*)	25	0.15	0.5	1.33	0.209	2.13
A125-Planta baja	N4-Planta baja	Retorno (*)	25	0.16	0.5	2.06	0.364	1.04
N4-Planta baja	N6-Planta baja	Retorno (*)	25	0.16	0.5	2.77	0.490	1.53
N6-Planta baja	N3-Planta baja	Retorno (*)	25	0.16	0.5	2.22	0.393	1.92
A134-Planta baja	A134-Planta baja	Retorno	16	0.02	0.2	3.62	0.253	4.86
A134-Planta baja	N11-Planta baja	Retorno	16	0.02	0.2	0.74	0.047	4.60
A135-Planta baja	A135-Planta baja	Retorno	16	0.02	0.2	3.62	0.264	4.86
Abreviaturas utilizadas								
F	Diámetro nominal			L	Longitud			
Q	Caudal			DP <sub>1</sub>	Pérdida de presión			
V	Velocidad			DP	Pérdida de presión acumulada			

Tabla 8.25 Características de las tuberías de calefacción

Tuberías (Calefacción)								
Tramo			F (mm)	Q (l/s)	V (m/s)	L (m)	DP <sub>1</sub> (kPa)	DP (kPa)
Inicio	Final	Tipo						
A136-Planta baja	A136-Planta baja	Retorno	16	0.02	0.2	3.46	0.220	4.59
N9-Planta baja	A122-Planta baja	Retorno	16	0.01	0.1	0.28	0.006	2.34
N9-Planta baja	N12-Planta baja	Retorno (*)	20	0.13	0.6	4.21	1.597	3.93
N11-Planta baja	A135-Planta baja	Retorno	16	0.02	0.2	0.60	0.038	4.60
N11-Planta baja	N12-Planta baja	Retorno	16	0.04	0.4	2.98	0.624	4.56
N12-Planta baja	N10-Planta baja	Retorno (*)	20	0.09	0.4	2.10	0.404	4.34
A137-Planta baja	A137-Planta baja	Retorno	16	0.02	0.2	3.46	0.233	5.22
A137-Planta baja	N14-Planta baja	Retorno	16	0.02	0.2	0.55	0.036	4.98



A138-Planta baja	A138-Planta baja	Retorno	16	0.02	0.2	3.46	0.298	6.42
N10-Planta baja	A136-Planta baja	Retorno	16	0.02	0.2	0.49	0.029	4.37
N10-Planta baja	N14-Planta baja	Retorno (*)	20	0.07	0.3	4.99	0.611	4.95
N14-Planta baja	N15-Planta baja	Retorno (*)	16	0.05	0.4	4.52	1.138	6.09
A139-Planta baja	A139-Planta baja	Retorno (*)	16	0.02	0.2	3.62	0.308	6.76
N15-Planta baja	A138-Planta baja	Retorno	16	0.02	0.2	0.51	0.041	6.13
N15-Planta baja	A139-Planta baja	Retorno (*)	16	0.02	0.2	4.92	0.365	6.45
A126-Planta baja	A126-Planta baja	Retorno	16	0.01	0.1	3.67	0.078	2.31
A126-Planta baja	N2-Planta baja	Retorno	16	0.01	0.1	5.17	0.104	2.24
(*) Tramo que forma parte del recorrido más desfavorable.								
Abreviaturas utilizadas								
F	Diámetro nominal			L	Longitud			
Q	Caudal			DP <sub>1</sub>	Pérdida de presión			
V	Velocidad			DP	Pérdida de presión acumulada			

Tabla 8.26 Características de las tuberías de calefacción

### 3.3 EMISORES DE CALEFACCIÓN

Por último, en las tablas 8.27 y 8.28 se describen las características de los emisores para calefacción, en este proyecto radiadores, así como su descripción.

Conjunto de recintos	Recintos	Plantas	Tipo de emisor	Tipo	Referencia	Pérdidas caloríficas (W)	Elementos		Longitud (mm)	Potencia (W)
							Número	Altura (mm)		
1	Vestuario1	Planta baja	Radiador	1	A137	5583	22	900	1100	1737
			Radiador	1	A138	5583	25	900	1250	1974
			Radiador	1	A139	5583	24	900	1200	1895
	Vestuario2	Planta baja	Radiador	1	A134	5093	22	900	1100	1737
			Radiador	1	A135	5093	22	900	1100	1737
			Radiador	1	A136	5093	21	900	1050	1659
	Vestuario3	Planta baja	Radiador	1	A122	2634	12	900	600	948
			Radiador	1	A124	2634	11	900	550	869
			Radiador	1	A126	2634	11	900	550	869
			Radiador	1	A126	2634	11	900	550	869

Tabla 8.27 Características de los emisores de calefacción

Tipos de radiadores	
Tipo	Descripción
1	Radiador de acero, formado por elementos de 900 mm de altura, con tres columnas, con una emisión calorífica de 94,5 kcal/h cada uno, según UNE-EN 442-1, para una diferencia media de temperatura de 50°C entre el radiador y el ambiente

Tabla 8.28 Descripción de los emisores de calefacción



## 4. INSTALACIÓN DE GAS

---

La instalación de gas se llevará a cabo mediante gas natural. Para instalaciones de gas natural, según la instrucción técnica ITC-ICG-07 del Real Decreto 919/2006, si la potencia útil de la instalación es inferior a 70 kW no es necesario el proyecto. Como la instalación de gas es muy pequeña, no se alcanzan los 70 kW que marca la instrucción por lo que no se realiza proyecto justificativo de dicha instalación

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y OBRAS PÚBLICAS

## TRABAJO FIN DE GRADO

***“PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN  
APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO  
MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA  
(BIZKAIA)”***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

***ANEJO 9- ILUMINACIÓN***

**Alumno/Alumna:** García, Arroyo, David

**Director/Directora:** Larrauri, Gil, Marcos

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 21, junio, 2019

# ÍNDICE

---

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.	MÉTODO DE CÁLCULO .....	2
3.	ILUMINACIÓN EXTERIOR.....	3
3.1	NIVELES DE ILUMINACIÓN .....	3
3.2	SELECCIÓN LUMINARIAS .....	5
3.3	CÁLCULO DE LA ILUMINACIÓN.....	5
3.3.1	APARCAMIENTO.....	5
4.	ILUMINACIÓN INTERIOR .....	8
4.1	NIVEL DE ILUMINACIÓN .....	8
4.1.1	ALUMBRADO NORMAL .....	8
4.1.2	ALUMBRADO DE EMERGENCIA.....	9
4.2	SELECCIÓN DE LUMINARIAS.....	11
4.3	EFICIENCIA ENERGÉTICA .....	12
4.4	POTENCIA INSTALADA.....	13
4.5	CÁLCULO DE LA ILUMINACIÓN.....	14
4.5.1	VESTUARIOS.....	14
4.5.2	CAMPO DE FÚTBOL SALA.....	34

## 1. INTRODUCCIÓN

La finalidad del presente anejo es realizar el diseño de la instalación de iluminación de las distintas partes que componen el proyecto. En este diseño se determinarán el tipo de luminarias a emplear además de su número y su disposición.

Para dicho diseño se debe atender a varios parámetros de manera que se consiga una iluminación óptima que se mencionan a continuación:

- Niveles de iluminancia
- Disposición de las luminarias
- Grado de deslumbramiento
- El uso al que se va a destinar la instalación
- Dirección de la luz

En el proyecto actual se ejecutarán tres tipos de instalaciones de iluminación diferenciadas por el uso que se le va a dar a las mismas. Una instalación se definirá para el aparcamiento exterior, otra para el campo de fútbol sala y la restante para la zona de los vestuarios. La primera instalación mencionada se corresponde con iluminación exterior y las restantes se corresponden con iluminación interior.

La normativa en la que se va a basar el diseño de cada instalación es la siguiente:

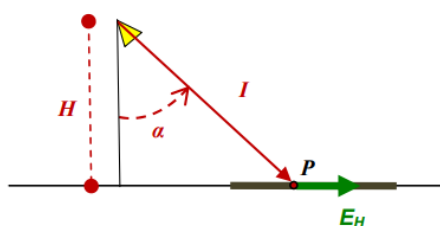
- Reglamento electrotécnico de baja tensión (REBT)
- CTE-DB-SUA4. Seguridad frente al riesgo causado por iluminación adecuada
- CTE-DB-HE3. Eficiencia de las instalaciones de iluminación.
- ITC-BT Alumbrado normal y alumbrado de emergencia.

Dicho diseño se llevará a cabo mediante el programa informático CYPEMEMP 2017.d

## 2. MÉTODO DE CÁLCULO

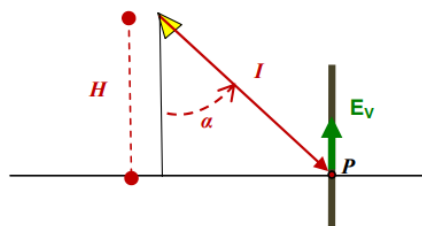
El programa informático CYPEMEMP calcula la iluminación por el método "Punto por punto".

- En el plano horizontal



$$E_H = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{H^2}$$

- En el plano vertical



$$E_v = \frac{I \cdot \cos^2 \alpha \cdot \text{sena}}{H^2}$$

Imagen 9.1 Método de iluminación punto por punto

Siendo,

I: Intensidad del flujo luminoso según la dirección del punto a la fuente. Puede obtenerse en diagramas polares de las luminarias o de la matriz de intensidades del catálogo del fabricante (candelas)

$\alpha$ : Ángulo formado por el rayo luminoso y la vertical de la luminaria.

h: Altura del plano de trabajo de la lámpara (m)

$E_H$ : Nivel de iluminación en un punto de la superficie horizontal (lux)

$E_V$ : Nivel de iluminación en un punto de la superficie vertical (lux)

Un factor importante es la uniformidad de la iluminación que se calcula dividiendo el valor mínimo de iluminancia y el valor medio de iluminancia del lugar en el que se está realizando.

La importancia de este parámetro es debido a que un valor adecuado proporciona una zona de continuidad luminosa en la que no hay grandes diferencias de iluminación.

## 3. ILUMINACIÓN EXTERIOR

### 3.1 NIVELES DE ILUMINACIÓN

El nivel de iluminación se define como el conjunto de requisitos luminotécnicos (luminancia, iluminancia, uniformidad, deslumbramiento, etc).

Para el dimensionamiento de la instalación se seguirán los pasos del Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior en su apartado "Alumbrado Vial". En dicho apartado, se debe de tener en cuenta varios factores como la complejidad del trazado, la intensidad, el sistema de control de tráfico y la separación entre carriles tal y como se ve a lo largo de este dimensionamiento.

En primer lugar, se debe clasificar la vía del proyecto respecto a la tabla 9.1 que depende principalmente de la velocidad de tráfico rodado.

Clasificación	Tipo de vía	Velocidad del tráfico rodado (km/h)
A	de alta velocidad	$v > 60$
B	de moderada velocidad	$30 < v \leq 60$
C	carriles bici	--
D	de baja velocidad	$5 < v \leq 30$
E	vías peatonales	$v \leq 5$

Tabla 9.1 Clasificación de las vías

Debido a que la vía de proyecto es un aparcamiento en el cual se va a circular a una velocidad inferior a 30 km/h la clasificación que se le atribuye al mismo es de tipo D. Por ello, en la siguiente tabla se muestran, entre otros, las clases de alumbrado para las vías de tipo D. Cabe a destacar que el flujo de tráfico de peatones en el lugar del futuro aparcamiento es normal.

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado <sup>(1)</sup>
C1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carriles bici independientes a lo largo de la calzada, entre ciudades en área abierta y de unión en zonas urbanas</li> </ul> Flujo de tráfico de ciclistas Alto..... Normal .....	S1 / S2 S3 / S4
D1 - D2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas de aparcamiento en autopistas y autovías.</li> <li>• Aparcamientos en general.</li> <li>• Estaciones de autobuses.</li> </ul> Flujo de tráfico de peatones Alto..... Normal .....	CE1A / CE2 CE3 / CE4
D3 - D4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calles residenciales suburbanas con aceras para peatones a lo largo de la calzada</li> <li>• Zonas de velocidad muy limitada</li> </ul> Flujo de tráfico de peatones y ciclistas Alto..... Normal .....	CE2 / S1 / S2 S3 / S4

<sup>(1)</sup> Para todas las situaciones de alumbrado C1-D1-D2-D3 y D4, cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

Tabla 9.2 Clases de alumbrado para vías de tipo C y D

Por lo tanto, para un aparcamiento en general cuyo flujo de tráfico de peatones es normal, la clase de alumbrado es CE3/CE4. Para este tipo de aparcamiento se ha decidido poner un alumbrado de clase CE4.

Por último, en la tabla 8.3 se muestran los valores de nivel de iluminación que dependen de las clases de alumbrado que se ha establecido con la tabla anterior.

Clase de Alumbrado <sup>(1)</sup>	Iluminancia horizontal	
	Iluminancia Media <i>Em (lux)</i> [mínima mantenida <sup>(2)</sup> ]	Uniformidad Media <i>Um</i> [mínima]
CE0	50	0,40
CE1	30	0,40
CE1A	25	0,40
CE2	20	0,40
CE3	15	0,40
CE4	10	0,40
CE5	7,5	0,40

<sup>(1)</sup> Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento (*f<sub>m</sub>*) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

<sup>(2)</sup> También se aplican en espacios utilizados por peatones y ciclistas.

Tabla 9.3 Series CE de clase de alumbrado para viales tipos D y E

Al tener una clase de alumbrado CE4, se obtiene una Iluminancia Media (*Em*) de 10 lux y una Uniformidad Media (*Um*) de 0,4.

### 3.2 SELECCIÓN LUMINARIAS

Para la selección de las luminarias de exterior, se han seleccionado unas luminarias acordes para el uso al que se le va a dar a las diferentes instalaciones. A continuación, se indica el tipo de luminaria utilizadas para el aparcamiento.

Nº	CÓDIGO	DESIGNACIÓN	CANTIDAD
1	mt34beg110b	Farola con distribución de luz radialmente simétrica, con luminaria cilíndrica de 220x220x350 mm, columna de 4500 mm, para 1 lámpara de halogenuros metálicos HIT-CE de 150 W, modelo 8994 "BEGA", con cuerpo de aluminio inyectado, aluminio y acero inoxidable, vidrio de seguridad, portalámparas G 12, clase de protección I, grado de protección IP 65.	35,00 Ud
2	mt34lhb010d	Lámpara de halogenuros metálicos de 150 W.	35,00 Ud
3	mt34www010	Material auxiliar para iluminación exterior.	35,00 Ud

Tabla 9.4 Luminarias empleadas en iluminación exterior

### 3.3 CÁLCULO DE LA ILUMINACIÓN

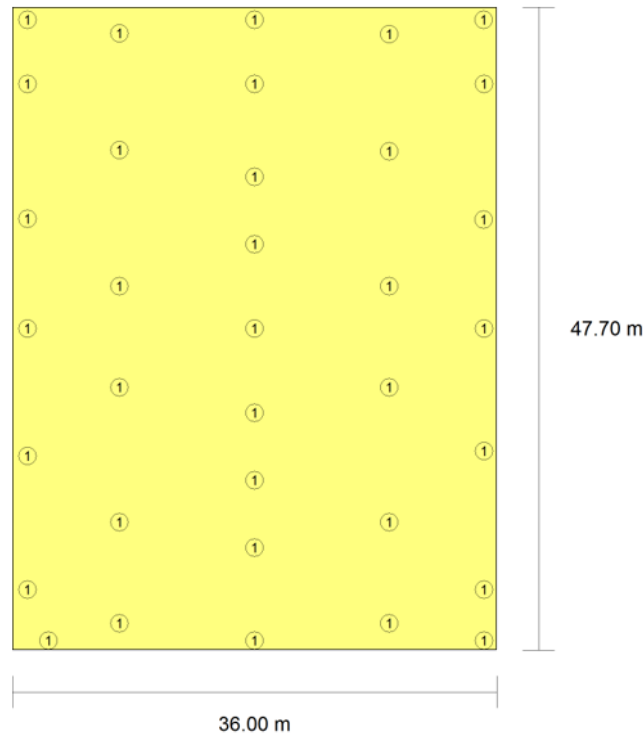
#### 3.3.1 APARCAMIENTO

##### 1. ALUMBRADO NORMAL

ZONA EXTERIOR	
<b>Referencia:</b>	Zona de circulación exterior para vehículos o mixtas
<b>Superficie</b>	1717.1 m <sup>2</sup>

Alumbrado normal	
<b>Factor de mantenimiento:</b>	0.80

##### Disposición de las luminarias



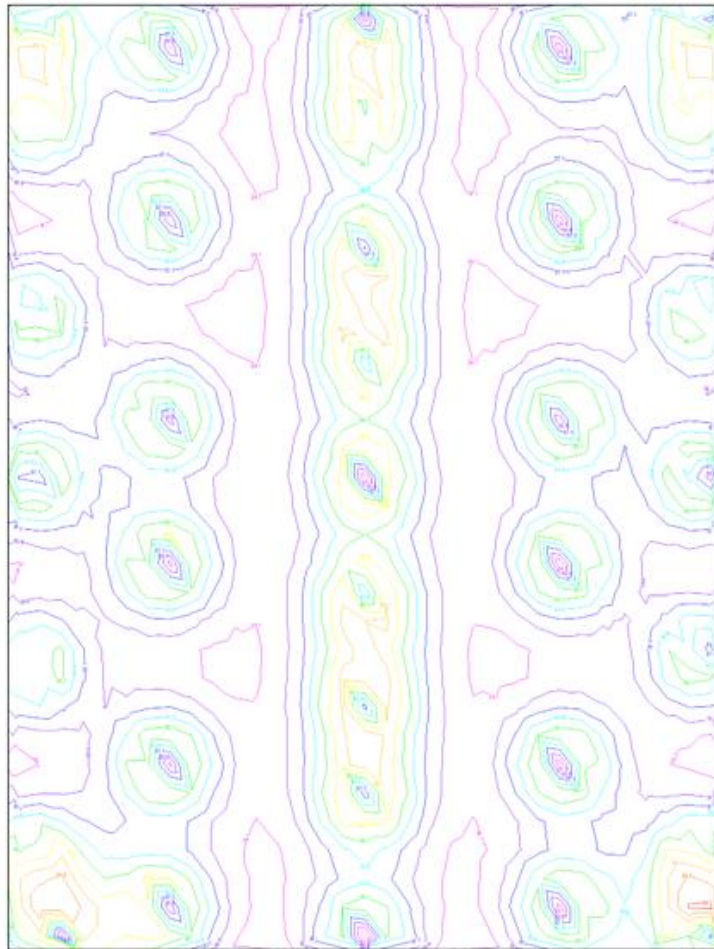




Nº	Descripción
1	Farola con distribución de luz radialmente simétrica, con luminaria cilíndrica de 220x220x350 mm, columna de 4500 mm, para 1 lámpara de halogenuros metálicos HIT-CE de 150 W, modelo 8994 "BEGA"

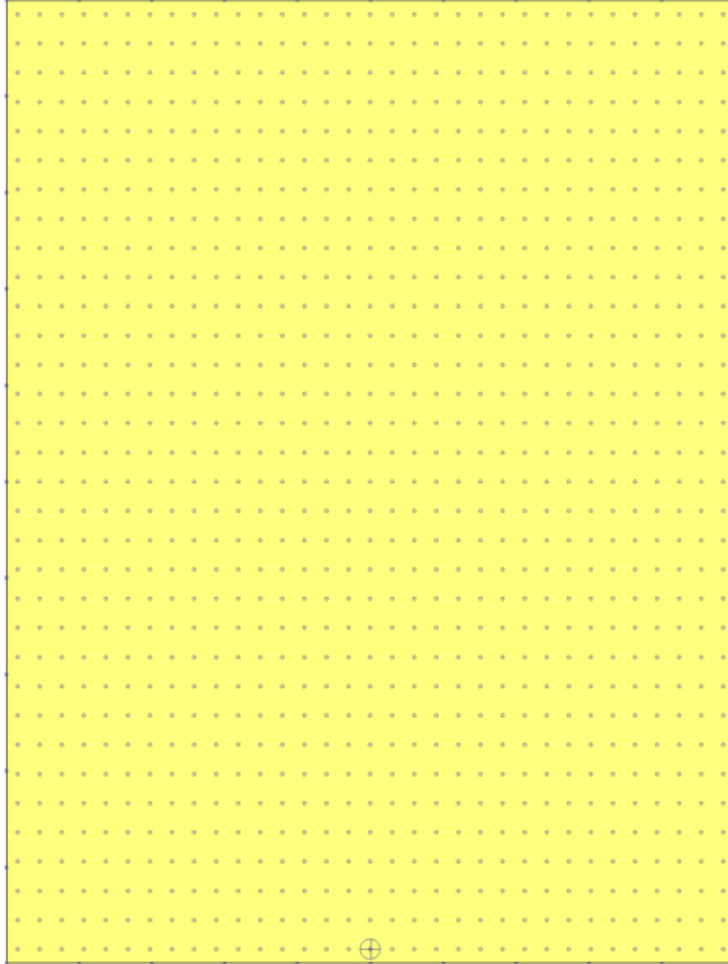
Valores de cálculo obtenidos	
<b>Iluminancia mínima:</b>	11.02 lux
<b>Iluminancia media horizontal mantenida:</b>	38.44 lux
<b>Factor de uniformidad:</b>	28.66

### Valores calculados de iluminancia





### Posición de los valores pésimos

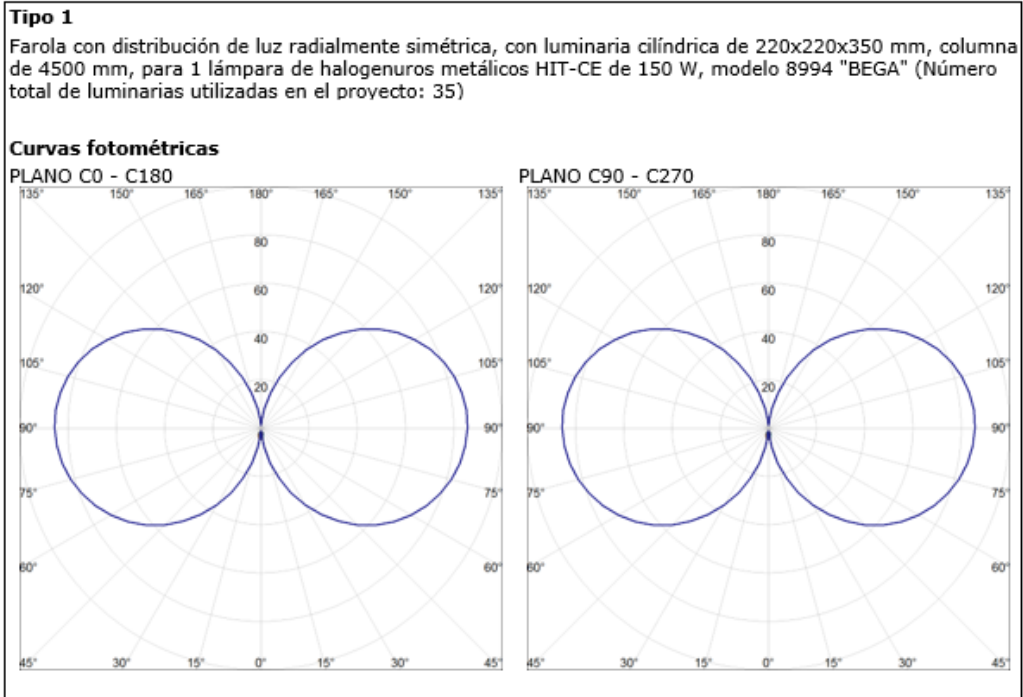


⊕ Iluminancia mínima (11.02 lux)

▫ Puntos de cálculo (Número de puntos de cálculo: 1129)

## 2. CURVA FOTOMÉTRICA

### TIPOS DE LUMINARIA (Alumbrado Exterior)



## 4. ILUMINACIÓN INTERIOR

### 4.1 NIVEL DE ILUMINACIÓN

#### 4.1.1 ALUMBRADO NORMAL

El nivel de iluminación de las instalaciones de interior se tendrá en cuenta el uso al que está destinado la misma. Por ello, el presente proyecto se basará en dos normativas para dicho dimensionamiento, la Norma UNE 12464.1 "Norma europea sobre la iluminación para interiores" para la zona de los vestuarios y las Normas NIDE1 "Campos pequeños" para el campo de fútbol sala que se basa en la Norma UNE EN 12193 "Alumbrado de Instalaciones Deportivas".

En los niveles mínimos de iluminación de los vestuarios, se distingue el edificio en tres tipos de sala ya que las exigencias varían de una a otra. Las partes en las que se divide el edificio son vestuarios, sala de mantenimiento y almacén. Las exigencias respecto a la iluminación de cada una de ellas se describen a continuación:

Tipo de interior	$E_m$ (lux)	$R_a$
Vestuarios	150	90
Sala de mantenimiento	150	60
Almacén	100	60

Tabla 9.5 Niveles de iluminación mínimo en los vestuarios

En la instalación del campo de fútbol sala, los niveles mínimos de iluminación dependen del nivel de competición al que va a estar sometido. En la siguiente tabla recogen los distintos tipos de nivel de competición con sus respectivos niveles mínimos de iluminación.

NIVELES MÍNIMOS DE ILUMINACIÓN FÚTBOL SALA (Exterior)			
NIVEL DE COMPETICIÓN	Iluminancia horizontal		Rend
	$E_{med}$ (lux)	Uniformidad $E_{min}/E_{med}$	Color (Ra)
Competiciones internacionales y nacionales	750	0,7	60
Competiciones regionales y locales, entrenamiento alto nivel	500	0,7	60
Entrenamiento, deporte escolar y recreativo	200	0,5	20

Tabla 9.6 Niveles de iluminación campo de fútbol sala

El nivel de competición al que va a estar sometido el campo de fútbol sala es de categoría 3 (entrenamiento, deporte escolar y recreativo) por lo que sus niveles mínimos de iluminación necesarios para el dimensionamiento son 200 lux de iluminancia horizontal ( $E_{med}$ ) y 0.5 de uniformidad ( $E_{min}/E_{max}$ ).

#### 4.1.2 ALUMBRADO DE EMERGENCIA

El alumbrado de emergencia son dispositivos que tienen por misión asegurar, en caso de fallo de la alimentación de del alumbrado normal, la iluminación en los locales.

Este tipo de alumbrado debe iluminar unos puntos y elementos específicos para la evacuación de los usuarios que se encuentren en el local en caso de emergencia. Dichos puntos son los siguientes:

- Recorridos de evacuación.
- Locales que albergan equipos generales de instalaciones de protección.
- Lugares en los que se ubican cuadros de distribución o de accionamiento de la instalación de alumbrado.
- Las señales de seguridad.

Las características que deben de tener estos dispositivos son:

- Ser luminarias fijas.
- Disponer de una fuente propia de energía.
- Entrar en funcionamiento al producirse un fallo de alimentación en las zonas de alumbrado normal.
- El alumbrado de emergencia en vías de evacuación debe alcanzar, al menos, el 50% del nivel de iluminación requerido al cabo de 5 segundos y el 100% a los 60 segundos.

En las siguientes tablas se comparan las condiciones de servicio mínimas que deberá garantizar este alumbrado por lo menos durante una hora desde que se produce el fallo entre lo que indica la norma y el resultado de proyecto para verificar que cumple las especificaciones:

### VESTUARIOS

		NORMA	PROYECTO
Vías de evacuación de anchura $\leq 2\text{m}$	Iluminancia en el eje central	$\geq 1 \text{ lux}$	1.26 luxes
	Iluminancia en la banda central	$\geq 0.5 \text{ luxes}$	1.08 luxes

Tabla 9.7 Niveles de iluminación en las vías de evacuación en caso de emergencia.

	NORMA	PROYECTO
Relación entre iluminancia máxima y mínima a lo largo de la línea central	$\leq 40:1$	3:1
Puntos donde estén situados: equipos de seguridad, instalaciones de protección contra incendios y cuadros de distribución del alumbrado.	Iluminancia $\geq 5 \text{ luxes}$	6.01 luxes
Valor mínimo del Índice de Rendimiento Cromático (Ra)	Ra $\geq 40$	Ra = 80.00

Tabla 9.8 Calidad de la iluminación en caso de emergencia

En cuanto a la iluminación que deben de tener las señales de seguridad de los equipos de extinción de incendios y las del recorrido de evacuación, se comparan las condiciones de servicio mínimas que indica la norma y las obtenidas en el proyecto para verificar que cumple con dicha norma.

		NORMA	PROYECTO
Luminancia de cualquier área de color de seguridad		$\geq 2 \text{ cd/m}^2$	3 $\text{cd/m}^2$
Relación entre la luminancia máxima/mínima dentro del color blanco o de seguridad		$\leq 10:1$	10:1
Relación entre la luminancia $L_{\text{blanca}}$ , y la luminancia $L_{\text{color}} > 10$		$\geq 5:1$	
		$\leq 15:1$	10:1
Tiempo en el que se debe alcanzar cada nivel de iluminación	$\geq 50\%$	--> 5 s	5 s
	100%	--> 60 s	60 s

Tabla 9.9 Nivel de iluminación de las señales de seguridad en caso de emergencia

### CAMPO DE FÚTBOL SALA

		NORMA	PROYECTO
Vías de evacuación de anchura $\leq 2\text{m}$	Iluminancia en el eje central	$\geq 1 \text{ lux}$	3.11 luxes
	Iluminancia en la banda central	$\geq 0.5 \text{ luxes}$	3.07 luxes

Tabla 9.10 Niveles de iluminación en las vías de evacuación en caso de emergencia.

	NORMA	PROYECTO
Relación entre iluminancia máxima y mínima a lo largo de la línea central	$\leq 40:1$	3:1
Puntos donde estén situados: equipos de seguridad, instalaciones de protección contra incendios y cuadros de distribución del alumbrado.	Iluminancia $\geq 5 \text{ luxes}$	12.60 luxes
Valor mínimo del Índice de Rendimiento Cromático (Ra)	Ra $\geq 40$	Ra = 80.00

Tabla 9.11 Calidad de la iluminación en caso de emergencia

En cuanto a la iluminación que deben de tener las señales de seguridad de los equipos de extinción de incendios y las del recorrido de evacuación, se comparan las condiciones de servicio

mínimas que indica la norma y las obtenidas en el proyecto para verificar que cumple con dicha norma.

		NORMA	PROYECTO
Luminancia de cualquier área de color de seguridad		$\geq 2 \text{ cd/m}^2$	3 cd/m <sup>2</sup>
Relación entre la luminancia máxima/mínima dentro del color blanco o de seguridad		$\leq 10:1$	10:1
Relación entre la luminancia $L_{\text{blanca}}$ , y la luminancia $L_{\text{color}} > 10$		$\geq 5:1$	
		$\leq 15:1$	10:1
Tiempo en el que se debe alcanzar cada nivel de iluminación	$\geq 50\%$	--> 5 s	5 s
	100%	--> 60 s	60 s

Tabla 9.12 Nivel de iluminación de las señales de seguridad en caso de emergencia

#### 4.2 SELECCIÓN DE LUMINARIAS

Para la selección de las luminarias de interior, al igual que en iluminación exterior, se han escogido unas luminarias acordes para el uso al que se le va a dar a las diferentes instalaciones. A continuación, se indica el tipo de luminaria utilizadas para los vestuarios y el campo de fútbol sala

##### VESTUARIOS

Nº	DESIGNACIÓN	CANTIDAD
1	Luminaria de emergencia, con tubo lineal fluorescente, 6 W - G5, flujo luminoso 155 lúmenes, carcasa de 245x110x58 mm, clase II, IP 42, con baterías de Ni-Cd de alta temperatura, autonomía de 1 h, alimentación a 230 V, tiempo de carga 24 h.	19,00 Ud
2	Luminaria de techo de altura reducida, de 650x650x77 mm, para 4 lámparas fluorescentes T5 de 14 W, cuerpo de luminaria de aluminio extruido termoesmaltado en color blanco; óptica formada por difusor opal de micropirámides de base hexagonal; balasto electrónico; protección IP 20 y aislamiento clase F.	4,00 Ud
3	Luminaria de techo de líneas rectas, de 1551x200x94 mm, para 1 lámpara fluorescente TL de 58 W, cuerpo de luminaria de chapa de acero termoesmaltado en color blanco; reflector de aluminio especular; balasto magnético; protección IP 20.	13,00 Ud
4	Tubo fluorescente T5 de 14 W.	16,00 Ud
5	Tubo fluorescente TL de 58 W.	13,00 Ud
6	Material auxiliar para instalación de aparatos de iluminación.	17,00 Ud

Tabla 9.13 Luminarias empleadas en los vestuarios

##### CAMPO DE FÚTBOL SALA

Nº	CÓDIGO	DESIGNACIÓN	CANTIDAD
1	mt34aem010f	Luminaria de emergencia, con tubo lineal fluorescente, 6 W - G5, flujo luminoso 310 lúmenes, carcasa de 245x110x58 mm, clase II, IP 42, con baterías de Ni-Cd de alta temperatura, autonomía de 1 h, alimentación a 230 V, tiempo de carga 24 h.	25,00 Ud

3	mt34lam050Ibp	Luminaria suspendida tipo Downlight, de 320 mm de diámetro y 452 mm de altura, para lámpara de halogenuros metálicos bipin HIT de 150 W, modelo Miniyes 1x150W HIT Reflector Cristal Transparente "LAMP", con cuerpo de aluminio extruido RAL 9006 con equipo de encendido magnético y aletas de refrigeración; protección IP 20; reflector metalizado mate; cierre de vidrio transparente; sistema de suspensión por cable de acero de 3x0,75 mm de diámetro y 4 m de longitud máxima.	34,00 Ud
5	mt34lhb010l	Lámpara de halogenuros metálicos bipin HIT, de 150 W.	34,00 Ud
7	mt34www011	Material auxiliar para instalación de aparatos de iluminación.	34,00 Ud

Tabla 9.14 Luminarias empleadas en el campo de fútbol sala

### 4.3 EFICIENCIA ENÉRGICA

Los edificios del proyecto contarán con unas instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de los usuarios y a su vez energéticamente eficaces disponiendo de un sistema de control y regulación que permita ajustar el encendido a la ocupación real de la zona.

La eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona, se determinará con el valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI) que se mide en  $W/m^2$ . Los valores de VEEI en recintos interiores de un edificio se establecen en la tabla 8.15.

<b>Zonas de actividad diferenciada</b>	<b>VEEI limite</b>
administrativo en general	3,0
andenes de estaciones de transporte	3,0
pabellones de exposición o ferias	3,0
salas de diagnóstico <sup>(1)</sup>	3,5
aulas y laboratorios <sup>(2)</sup>	3,5
habitaciones de hospital <sup>(3)</sup>	4,0
recintos interiores no descritos en este listado	4,0
zonas comunes <sup>(4)</sup>	4,0
almacenes, archivos, <i>salas técnicas</i> y cocinas	4,0
aparcamientos	4,0
espacios deportivos <sup>(5)</sup>	4,0
estaciones de transporte <sup>(6)</sup>	5,0
supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
centros comerciales (excluidas tiendas) <sup>(7)</sup>	6,0
hostelería y restauración <sup>(8)</sup>	8,0
religioso en general	8,0
salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias <sup>(9)</sup>	8,0
tiendas y pequeño comercio	8,0
habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
locales con nivel de iluminación superior a 600lux	2,5

Tabla 9.15 Valores límite de eficiencia energética de la instalación.

## VESTUARIOS

RECINTO	VEEI (W/m <sup>2</sup> )
Vestuario 1	3,8
Vestuario 2	3,7
Vestuario 3	2,7
Sala de mantenimiento	2,2

Tabla 9.16 Valores de eficiencia energética de la instalación de cada recinto de los vestuarios.

## CAMPO DE FÚTBOL SALA

RECINTO	VEEI (W/m <sup>2</sup> )
Campo de fútbol sala	1,90

Tabla 9.17 Valores de eficiencia energética de la instalación del campo de fútbol sala

Comparando los resultados obtenidos en cada una de los recintos con los valores límite que establece la norma se confirma que todos los VEEI cumplen con la norma.

## 4.4 POTENCIA INSTALADA

Para unas instalaciones deportivas como vestuarios deportivos y campo de de fútbol sala potencia máxima admisible es de 15 W/m<sup>2</sup> en cada recinto. Esta potencia se calcula sumando las potencias de todos los recintos y se divide entre la superficie total ( $P_{TOT}/S_{TOT}$ ).

Tipo de uso: Deportivo			
Potencia límite: 15.00 W/m <sup>2</sup>			
Planta	Recinto	Superficie iluminada	Potencia total instalada en lámparas + equipos aux.
Planta baja	Sala de mantenimiento (Sala de máquinas)	18	56.00
Planta baja	Vestuario2 (Vestuarios)	66	426.00
Planta baja	Vestuario3 (Vestuarios)	30	168.00
Planta baja	Vestuario1 (Vestuarios)	66	426.00
TOTAL		181	1076.00
Potencia total instalada por unidad de superficie iluminada: $P_{tot}/S_{tot}$ (W/m <sup>2</sup> ): 5.95			

Tabla 9.18 Potencia instalada por unidad de superficie iluminada

La potencia instalada en los vestuarios es de 5,95 W/m<sup>2</sup> por lo que se verifica que se cumple la norma.

Tipo de uso: Deportivo			
Potencia límite: 15.00 W/m <sup>2</sup>			
Planta	Recinto	Superficie iluminada	Potencia total instalada en lámparas + equipos aux.
Planta baja	1 (Gimnasio)	1252	6099.60
TOTAL		1252	6099.60
Potencia total instalada por unidad de superficie iluminada: $P_{tot}/S_{tot}$ (W/m <sup>2</sup> ): 4.87			

Tabla 9.19 Potencia instalada por unidad de superficie iluminada



La potencia instalada en el campo de futbol sala es de 4,87 W/m<sup>2</sup> por lo que se verifica que se cumple la norma.

## 4.5 CÁLCULO DE LA ILUMINACIÓN

### 4.5.1 VESTUARIOS

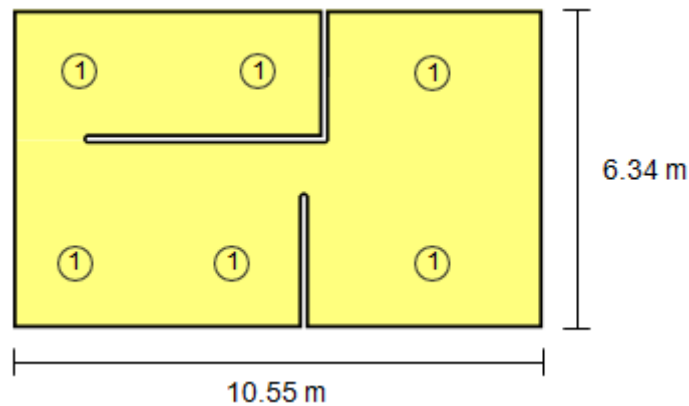
#### VESTUARIO 1

#### 1. ALUMBRADO NORMAL

RECINTO			
<b>Referencia:</b>	Vestuario1 (Vestuarios)	<b>Planta:</b>	Planta baja
<b>Superficie:</b>	66.2 m <sup>2</sup>	<b>Altura libre:</b>	3.59 m
		<b>Volumen:</b>	237.6 m <sup>3</sup>

Alumbrado normal	
<b>Altura del plano de trabajo:</b>	0.00 m
<b>Altura para la comprobación de deslumbramiento (UGR):</b>	0.85 m
<b>Coefficiente de reflectancia en suelos:</b>	0.20
<b>Coefficiente de reflectancia en paredes:</b>	0.50
<b>Coefficiente de reflectancia en techos:</b>	0.70
<b>Factor de mantenimiento:</b>	0.80
<b>Índice del local (K):</b>	0.79
<b>Número mínimo de puntos de cálculo:</b>	4

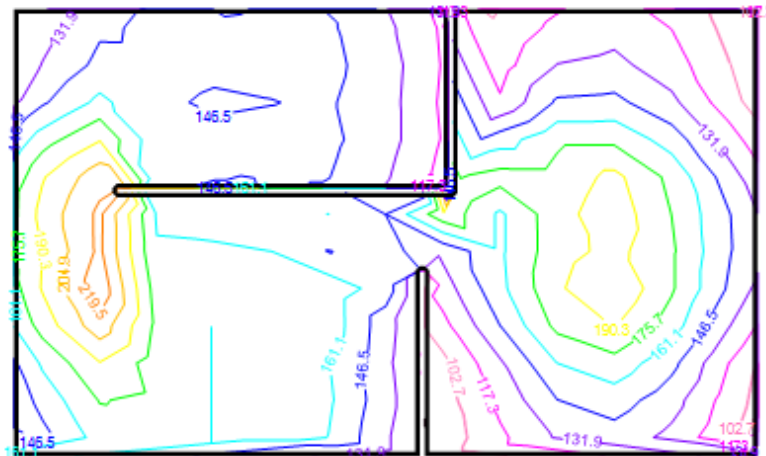
#### Disposición de las luminarias



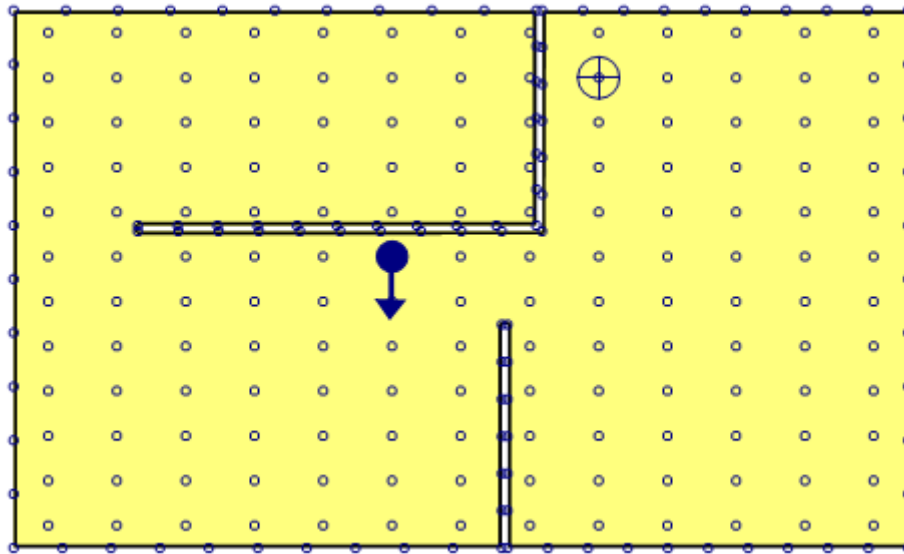
Tipo	Cantidad	Descripción	Flujo luminoso total (lm)	Eficiencia (lm/W)	Rendimiento (%)	Potencia total (W)
1	6	Luminaria de techo de líneas rectas, de 1551x200x94 mm, para 1 lámpara fluorescente TL de 58 W	5200	12	64	6 x 71.0
						<b>Total = 426.0 W</b>

Valores de cálculo obtenidos	
<b>Iluminancia mínima:</b>	111.82 lux
<b>Iluminancia media horizontal mantenida:</b>	165.57 lux
<b>Índice de deslumbramiento unificado (UGR):</b>	20.00
<b>Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI):</b>	3.80 W/m <sup>2</sup>
<b>Potencia total instalada por unidad de superficie iluminada:</b>	6.44 W/m <sup>2</sup>
<b>Factor de uniformidad:</b>	67.53 %

### Valores calculados de iluminancia



### Posición de los valores pésimos calculados

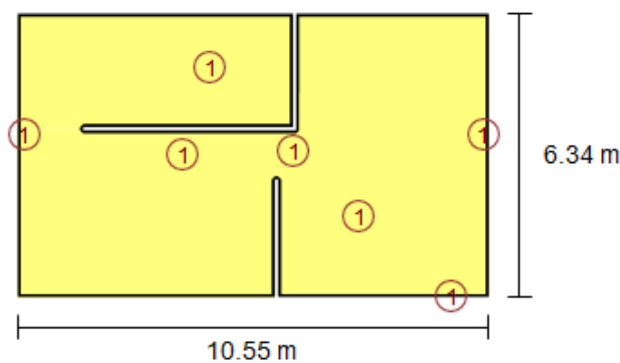


- ⊕ Iluminancia mínima (111.82 lux)
- ←● Índice de deslumbramiento unificado (UGR = 20.00)
- Puntos de cálculo (Número de puntos de cálculo: 261)

## 2. ALUMBRADO DE EMERGENCIA

Alumbrado de emergencia	
Coefficiente de reflectancia en suelos:	0.00
Coefficiente de reflectancia en paredes:	0.00
Coefficiente de reflectancia en techos:	0.00
Factor de mantenimiento:	0.80
Índice de rendimiento cromático:	80.00

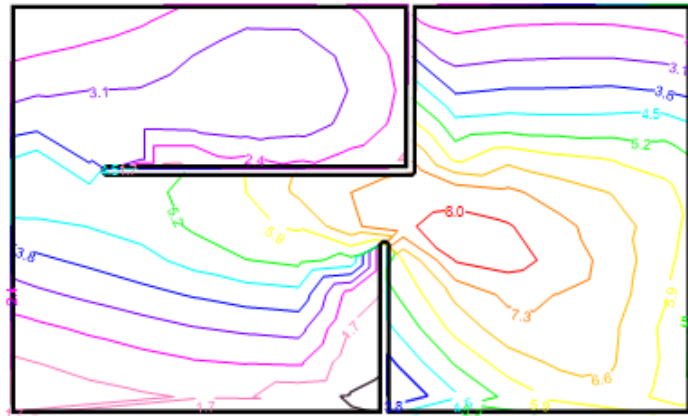
### Disposición de las luminarias



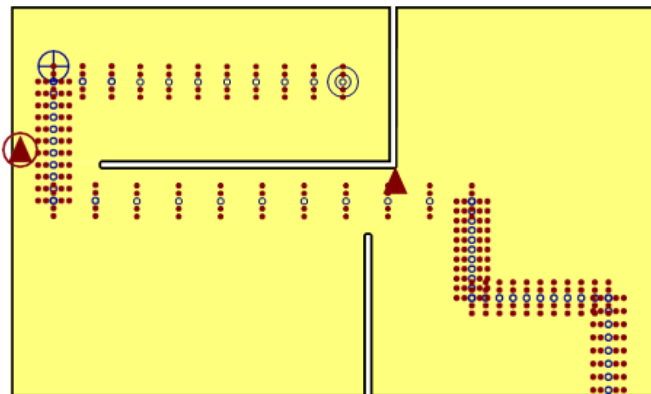
Nº	Cantidad	Descripción
1	7	Luminaria de emergencia, con tubo lineal fluorescente, 6 W - G5, flujo luminoso 155 lúmenes

Valores de cálculo obtenidos	
<b>Iluminancia pésima en el eje central de las vías de evacuación:</b>	2.97 lux
<b>Iluminancia pésima en la banda central de las vías de evacuación:</b>	2.70 lux
<b>Relación iluminancia máxima/mínima (eje central vías evacuación):</b>	2.81
<b>Altura sobre el nivel del suelo:</b>	3.24 m

### Valores calculados de iluminancia



### Posición de los valores pésimos calculados



- ⊙ Iluminancia pésima en el eje central de las vías de evacuación (2.97 lux)
- ⊕ Iluminancia pésima en la banda central de las vías de evacuación (2.70 lux)
- Punto de comprobación en el eje central de las vías de evacuación (Número de puntos de cálculo: 63)
- Punto de comprobación en la banda central de las vías de evacuación (Número de puntos de cálculo: 252)
- ▲ Equipos de seguridad, de protección o cuadros de distribución de alumbrado (Número de puntos de cálculo: 2)
- ⊕ Iluminancia pésima en equipos de protección/seguridad (11.48 lux)

### 3. CURVAS FOTOMÉTRICAS

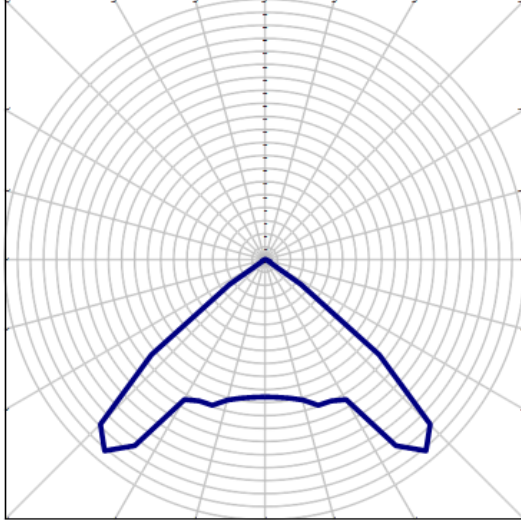
#### Alumbrado normal

##### Tipo 1

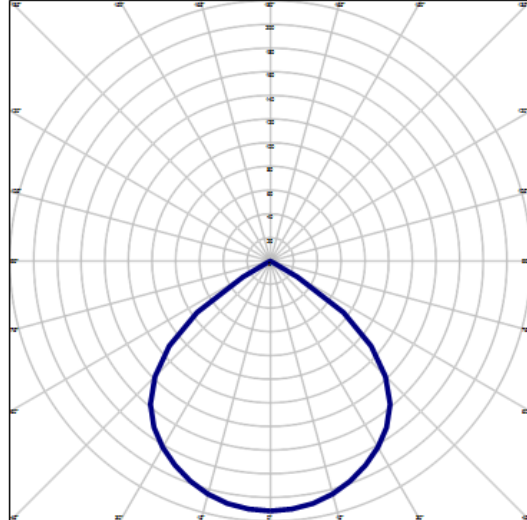
Luminaria de techo de líneas rectas, de 1551x200x94 mm, para 1 lámpara fluorescente TL de 58 W (Número total de luminarias utilizadas en el proyecto: 13)

##### Curvas fotométricas

PLANO C0 - C180



PLANO C90 - C270



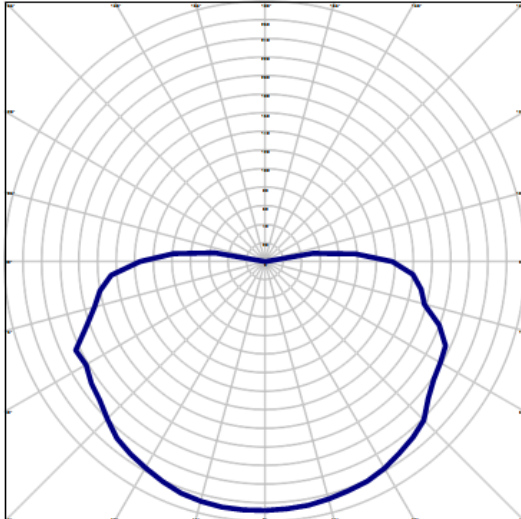
#### Alumbrado de emergencia

##### Tipo 1

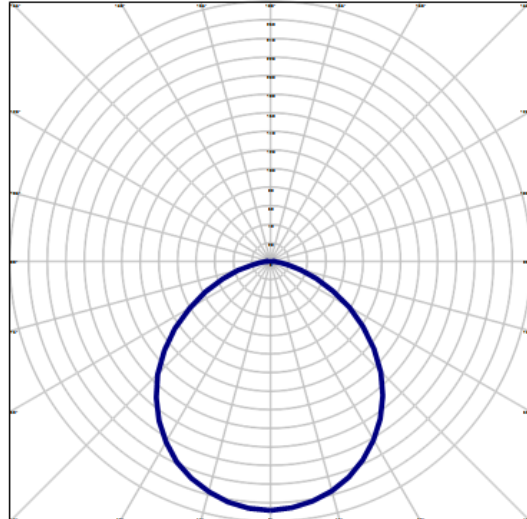
Luminaria de emergencia, con tubo lineal fluorescente, 6 W - G5, flujo luminoso 155 lúmenes (Número total de luminarias utilizadas en el proyecto: 19)

##### Curvas fotométricas

PLANO C0 - C180



PLANO C90 - C270



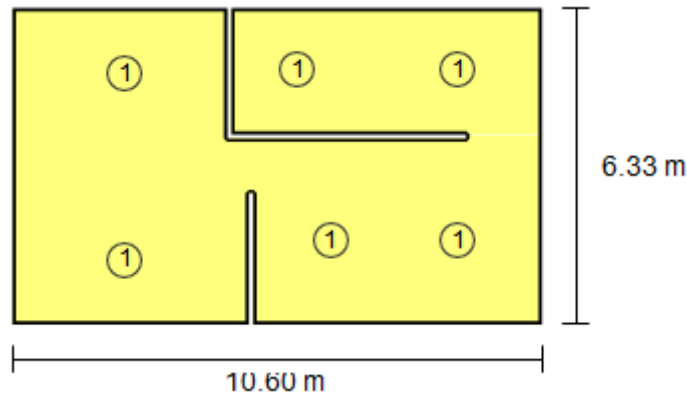
## VESTUARIO 2

### 1. ALUMBRADO NORMAL

RECINTO			
<b>Referencia:</b>	Vestuario2 (Vestuarios)	<b>Planta:</b>	Planta baja
<b>Superficie:</b>	66.3 m <sup>2</sup>	<b>Altura libre:</b>	3.59 m
		<b>Volumen:</b>	238.0 m <sup>3</sup>

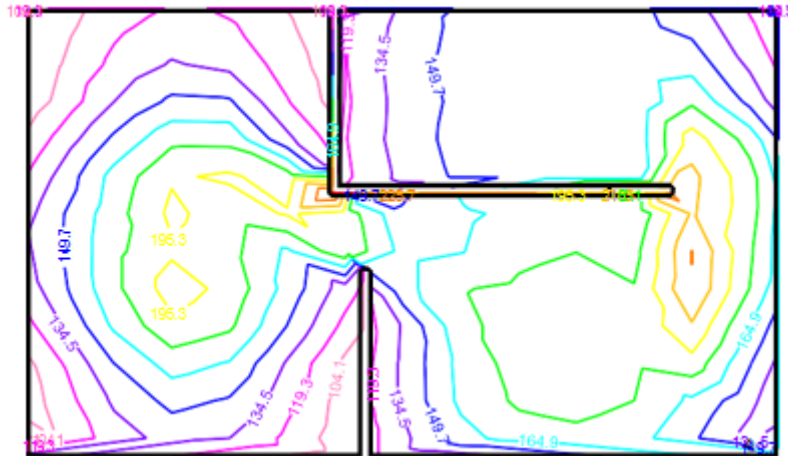
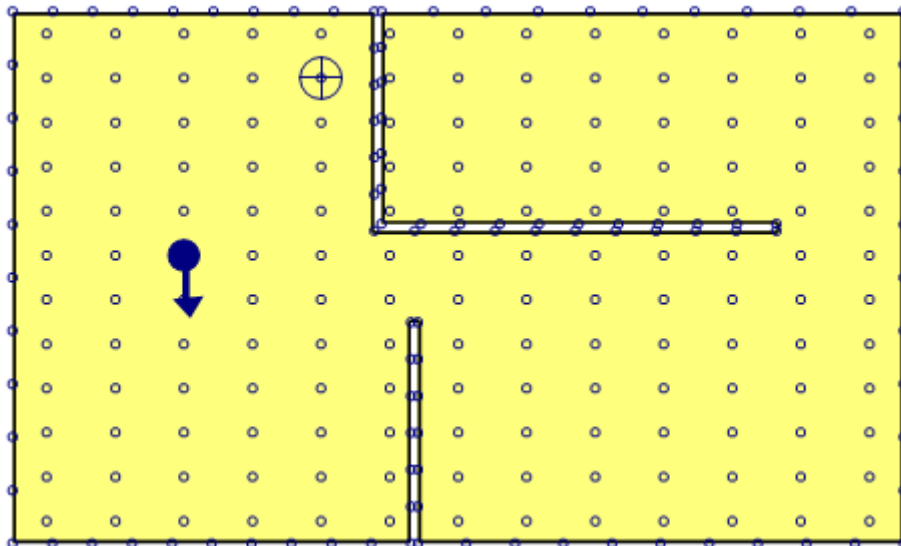
Alumbrado normal	
<b>Altura del plano de trabajo:</b>	0.00 m
<b>Altura para la comprobación de deslumbramiento (UGR):</b>	0.85 m
<b>Coefficiente de reflectancia en suelos:</b>	0.20
<b>Coefficiente de reflectancia en paredes:</b>	0.50
<b>Coefficiente de reflectancia en techos:</b>	0.70
<b>Factor de mantenimiento:</b>	0.80
<b>Índice del local (K):</b>	0.79
<b>Número mínimo de puntos de cálculo:</b>	4

#### Disposición de las luminarias



Tipo	Cantidad	Descripción	Flujo luminoso total (lm)	Eficiencia (lm/W)	Rendimiento (%)	Potencia total (W)
1	6	Luminaria de techo de líneas rectas, de 1551x200x94 mm, para 1 lámpara fluorescente TL de 58 W	5200	12	64	6 x 71.0
						<b>Total = 426.0 W</b>

Valores de cálculo obtenidos	
<b>Iluminancia mínima:</b>	112.97 lux
<b>Iluminancia media horizontal mantenida:</b>	170.09 lux
<b>Índice de deslumbramiento unificado (UGR):</b>	20.00
<b>Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI):</b>	3.70 W/m <sup>2</sup>
<b>Potencia total instalada por unidad de superficie iluminada:</b>	6.42 W/m <sup>2</sup>
<b>Factor de uniformidad:</b>	66.42 %

**Valores calculados de iluminancia****Posición de los valores pésimos calculados**

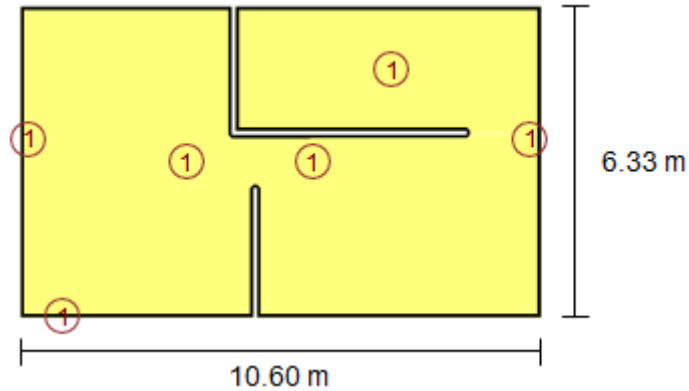
- ⊕ Iluminancia mínima (112.97 lux)
- ←● Índice de deslumbramiento unificado (UGR = 20.00)
- Puntos de cálculo (Número de puntos de cálculo: 261)



## 2. ALUMBRADO DE EMERGENCIA

Alumbrado de emergencia	
Coefficiente de reflectancia en suelos:	0.00
Coefficiente de reflectancia en paredes:	0.00
Coefficiente de reflectancia en techos:	0.00
Factor de mantenimiento:	0.80
Índice de rendimiento cromático:	80.00

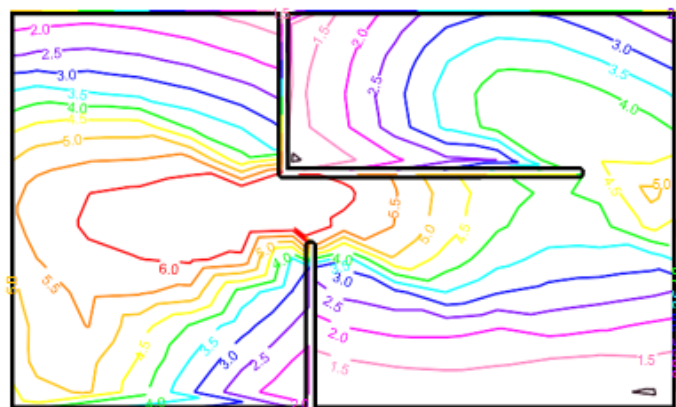
### Disposición de las luminarias



Nº	Cantidad	Descripción
1	6	Luminaria de emergencia, con tubo lineal fluorescente, 6 W - G5, flujo luminoso 155 lúmenes

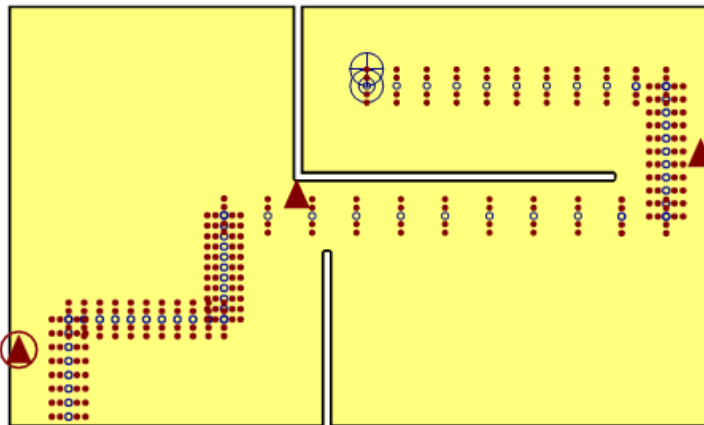
Valores de cálculo obtenidos	
Iluminancia pésima en el eje central de las vías de evacuación:	2.04 lux
Iluminancia pésima en la banda central de las vías de evacuación:	1.99 lux
Relación iluminancia máxima/mínima (eje central vías evacuación):	3.22
Altura sobre el nivel del suelo:	3.24 m

### Valores calculados de iluminancia





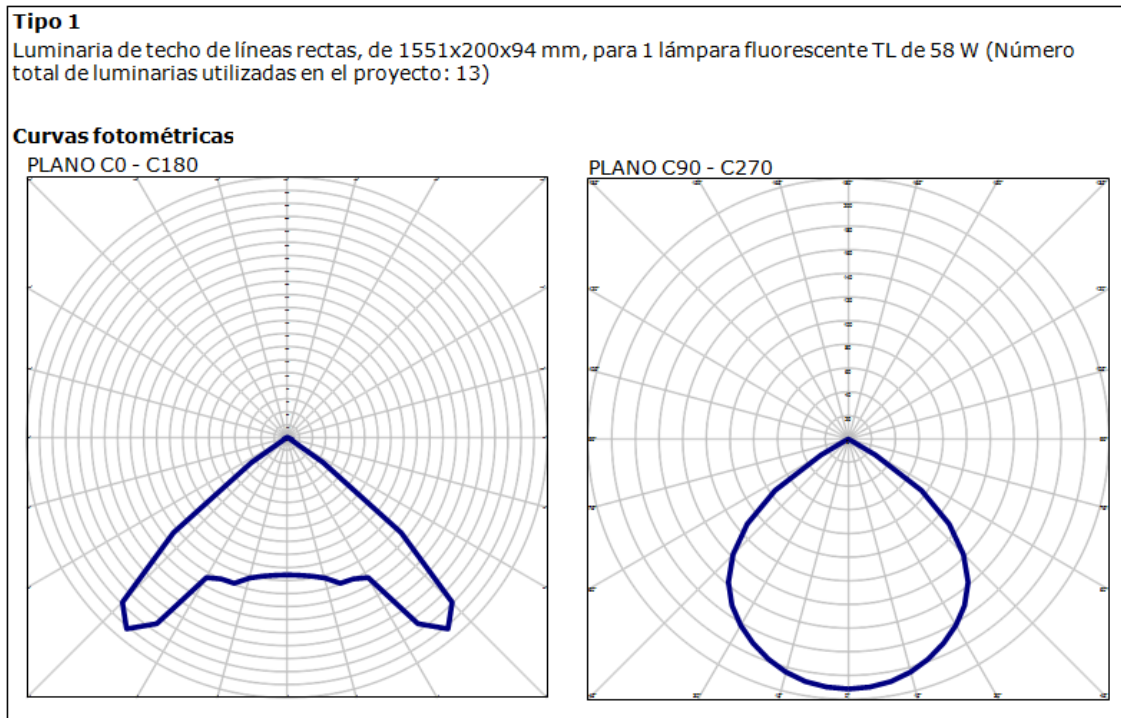
### Posición de los valores pésimos calculados



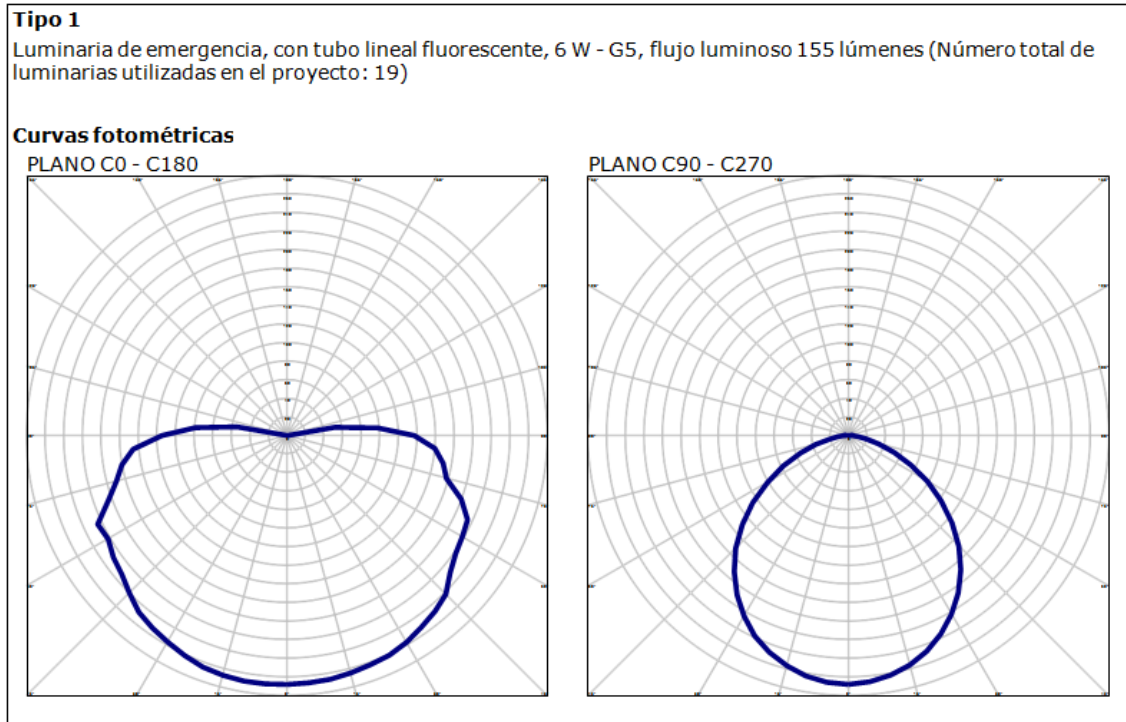
- ⊗ Iluminancia pésima en el eje central de las vías de evacuación (2.04 lux)
- ⊕ Iluminancia pésima en la banda central de las vías de evacuación (1.99 lux)
- Punto de comprobación en el eje central de las vías de evacuación (Número de puntos de cálculo: 63)
- Punto de comprobación en la banda central de las vías de evacuación (Número de puntos de cálculo: 252)
- ▲ Equipos de seguridad, de protección o cuadros de distribución de alumbrado (Número de puntos de cálculo: 3)
- ⊗ Iluminancia pésima en equipos de protección/seguridad (6.75 lux)

### 3. CURVAS FOTOMÉTRICAS

#### Alumbrado normal



### Alumbrado de emergencia



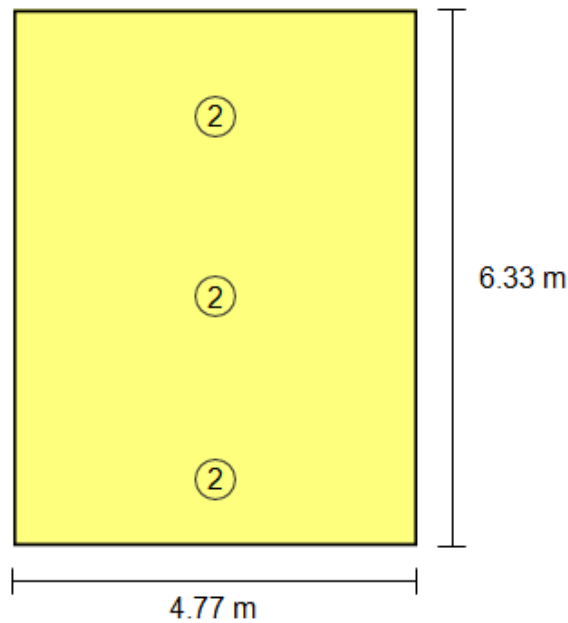
VESTUARIO 3

**1. Alumbrado normal**

RECINTO			
<b>Referencia:</b>	Vestuario3 (Vestuarios)	<b>Planta:</b>	Planta baja
<b>Superficie:</b>	30.2 m <sup>2</sup>	<b>Altura libre:</b>	3.59 m
		<b>Volumen:</b>	108.4 m <sup>3</sup>

Alumbrado normal	
<b>Altura del plano de trabajo:</b>	0.00 m
<b>Altura para la comprobación de deslumbramiento (UGR):</b>	0.85 m
<b>Coefficiente de reflectancia en suelos:</b>	0.20
<b>Coefficiente de reflectancia en paredes:</b>	0.50
<b>Coefficiente de reflectancia en techos:</b>	0.70
<b>Factor de mantenimiento:</b>	0.80
<b>Índice del local (K):</b>	0.88
<b>Número mínimo de puntos de cálculo:</b>	4

Disposición de las luminarias

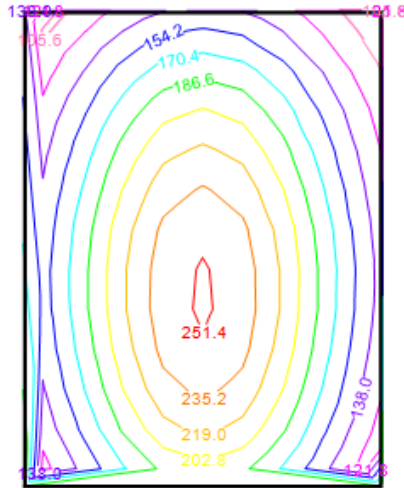


Tipo	Cantidad	Descripción	Flujo luminoso total (lm)	Eficiencia (lm/W)	Rendimiento (%)	Potencia total (W)
2	3	Luminaria de techo de altura reducida, de 650x650x77 mm, para 4 lámparas fluorescentes T5 de 14 W	4800	29	62	3 x 56.0
						<b>Total = 168.0 W</b>

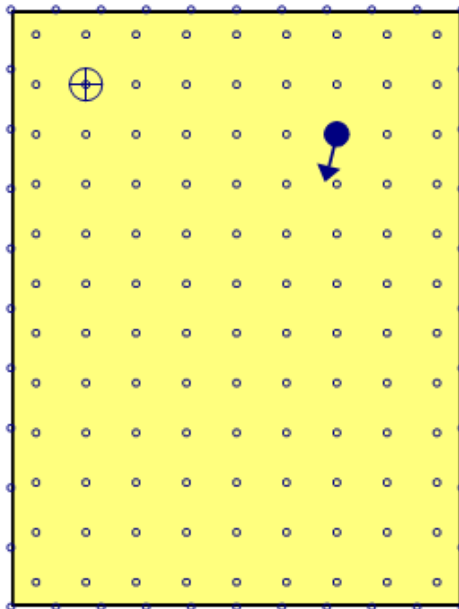


Valores de cálculo obtenidos	
<b>Iluminancia mínima:</b>	137.34 lux
<b>Iluminancia media horizontal mantenida:</b>	200.60 lux
<b>Índice de deslumbramiento unificado (UGR):</b>	14.00
<b>Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI):</b>	2.70 W/m <sup>2</sup>
<b>Potencia total instalada por unidad de superficie iluminada:</b>	5.56 W/m <sup>2</sup>
<b>Factor de uniformidad:</b>	68.46 %

**Valores calculados de iluminancia**



**Posición de los valores pésimos calculados**



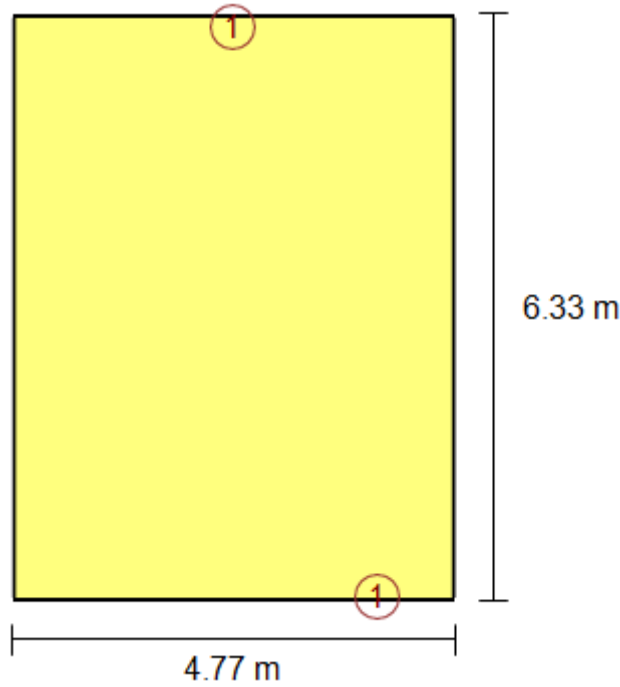
- ⊕ Iluminancia mínima (137.34 lux)
- ↖ Índice de deslumbramiento unificado (UGR = 14.00)
- Puntos de cálculo (Número de puntos de cálculo: 148)



## 2. ALUMBRADO DE EMERGENCIA

Alumbrado de emergencia	
Coefficiente de reflectancia en suelos:	0.00
Coefficiente de reflectancia en paredes:	0.00
Coefficiente de reflectancia en techos:	0.00
Factor de mantenimiento:	0.80
Índice de rendimiento cromático:	80.00

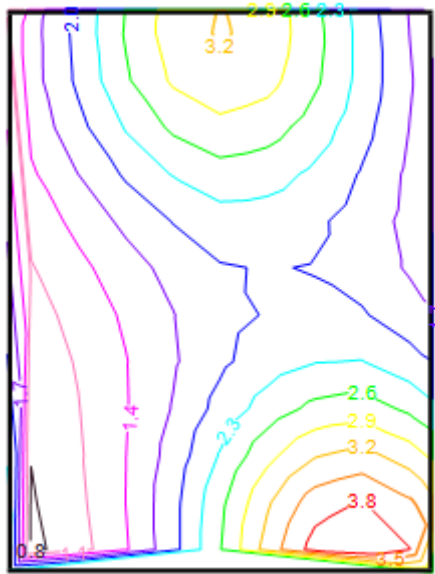
### Disposición de las luminarias



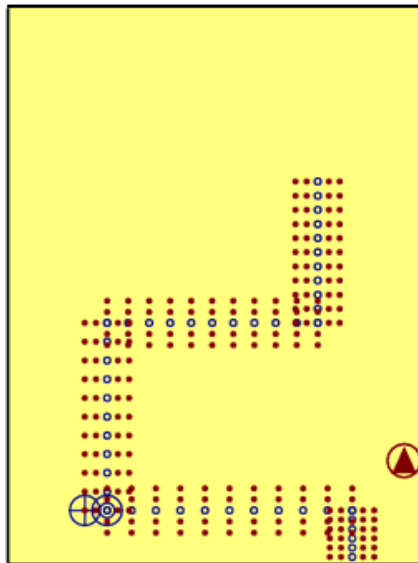
Nº	Cantidad	Descripción
1	2	Luminaria de emergencia, con tubo lineal fluorescente, 6 W - G5, flujo luminoso 155 lúmenes

Valores de cálculo obtenidos	
Iluminancia pésima en el eje central de las vías de evacuación:	1.26 lux
Iluminancia pésima en la banda central de las vías de evacuación:	1.08 lux
Relación iluminancia máxima/mínima (eje central vías evacuación):	3.29
Altura sobre el nivel del suelo:	3.31 m

### Valores calculados de iluminancia



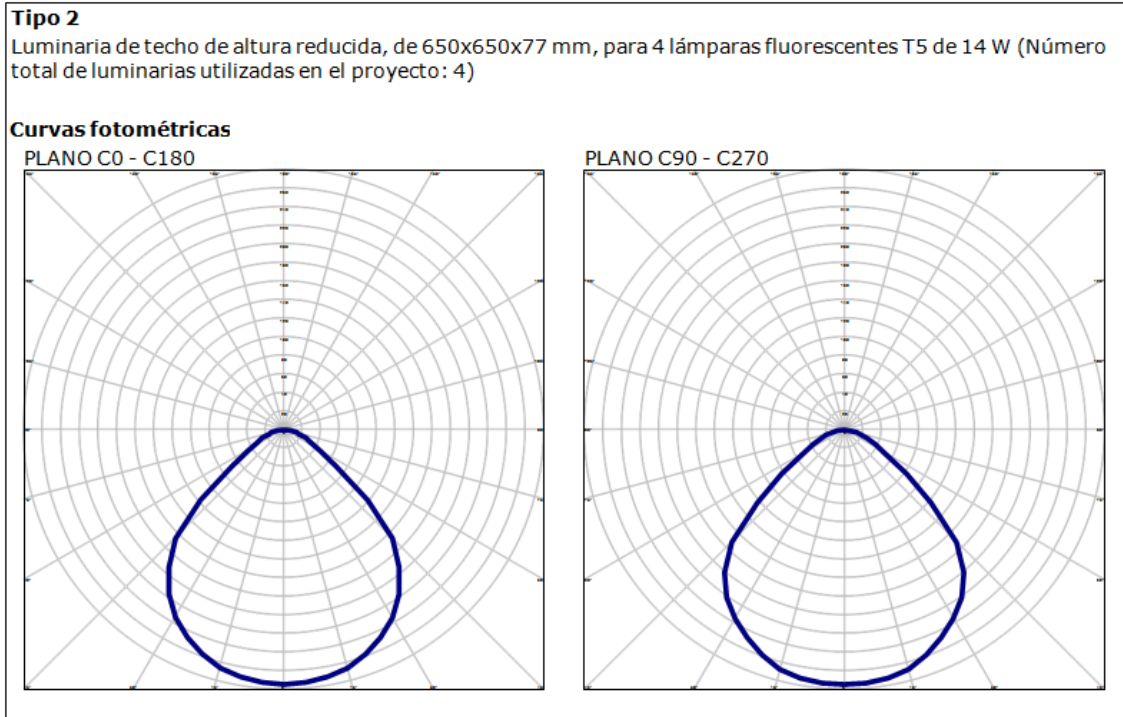
### Posición de los valores pésimos calculados



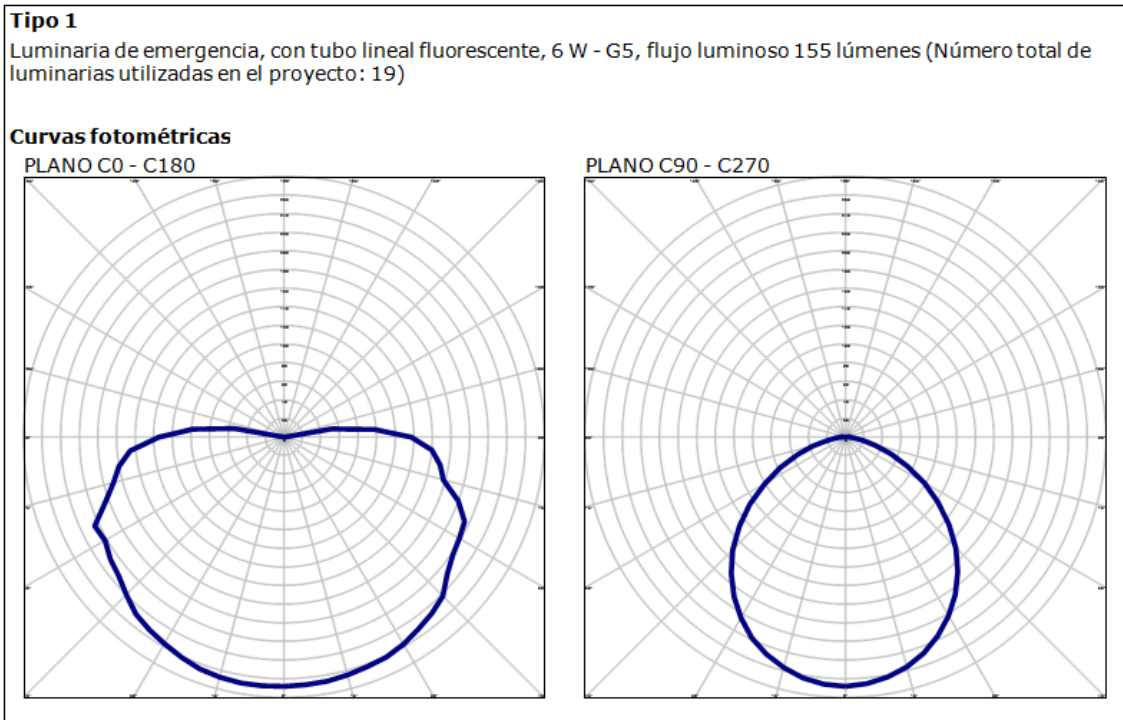
- ⊙ Iluminancia pésima en el eje central de las vías de evacuación (1.26 lux)
- ⊕ Iluminancia pésima en la banda central de las vías de evacuación (1.08 lux)
- Punto de comprobación en el eje central de las vías de evacuación (Número de puntos de cálculo: 50)
- Punto de comprobación en la banda central de las vías de evacuación (Número de puntos de cálculo: 200)
- ▲ Equipos de seguridad, de protección o cuadros de distribución de alumbrado (Número de puntos de cálculo: 1)
- ⊕ Iluminancia pésima en equipos de protección/seguridad (6.01 lux)

### 3. CURVAS FOTOMÉTRICAS

#### Alumbrado normal



#### Alumbrado de emergencia



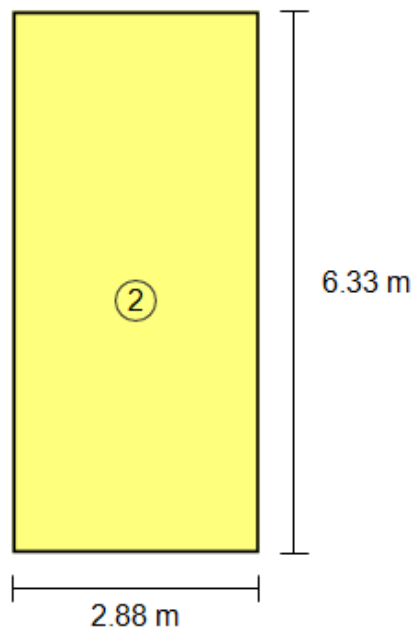
SALA DE MANTENIMIENTO

1. ALUMBRADO NORMAL

RECINTO			
<b>Referencia:</b>	Sala de mantenimiento (Sala de máquinas)	<b>Planta:</b>	Planta baja
<b>Superficie:</b>	18.2 m <sup>2</sup>	<b>Altura libre:</b>	3.59 m <b>Volumen:</b> 65.3 m <sup>3</sup>

Alumbrado normal	
<b>Altura del plano de trabajo:</b>	1.00 m
<b>Altura para la comprobación de deslumbramiento (UGR):</b>	0.85 m
<b>Coefficiente de reflectancia en suelos:</b>	0.20
<b>Coefficiente de reflectancia en paredes:</b>	0.50
<b>Coefficiente de reflectancia en techos:</b>	0.70
<b>Factor de mantenimiento:</b>	0.80
<b>Índice del local (K):</b>	0.94
<b>Número mínimo de puntos de cálculo:</b>	4

Disposición de las luminarias

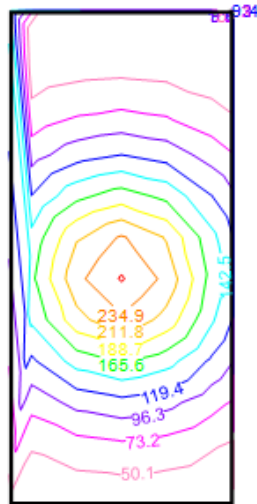


Tipo	Cantidad	Descripción	Flujo luminoso total (lm)	Eficiencia (lm/W)	Rendimiento (%)	Potencia total (W)
2	1	Luminaria de techo de altura reducida, de 650x650x77 mm, para 4 lámparas fluorescentes T5 de 14 W	4800	86	62	1 x 56.0
						<b>Total = 56.0 W</b>

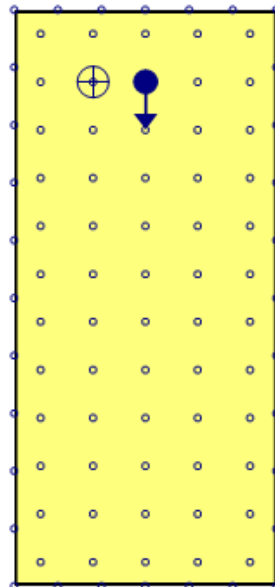


Valores de cálculo obtenidos	
<b>Illuminancia mínima:</b>	43.85 lux
<b>Illuminancia media horizontal mantenida:</b>	139.37 lux
<b>Índice de deslumbramiento unificado (UGR):</b>	16.00
<b>Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI):</b>	2.20 W/m <sup>2</sup>
<b>Potencia total instalada por unidad de superficie iluminada:</b>	3.08 W/m <sup>2</sup>
<b>Factor de uniformidad:</b>	31.46 %

### Valores calculados de iluminancia



### Posición de los valores pésimos calculados



- ⊕ Iluminancia mínima (43.85 lux)
- ↓ Índice de deslumbramiento unificado (UGR = 16.00)
- Puntos de cálculo (Número de puntos de cálculo: 92)



## 2. ALUMBRADO DE EMERGENCIA

Alumbrado de emergencia	
Coefficiente de reflectancia en suelos:	0.00
Coefficiente de reflectancia en paredes:	0.00
Coefficiente de reflectancia en techos:	0.00
Factor de mantenimiento:	0.80
Índice de rendimiento cromático:	80.00

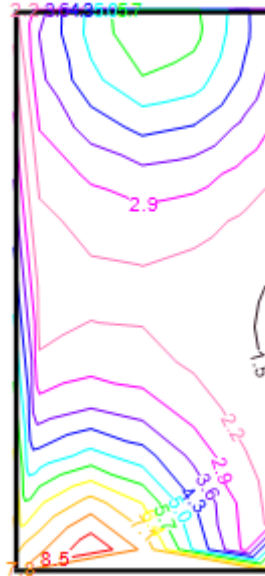
### Disposición de las luminarias



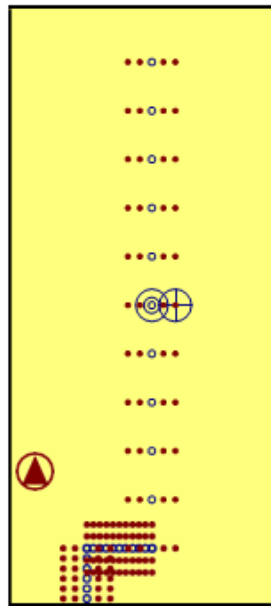
Nº	Cantidad	Descripción
1	2	Luminaria de emergencia, con tubo lineal fluorescente, 6 W - G5, flujo luminoso 155 lúmenes

Valores de cálculo obtenidos	
Iluminancia pésima en el eje central de las vías de evacuación:	2.11 lux
Iluminancia pésima en la banda central de las vías de evacuación:	2.06 lux
Relación iluminancia máxima/mínima (eje central vías evacuación):	1.97
Altura sobre el nivel del suelo:	3.31 m

### Valores calculados de iluminancia



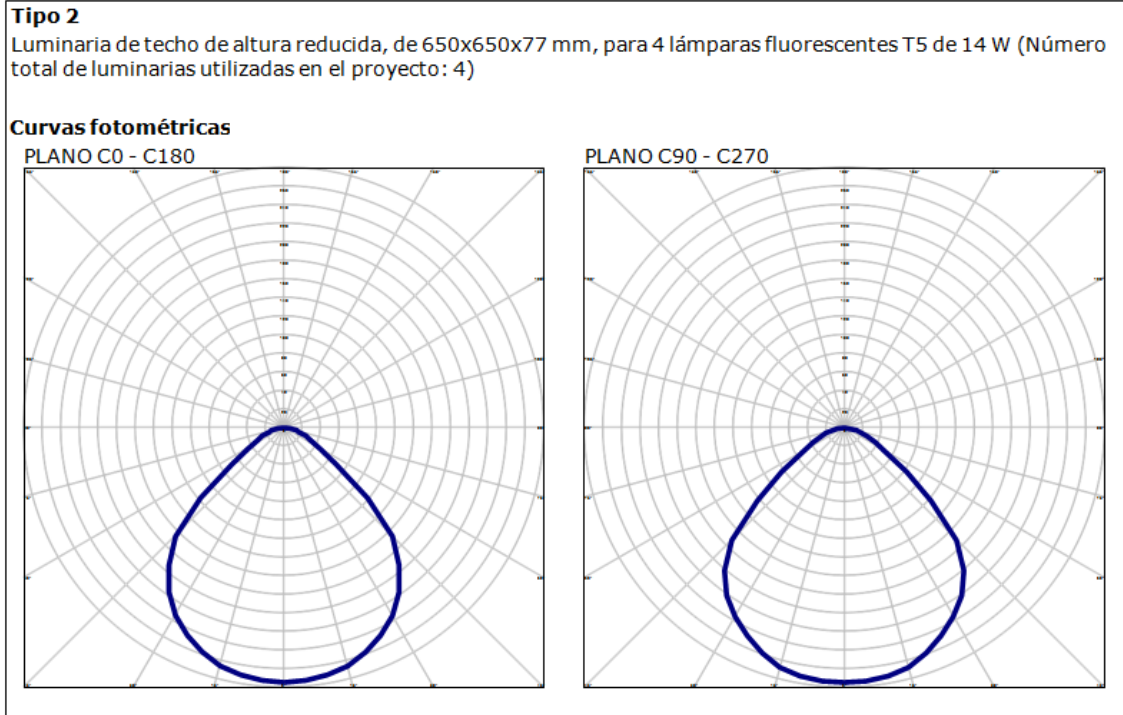
### Posición de los valores pésimos calculados



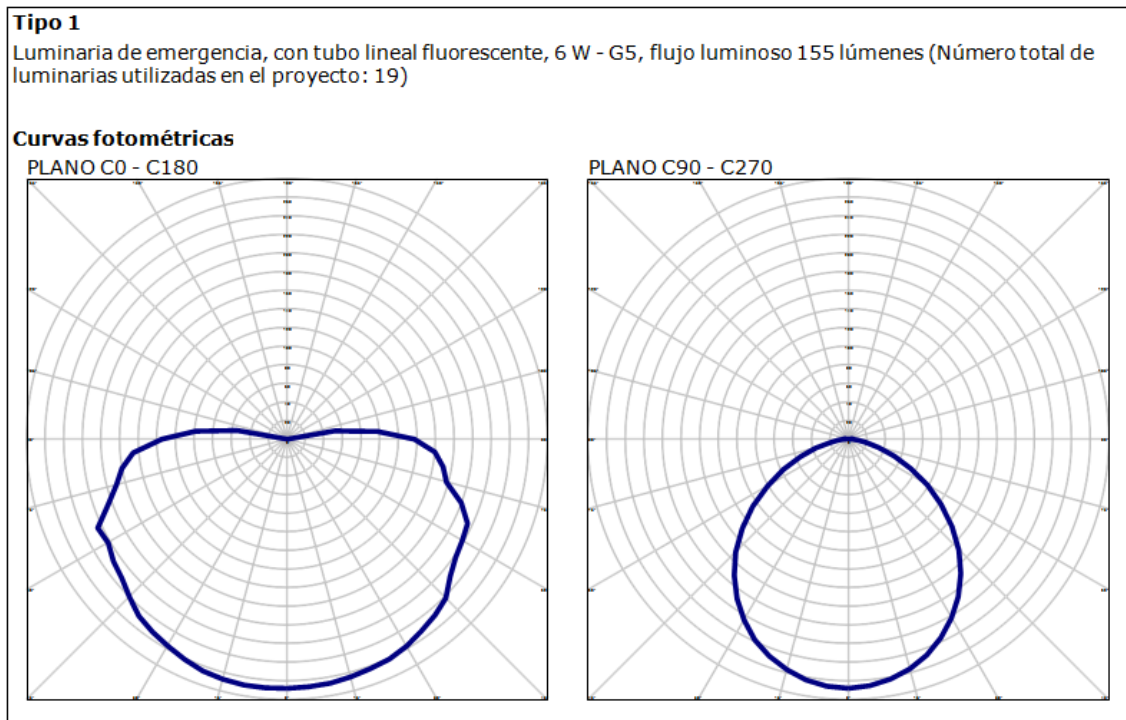
- ⊖ Iluminancia pésima en el eje central de las vías de evacuación (2.11 lux)
- ⊕ Iluminancia pésima en la banda central de las vías de evacuación (2.06 lux)
- Punto de comprobación en el eje central de las vías de evacuación (Número de puntos de cálculo: 28)
- Punto de comprobación en la banda central de las vías de evacuación (Número de puntos de cálculo: 112)
- ▲ Equipos de seguridad, de protección o cuadros de distribución de alumbrado (Número de puntos de cálculo: 1)
- ▲ Iluminancia pésima en equipos de protección/seguridad (4.65 lux)

### 3. CURVAS FOTOMÉTRICAS

#### Alumbrado normal



#### Alumbrado de emergencia



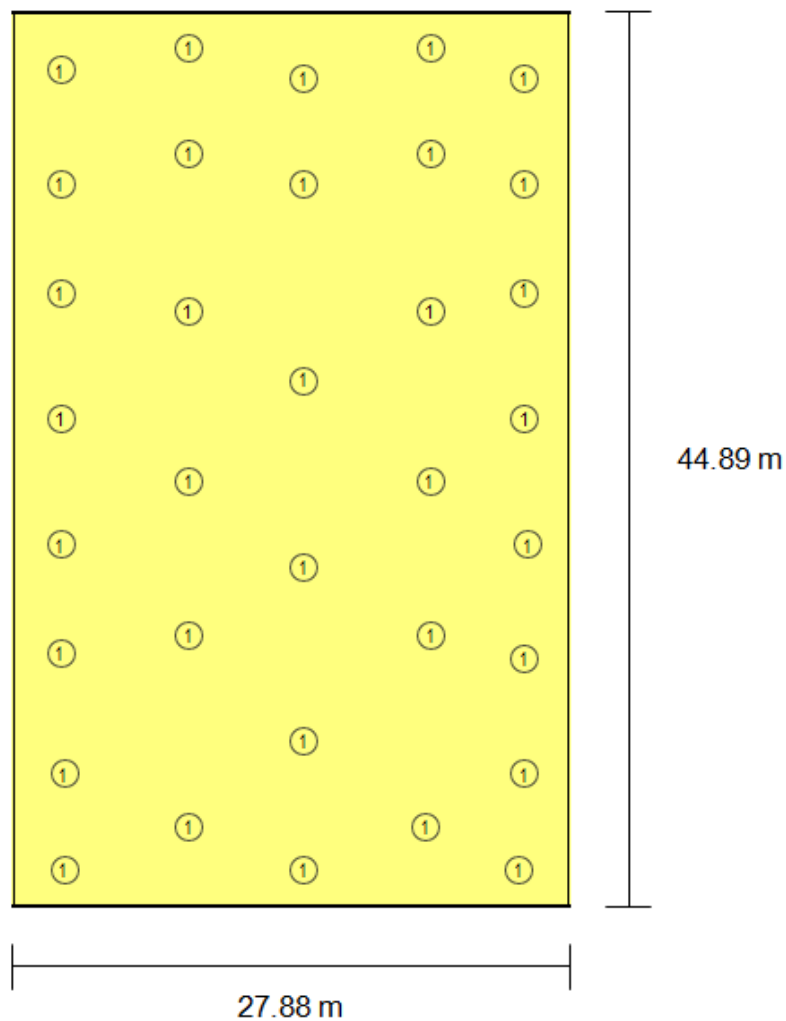
## 4.5.2 CAMPO DE FÚTBOL SALA

### 1. ALUMBRADO NORMAL

RECINTO			
<b>Referencia:</b>	1 (Gimnasio)	<b>Planta:</b>	Planta baja
<b>Superficie:</b>	1251.6 m <sup>2</sup>	<b>Altura libre:</b>	8.51 m
		<b>Volumen:</b>	10647.0 m <sup>3</sup>

Alumbrado normal	
<b>Altura del plano de trabajo:</b>	0.00 m
<b>Altura para la comprobación de deslumbramiento (UGR):</b>	0.85 m
<b>Coefficiente de reflectancia en suelos:</b>	0.20
<b>Coefficiente de reflectancia en paredes:</b>	0.50
<b>Coefficiente de reflectancia en techos:</b>	0.70
<b>Factor de mantenimiento:</b>	0.80
<b>Índice del local (K):</b>	2.44
<b>Número mínimo de puntos de cálculo:</b>	16

#### Disposición de las luminarias

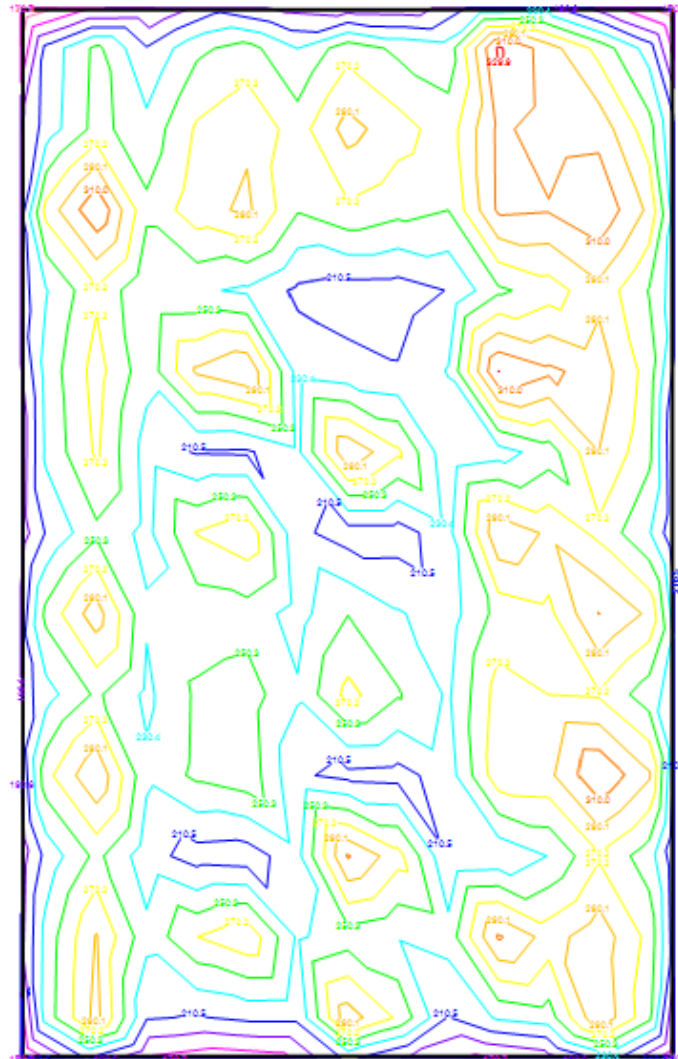




Tipo	Cantidad	Descripción	Flujo luminoso total (lm)	Eficiencia (lm/W)	Rendimiento (%)	Potencia total (W)
1	34	Luminaria suspendida tipo Downlight, de 320 mm de diámetro y 452 mm de altura, para lámpara de halogenuros metálicos bipin HIT de 150 W, modelo Miniyes 1x150W HIT Reflector Cristal Transparente "LAMP"	14200	2	77	34 x 179.4
						<b>Total = 6099.6 W</b>

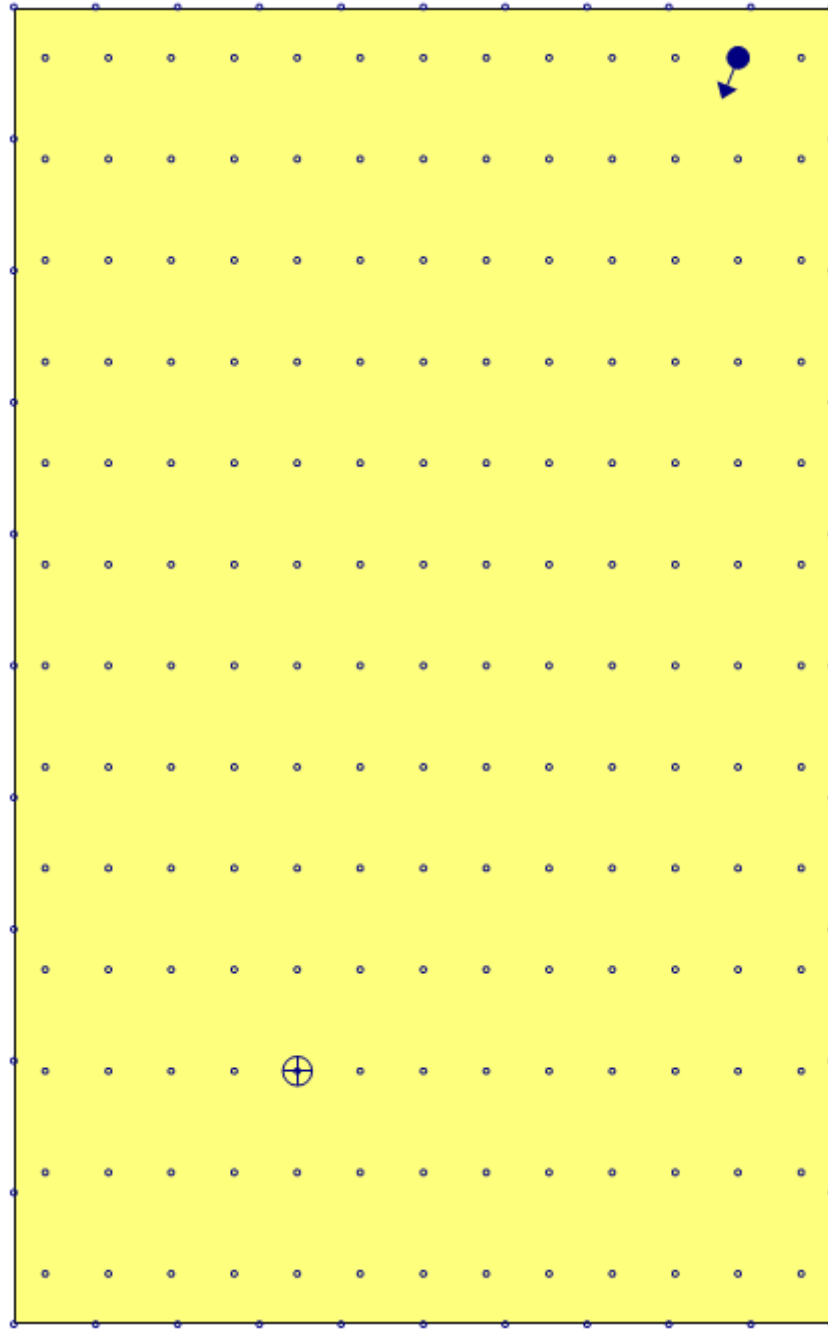
Valores de cálculo obtenidos	
<b>Iluminancia mínima:</b>	199.36 lux
<b>Iluminancia media horizontal mantenida:</b>	254.43 lux
<b>Índice de deslumbramiento unificado (UGR):</b>	22.00
<b>Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI):</b>	1.90 W/m <sup>2</sup>
<b>Potencia total instalada por unidad de superficie iluminada:</b>	4.87 W/m <sup>2</sup>
<b>Factor de uniformidad:</b>	78.36 %

Valores calculados de iluminancia





### Posición de los valores pésimos calculados



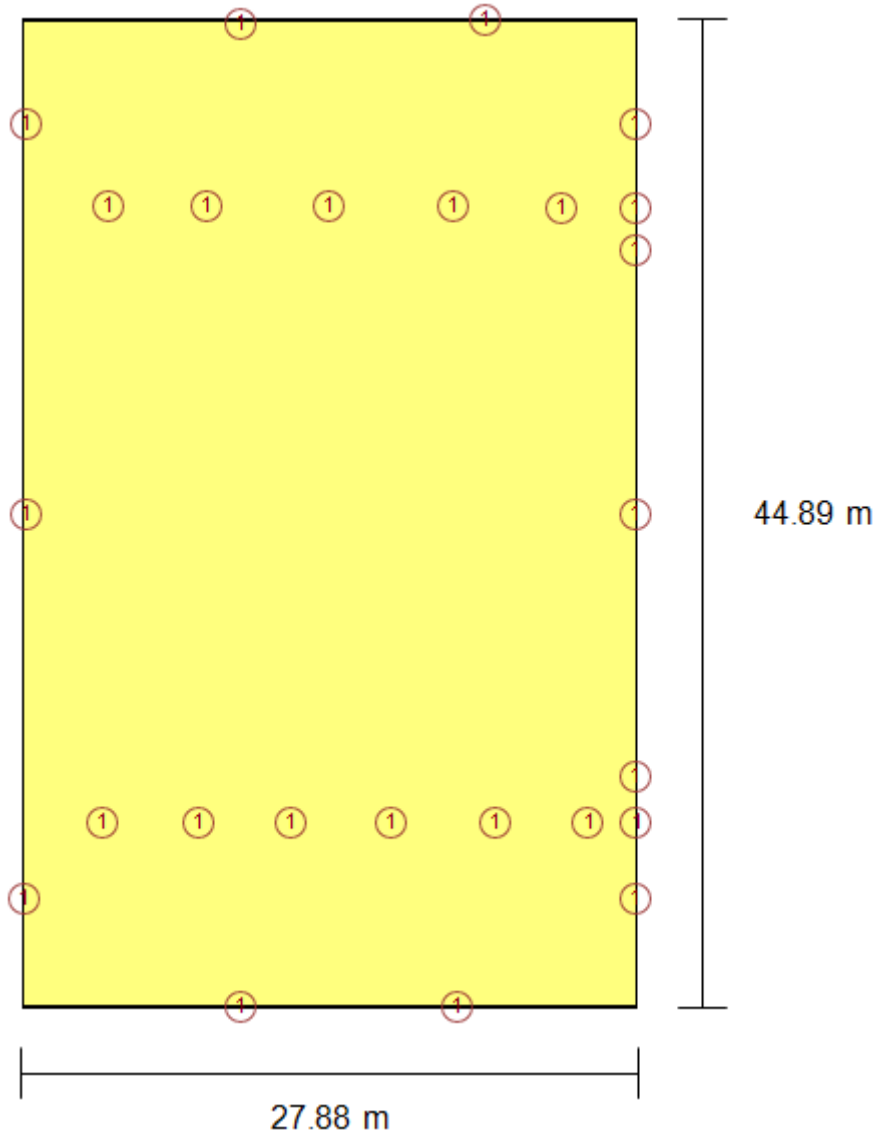
- ⊕ Iluminancia mínima (199.36 lux)
- Índice de deslumbramiento unificado (UGR = 22.00)
- Puntos de cálculo (Número de puntos de cálculo: 209)



## 2. ALUMBRADO DE EMERGENCIA

Alumbrado de emergencia	
Coefficiente de reflectancia en suelos:	0.00
Coefficiente de reflectancia en paredes:	0.00
Coefficiente de reflectancia en techos:	0.00
Factor de mantenimiento:	0.80
Índice de rendimiento cromático:	80.00

### Disposición de las luminarias



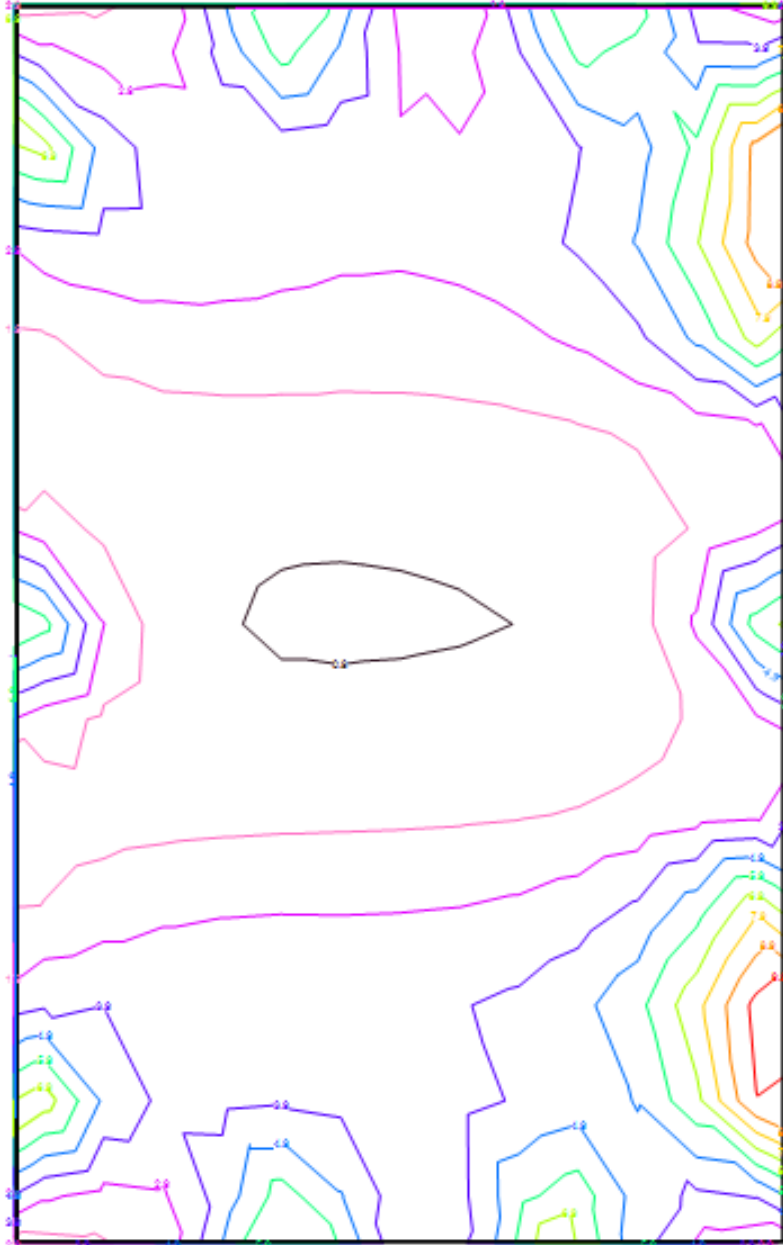
Nº	Cantidad	Descripción
1	25	Luminaria de emergencia, con tubo lineal fluorescente, 6 W - G5, flujo luminoso 310 lúmenes

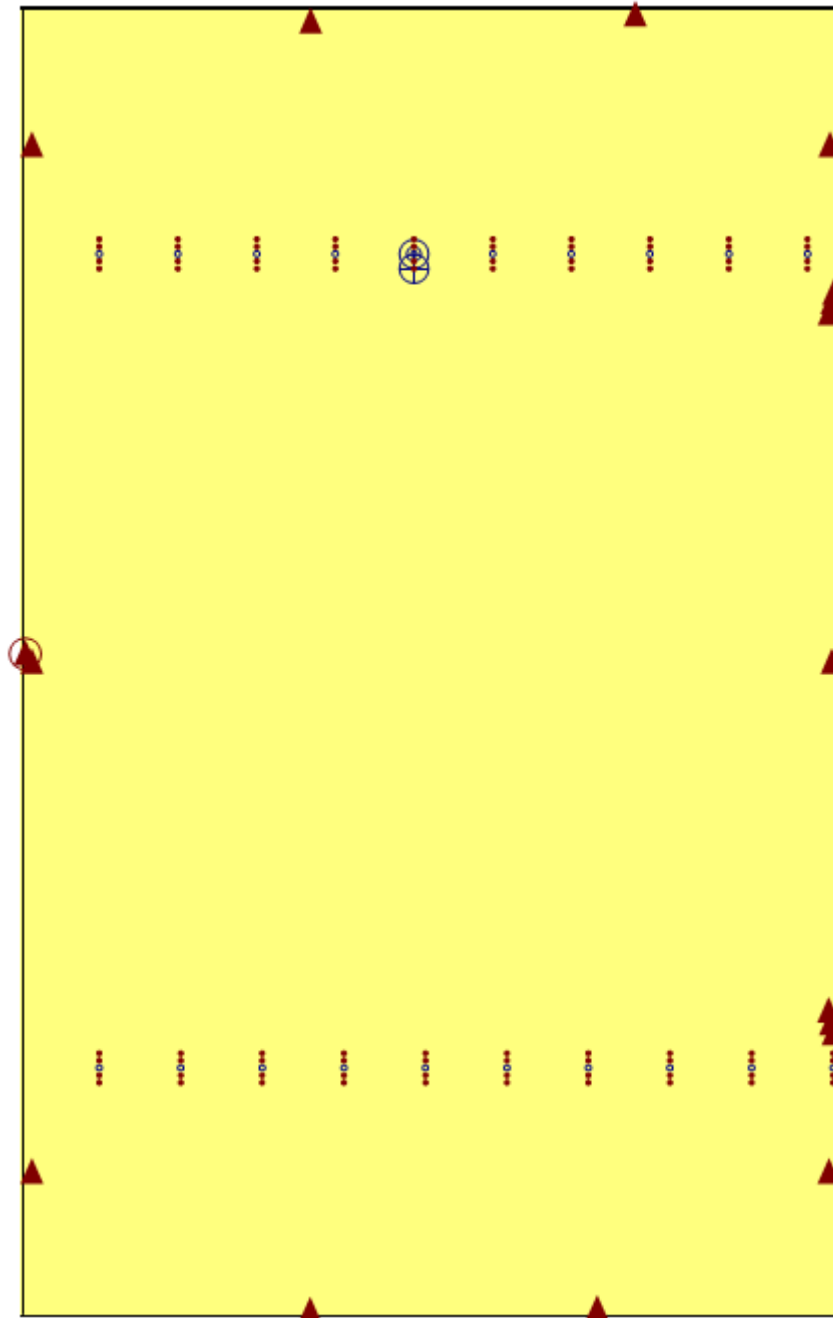




Valores de cálculo obtenidos	
<b>Iluminancia pésima en el eje central de las vías de evacuación:</b>	3.11 lux
<b>Iluminancia pésima en la banda central de las vías de evacuación:</b>	3.07 lux
<b>Relación iluminancia máxima/mínima (eje central vías evacuación):</b>	3.32
<b>Altura sobre el nivel del suelo:</b>	9.64 m

Valores calculados de iluminancia





- ⊙ Iluminancia pésima en el eje central de las vías de evacuación (3.11 lux)
- ⊕ Iluminancia pésima en la banda central de las vías de evacuación (3.07 lux)
- Punto de comprobación en el eje central de las vías de evacuación (Número de puntos de cálculo: 20)
- Punto de comprobación en la banda central de las vías de evacuación (Número de puntos de cálculo: 80)
- ▲ Equipos de seguridad, de protección o cuadros de distribución de alumbrado (Número de puntos de cálculo: 17)
- ⊕ Iluminancia pésima en equipos de protección/seguridad (12.60 lux)

### 3. CURVAS FOTOMÉTRICAS

#### Alumbrado normal

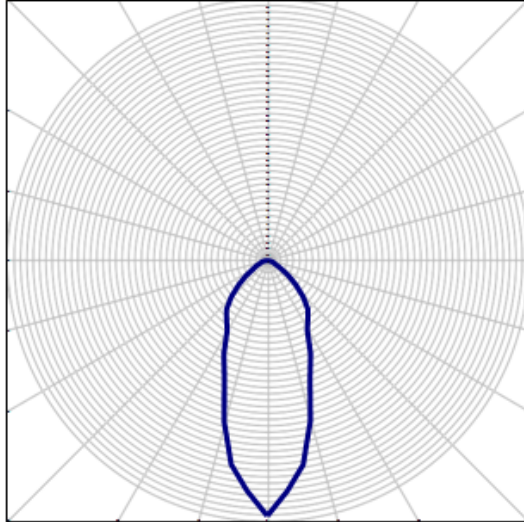
##### TIPOS DE LUMINARIA (Alumbrado normal)

###### Tipo 1

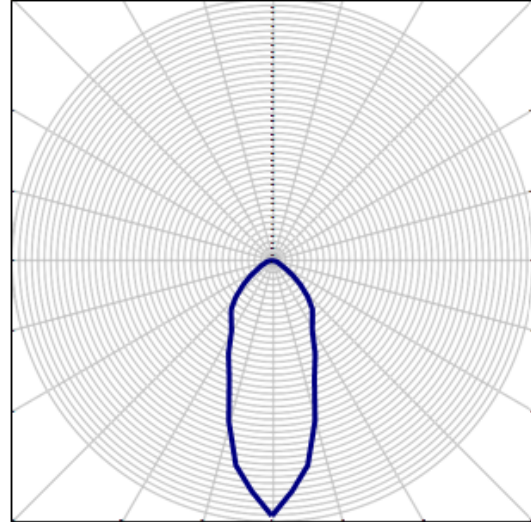
Luminaria suspendida tipo Downlight, de 320 mm de diámetro y 452 mm de altura, para lámpara de halogenuros metálicos bipin HIT de 150 W, modelo Miniyes 1x150W HIT Reflector Cristal Transparente "LAMP" (Número total de luminarias utilizadas en el proyecto: 34)

###### Curvas fotométricas

PLANO C0 - C180



PLANO C90 - C270



#### Alumbrado de emergencia

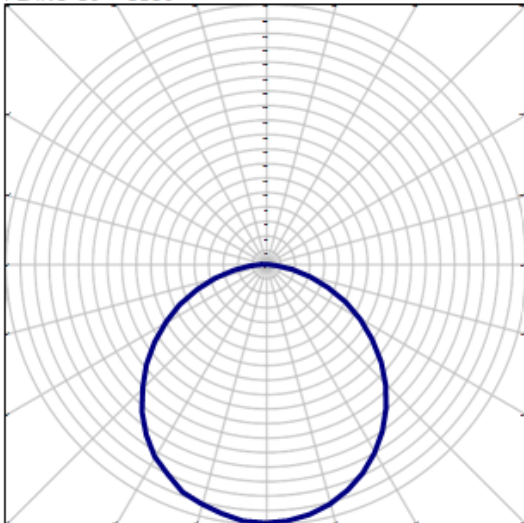
##### TIPOS DE LUMINARIA (Alumbrado de emergencia)

###### Tipo 1

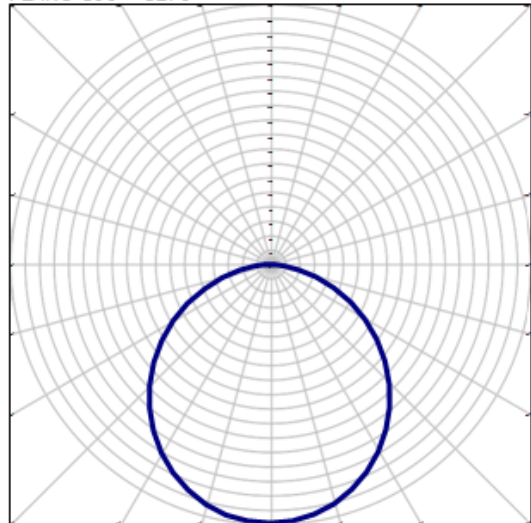
Luminaria de emergencia, con tubo lineal fluorescente, 6 W - G5, flujo luminoso 310 lúmenes (Número total de luminarias utilizadas en el proyecto: 25)

###### Curvas fotométricas

PLANO C0 - C180



PLANO C90 - C270



GRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y OBRAS PÚBLICAS

## TRABAJO FIN DE GRADO

***“PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN  
APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO  
MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA  
(BIZKAIA)”***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

***ANEJO 10- ELECTRICIDAD***

**Alumno/Alumna:** García, Arroyo, David

**Director/Directora:** Larrauri, Gil, Marcos

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 21, junio, 2019

# ÍNDICE

---

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.	DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN .....	2
2.1	CAJA GENERAL DE PROTECCIÓN .....	2
2.2	DERIVACIONES INDIVIDUALES .....	2
2.3	INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS .....	3
2.4	AGUA CALIENTE SANITARIA Y CLIMATIZACIÓN.....	5
3.	BASES DE CÁLCULO .....	6
3.1	SECCIÓN DE LAS LINEAS .....	6
3.1.1	SECCIÓN POR INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE O CALENTAMIENTO .....	6
3.1.2	SECCIÓN POR CAIDA DE TENSIÓN.....	7
3.1.3	SECCIÓN POR INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO .....	8
3.2	CÁLCULO DE PROTECCIONES .....	9
3.2.1	FUSIBLES.....	9
3.2.2	INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS.....	10
3.2.3	LIMITADORES DE SOBRETENSIÓN.....	11
3.2.4	PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES PERMANENTES.....	11
3.3	CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA .....	12
3.3.1	DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	12
3.3.2	INTERRUPTORES DIFERENCIALES.....	12
4.	INSTALACIÓN ELÉCTRICA DEL PROYECTO .....	13
4.1	INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE INTERIORES .....	13
4.1.1	VESTUARIOS.....	13
4.1.2	CAMPO DE FÚTBOL SALA Y APARCAMIENTO EXTERIOR.....	16

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este anejo es determinar las características de los distintos elementos que componen la instalación eléctrica, así como justificar, mediante cálculos, el cumplimiento el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) BT01 a BT51.

Para dicha caracterización de la instalación eléctrica se ha utilizado la siguiente normativa:

- REBT-2002: Reglamento electrotécnico de baja tensión e instrucciones técnicas complementarias.
- UNE-HD 60364-5-52: Instalaciones eléctricas de bajan tensión. Selección e instalación de equipos eléctricos. Canalizaciones.
- UNE 20-434-90: Sistema de designación de cables.
- UNE 20-435-90 Parte 2: Cables de transporte de energía aislados con dieléctricos secos extruidos para tensiones de 1 a 30 kV.
- UNE 20-460-90 Parte 4-43: Instalaciones eléctricas en edificios. Protección contra las sobrecorrientes
- UNE 20-460-90 Parte 5-54: Instalaciones eléctricas en edificios. Puesta a tierra y conductores de protección.
- EN-IEC 60 947-2:1996: Aparata de baja tensión. Interruptores automáticos.
- EN-IEC 60 947-2:1996 Anexo B: Interruptores automáticos con protección incorporada por intensidad diferencial residual.
- EN-IEC 60 947-3:1999: Aparata de baja tensión. Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.
- EN-IEC 60 269-1: Fusibles de baja tensión.
- EN 60 898: Interruptores automáticos para instalaciones domésticas y análogas para la protección contra sobrecorrientes.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

### 2.1 CAJA GENERAL DE PROTECCIÓN

La caja general de protección (CGP) aloja los elementos de protección correspondientes a las líneas generales de alimentación y marcan el comienzo de la propiedad de las instalaciones de los usuarios. La caja de protección se colocará en zonas de acceso público. Cuando las puertas de la CGP sean metálicas, deberán ponerse a tierra mediante un conductor de cobre.

Se instalará una caja general de protección para cada esquema, con su correspondiente línea general de alimentación.

Como el suministro es para un único usuario, siguiendo la instrucción ITC-BT-12, al no existir línea general de alimentación se ha simplificado la instalación colocando una caja de protección y medida (CPM) en la fachada de la sala de mantenimiento.

### 2.2 DERIVACIONES INDIVIDUALES

Las derivaciones individuales enlazan cada contador con su correspondiente cuadro general de mando y protección.

Para suministros monofásicos estarán formadas por un conductor de fase, un conductor de neutro y uno de protección, y para suministros trifásicos por tres conductores de fase, uno de neutro y uno de protección.

Los conductores de protección estarán integrados en sus derivaciones individuales y conectados a los embarrados de los módulos de protección de cada una de las centralizaciones de contadores de los edificios. Desde estos, a través de los puntos de puesta a tierra, quedarán conectados a la red registrable del edificio.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos para cada derivación:

#### VESTUARIOS

Derivaciones individuales				
Planta	Referencia	Longitud (m)	Línea	Tipo de instalación
0	Cuadro individual 1	12.37	ES07Z1-K (AS) 5G6	Tubo superficial D=40 mm

Tabla 10.1 Derivación individual de los vestuarios

#### CAMPO DE FÚTBOL SALA

Derivaciones individuales				
Planta	Referencia	Longitud (m)	Línea	Tipo de instalación
0	1 (Cuadro individual)	3.69	ES07Z1-K (AS) 5G10	Tubo superficial D=50 mm

Tabla 10.2 Derivación individual del campo de futbol sala y alumbrado exterior

La ejecución de las canalizaciones y su tendido se hará de acuerdo con lo expresado en los documentos del presente proyecto.

Los tubos y canales protectores que se destinen a contener las derivaciones individuales deberán ser una sección nominal tal que permita ampliar la sección de los conductores inicialmente instalados en un 100%, siendo el diámetro exterior mínimo de 32 mm.

Se ha previsto la implantación de tubos de reserva desde la concentración de contadores hasta las viviendas o locales, para las posibles ampliaciones.

### 2.3 INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS

Los diferentes circuitos de las instalaciones de usos comunes se protegerán por separado mediante los siguientes elementos:

- Protección contra contactos indirectos: Se realiza mediante uno o varios interruptores diferenciales.
- Protección contra sobrecargas y cortocircuitos: Se lleva a cabo con interruptores automáticos magnetotérmicos o guardamotors de diferentes intensidades nominales, en función de la sección y naturaleza de los circuitos a proteger. Asimismo, se instalará un interruptor general para proteger la derivación individual.

La composición del cuadro y los circuitos interiores serán las siguientes:



Circuitos interiores de la instalación			
Referencia	Longitud (m)	Línea	Tipo de instalación
Cuadro individual 1	-		
Sub-grupo 1	-		
C16 (Ventilador centrifugo en línea)	10.63	RZ1-K (AS) Multi 5G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
Sub-grupo 2	-		
C2 (tomas)	12.27	RZ1-K (AS) Multi 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
Sub-grupo 3	-		
C5 (baño y auxiliar de cocina)	87.91	RZ1-K (AS) Multi 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
Sub-grupo 4	-		
C1 (iluminación)	118.73	RZ1-K (AS) Multi 3G1.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=16 mm
C13 (alumbrado de emergencia)	332.25	RZ1-K (AS) Multi 3G1.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=16 mm
C14 (producción de A.C.S. / Calefacción)	3.75	RZ1-K (AS) Multi 3G1.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=16 mm
C15 (Bomba de circulación (climatización)+Bomba de circulación (retorno A.C.S.))	9.01	RZ1-K (AS) Multi 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm

Tabla 10.3 Circuitos interiores de la instalación de los vestuarios

Circuitos interiores de la instalación			
Referencia	Longitud (m)	Línea	Tipo de instalación
1 (Cuadro individual)	-		
Sub-grupo 1	-		
C6(2) (iluminación)	84.50	ES07Z1-K (AS) 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
Sub-grupo 2	-		
C1 (iluminación)	54.09	ES07Z1-K (AS) 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
C14 (Central de detección automática de incendios)	38.54	SZ1-K (AS+) 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
Sub-grupo 3	-		
C6 (iluminación)	71.74	ES07Z1-K (AS) 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
C13 (alumbrado de emergencia)	757.36	ES07Z1-K (AS) 3G1.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=16 mm



<b>Circuitos interiores de la instalación</b>			
Referencia	Longitud (m)	Línea	Tipo de instalación
C6(3) (iluminación)	100.53	ES07Z1-K (AS) 3G4	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
C6(4) (iluminación)	99.18	ES07Z1-K (AS) 3G4	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
Subcuadro 1 (Cuadro individual).1	28.30	H07ZZ-F (AS) Multi 3G6	Tubo superficial D=32 mm
Sub-grupo 1	-		
C13 (alumbrado exterior)	373.45	RZ1-K (AS) 3G16	Tubo enterrado D=63 mm
Sub-grupo 3	-		
C6 (iluminación)	71.74	ES07Z1-K (AS) 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
C13 (alumbrado de emergencia)	757.36	ES07Z1-K (AS) 3G1.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=16 mm
C6(3) (iluminación)	100.53	ES07Z1-K (AS) 3G4	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
C6(4) (iluminación)	99.18	ES07Z1-K (AS) 3G4	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm
Subcuadro 1 (Cuadro individual).1	28.30	H07ZZ-F (AS) Multi 3G6	Tubo superficial D=32 mm
Sub-grupo 1	-		
C13 (alumbrado exterior)	373.45	RZ1-K (AS) 3G16	Tubo enterrado D=63 mm

Tabla 10.4 Circuitos interiores de la instalación del campo de fútbol sala

## 2.4 AGUA CALIENTE SANITARIA Y CLIMATIZACIÓN

La instalación incluye equipos para la producción de agua caliente sanitaria (A.C.S) y climatización cuya descripción, ubicación y potencia eléctrica se describe en la siguiente tabla.

<b>Equipos para producción de A.C.S. y climatización</b>		
Descripción	Planta	P <sub>calc</sub> [W]
<b>Cuadro individual 1</b>		
Caldera a gas para calefacción y ACS	0	500.0(monof.)

Tabla 10.5 Equipos de producción de ACS en los vestuarios

## 3. BASES DE CÁLCULO

### 3.1 SECCIÓN DE LAS LINEAS

La determinación reglamentaria de la sección de un cable consiste en calcular la sección mínima normalizada que satisface las tres condiciones siguientes:

- 1. Criterio de la intensidad máxima admisible o de calentamiento.** La temperatura del conductor del cable, trabajando a plena carga y en régimen permanente, no debe superar en ningún momento la temperatura máxima admisible asignada de los materiales que se utilizan para el aislamiento del cable. Esta temperatura se especifica en las normas particulares de los cables y es de 70°C para cables con aislamientos termoplásticos y de 90°C para cables con aislamientos termoestables.
- 2. Criterio de la caída de tensión.** La circulación de corriente a través de los conductores ocasiona una pérdida de potencia transportada por el cable y una caída de tensión o diferencia entre las tensiones en el origen y extremo de la canalización. Esta caída de tensión debe ser inferior a los límites marcados por el Reglamento en cada parte de la instalación, con el objeto de garantizar el funcionamiento de los receptores alimentados por el cable.
- 3. Criterio para la intensidad de cortocircuito.** La temperatura que puede alcanzar el conductor del cable, como consecuencia de un cortocircuito o sobreintensidad de corta duración, no debe sobrepasar la temperatura máxima admisible de corta duración (para menos de 5 segundos) asignada a los materiales utilizados para el aislamiento del cable. Esta temperatura se especifica en las normas particulares de los cables y es de 160°C para cables con aislamiento termoplásticos y de 250°C para cables con aislamientos termoestables.

#### 3.1.1 SECCIÓN POR INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE O CALENTAMIENTO

En el cálculo de las instalaciones se ha comprobado que las intensidades de cálculo de las líneas son inferiores a las intensidades máximas admisibles de los conductores según la norma UNE-HD 60364-5-52, teniendo en cuenta los factores de corrección según el tipo de instalación y sus condiciones particulares.

$$I_c < I_z$$

Intensidad de cálculo en servicio monofásico:

$$I_c = \frac{P_c}{U_f \cdot \cos\theta}$$

Intensidad de cálculo en servicio trifásico:

$$I_c = \frac{P_c}{\sqrt{3} \cdot U_l \cdot \cos\theta}$$

Siendo,

$I_c$ : Intensidad de cálculo del circuito (A)

$I_z$ : Intensidad máxima admisible del conductor, en las condiciones de instalación (A)

$P_c$ : Potencia de cálculo (W)

$U_f$ : Tensión simple (V)

$U_l$ : Tensión compuesta (V)

$\cos\theta$ : Factor de potencia

### 3.1.2 SECCIÓN POR CAÍDA DE TENSIÓN

De acuerdo con las instrucciones ITC-BT-14, ITC-BT-15 y ITC-BT-19 del REBT se verifican las siguientes condiciones:

En las instalaciones de enlace, la caída de tensión no debe superar los siguientes valores:

- En el caso de contadores concentrados en un único lugar
  - Línea general de alimentación: 0,5%
  - Derivaciones individuales: 1,0%
- En el caso de contadores concentrado en más de un lugar:
  - Línea general de alimentación: 1,0%
  - Derivaciones individuales: 0,5%

Para cualquier circuito interior de viviendas, la caída de tensión no debe superar el 3% de la tensión nominal.

Para el resto de circuitos interiores, la caída de tensión límite es de:

- Circuitos de alumbrado: 3,0%
- Resto de circuitos: 5,0%

Para receptores monofásicos la caída de tensión viene dada por:

$$\Delta U = 2 \cdot L \cdot I_C \cdot (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

Para receptores trifásicos la caída de tensión viene dada por:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot L \cdot I_C \cdot (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

Siendo,

L: Longitud del cable (m)

X: Reactancia del cable ( $\Omega/\text{km}$ ). Se considera despreciable hasta un valor de sección del cable de 120  $\text{mm}^2$ . A partir de esta sección se considera un valor para la reactancia de 0,08  $\Omega/\text{km}$ . R: Resistencia del cable ( $\Omega/\text{m}$ ). Viene dada por:

$$R = \rho \cdot \frac{1}{S}$$

Siendo,

$\rho$ : Resistividad del material en  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

S: Sección en  $\text{mm}^2$

Se comprueba la caída de tensión a la temperatura prevista de servicio del conductor, siendo esta de:

$$T = T_0 + (T_{max} - T_0) \cdot \left(\frac{I_C}{I_Z}\right)^2$$

Siendo,

T: Temperatura real estimada en el conductor ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_0$ : Temperatura ambiente para el conductor (40 $^{\circ}\text{C}$  para cables al aire y 25 $^{\circ}\text{C}$  para cables enterrados).

$T_{max}$ : Temperatura máxima admisible del conductor según su tipo de aislamiento (90°C para conductores con aislamientos termoestables y 70°C para conductores con aislamientos termoplásticos, según la tabla 2 de la instrucción ITC-BT-07)

Con ello la resistividad a la temperatura prevista de servicio del conductor es de

$$\rho_T = \rho_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (T - 20)]$$

Para el cobre

$$\alpha = 0.00393^{\circ}\text{C}^{-1} \rho_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{1}{56} \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$$

Para el aluminio

$$\alpha = 0.00403^{\circ}\text{C}^{-1} \rho_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{1}{35} \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$$

### 3.1.3 SECCIÓN POR INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO

Se calculan las intensidades de cortocircuito máximas y mínimas, tanto en cabecera 'l<sub>ccc</sub>' como en pie 'l<sub>ccp</sub>', de cada una de las líneas que componen la instalación eléctrica, teniendo en cuenta que la máxima intensidad de cortocircuito se establece para un cortocircuito entre fases, y la mínima intensidad de cortocircuito para un cortocircuito fase-neutro.

Intensidad de cortocircuito entre fases:

$$I_{cc} = \frac{U_l}{\sqrt{3} \cdot Z_t}$$

Intensidad de cortocircuito entre fase y neutro

$$I_{cc} = \frac{U_f}{2 \cdot Z_t}$$

Siendo,

$U_l$ : Tensión compuesta (V)

$U_f$ : Tensión simple (V)

$Z_t$ : Impedancia total en el punto de cortocircuito (mW)

$I_{cc}$ : Intensidad de cortocircuito (kA)

La impedancia total en el punto de cortocircuito se obtiene a partir de la resistencia y de la reactancia total de los elementos de las aguas arriba del punto de cortocircuito:

$$Z_t = \sqrt{R_t^2 + X_t^2}$$

Siendo,

$R_t$ : Resistencia total en el punto de cortocircuito.

$X_t$ : Reactancia total en el punto de cortocircuito.

La impedancia total en cabecera se ha calculado teniendo en cuenta la ubicación del transformador y de la acometida.

En el caso de partir de un transformador se calcula la resistencia y reactancia del transformador aplicando la formulación siguiente:

$$R_{cc,T} = \frac{\varepsilon_{R_{cc,T}} \cdot U_l^2}{S_n}$$

$$X_{cc,T} = \frac{\varepsilon_{X_{cc,T}} \cdot U_l^2}{S_n}$$

Siendo,

$R_{cc,T}$ : Resistencia de cortocircuito del transformador ( $m\Omega$ )

$X_{cc,T}$ : Reactancia de cortocircuito del transformador ( $m\Omega$ )

$\varepsilon_{R_{cc,T}}$ : Tensión resistiva de cortocircuito del transformador

$\varepsilon_{X_{cc,T}}$ : Tensión reactiva de cortocircuito del transformador

$S_n$ : Potencia aparente del transformador (kVA)

En el caso de introducir la intensidad de cortocircuito en cabecera, se estima la resistencia y reactancia de la acometida aguas arriba que genere la intensidad de cortocircuito indicada.

### 3.2 CALCULO DE PROTECCIONES

#### 3.2.1 FUSIBLES

Los fusibles protegen a los conductores frente a sobrecargas y cortocircuitos.

Se comprueba que la protección frente a sobrecargas cumple que:

$$I_B \leq I_n \leq I_z$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$$

Siendo,

$I_c$ : Intensidad que circula por el circuito (A)

$I_n$ : Intensidad nominal del dispositivo de protección (A)

$I_z$ : Intensidad máxima admisible del conductor, en las condiciones de la instalación (A)

$I_2$ : Intensidad de funcionamiento de la protección (A). En el caso de los fusibles de tipo gG se toma igual a 1,6 veces la intensidad nominal del fusible.

Frente a cortocircuito se verifica que los fusibles cumplen que:

1. El poder de corte del fusible " $I_{cu}$ " es mayor que la máxima intensidad de cortocircuito que puede presentarse.

Cualquier intensidad de cortocircuito que puede presentarse se debe interrumpir en un tiempo inferior al que provocaría que el conductor alcanzase su temperatura límite (160°C para cables con aislamientos termoplásticos y 250°C para cables con aislamientos termoestables), comprobándose que:

$$I_{cc,5s} > I_f$$

$$I_{cc} > I_f$$

Siendo,

$I_{cc}$ : Intensidad de cortocircuito en la línea que protege el fusible (A)

$I_f$ : Intensidad de fusión del fusible en 5 segundos (A)

$I_{cc,5s}$ : Intensidad de cortocircuito en el cable durante el tiempo máximo de 5 segundos (A). Se calcula mediante la expresión:

$$I_{cc} = \frac{k \cdot S}{\sqrt{t}}$$

Siendo,

S: Sección del conductor (mm<sup>2</sup>)

T: Tiempo de duración del cortocircuito (s)

k: Constante que depende del material y aislamiento del conductor

	PVC	XLPE
Cu	115	143
Al	76	94

Tabla 10.7 Constante k dependiendo del material y aislamiento del conductor

La longitud máxima de cable protegida por un fusible frente a cortocircuito se calcula de la siguiente manera:

$$L_{max} = \frac{U_f}{I_f \cdot \sqrt{(R_f + R_n)^2 + (X_f + X_n)^2}}$$

Siendo,

$R_f$ : Resistencia del conductor de fase (W/km)

$R_n$ : Resistencia del conductor de neutro (W/km)

$X_f$ : Reactancia del conductor de fase (W/km)

$X_n$ : Reactancia del conductor de neutro (W/km)

### 3.2.2 INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS

De la misma manera que los fusibles, los interruptores automáticos protegen frente a sobrecargas y cortocircuito. Se comprueba que la protección frente a sobrecargas cumple que:

$$I_B \leq I_n \leq I_z$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$$

Siendo,

$I_c$ : Intensidad que circula por el circuito (A)

$I_2$ : Intensidad de funcionamiento de la protección. En este caso se toma igual a 1,45 veces la intensidad nominal del interruptor automático

Frente a cortocircuito se verifica que los interruptores automáticos cumplen que:

1. El poder de corte del interruptor automático ' $I_{cu}$ ' es mayor que la máxima intensidad de cortocircuito que puede presentarse en cabecera del circuito.

La intensidad de cortocircuito mínima en pie del circuito es superior a la intensidad de regulación del disparo electromagnético ' $I_{mag}$ ' del interruptor automático según su tipo de curva.

	Imag
Curva B	5 x In
Curva C	10 x In
Curva D	20 x In

Tabla 10.8 Intensidad de regulación del disparo electromagnético

El tiempo de actuación del interruptor automático es inferior al que provocaría daños en el conductor por alcanzarse en el mismo la temperatura máxima admisible según su tipo de aislamiento. Para ello, se comparan los valores de energía específica pasante ( $I^2 \cdot t$ ) durante la duración del cortocircuito, expresados en  $A^2 \cdot s$ , que permite pasar el interruptor, y la que admite el conductor.

Para esta última comprobación se calcula el tiempo máximo en el que debería actuar la protección en caso de producirse el cortocircuito, tanto para la intensidad de cortocircuito máxima en cabecera de línea como para la intensidad de cortocircuito mínima en pie de línea, según la expresión ya reflejada anteriormente:

$$t = \frac{k^2 \cdot S^2}{I_{cc}^2}$$

Los interruptores automáticos cortan en un tiempo inferior a 0,1 s, según la norma UNE 60898, por lo que si el tiempo anteriormente calculado estuviera por encima de dicho valor, el disparo del interruptor automático quedaría garantizado para cualquier intensidad de cortocircuito que se produjese a lo largo del cable. En caso contrario, se comprueba la curva  $i^2t$  del interruptor, de manera que el valor de la energía específica pasante del interruptor sea inferior a la energía específica pasante admisible por el cable.

$$I^2 \cdot t_{interruptor} \leq I^2 \cdot t_{cable}$$

$$I^2 \cdot t_{cable} = k^2 \cdot S^2$$

### 3.2.3 LIMITADORES DE SOBRETENSIÓN

Según ITC-BT-23, las instalaciones interiores se deben proteger contra sobretensiones transitorias siempre que la instalación no esté alimentada por una red de distribución subterránea en su totalidad, es decir, toda instalación que sea alimentada por algún tramo de línea de distribución aérea sin pantalla metálica unida a tierra en sus extremos deberá protegerse contra sobretensiones.

Los limitadores de sobretensión serán de clase C (tipo II) en los cuadros y, en el caso de que el edificio disponga de pararrayos, se añadirán limitadores de sobretensión de clase B (tipo I) en la centralización de contadores.

### 3.2.4 PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES PERMANENTES

La protección contra sobretensiones permanentes requiere un sistema de protección distinto del empleado en las sobretensiones transitorias. En vez de derivar a tierra para evitar el exceso de tensión, se necesita desconectar la instalación de la red eléctrica para evitar que la sobretensión llegue a los equipos.

El uso de la protección contra este tipo de sobretensiones es indispensable en áreas donde se puedan producir cortes continuos en el suministro de electricidad o donde existan fluctuaciones del valor de tensión suministrada por la compañía eléctrica.

En áreas donde se puedan producir cortes continuos en el suministro de electricidad o donde existan fluctuaciones del valor de tensión suministrada por la compañía eléctrica la instalación se protegerá contra sobretensiones permanentes, según se indica en el artículo 16.3 del REBT.

La protección consiste en una bobina asociada al interruptor automático que controla la tensión de la instalación y que, en caso de sobretensión permanente, provoca el disparo del interruptor asociado.

### 3.3 CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA

#### 3.3.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Red de toma de tierra para estructura de hormigón compuesta por 83 m de cable conductor de cobre desnudo recocado de 35 mm<sup>2</sup> de sección para la línea principal de toma de tierra del edificio, enterrado a una profundidad mínima de 80 cm y 8 m de cable conductor de cobre desnudo recocado de 35 mm<sup>2</sup> de sección para la línea de enlace de toma de tierra de los pilares a conectar.

#### 3.3.2 INTERRUPTORES DIFERENCIALES

Los interruptores diferenciales protegen frente a contactos directos e indirectos y deben cumplir los dos requisitos siguientes:

1. Debe actuar correctamente para el valor de la intensidad de defecto calculada, de manera que la sensibilidad 'S' asignada al diferencial cumpla:

$$S \leq \frac{U_{seg}}{R_T}$$

Siendo:

$U_{seg}$ : Tensión de seguridad (V). De acuerdo a la instrucción ITC-BT-18 del reglamento REBT ha tensión de seguridad es de 24 V para los locales húmedos y viviendas y 50 V para el resto.

$R_T$ : Resistencia de puesta a tierra (ohm). Este valor debe ser inferior a 15 ohm para edificios con pararrayos y a 37 ohm en edificio sin pararrayos, de acuerdo con GUIA-BT-26.

2. Debe desconectar en un tiempo compatible con el exigido por las curvas de seguridad.

Por otro lado, la sensibilidad del interruptor diferencial debe permitir la circulación de la intensidad de fugas de la instalación debida a las capacidades parásitas de los cables. Así, la intensidad de no disparo del diferencial debe tener un valor superior a la intensidad de fugas en el punto de instalación. La norma indica como intensidad mínima de no disparo la mitad de la sensibilidad.



## 4. INSTALACIÓN ELÉCTRICA DEL PROYECTO

### 4.1 INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE INTERIORES

#### 4.1.1 VESTUARIOS

##### DISTRIBUCIÓN DE FASES

CPM-1					
Planta	Esquema	P <sub>calc</sub> [W]	Potencia Eléctrica [W]		
			R	S	T
0	<b>CPM-1</b>	-	3396.1	3396.1	3396.1
0	Cuadro individual 1	10188.3	3396.1	3396.1	3396.1

Tabla 10.9 Potencia eléctrica de los vestuarios

Cuadro individual 1					
Nº de circuito	Tipo de circuito	Recinto	Potencia Eléctrica [W]		
			R	S	T
C1 (iluminación)	C1 (iluminación)	-	-	-	1855.4
C5 (baño y auxiliar de cocina)	C5 (baño y auxiliar de cocina)	-	-	1400.0	-
C2 (tomas)	C2 (tomas)	-	1500.0	-	-
C13 (alumbrado de emergencia)	C13 (alumbrado de emergencia)	-	-	-	205.2
C14 (producción A.C.S./ Calefacción)	C14 (producción A.C.S./ Calefacción)	-	-	-	500.0
C15 (Bomba de circulación (climatización) Bomba de circulación (retorno A.C.S.))	C15 (Bomba de circulación (climatización) Bomba de circulación (retorno A.C.S.))	-	-	-	142.0
C16 (Ventilador centrífugo en línea)	C16 (Ventilador centrífugo en línea)	-	387.5	387.5	387.5

Tabla 10.10 Cuadro individual 1 de los vestuarios

##### DERIVACIONES INDIVIDUALES

Descripción de las instalaciones								
Planta	Esquema	P <sub>calc</sub> (kW)	Longitud (m)	Línea	I <sub>c</sub> (A)	I' <sub>z</sub> (A)	c.d.t (%)	c.d.t <sub>ac</sub> (%)
0	Cuadro individual 1	10.19	31.00	1.00	14.94	31.00	0.26	0.26

Tabla 10.11 Datos de cálculo de los vestuarios

Descripción de las instalaciones						
Esquema	Línea	Tipo de instalación	I <sub>z</sub> (A)	F <sub>cagrup</sub>	R <sub>inc</sub> (%)	I' <sub>z</sub> (A)
Cuadro individual 1	ES07Z1-K (AS) 5G6	Tubo superficial D=40 mm	31.00	1.00	-	31.00

Tabla 10.12 Descripción de las instalaciones de los vestuarios

Sobrecarga y cortocircuito											
Esquema	Línea	$I_c$ (A)	Protecciones Fusible (A)	$I_2$ (A)	$I_z$ (A)	$I_{cu}$ (kA)	$I_{ccc}$ (kA)	$I_{ccp}$ (kA)	$t_{iccp}$ (s)	$t_{ficcp}$ (s)	$L_{max}$ (m)
Cuadro individual 1	ES07Z1-K (AS) 5G6	14.94	16	25.60	31.00	100	15.500	2.044	0.11	<0.01	358.82

Tabla 10.13 Datos de sobrecarga y cortocircuito de los vestuarios

### INSTALACIÓN INTERIOR

Como la presente instalación eléctrica está diseñada para abastecer a unos vestuarios que forman parte de un complejo deportivo, se va a colocar únicamente una caja de mando y protección en la sala de mantenimiento para todos los locales del edificio. Este cuadro contiene los siguientes aparatos de protección:

- **Interruptor diferencial general:** Es el dispositivo encargado de la protección contra contactos indirectos de todos los circuitos.
- **Interruptor automático de corte omnipolar:** Este interruptor está destinado a proteger cada circuito interior contra sobrecargas y cortocircuitos que se puedan producir en los mismos. En el caso especial de motores trifásicos, para el cumplimiento de la instrucción técnica ITC-BT-47, la protección contra sobrecargas y cortocircuitos se va a realizar mediante guardamotores

Datos de cálculo de Cuadro individual 1							
Esquema	$P_{calc}$ (kW)	Longitud (m)	Línea	$I_c$ (A)	$I'_z$ (A)	c.d.t (%)	c.d.t <sub>ac</sub> (%)
Cuadro individual 1							
Sub-grupo 1							
C16 (Ventilador centrífugo en línea)	1.16	10.63	RZ1-K (AS) Multi 5G2.5	2.21	22.00	0.06	0.32
Sub-grupo 2							
C2 (tomas)	3.45	12.27	RZ1-K (AS) Multi 3G2.5	15.00	24.00	0.81	1.07
Sub-grupo 3							
C5 (baño y auxiliar de cocina)	3.45	87.91	RZ1-K (AS) Multi 3G2.5	15.00	24.00	2.34	2.60
Sub-grupo 4							
C1 (iluminación)	1.89	118.73	RZ1-K (AS) Multi 3G1.5	8.20	17.50	3.98	4.24
C13 (alumbrado de emergencia)	0.21	332.25	RZ1-K (AS) Multi 3G1.5	0.89	17.50	0.32	0.58
C14 (producción de A.C.S. / Calefacción)	0.50	3.75	RZ1-K (AS) Multi 3G1.5	2.56	17.50	0.09	0.35
C15 (Bomba de circulación (climatización) + Bomba de circulación (retorno A.C.S.))	0.14	9.01	RZ1-K (AS) Multi 3G2.5	0.62	24.00	0.01	0.27

Tabla 10.14 datos de cálculo del cuadro individual de los vestuarios

Descripción de las instalaciones						
Esquema	Línea	Tipo de instalación	$I_z$ (A)	$FC_{agrup}$	$R_{inc}$ (%)	$I'_z$ (A)
C16 (Ventilador centrífugo en línea)	RZ1-K (AS) Multi 5G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm	22.00	1.00	-	22.00
C2 (tomas)	RZ1-K (AS) Multi 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm	24.00	1.00	-	24.00

C5 (baño y auxiliar de cocina)	RZ1-K (AS) Multi 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm	24.00	1.00	-	24.00
C1 (iluminación)	RZ1-K (AS) Multi 3G1.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=16 mm	17.50	1.00	-	17.50
C13 (alumbrado de emergencia)	RZ1-K (AS) Multi 3G1.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=16 mm	17.50	1.00	-	17.50
C14 (producción de A.C.S. / Calefacción)	RZ1-K (AS) Multi 3G1.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=16 mm	17.50	1.00	-	17.50
C15 (Bomba de circulación (climatización) + Bomba de circulación (retorno A.C.S.))	RZ1-K (AS) Multi 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm	24.00	1.00	-	24.00

Tabla 10.15 Descripción de las instalaciones de los vestuarios

Sobrecarga y cortocircuito 'cuadro individual 1'										
Esquema	Línea	$I_c$ (A)	Protecciones ICP: In Guard: In Aut: In, curva Dif: In, sens, n° polos Telerruptor: In, n° polos	$I_z$ (A)	$I_2$ (A)	$I_{cu}$ (kA)	$I_{ccc}$ (kA)	$I_{ccp}$ (kA)	$t_{ccc}$ (s)	$t_{cccp}$ (s)
<b>Cuadro individual 1</b>			IGA: 16 LS: Clase C (tipo II), 40 kA 1.2 kV							
<b>Subgrupo 1</b>			Dif: 40, 300, 4 polos							
C16 (Ventilador centrífugo en línea)	RZ1-K (AS) Multi 5G2.5	2.21	Guard: 3	3.63	22.00	15	4.104	0.754	0.03	0.23
<b>Sub-grupo 2</b>			Dif: 25, 30, 2 polos							
C2 (tomas)	RZ1-K (AS) Multi 3G2.5	15.00	Aut: 16 {C', B', D'}	23.20	24.00	6	4.104	0.925	0.03	0.15
<b>Sub-grupo 3</b>			Dif: 25, 30, 2 polos							
C5 (baño y auxiliar de cocina)	RZ1-K (AS) Multi 3G2.5	15.00	Aut: 16 {C', B', D'}	23.20	24.00	6	4.104	0.453	0.03	0.62
<b>Sub-grupo 4</b>			Dif: 25, 30, 2 polos							
C1 (iluminación)	RZ1-K (AS) Multi 3G1.5	8.20	Aut: 10 {C', B'}	14.50	17.50	6	4.104	0.167	0.03	1.66
C13 (alumbrado de emergencia)	RZ1-K (AS) Multi 3G1.5	0.89	Aut: 10 {C', B', D'}	14.50	17.50	6	4.104	0.212	0.03	1.03
C14 (producción de A.C.S. / Calefacción)	RZ1-K (AS) Multi 3G1.5	2.56	Aut: 10 {C', B', D'}	14.50	17.50	6	4.104	1.020	0.03	0.04
C15 (Bomba de circulación (climatización) + Bomba de circulación (retorno A.C.S.))	RZ1-K (AS) Multi 3G2.5	0.62	Aut: 10 {C', B', D'}	14.50	24.00	6	4.104	1.029	0.03	0.12

Tabla 10.16 Sobrecarga y cortocircuito del cuadro individual de los vestuarios

LEYENDA Y SIMBOLOGÍA

Leyenda	
c.d.t	caída de tensión (%)
c.d.t <sub>ac</sub>	caída de tensión acumulada (%)
$I_c$	intensidad de cálculo del circuito (A)
$I_z$	intensidad máxima admisible del conductor en las condiciones de instalación (A)
$F_{Cagrup}$	factor de corrección por agrupamiento
$R_{inc}$	porcentaje de reducción de la intensidad admisible por conductor en zona de riesgo de incendio o explosión (%)
$I'_z$	intensidad máxima admisible corregida del conductor en las condiciones de instalación (A)
$I_2$	intensidad de funcionamiento de la protección (A)

Leyenda	
$I_{cu}$	poder de corte de la protección (kA)
$I_{ccc}$	intensidad de cortocircuito al inicio de la línea (kA)
$I_{ccp}$	intensidad de cortocircuito al final de la línea (kA)
$L_{max}$	longitud máxima de la línea protegida por el fusible a cortocircuito (A)
$P_{calc}$	potencia de cálculo (kW)
$t_{iccc}$	tiempo que el conductor soporta la intensidad de cortocircuito al inicio de la línea (s)
$t_{iccp}$	tiempo que el conductor soporta la intensidad de cortocircuito al final de la línea (s)
$t_{ficcp}$	tiempo de fusión del fusible para la intensidad de cortocircuito (s)

Tabla 10.17 Leyenda de los términos utilizados en la instalación de los vestuarios














	Lámpara fluorescente		Ducha
	Lámpara fluorescente con cuatro tubos		Caja de protección y medida (CPM)
	Cuadro individual		Interruptor
	Toma de baño / auxiliar de cocina		Toma de uso general doble
	Luminaria de emergencia		Equipo de producción de A.C.S. / calefacción
	Bomba de circulación		Aspirador para ventilación mecánica
	Bomba de circulación		

Tabla 10.18 Símbolos utilizados en la instalación de los vestuarios.

#### 4.1.2 CAMPO DE FÚTBOL SALA Y APARCAMIENTO EXTERIOR

##### DISTRIBUCIÓN DE FASES

CPM-1					
Planta	Esquema	$P_{calc}$ [W]	Potencia Eléctrica [W]		
			R	S	T
0	<b>CPM-1</b>	-	6704.8	6704.8	6704.8
0	1 (Cuadro individual)	20114.3	6704.8	6704.8	6704.8

Tabla 10.19 Potencia eléctrica del cuadro individual de campo de fútbol sala y aparcamiento

1 (Cuadro individual)						
Nº de circuito	Tipo de circuito	Recinto	Potencia Eléctrica [W]			
			R	S	T	
C1 (iluminación)	C1 (iluminación)	-	-	2260.4	-	
C6 (iluminación)	C6 (iluminación)	-	-	-	2260.4	
C6(2) (iluminación)	C6(2) (iluminación)	-	1937.5	-	-	
C6(3) (iluminación)	C6(3) (iluminación)	-	-	-	2260.4	
C6(4) (iluminación)	C6(4) (iluminación)	-	-	-	2260.4	
C13 (alumbrado de emergencia)	C13 (alumbrado de emergencia)	-	-	-	270.0	
C14 (Central de detección automática de incendios)	C14 (Central de detección automática de incendios)	-	-	4600.0	-	
Subcuadro 1 (Cuadro individual).1	Subcuadro 1 (Cuadro individual).1	-	5250.0	-	-	
C13 (alumbrado exterior)	C13 (alumbrado exterior)	-	5250.0	-	-	

Tabla 10.20 Cuadro individual 1 del campo de fútbol sala y aparcamiento

### DERIVACIONES INDIVIDUALES

Datos de cálculo								
Planta	Esquema	P <sub>calc</sub> (kW)	Longitud (m)	Línea	I <sub>c</sub> (A)	I' <sub>z</sub> (A)	c.d.t (%)	c.d.t <sub>ac</sub> (%)
0	1 (Cuadro individual)	20.11	3.69	ES07Z1-K (AS) 5G10	29.03	43.00	0.09	0.09

Tabla 10.21 Datos de cálculo del campo de fútbol sala y aparcamiento

Descripción de las instalaciones							
Esquema	Línea	Tipo de instalación	I <sub>z</sub> (A)	F <sub>Cagrup</sub>	R <sub>inc</sub> (%)	I' <sub>z</sub> (A)	
1 (Cuadro individual)	ES07Z1-K (AS) 5G10	Tubo superficial D=50 mm	43.00	1.00	-	43.00	

Tabla 10.22 Descripción de las instalaciones del campo de fútbol sala y el aparcamiento

Sobrecarga y cortocircuito											
Esquema	Línea	I <sub>c</sub> (A)	Protecciones Fusible (A)	I <sub>2</sub> (A)	I <sub>z</sub> (A)	I <sub>cu</sub> (kA)	I <sub>ccc</sub> (kA)	I <sub>ccp</sub> (kA)	t <sub>iccp</sub> (s)	t <sub>riccp</sub> (s)	L <sub>max</sub> (m)
1 (Cuadro individual)	ES07Z1-K (AS) 5G10	29.03	32	51.20	43.00	100	3.452	2.864	0.16	0.02	299.02

Tabla 10.23 Datos de sobrecarga y cortocircuito la instalación del campo de fútbol sala y del aparcamiento

### INSTALACIÓN INTERIOR

Como la presente instalación eléctrica está diseñada para abastecer a unos vestuarios que forman parte de un complejo deportivo, se va a colocar únicamente una caja de mando y protección en la sala de mantenimiento para todos los locales del edificio. Este cuadro contiene los siguientes aparatos de protección:

- **Interruptor diferencial general:** Es el dispositivo encargado de la protección contra contactos indirectos de todos los circuitos.
- **Interruptor automático de corte omnipolar:** Este interruptor está destinado a proteger cada circuito interior contra sobrecargas y cortocircuitos que se puedan a producir en los mismos. En el caso especial de motores trifásicos, para el cumplimiento de la instrucción técnica ITC-BT-47, la protección contra sobrecargas y cortocircuitos se va a realizar mediante guardamotores.

Datos de cálculo de 1 (Cuadro individual)								
Esquema	P <sub>calc</sub> (kW)	Longitud (m)	Línea	I <sub>c</sub> (A)	I' <sub>z</sub> (A)	c.d.t (%)	c.d.t <sub>ac</sub> (%)	
<b>1 (Cuadro individual)</b>								
<b>Sub-grupo 1</b>								
C6(2) (iluminación)	1.94	84.50	ES07Z1-K (AS) 3G2.5	8.42	20.00	3.75	3.84	
<b>Sub-grupo 2</b>								
C1 (iluminación)	2.26	54.09	ES07Z1-K (AS) 3G2.5	9.83	20.00	3.09	3.18	
C14 (Central de detección automática de incendios)	4.60	38.54	SZ1-K (AS+) 3G2.5	20.00	28.00	2.17	2.26	
<b>Sub-grupo 3</b>								
C6 (iluminación)	2.26	71.74	ES07Z1-K (AS) 3G2.5	9.83	20.00	3.60	3.69	
C13 (aluminado de emergencia)	0.27	757.36	ES07Z1-K (AS) 3G1.5	1.17	14.50	0.63	0.72	
C6(3) (iluminación)	2.26	100.53	ES07Z1-K (AS) 3G4	9.83	26.00	2.78	2.87	
C6(4) (iluminación)	2.26	99.18	ES07Z1-K (AS) 3G4	9.83	26.00	2.83	2.93	
<b>Subcuadro 1 (Cuadro individual).1</b>	5.25	28.30	H07ZZ-F (AS) Multi 3G6	22.83	31.00	1.91	2.00	
<b>Sub-grupo 1</b>								
C13 (aluminado exterior)	5.25	373.45	RZ1-K (AS) 3G16	22.83	91.00	3.98	5.99	

Tabla 10.24 Datos de cálculo del cuadro individual del campo de fútbol sala y del aparcamiento

Descripción de las instalaciones						
Esquema	Línea	Tipo de instalación	I <sub>z</sub> (A)	F <sub>Cagrup</sub>	R <sub>inc</sub> (%)	I' <sub>z</sub> (A)
C6(2) (iluminación)	ES07Z1-K (AS) 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm	20.00	1.00	-	20.00
C1 (iluminación)	ES07Z1-K (AS) 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm	20.00	1.00	-	20.00
C14 (Central de detección automática de incendios)	SZ1-K (AS+) 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm	28.00	1.00	-	28.00
C6 (iluminación)	ES07Z1-K (AS) 3G2.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm	20.00	1.00	-	20.00
C13 (alumbrado de emergencia)	ES07Z1-K (AS) 3G1.5	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=16 mm	14.50	1.00	-	14.50
C6(3) (iluminación)	ES07Z1-K (AS) 3G4	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm	26.00	1.00	-	26.00
C6(4) (iluminación)	ES07Z1-K (AS) 3G4	Tubo empotrado, en una pared de mampostería D=20 mm	26.00	1.00	-	26.00
Subcuadro 1 (Cuadro individual).1	H07ZZ-F (AS) Multi 3G6	Tubo superficial D=32 mm	31.00	1.00	-	31.00
C13 (alumbrado exterior)	RZ1-K (AS) 3G16	Tubo enterrado D=63 mm	91.00	1.00	-	91.00

Tabla 10.25 Descripción de las instalaciones del campo de fútbol sala y del aparcamiento.

Sobrecarga y cortocircuito '1 (cuadro individual)'										
Esquema	Línea	I <sub>c</sub> (A)	Protecciones ICP: In Guard: In Aut: In, curva Dif: In, sens, nº polos Telerruptor: In, nº polos	I <sub>z</sub> (A)	I <sub>z</sub> (A)	I <sub>cu</sub> (kA)	I <sub>ecc</sub> (kA)	I <sub>ccp</sub> (kA)	t <sub>iccc</sub> (s)	t <sub>iccp</sub> (s)
<b>1 (Cuadro individual)</b>			IGA: 32 LS: Clase C(tipo II), 40 kA 1.2 kV							
<b>Sub-grupo 1</b>			Dif: 25, 30, 2 polos							
C6(2) (iluminación)	ES07Z1-K (AS) 3G2.5	8.42	Aut: 10 {C',B'}	14.50	20.00	6	3.241	0.196	0.13	2.15
<b>Sub-grupo 2</b>			Dif: 40, 30, 2 polos							
C1 (iluminación)	ES07Z1-K (AS) 3G2.5	9.83	Aut: 10 {C',B',D'}	14.50	20.00	6	3.241	0.274	0.13	1.10
C14 (Central de detección automática de incendios)	SZ1-K (AS+) 3G2.5	20.00	Aut: 20 {C',B'}	29.00	28.00	6	3.241	0.363	0.13	0.97
<b>Sub-grupo 3</b>			Dif: 40, 30, 2 polos							
C6 (iluminación)	ES07Z1-K (AS) 3G2.5	9.83	Aut: 10 {C',B',D'}	14.50	20.00	6	3.241	0.238	0.13	1.46
C13 (alumbrado de emergencia)	ES07Z1-K (AS) 3G1.5	1.17	Aut: 10 {C',B'}	14.50	14.50	6	3.241	0.162	0.13	1.13
C6(3) (iluminación)	ES07Z1-K (AS) 3G4	9.83	Aut: 10 {C',B',D'}	14.50	26.00	6	3.241	0.299	0.13	2.36
C6(4) (iluminación)	ES07Z1-K (AS) 3G4	9.83	Aut: 10 {C',B',D'}	14.50	26.00	6	3.241	0.294	0.13	2.44
<b>Subcuadro 1 (Cuadro individual).1</b>	H07ZZ-F (AS) Multi 3G6	22.83	Aut: 25 {C',B',D'}	36.25	31.00	6	3.241	0.872	0.13	0.63
<b>Sub-grupo 1</b>			Dif: 25, 30, 2 polos							
C13 (alumbrado exterior)	RZ1-K (AS) 3G16	22.83	Aut: 25 {B}	36.25	91.00	6	1.500	0.204	0.21	126.01

Tabla 10.26 Sobrecarga y cortocircuito del cuadro individual del campo de fútbol sala y del aparcamiento

LEYENDA Y SIMBOLOGÍA

Leyenda	
c.d.t	caída de tensión (%)
c.d.t <sub>ac</sub>	caída de tensión acumulada (%)
I <sub>c</sub>	intensidad de cálculo del circuito (A)
I <sub>z</sub>	intensidad máxima admisible del conductor en las condiciones de instalación (A)
F <sub>Cagrup</sub>	factor de corrección por agrupamiento
R <sub>inc</sub>	porcentaje de reducción de la intensidad admisible por conductor en zona de riesgo de incendio o explosión (%)

<b>Leyenda</b>	
$I'_z$	intensidad máxima admisible corregida del conductor en las condiciones de instalación (A)
$I_2$	intensidad de funcionamiento de la protección (A)
$I_{cu}$	poder de corte de la protección (kA)
$I_{ccc}$	intensidad de cortocircuito al inicio de la línea (kA)
$I_{ccp}$	intensidad de cortocircuito al final de la línea (kA)
$L_{max}$	longitud máxima de la línea protegida por el fusible a cortocircuito (A)
$P_{calc}$	potencia de cálculo (kW)
$t_{iccc}$	tiempo que el conductor soporta la intensidad de cortocircuito al inicio de la línea (s)
$t_{iccp}$	tiempo que el conductor soporta la intensidad de cortocircuito al final de la línea (s)
$t_{ficcp}$	tiempo de fusión del fusible para la intensidad de cortocircuito (s)

Tabla 10.27 Leyenda de la instalación del campo de fútbol sala y del aparcamiento













	Servicio monofásico		Luminaria exterior
	Subcuadro		Salida para lámpara incandescente, vapor de mercurio o similar, empotrada en techo
	Luminaria de emergencia		Caja de protección y medida (CPM)
	Cuadro individual		Conmutador
	Interruptor		Central de detección automática de incendios
	Detector óptico de humos		Pararrayos con dispositivo de cebado (PDC)

Tabla 10.28 Símbolos utilizados en la instalación del campo de fútbol sala y del aparcamiento

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y OBRAS PÚBLICAS

## TRABAJO FIN DE GRADO

***“PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN  
APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO  
MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA  
(BIZKAIA)”***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

***ANEJO 11- PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS***

**Alumno/Alumna:** García, Arroyo, David

**Director/Directora:** Larrauri, Gil, Marcos

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 21, junio, 2019



# ÍNDICE

---

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.	PROPAGACIÓN INTERIOR.....	2
2.1	COMPARTIMENTACIÓN EN SECTORES DE INCENDIO .....	2
2.2	LOCALES DE RIESGO ESPECIAL .....	3
2.3	ESPACIOS OCULTOS. PASO DE INSTALACIONES A TRAVÉS DE ELEMENTOS DE COMPARTIMENTACIÓN DE INCENDIOS.....	3
2.4	REACCIÓN AL FUEGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS, DECORATIVOS Y DE MOBILIARIOS .....	3
3.	PROPAGACIÓN EXTERIOR .....	4
3.1	MEDIANERÍAS Y FACHADAS .....	4
3.2	CUBIERTAS.....	5
4.	EVACUACIÓN DE LOS OCUPANTES .....	5
4.1	COMPATIBILIDAD DE LOS ELEMENTOS DE EVACUACIÓN .....	5
4.2	CÁLCULO DE OCUPACIÓN, SALIDAS Y RECORRIDOS .....	6
4.3	SEÑALIZACIÓN DE LOS MEDIOS DE EVACUACIÓN .....	7
4.4	CONTROL DEL HUMO DE INCENDIO .....	8
5.	INSTALACIÓN DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS .....	8
5.1	DOTACIÓN DE INSTALACIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS .....	8
5.2	SEÑALIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES MANUALES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS 9	
6.	INTERVENCIÓN DE LOS BOMBEROS .....	10
6.1	CONDICIONES DE APROXIMACIÓN Y ENTORNO .....	10
6.2	ACCESIBILIDAD POR FACHADA.....	10
7.	RESISTENCIA AL FUEGO DE LA ESTRUCTURA.....	10

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este anejo es definir toda la información en relación con los incendios como por ejemplo la propagación interior y exterior, la resistencia al fuego de la estructura o la evacuación de los ocupantes en caso de incendio. Además, se describirán los elementos de protección contra incendios colocados en los edificios del proyecto.

Con este anejo se pretende que, en caso de incendio, el daño a las personas usuarias que se encuentren en alguno de los edificios sea el mínimo posible.

## 2. PROPAGACIÓN INTERIOR

### 2.1 COMPARTIMENTACIÓN EN SECTORES DE INCENDIO

Las distintas zonas del edificio se agrupan en sectores de incendio, en las condiciones que se establecen en el CTE DB SI 1 “Propagación interior”, que se compartimentan mediante elementos cuya resistencia al fuego satisface las condiciones establecidas en el mismo apartado del CTE.

A efectos del cómputo de la superficie de un sector de incendio, se considera que los locales de riesgo especial, las escaleras y pasillos protegidos, los vestíbulos de independencia y las escaleras compartimentadas como sector de incendios, que estén contenidos en dicho sector no forman parte del mismo.

El uso principal de los edificios del proyecto es deportivo similar a docente y se desarrollan en un único sector.

#### VESTUARIOS

Sectores de incendio							
Sector	Sup. construida (m <sup>2</sup> )		Uso previsto <sup>(1)</sup>	Resistencia al fuego del elemento compartimentador <sup>(2)</sup>			
	Norma	Proyecto		Paredes y techos <sup>(3)</sup>		Puertas	
				Norma	Proyecto	Norma	Proyecto
Sc_Docente_1	4000	223.12	Docente	EI 60	EI 240	EI <sub>2</sub> 30-C5	-

Notas:  
<sup>(1)</sup> Según se consideran en el Anejo A Terminología (CTE DB SI). Para los usos no contemplados en este Documento Básico, se procede por asimilación en función de la densidad de ocupación, movilidad de los usuarios, etc.  
<sup>(2)</sup> Los valores mínimos están establecidos en la tabla 1.2 (CTE DB SI 1 Propagación interior).  
<sup>(3)</sup> Los techos tienen una característica 'REI', al tratarse de elementos portantes y compartimentadores de incendio.

Tabla 11.1 Sectores de incendios vestuarios

#### CAMPO DE FÚTBOL SALA

Sectores de incendio							
Sector	Sup. construida (m <sup>2</sup> )		Uso previsto <sup>(1)</sup>	Resistencia al fuego del elemento compartimentador <sup>(2)</sup>			
	Norma	Proyecto		Paredes y techos <sup>(3)</sup>		Puertas	
				Norma	Proyecto	Norma	Proyecto
Sc_Docente_2	4000	1260.00	Docente	EI 60	-	EI <sub>2</sub> 30-C5	-

Notas:  
<sup>(1)</sup> Según se consideran en el Anejo A Terminología (CTE DB SI). Para los usos no contemplados en este Documento Básico, se procede por asimilación en función de la densidad de ocupación, movilidad de los usuarios, etc.  
<sup>(2)</sup> Los valores mínimos están establecidos en la tabla 1.2 (CTE DB SI 1 Propagación interior).  
<sup>(3)</sup> Los techos tienen una característica 'REI', al tratarse de elementos portantes y compartimentadores de incendio.

Tabla 11.2 Sectores de incendios campo de futbol sala

## 2.2 LOCALES DE RIESGO ESPECIAL

Los locales y zonas de riesgo especial se clasifican conforme a tres grados de riesgo (alto, medio y bajo) según los criterios establecidos en el CTE DB SI 1 “Propagación interior”

Zonas de riesgo especial						
Local o zona	Superficie (m <sup>2</sup> )	Nivel de riesgo <sup>(1)</sup>	Resistencia al fuego del elemento compartimentador <sup>(2)(3)(4)</sup>			
			Paredes y techos		Puertas	
			Norma	Proyecto	Norma	Proyecto
Sala de mantenimiento	21.88	Bajo	EI 90	EI 240	EI, 45-C5	-

Notas:  
<sup>(1)</sup> La necesidad de vestíbulo de independencia depende del nivel de riesgo del local o zona, conforme exige la tabla 2.2 (CTE DB SI 1 Propagación interior).  
<sup>(2)</sup> Los valores mínimos están establecidos en la tabla 2.2 (CTE DB SI 1 Propagación interior).  
<sup>(3)</sup> Los techos tienen una característica 'REI', al tratarse de elementos portantes y compartimentadores de incendio. El tiempo de resistencia al fuego no será menor que el establecido para la estructura portante del conjunto del edificio (CTE DB SI 6 Resistencia al fuego de la estructura), excepto cuando la zona se encuentre bajo una cubierta no prevista para evacuación y cuyo fallo no suponga riesgo para la estabilidad de otras plantas ni para la compartimentación contra incendios, en cuyo caso puede ser R 30.  
<sup>(4)</sup> Los valores mínimos de resistencia al fuego en locales de riesgo especial medio y alto son aplicables a las puertas de entrada y salida del vestíbulo de independencia necesario para su evacuación.

Tabla 11.3 Salas con riesgo especial

El campo de fútbol sala no existen zonas de riesgo especial

## 2.3 ESPACIOS OCULTOS. PASO DE INSTALACIONES A TRAVÉS DE ELEMENTOS DE COMPARTIMENTACIÓN DE INCENDIOS

La compartimentación contra incendios de los espacios ocupables tiene continuidad en los espacios ocultos, tales como patinillos, cámaras, falsos techos, suelos elevados, etc., salvo cuando éstos se compartimentan respecto de los primeros al menos con la misma resistencia al fuego, pudiendo reducirse ésta a la mitad en los registros para mantenimiento.

Se limita a tres plantas y una altura de 10 m el desarrollo vertical de las cámaras no estancas en las que existan elementos cuya clase de reacción al fuego no sea B-s3-d2, BL-s3-d2 o mejor.

La resistencia al fuego requerida en los elementos de compartimentación de incendio se mantiene en los puntos en los que dichos elementos son atravesados por elementos de las instalaciones, tales como cables, tuberías, conducciones, conductos de ventilación, etc., excluidas las penetraciones cuya sección de paso no exceda de 50 cm<sup>2</sup>.

Para ello, se optará por una de las siguientes alternativas:

- Mediante elementos que, en caso de incendio, obturen automáticamente la sección de paso y garanticen en dicho punto una resistencia al fuego al menos igual a la del elemento atravesado; por ejemplo, una compuerta cortafuegos automática EI t(i<math>\infty</math>) ('t' es el tiempo de resistencia al fuego requerido al elemento de compartimentación atravesado), o un dispositivo intumescente de obturación.
- Mediante elementos pasantes que aporten una resistencia al menos igual a la del elemento atravesado, por ejemplo, conductos de ventilación EI t(i<math>\infty</math>) ('t' es el tiempo de resistencia al fuego requerido al elemento de compartimentación atravesado).

## 2.4 REACCIÓN AL FUEGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS, DECORATIVOS Y DE MOBILIARIOS

Los elementos constructivos utilizados cumplen las condiciones de reacción al fuego que se establecen en el CTE DB SI 1 “Propagación interior”.

Las condiciones de reacción al fuego de los componentes de las instalaciones eléctricas (cables, tubos, bandejas, regletas, armarios, etc.) se regulan en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT-2002).

### VESTUARIOS

Reacción al fuego		
Situación del elemento	Revestimiento <sup>(1)</sup>	
	Techos y paredes <sup>(2)(3)</sup>	Suelos <sup>(2)</sup>
Locales de riesgo especial	B-s1, d0	B <sub>FL</sub> -s1
Espacios ocultos no estancos: patinillos, falsos techos <sup>(4)</sup> , suelos elevados, etc.	B-s3, d0	B <sub>FL</sub> -s2 <sup>(5)</sup>
<b>Notas:</b> <sup>(1)</sup> Siempre que se supere el 5% de las superficies totales del conjunto de las paredes, del conjunto de los techos o del conjunto de los suelos del recinto considerado. <sup>(2)</sup> Incluye las tuberías y conductos que transcurren por las zonas que se indican sin recubrimiento resistente al fuego. Cuando se trate de tuberías con aislamiento térmico lineal, la clase de reacción al fuego será la que se indica, pero incorporando el subíndice 'L'. <sup>(3)</sup> Incluye a aquellos materiales que constituyan una capa, contenida en el interior del techo o pared, que no esté protegida por otra que sea EI 30 como mínimo. <sup>(4)</sup> Excepto en falsos techos existentes en el interior de las viviendas. <sup>(5)</sup> Se refiere a la parte inferior de la cavidad. Por ejemplo, en la cámara de los falsos techos se refiere al material situado en la cara superior de la membrana. En espacios con clara configuración vertical (por ejemplo, patinillos), así como cuando el falso techo esté constituido por una celosía, retícula o entramado abierto con una función acústica, decorativa, etc., esta condición no es aplicable.		

Tabla 11.4 Reacción al fuego de elementos constructivos vestuarios

### CAMPO DE FÚTBOL SALA

Reacción al fuego		
Situación del elemento	Revestimiento <sup>(1)</sup>	
	Techos y paredes <sup>(2)(3)</sup>	Suelos <sup>(2)</sup>
Espacios ocultos no estancos: patinillos, falsos techos <sup>(4)</sup> , suelos elevados, etc.	B-s3, d0	B <sub>FL</sub> -s2 <sup>(5)</sup>
<b>Notas:</b> <sup>(1)</sup> Siempre que se supere el 5% de las superficies totales del conjunto de las paredes, del conjunto de los techos o del conjunto de los suelos del recinto considerado. <sup>(2)</sup> Incluye las tuberías y conductos que transcurren por las zonas que se indican sin recubrimiento resistente al fuego. Cuando se trate de tuberías con aislamiento térmico lineal, la clase de reacción al fuego será la que se indica, pero incorporando el subíndice 'L'. <sup>(3)</sup> Incluye a aquellos materiales que constituyan una capa, contenida en el interior del techo o pared, que no esté protegida por otra que sea EI 30 como mínimo. <sup>(4)</sup> Excepto en falsos techos existentes en el interior de las viviendas. <sup>(5)</sup> Se refiere a la parte inferior de la cavidad. Por ejemplo, en la cámara de los falsos techos se refiere al material situado en la cara superior de la membrana. En espacios con clara configuración vertical (por ejemplo, patinillos), así como cuando el falso techo esté constituido por una celosía, retícula o entramado abierto con una función acústica, decorativa, etc., esta condición no es aplicable.		

Tabla 11.5 Reacción al fuego de elementos constructivos campo de fútbol sala

## 3. PROPAGACIÓN EXTERIOR

### 3.1 MEDIANERÍAS Y FACHADAS

En fachadas, se limita el riesgo de propagación exterior horizontal del incendio mediante el control de la separación mínima entre huecos de fachada pertenecientes a sectores de incendio distintos, entre zonas de riesgo especial alto y otras zonas, o hacia una escalera o pasillo protegido desde otras zonas, entendiendo que dichos huecos suponen áreas de fachada donde no se alcanza una resistencia al fuego mínima EI 60.

En la separación con otros edificios colindantes, los puntos de la fachada del edificio considerado con una resistencia al fuego menor que EI 60, cumplen el 50% de la distancia exigida entre zonas con resistencia menor que EI 60, hasta la bisectriz del ángulo formado por las fachadas del edificio objeto y el colindante.

## VESTUARIOS

Propagación horizontal					
Plantas	Fachada <sup>(1)</sup>	Separación <sup>(2)</sup>	Separación horizontal mínima (m) <sup>(3)</sup>		
			Ángulo <sup>(4)</sup>	Norma	Proyecto
Planta baja	Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada	No	No procede		

*Notas:*  
<sup>(1)</sup> Se muestran las fachadas del edificio que incluyen huecos donde no se alcanza una resistencia al fuego EI 60.  
<sup>(2)</sup> Se consideran aquí las separaciones entre diferentes sectores de incendio, entre zonas de riesgo especial alto y otras zonas o hacia una escalera o pasillo protegido desde otras zonas, según el punto 1.2 (CTE DB SI 2).  
<sup>(3)</sup> Distancia mínima en proyección horizontal 'd (m)', tomando valores intermedios mediante interpolación lineal en la tabla del punto 1.2 (CTE DB SI 2).  
<sup>(4)</sup> Ángulo formado por los planos exteriores de las fachadas consideradas, con un redondeo de 5°. Para fachadas paralelas y enfrentadas, se obtiene un valor de 0°.

Tabla 11.6 Propagación horizontal de las fachadas de los vestuarios

## CAMPO DE FÚTBOL SALA

Propagación horizontal					
Plantas	Fachada <sup>(1)</sup>	Separación <sup>(2)</sup>	Separación horizontal mínima (m) <sup>(3)</sup>		
			Ángulo <sup>(4)</sup>	Norma	Proyecto
Planta baja	Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica	No	No procede		

*Notas:*  
<sup>(1)</sup> Se muestran las fachadas del edificio que incluyen huecos donde no se alcanza una resistencia al fuego EI 60.  
<sup>(2)</sup> Se consideran aquí las separaciones entre diferentes sectores de incendio, entre zonas de riesgo especial alto y otras zonas o hacia una escalera o pasillo protegido desde otras zonas, según el punto 1.2 (CTE DB SI 2).  
<sup>(3)</sup> Distancia mínima en proyección horizontal 'd (m)', tomando valores intermedios mediante interpolación lineal en la tabla del punto 1.2 (CTE DB SI 2).  
<sup>(4)</sup> Ángulo formado por los planos exteriores de las fachadas consideradas, con un redondeo de 5°. Para fachadas paralelas y enfrentadas, se obtiene un valor de 0°.

Tabla 11.7 Propagación horizontal de las fachadas del campo de fútbol sala

En este proyecto no existe riesgo de propagación vertical del incendio por la fachada del edificio.

La clase de reacción al fuego de los materiales que ocupen más del 10% de la superficie del acabado exterior de las fachadas o de las superficies interiores de las cámaras ventiladas que dichas fachadas puedan tener, será B-s3 d2 o mejor hasta una altura de 3,5 m como mínimo, en aquellas fachadas cuyo arranque inferior sea accesible al público, desde la rasante exterior o desde una cubierta; y en toda la altura de la fachada cuando ésta tenga una altura superior a 18 m, con independencia de dónde se encuentre su arranque.

### 3.2 CUBIERTAS

No existe en el edificio riesgo alguno de propagación del incendio entre zonas de cubierta con huecos y huecos dispuestos en fachadas superiores del edificio, pertenecientes a sectores de incendio o a edificios diferentes.

## 4. EVACUACIÓN DE LOS OCUPANTES

### 4.1 COMPATIBILIDAD DE LOS ELEMENTOS DE EVACUACIÓN

Los elementos de evacuación del edificio no deben cumplir ninguna condición especial de las definidas en el apartado 1 (DB SI 3), ya que ninguno de los edificios del proyecto están establecimiento de uso 'Comercial' o 'Pública Concurrencia', ni establecimientos de uso

'Hospitalario', 'Residencial Público' o 'Administrativo', de superficie construida mayor de 1500 m<sup>2</sup>.

#### 4.2 CÁLCULO DE OCUPACIÓN, SALIDAS Y RECORRIDOS

El cálculo de la ocupación del edificio se ha resuelto mediante la aplicación de los valores de densidad de ocupación indicados en el CTE DB SI 3, en función del uso y superficie útil de cada zona de incendio del edificio.

En el recuento de las superficies útiles para la aplicación de las densidades de ocupación, se ha tenido en cuenta el carácter simultáneo o alternativo de las distintas zonas del edificio, según el régimen de actividad y uso previsto del mismo.

El número de salidas necesarias y la longitud máxima de los recorridos de evacuación asociados, se determinan según lo expuesto en el CTE DB SI 3, en función de la ocupación calculada. En los casos donde se necesite o proyecte más de una salida, se aplican las hipótesis de asignación de ocupantes, tanto para la inutilización de salidas a efectos de cálculo de capacidad de las escaleras, como para la determinación del ancho necesario de las salidas.

En la planta de desembarco de las escaleras, se añade a los recorridos de evacuación el flujo de personas que proviene de las mismas, con un máximo de 160 A personas (siendo 'A' la anchura, en metros, del desembarco de la escalera), y considerando el posible carácter alternativo de la ocupación que desalojan, si ésta proviene de zonas del edificio no ocupables simultáneamente.

#### VESTUARIOS

Ocupación, número de salidas y longitud de los recorridos de evacuación									
Planta	S <sub>útil</sub> <sup>(1)</sup> (m <sup>2</sup> )	r <sub>ocup</sub> <sup>(2)</sup> (m <sup>2</sup> /p)	P <sub>calc</sub> <sup>(3)</sup>	Número de salidas <sup>(4)</sup>		Longitud del recorrido <sup>(5)</sup> (m)		Anchura de las salidas <sup>(6)</sup> (m)	
				Norma	Proyecto	Norma	Proyecto	Norma	Proyecto
<b>Sc_Docente_1 (Uso Docente), ocupación: 84 personas</b>									
Planta baja	163	1.9	0	1	1	50	7.3	0.80	0.86
			16	1	1	50	9.6	0.80	0.86
			34	1	1	25	18.9	0.80	0.86

**Notas:**

<sup>(1)</sup> Superficie útil con ocupación no nula, S<sub>útil</sub> (m<sup>2</sup>). Se contabiliza por planta la superficie afectada por una densidad de ocupación no nula, considerando también el carácter simultáneo o alternativo de las distintas zonas del edificio, según el régimen de actividad y de uso previsto del edificio, de acuerdo al punto 2.2 (DB SI 3).

<sup>(2)</sup> Densidad de ocupación, r<sub>ocup</sub> (m<sup>2</sup>/p); aplicada a los recintos con ocupación no nula del sector, en cada planta, según la tabla 2.1 (DB SI 3). Los valores expresados con una cifra decimal se refieren a densidades de ocupación calculadas, resultantes de la aplicación de distintos valores de ocupación, en función del tipo de recinto, según la tabla 2.1 (DB SI 3).

<sup>(3)</sup> Ocupación de cálculo, P<sub>calc</sub>, en número de personas. Se muestran entre paréntesis las ocupaciones totales de cálculo para los recorridos de evacuación considerados, resultados de la suma de ocupación en la planta considerada más aquella procedente de plantas sin origen de evacuación, o bien de la aportación de flujo de personas de escaleras, en la planta de salida del edificio, tomando los criterios de asignación del punto 4.1.3 (DB SI 3).

<sup>(4)</sup> Número de salidas de planta exigidas y ejecutadas, según los criterios de ocupación y altura de evacuación establecidos en la tabla 3.1 (DB SI 3).

<sup>(5)</sup> Longitud máxima admisible y máxima en proyecto para los recorridos de evacuación de cada planta y sector, en función del uso del mismo y del número de salidas de planta disponibles, según la tabla 3.1 (DB SI 3).

<sup>(6)</sup> Anchura mínima exigida y anchura mínima dispuesta en proyecto, para las puertas de paso y para las salidas de planta del recorrido de evacuación, en función de los criterios de asignación y dimensionado de los elementos de evacuación (puntos 4.1 y 4.2 de DB SI 3). La anchura de toda hoja de puerta estará comprendida entre 0.60 y 1.23 m, según la tabla 4.1 (DB SI 3).

Tabla 11.8 Ocupación, numero de salidas y recorridos de evacuación de los vestuarios

### CAMPO DE FÚTBOL SALA

Ocupación, número de salidas y longitud de los recorridos de evacuación									
Planta	S <sub>útil</sub> <sup>(1)</sup> (m <sup>2</sup> )	ρ <sub>ocup</sub> <sup>(2)</sup> (m <sup>2</sup> /p)	P <sub>calc</sub> <sup>(3)</sup>	Número de salidas <sup>(4)</sup>		Longitud del recorrido <sup>(5)</sup> (m)		Anchura de las salidas <sup>(6)</sup> (m)	
				Norma	Proyecto	Norma	Proyecto	Norma	Proyecto
<b>Sc_Docente_2 (Uso Docente), ocupación: 251 personas</b>									
Planta baja	1252	5	251	2	2	25 + 25	25.4	1.25	2.10
<b>Notas:</b> <sup>(1)</sup> Superficie útil con ocupación no nula, S <sub>útil</sub> (m <sup>2</sup> ). Se contabiliza por planta la superficie afectada por una densidad de ocupación no nula, considerando también el carácter simultáneo o alternativo de las distintas zonas del edificio, según el régimen de actividad y de uso previsto del edificio, de acuerdo al punto 2.2 (DB SI 3). <sup>(2)</sup> Densidad de ocupación, ρ <sub>ocup</sub> (m <sup>2</sup> /p); aplicada a los recintos con ocupación no nula del sector, en cada planta, según la tabla 2.1 (DB SI 3). <sup>(3)</sup> Ocupación de cálculo, P <sub>calc</sub> , en número de personas. Se muestran entre paréntesis las ocupaciones totales de cálculo para los recorridos de evacuación considerados, resultados de la suma de ocupación en la planta considerada más aquella procedente de plantas sin origen de evacuación, o bien de la aportación de flujo de personas de escaleras, en la planta de salida del edificio, tomando los criterios de asignación del punto 4.1.3 (DB SI 3). <sup>(4)</sup> Número de salidas de planta exigidas y ejecutadas, según los criterios de ocupación y altura de evacuación establecidos en la tabla 3.1 (DB SI 3). <sup>(5)</sup> Longitud máxima admisible y máxima en proyecto para los recorridos de evacuación de cada planta y sector, en función del uso del mismo y del número de salidas de planta disponibles, según la tabla 3.1 (DB SI 3). <sup>(6)</sup> Anchura mínima exigida y anchura mínima dispuesta en proyecto, para las puertas de paso y para las salidas de planta del recorrido de evacuación, en función de los criterios de asignación y dimensionado de los elementos de evacuación (puntos 4.1 y 4.2 de DB SI 3). La anchura de toda hoja de puerta estará comprendida entre 0.60 y 1.23 m, según la tabla 4.1 (DB SI 3).									

Tabla 11.9 Ocupación, numero de salidas y recorridos de evacuación del campo de futbol sala

En las zonas de riesgo especial del edificio, se considera que sus puntos ocupables son origen de evacuación, y se limita a 25 m la longitud máxima hasta la salida de cada zona.

Además, se respetan las distancias máximas de los recorridos fuera de las zonas de riesgo especial, hasta sus salidas de planta correspondientes, determinadas en función del uso, altura de evacuación y número de salidas necesarias y ejecutadas.

### VESTUARIOS

Longitud y número de salidas de los recorridos de evacuación para las zonas de riesgo especial									
Local o zona	Planta	Nivel de riesgo	Número de salidas <sup>(2)</sup>		Longitud del recorrido <sup>(3)</sup> (m)		Anchura de las salidas <sup>(4)</sup> (m)		
			Norma	Proyecto	Norma	Proyecto	Norma	Proyecto	
Sala de mantenimiento	Planta baja	Bajo	1	1	25	6.5	0.80	0.86	
<b>Notas:</b> <sup>(1)</sup> Nivel de riesgo (bajo, medio o alto) de la zona de riesgo especial, según la tabla 2.1 (DB SI 1). <sup>(2)</sup> Número de salidas de planta exigidas y ejecutadas en la planta a la que pertenece la zona de riesgo especial, según la tabla 3.1 (DB SI 3). <sup>(3)</sup> Longitud máxima permitida y máxima en proyecto para los recorridos de evacuación de cada zona de riesgo especial, hasta la salida de la zona (tabla 2.2, DB SI 1), y hasta su salida de planta correspondiente, una vez abandonada la zona de riesgo especial, según la tabla 3.1 (DB SI 3). <sup>(4)</sup> Anchura mínima exigida tanto para las puertas de paso y las salidas de planta del recorrido de evacuación, en función de los criterios de dimensionado de los elementos de evacuación (punto 4.2 (DB SI 3)), como para las puertas dispuestas en proyecto. La anchura de toda hoja de puerta estará contenida entre 0.60 y 1.23 m, según la tabla 4.1 (DB SI 3).									

Tabla 11.10 Números de salidas y recorridos en locales de riesgo especial de los vestuarios.

### 4.3 SEÑALIZACIÓN DE LOS MEDIOS DE EVACUACIÓN

Conforme a lo establecido en el CTE DB SI 3, se utilizarán señales de evacuación, definidas en la norma UNE 23034:1988, dispuestas conforme a los siguientes criterios:

- Las salidas de recinto, planta o edificio tendrán una señal con el rótulo "SALIDA", excepto en edificios de uso 'Residencial Vivienda' o, en otros usos, cuando se trate de salidas de recintos cuya superficie no exceda de 50 m<sup>2</sup>, sean fácilmente visibles desde todos los puntos de dichos recintos y los ocupantes estén familiarizados con el edificio.
- La señal con el rótulo "Salida de emergencia" se utilizará en toda salida prevista para uso exclusivo en caso de emergencia.
- Se dispondrán señales indicativas de dirección de los recorridos, visibles desde todo origen de evacuación desde el que no se perciban directamente las salidas o sus señales indicativas y, en particular, frente a toda salida de un recinto con ocupación mayor que 100 personas que acceda lateralmente a un pasillo.

- d. En los puntos de los recorridos de evacuación en los que existan alternativas que puedan inducir a error, también se dispondrán las señales antes citadas, de forma tal que quede claramente indicada la alternativa correcta. Tal es el caso de determinados cruces o bifurcaciones de pasillos, así como de aquellas escaleras que, en la planta de salida del edificio, continúen su trazado hacia plantas más bajas, etc.
- e. En dichos recorridos, junto a las puertas que no sean salida y que puedan inducir a error en la evacuación, debe disponerse la señal con el rótulo "Sin salida" en lugar fácilmente visible, pero en ningún caso sobre las hojas de las puertas.
- f. Las señales se dispondrán de forma coherente con la asignación de ocupantes que se pretenda hacer a cada salida de planta, conforme a lo establecido en el apartado 4 (DB SI 3).
- g. Los itinerarios accesibles para personas con discapacidad (definidos en el Anejo A de CTE DB SUA) que conduzcan a una zona de refugio, a un sector de incendio alternativo previsto para la evacuación de personas con discapacidad, o a una salida del edificio accesible, se señalarán mediante las señales establecidas en los párrafos anteriores a), b), c) y d) acompañadas del SIA (Símbolo Internacional de Accesibilidad para la movilidad). Cuando dichos itinerarios accesibles conduzcan a una zona de refugio o a un sector de incendio alternativo previsto para la evacuación de personas con discapacidad, irán además acompañadas del rótulo "ZONA DE REFUGIO".
- h. La superficie de las zonas de refugio se señalará mediante diferente color en el pavimento y el rótulo "ZONA DE REFUGIO" acompañado del SIA colocado en una pared adyacente a la zona.

Las señales serán visibles incluso en caso de fallo en el suministro al alumbrado normal. Cuando sean fotoluminiscentes, sus características de emisión luminosa cumplirán lo establecido en las normas UNE 23035-1:2003, UNE 23035-2:2003 y UNE 23035-4:2003 y su mantenimiento se realizará conforme a lo establecido en la norma UNE 23035-3:2003.

#### 4.4 CONTROL DEL HUMO DE INCENDIO

No se ha previsto en los vestuarios ningún sistema de control del humo de incendio, por no existir en él ninguna zona correspondiente a los usos recogidos en el apartado 8 (DB SI 3):

- Zonas de uso Aparcamiento que no tengan la consideración de aparcamiento abierto.
- Establecimientos de uso Comercial o Pública Concurrencia cuya ocupación exceda de 1000 personas;
- Atrios, cuando su ocupación, en el conjunto de las zonas y plantas que constituyan un mismo sector de incendio, exceda de 500 personas, o bien cuando esté prevista su utilización para la evacuación de más de 500 personas.

## 5. INSTALACIÓN DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

### 5.1 DOTACIÓN DE INSTALACIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

El edificio dispone de los equipos e instalaciones de protección contra incendios requeridos según el CTE DB SI 4 "Instalaciones de protección contra incendios". El diseño, ejecución, puesta en funcionamiento y mantenimiento de dichas instalaciones, así como sus materiales, componentes y equipos, cumplirán lo establecido, tanto en el artículo 3.1 del CTE, como en el Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios (RD. 1942/1993, de 5 de



noviembre), en sus disposiciones complementarias y en cualquier otra reglamentación específica que les sea de aplicación.

En los locales y zonas de riesgo especial del edificio se dispone la correspondiente dotación de instalaciones indicada en el CTE DB SI 4, siendo ésta nunca inferior a la exigida con carácter general para el uso principal del edificio.

#### VESTUARIOS

Dotación de instalaciones de protección contra incendios en los sectores de incendio					
Dotación	Extintores portátiles <sup>(1)</sup>	Bocas de incendio equipadas	Columna seca	Sistema de detección y alarma	Instalación automática de extinción
<b>Sc_Docente_1</b> (Uso 'Docente')					
Norma	Sí	No	No	No	No
Proyecto	Sí (9)	No	No	No	No
Notas: <sup>(1)</sup> Se indica el número de extintores dispuestos en cada sector de incendio. Con dicha disposición, los recorridos de evacuación quedan cubiertos, cumpliendo la distancia máxima de 15 m desde todo origen de evacuación, de acuerdo a la tabla 1.1, DB SI 4. Los extintores que se han dispuesto, cumplen la eficacia mínima exigida: de polvo químico ABC polivalente, de eficacia 21A-144B-C.					

Tabla 11.11 Dotación de instalaciones de protección contra incendios de los vestuarios

Dotación de instalaciones de protección contra incendios en las zonas de riesgo especial			
Referencia de la zona	Nivel de riesgo	Extintores portátiles <sup>(1)</sup>	Bocas de incendio equipadas
Sala de mantenimiento	Bajo	Sí (1 dentro)	---
Notas: <sup>(1)</sup> Se indica el número de extintores dispuestos dentro de cada zona de riesgo especial y en las cercanías de sus puertas de acceso. Con la disposición indicada, los recorridos de evacuación dentro de las zonas de riesgo especial quedan cubiertos, cumpliendo la distancia máxima de 15 m desde todo origen de evacuación para zonas de riesgo bajo o medio, y de 10 m para zonas de riesgo alto, en aplicación de la nota al pie 1 de la tabla 1.1, DB SI 4. Los extintores que se han dispuesto, cumplen la eficacia mínima exigida: de polvo químico ABC polivalente, de eficacia 21A-144B-C.			

Tabla 11.12 Instalaciones de protección contra incendios en locales de riesgo especial de los vestuarios

#### CAMPO DE FÚTBOL SALA

Dotación de instalaciones de protección contra incendios en los sectores de incendio					
Dotación	Extintores portátiles <sup>(1)</sup>	Bocas de incendio equipadas	Columna seca	Sistema de detección y alarma <sup>(2)</sup>	Instalación automática de extinción
<b>Sc_Docente_2</b> (Uso 'Docente')					
Norma	Sí	No	No	Sí	No
Proyecto	Sí (12)	No	No	Sí (3)	No
Notas: <sup>(1)</sup> Se indica el número de extintores dispuestos en cada sector de incendio. Con dicha disposición, los recorridos de evacuación quedan cubiertos, cumpliendo la distancia máxima de 15 m desde todo origen de evacuación, de acuerdo a la tabla 1.1, DB SI 4. <sup>(2)</sup> Los sistemas de detección y alarma de incendio se distribuyen uniformemente en las zonas a cubrir, cumpliendo las disposiciones de la norma UNE 23007:96 que los regula. Los extintores que se han dispuesto, cumplen la eficacia mínima exigida: de polvo químico ABC polivalente, de eficacia 21A-144B-C.					

Tabla 11.13 Dotación de instalaciones de protección contra incendios del campo de fútbol sala

## 5.2 SEÑALIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES MANUALES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Los medios de protección contra incendios de utilización manual (extintores, bocas de incendio, hidrantes exteriores, pulsadores manuales de alarma y dispositivos de disparo de sistemas de extinción) están señalizados mediante las correspondientes señales definidas en la norma UNE 23033-1. Las dimensiones de dichas señales, dependiendo de la distancia de observación, son las siguientes:

- De 210 x 210 mm cuando la distancia de observación no es superior a 10 m.
- De 420 x 420 mm cuando la distancia de observación está comprendida entre 10 y 20m.

- De 594 x 594 mm cuando la distancia de observación está comprendida entre 20 y 30m.

Las señales serán visibles, incluso en caso de fallo en el suministro eléctrico del alumbrado normal, mediante el alumbrado de emergencia o por fotoluminiscencia. Para las señales fotoluminiscentes, sus características de emisión luminosa cumplen lo establecido en las normas UNE 23035-1:2003, UNE 23035-2:2003 y UNE 23035-4:2003 y su mantenimiento se realizará conforme a lo establecido en la norma UNE 23035-3:2003.

## 6. INTERVENCIÓN DE LOS BOMBEROS

### 6.1 CONDICIONES DE APROXIMACIÓN Y ENTORNO

Como la altura de evacuación del edificio (0.0 m) es inferior a 9 m, según el CTE DB SI 5 no es necesario justificar las condiciones del vial de aproximación, ni del espacio de maniobra para los bomberos, a disponer en las fachadas donde se sitúan los accesos al edificio.

### 6.2 ACCESIBILIDAD POR FACHADA

Como la altura de evacuación del edificio (0.0 m) es inferior a 9 m, según el CTE DB SI 5 no es necesario justificar las condiciones de accesibilidad por fachada para el personal del servicio de extinción de incendio.

## 7. RESISTENCIA AL FUEGO DE LA ESTRUCTURA

La resistencia al fuego de los elementos estructurales principales del edificio es suficiente si se cumple alguna de las siguientes condiciones:

- Alcanzan la clase indicada en el CTE DB SI 6 “Resistencia al fuego de la estructura”, que representan el tiempo de resistencia en minutos ante la acción representada por la curva normalizada tiempo-temperatura en función del uso del sector de incendio o zona de riesgo especial, y de la altura de evacuación del edificio.
- Soportan dicha acción durante el tiempo equivalente de exposición al fuego indicado en el Anejo B (CTE DB SI Seguridad en caso de incendio).

### VESTUARIOS

Resistencia al fuego de la estructura						
Sector o local de riesgo especial <sup>(1)</sup>	Uso de la zona inferior al forjado considerado	Planta superior al forjado considerado	Material estructural considerado <sup>(2)</sup>			Estabilidad al fuego mínima de los elementos estructurales <sup>(3)</sup>
			Soportes	Vigas	Forjados	
Sc_Docente_1	Docente	Cubierta	estructura metálica	estructura metálica	estructura metálica	R 60

**Notas:**  
<sup>(1)</sup> Sector de incendio, zona de riesgo especial o zona protegida de mayor limitación en cuanto al tiempo de resistencia al fuego requerido a sus elementos estructurales. Los elementos estructurales interiores de una escalera protegida o de un pasillo protegido serán como mínimo R 30. Cuando se trate de escaleras especialmente protegidas no es necesario comprobar la resistencia al fuego de los elementos estructurales.  
<sup>(2)</sup> Se define el material estructural empleado en cada uno de los elementos estructurales principales (soportes, vigas, forjados, losas, tirantes, etc.)  
<sup>(3)</sup> La resistencia al fuego de un elemento se establece comprobando las dimensiones de su sección transversal, obteniendo su resistencia por los métodos simplificados de cálculo dados en los Anejos B a F (CTE DB SI Seguridad en caso de incendio), aproximados para la mayoría de las situaciones habituales.

Tabla 11.14 Resistencia al fuego de la estructura de los vestuarios



CAMPO DE FÚTBOL SALA

Resistencia al fuego de la estructura						
Sector o local de riesgo especial <sup>(1)</sup>	Uso de la zona inferior al forjado considerado	Planta superior al forjado considerado	Material estructural considerado <sup>(2)</sup>			Estabilidad al fuego mínima de los elementos estructurales <sup>(3)</sup>
			Soportes	Vigas	Forjados	
Sc_Docente_2	Docente	Cubierta	estructura metálica	estructura metálica	estructura metálica	R 60
<p><i>Notas:</i></p> <p><sup>(1)</sup> Sector de incendio, zona de riesgo especial o zona protegida de mayor limitación en cuanto al tiempo de resistencia al fuego requerido a sus elementos estructurales. Los elementos estructurales interiores de una escalera protegida o de un pasillo protegido serán como mínimo R 30. Cuando se trate de escaleras especialmente protegidas no es necesario comprobar la resistencia al fuego de los elementos estructurales.</p> <p><sup>(2)</sup> Se define el material estructural empleado en cada uno de los elementos estructurales principales (soportes, vigas, forjados, losas, tirantes, etc.)</p> <p><sup>(3)</sup> La resistencia al fuego de un elemento se establece comprobando las dimensiones de su sección transversal, obteniendo su resistencia por los métodos simplificados de cálculo dados en los Anejos B a F (CTE DB SI Seguridad en caso de incendio), aproximados para la mayoría de las situaciones habituales.</p>						

Tabla 11.15 Resistencia al fuego de la estructura del campo de fútbol sala

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y OBRAS PÚBLICAS

## TRABAJO FIN DE GRADO

***“PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN  
APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO  
MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA  
(BIZKAIA)”***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

***ANEJO 12- DRENAJE SUPERFICIAL***

**Alumno/Alumna:** García, Arroyo, David

**Director/Directora:** Larrauri, Gil, Marcos

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 21, junio, 2019

# ÍNDICE

---

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.	HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA.....	2
2.1	DATOS CLIMATOLÓGICOS .....	2
2.1.1	PRECIPITACIÓN.....	2
2.1.2	TEMPERATURA.....	2
3.	SISTEMA DE DRENAJE DEL APARCAMIENTO.....	2
3.1	ELEMENTOS DEL SISTEMA DE DRENAJE.....	2
3.1.1	CUNETAS .....	2
3.1.2	SUMIDEROS.....	3
3.2	CAUDALES APARCAMIENTO.....	3
3.2.1	CUNETA ELEGIDA PARA EL DRENAJE.....	3
3.2.2	DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES ESPERADOS .....	3
3.2.3	CÁLCULO DE IT .....	3
3.2.4	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.....	5
3.2.5	DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DE PROYECTO .....	5
3.2.6	ÁREA DE LAS CUENCAS DRENADAS.....	6
3.2.7	DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE PROYECTO.....	6
3.2.8	DIMENSIONAMIENTO DE LAS CUNETAS .....	6
3.2.9	COMPROBACIÓN DE LA VELOCIDAD.....	7

## 1. INTRODUCCIÓN

---

El objetivo de este anejo es determinar las características de los distintos elementos que se utilizarán para el drenaje superficial de aguas pluviales en el aparcamiento. Los sistemas de recogida y evacuación serán unas cunetas que irán por el perímetro del pavimento.

A lo largo del presente anejo, basándose en los datos hidrológicos y climatológicos de la zona de proyecto, se deberá calcular el caudal de proyecto y posteriormente se dimensionará la cuneta para recoger de manera adecuada el agua que cae sobre el aparcamiento.

Se seguirá las pautas de la norma Instrucción 5.2-IC “Drenaje Superficial” y de las Normas BAT “Normas técnicas para las carreteras de Bizkaia”.

## 2. HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA

---

### 2.1 DATOS CLIMATOLÓGICOS

#### 2.1.1 PRECIPITACIÓN

La importante pluviosidad y la fuerte intensidad de las precipitaciones en todo el País Vasco se explica fundamentalmente por la orografía de la zona.

En Ermua, período con más precipitaciones es desde octubre hasta abril, teniendo un máximo en el mes de diciembre y un mínimo en el mes de marzo. En este periodo se concentra más del 87 % de la precipitación anual, esto es, una precipitación mensual superior a los 100 mm. Las mínimas precipitaciones anuales se producen en los meses situados al final de la primavera y en el verano, pero como es habitual en la zona del País Vasco, no existe un período de sequía.

#### 2.1.2 TEMPERATURA

Las temperaturas máximas diarias suelen alcanzarse generalmente en las horas centrales del día, y las temperaturas mínimas durante las horas finales de la noche.

En la zona del proyecto, los inviernos son frescos y poco rigurosos y los veranos son suaves sin unas temperaturas desmesuradamente altas. La oscilación térmica anual es de 22,9°C. Respecto a la variación térmica a lo largo del año es bastante moderada obteniendo una temperatura media anual de 13,5°C.

También hay que destacar las épocas de heladas. Esta época corresponde con el invierno y dichas heladas suelen producirse entre 20 días y 40 días al año.

## 3. SISTEMA DE DRENAJE DEL APARCAMIENTO

---

### 3.1 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE DRENAJE

#### 3.1.1 CUNETAS

Para la recogida inicial del agua pluvial se dispondrán unas cunetas triangulares de hormigón tal y como se muestra en la imagen 12.1. Dichas cunetas irán colocadas perimetralmente con una pendiente del 0,5 % entre el pavimento del aparcamiento y las aceras contiguas.

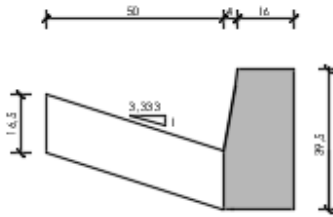


Imagen 12.1 Detalle de cuneta triangular

### 3.1.2 SUMIDEROS

Se instalarán sumideros que recogerán el agua transportada por las cunetas. Estos sumideros irán conectados hacia la red de aguas pluviales general.

## 3.2 CAUDALES APARCAMIENTO

Para la determinación del caudal de cálculo es necesario establecer diferentes parámetros, como el coeficiente de escorrentía, tiempo de concentración, la intensidad de lluvia o el periodo de retorno a considerar.

### 3.2.1 CUNETAS ELEGIDAS PARA EL DRENAJE

Para el drenaje del aparcamiento se van a utilizar unas cunetas de hormigón triangulares tal y como se puede apreciar en la imagen 11.1. Dicha cuneta será de 0,5 metros de ancho y de 0,15 metros de profundidad para que sea pisable y por tanto, segura.

### 3.2.2 DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES ESPERADOS

Al tratarse de cuencas de reducida extensión, no existe en los Organismos de Cuenca correspondientes datos de su caudal. Se procede por ello, y siguiendo las prescripciones de la Instrucción 5.2-IC y de las normas BAT, a la estimación de este caudal mediante el método hidrometeorológico basado en la fórmula racional.

La expresión de la fórmula racional a aplicar es la siguiente:

$$Q_e = \frac{I_t \cdot S \cdot C}{3,6}$$

- $I_t$ : Intensidad de lluvia en mm/h (correspondiente a un tiempo de concentración  $T_c$ )
- $S$ : superficie de la Cuenca en  $\text{km}^2$
- $C$ : Coeficiente de escorrentía (adimensional)
- $Q_e$ : Caudal en  $\text{m}^3/\text{seg}$ .

### 3.2.3 CÁLCULO DE $I_t$

La aplicación de las normas BAT simplifica el cálculo de la intensidad de lluvia a considerar. Estas normas tienen ya en cuenta las características del territorio y las series de datos recogidos por los Servicios de meteorología de la zona, por lo que la intensidad de lluvia pasa a depender de dos únicos factores que son el Periodo de retorno ( $T_r$ ) y el Tiempo de concentración ( $T_c$ ).

El tiempo de concentración se calcula mediante la fórmula:

$$T_c = 0,3 \cdot \left( \frac{L}{J^{1/4}} \right)^{0,76}$$

Siendo:



- Tc: Tiempo de concentración en horas.
- L: Longitud de cuenca interceptada en Km.
- J: Pendiente media de la cuenca en tanto por uno.

Se considera que el tiempo de concentración mínimo es de 10 minutos, por lo que cuando el resultado de la fórmula sea menor se toma  $T_c = 10 \text{ min}$ .

Con el valor de Tc, la tabla 11.1, propuesta en las normas BAT, proporciona el valor de la Intensidad Máxima para el periodo de retorno que se considere.

Los periodos de retorno recomendados en las normas BAT a efectos del proyecto objeto de estudio son:

- 25 años sumideros, cunetas, colectores, caños y obras con sección de desagüe inferior a  $0.75 \text{ m}^2$ .
- 100 años para caños, alcantarillas, bajantes escalonadas, tajeas, pontones y obras con sección de desagüe entre  $0.75 \text{ m}^2$  y  $5 \text{ m}^2$ .
- 250 años para pontones, puentes y obras con sección de desagüe entre  $5 \text{ m}^2$  y  $50 \text{ m}^2$ .
- 500 años para puentes y obras con sección de desagüe superior a  $50 \text{ m}^2$ .

INTENSIDAD MÁXIMA DE PRECIPITACIÓN						
Tiempo de concentración	PERIODO DE RETORNO Tr (Años)					
	10	25	50	100	250	500
24 h	6	7	8	9	10	11
12 h	9	11	12	14	16	17
9 h	11	13	15	17	19	21
6 h	14	17	19	22	24	27
5 h	16	19	22	24	27	30
4 h	18	22	25	28	31	34
3 h	21	26	29	33	37	41
2 h 30 min	23	29	32	36	41	45
2 h	27	32	37	41	47	51
1 h 45 min	29	35	40	44	50	55
1 h 30 min	31	38	43	48	55	60
1 h 20 min	33	40	46	51	58	64
1 h 10 min	36	43	49	55	63	68
1 h	40	47	53	60	68	74
50 min	42	52	59	66	75	81
40 min	47	58	66	73	84	91
30 min	55	67	76	85	96	105
25 min	60	73	83	92	105	115
20 min	66	81	92	103	117	127
15 min	76	92	105	117	133	145
10 min	91	111	125	140	159	174

Tabla 12.1 Intensidad máxima de precipitación



Longitud de la cuenca = 47,7 m

Pendiente media de la cuenca en tanto por uno = 2 %

$$T_c = 0,3 \cdot \left( \frac{0,05976}{0,02^{1/4}} \right)^{0,76} = 0,00625 \text{ horas} = 3,75 \text{ minutos}$$

Como el tiempo de concentración (Tc) es menor que el mínimo que indica las Normas BAT, se debe de utilizar este mínimo que aparece en la tabla 11.1.

En el aparcamiento de proyecto se van a utilizar cunetas, a las cuales le corresponde un periodo de retorno de 25 años. De esta manera, en la tabla 11.1 el mínimo valor de tiempo de concentración (10 minutos) para un periodo de retorno 25 años tiene un intensidad máxima de precipitación de 111.

### 3.2.4 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Si se dispndrían datos fiables se utilizarían estos. Sin embargo, no se disponen de datos suficientemente seguros por lo que se acudirá a la tabla contenida, a tal efecto, en las normas BAT.

TIPO DE SUELO	C
Pavimentos y zonas urbanas intensivas	0.8 - 1
Zonas urbanas residenciales. Terrenos impermeables, vegetación escasa.	0.7 – 0.9
Terrenos permeables, vegetación escasa. Terrenos impermeables vegetación densa.	0.6 – 0.8
Terrenos permeables, vegetación densa. Terrenos impermeables, bosque frondoso.	0.5 – 0.7
Terrenos permeables, bosque frondoso.	0.4 – 0.6

Tabla 12.2 Coeficiente de escorrentía en función del tipo de suelo

En este caso se adopta el valor de 1 cuando el agua es recogida por el pavimento lo cual dejará los cálculos del lado de la seguridad.

### 3.2.5 DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DE PROYECTO

Para la determinación de los caudales de proyecto se multiplicará el caudal estimado, obtenido por el método racional, por un coeficiente de mayoración, kp, que no depende de parámetros hidrológicos, sino de los posibles daños que una avenida pueda ocasionar en el entorno.

El parámetro kp se halla entrando en las tablas siguientes:

CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS POSIBLES	
A	Inundación de vegas agrícolas por elevación de la lámina de agua con la velocidad de la corriente < 1 m/seg.
B	Inundación de granjas, instalaciones industriales y viviendas aisladas, por la elevación de la lámina de agua con velocidad de la corriente > 1 m/sg.
C	Inundación de áreas urbanas y suburbanas con arrastre de vehículos y corte de las vías de comunicación.
D	Inundación catastrófica con arrastre de árboles y animales, importantes daños materiales y peligro de vidas humanas

Tabla 12.3. Clasificación de los daños posibles

El aparcamiento del proyecto se asemeja a los daños posibles de la zona C

COEFICIENTE DE MAYORACIÓN $K_p$				
OBRA DE DRENAJE	Daños A	Daños B	Daños C	Daños D
Sumideros, cunetas, colectores, caños y obras con sección de desagüe inferior a 0.75 m <sup>2</sup>	1 - 1.2	1 - 1.2	-	-
Caños, alcantarillas, tajeas, pontones y obras con sección de desagüe entre 0.75 y 5 m <sup>2</sup>	1 - 1.2	1 - 1.2	1.1 - 1.3	1.2 - 1.4
Pontones, puentes y obras de drenaje con sección de desagüe entre 5 y 50 m <sup>2</sup>	1 - 1.2	1.1 - 1.3	1.2 - 1.4	1.3 - 1.5

Tabla 12.4 Coeficiente de mayoración

Aunque según la tabla anterior, no se requiere coeficiente de mayoración ya que es una cuneta menor que 0,75 m<sup>2</sup> de la zona C, se ha tomado como coeficiente de mayoración el valor de 1,1 para el cálculo de caudales para estar de lado de la seguridad.

### 3.2.6 ÁREA DE LAS CUENCAS DRENADAS

El aparcamiento, al ser simétrico, se va a dividir en dos cuencas cuencas iguales, P-1 Y P-2, respectivamente, A continuación, se describe el área de la cuenca interceptada en hectáreas y en kilómetros cuadrados:

Cuenca	Área de la Cuenca	
	Ha	m <sup>2</sup>
P-1	0,08586	858,6
P-2	0,08586	858,6

Tabla 12.5 Áreas de las cuencas

### 3.2.7 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE PROYECTO

Con todos los datos obtenidos en los anteriores apartados, se procede a calcular los caudales de proyecto.

$$Q_e = \frac{111 \cdot 858,6 \cdot 1}{3600} \cdot 1,1 = 29,12 \text{ l/s}$$

### 3.2.8 DIMENSIONAMIENTO DE LAS CUNETAS

Una vez calculado el caudal de proyecto que se va a aplicar en el proyecto, se procede a dimensionar las cunetas que se van a disponer en el aparcamiento. Para dicho dimensionamiento se usará la fórmula siguiente:

$$Q = V \cdot S = \frac{1}{n} \cdot S \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}$$

Siendo:

- Q: El caudal desaguado m<sup>3</sup>/s
- V: La velocidad media de la corriente m/s.
- S: Superficie de su sección en m<sup>2</sup>
- P: Perímetro mojado m.
- R: Radio hidráulico en m. Relación del área mojada a su perímetro mojado.  $R_H = S_m/P_m$

- J: La pendiente de la línea de energía mm/m.
- n: Coeficiente de rugosidad, adimensional.

A continuación, se procede a calcular el calado de la cuneta para comprobar que dicha cuneta es suficiente. Para que esta sea suficiente, el calado máximo permitido deberá de ser de  $0,8 \cdot 0,150$ , es decir, 0,120 metros manteniendo así un margen de seguridad para evitar problemas de desbordamientos en un futuro.

Por otro lado, como el elemento de drenaje elegido es de hormigón, el coeficiente de rugosidad "n" será 0,014 que es el correspondiente a dicho material.

Tal y como se aprecia en la imagen los taludes de dicha cuneta son de 3,333H:1V

Con la fórmula de Manning, se calcula el calado máximo que se obtiene con el caudal calculado anteriormente y si dicho calado es inferior a los 0,120 de la cuneta propuesta, estará correctamente dimensionada.

Agrupando los parámetros relacionados con el calado de la cuneta a un lado de la igualdad y el resto de los parámetros al otro, la fórmula anterior queda de la siguiente forma:

$$S \cdot R^{2/3} = \frac{1}{n} \cdot J^{1/2} \cdot Q$$

Siendo,

$$S = (b \cdot h)/2 = (0,5 \cdot 0,15)/2 = 0,0375 \text{ m}^2$$

$$n = 0,014$$

$$J = 0,02 \text{ mm/m}$$

$$Q = 29,12 \text{ l/s} = 0,02912 \text{ m}^3/\text{s}$$

De esta manera se obtiene que el calado máximo que se obtiene en las cunetas es de 0,118 m por lo tanto, se verifica el dimensionamiento en cuanto a calado.

### 3.2.9 COMPROBACIÓN DE LA VELOCIDAD

Tal y como indica la Norma 5.1 IC – Drenaje superficial, la velocidad máxima permitida para el agua que circula por las cunetas es de 4,5 m/s. Para comprobar la velocidad del presente proyecto se utiliza nuevamente la fórmula de Manning quedando de la siguiente manera:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}$$

Siendo,

$$R = 0,044$$

$$n = 0,014$$

$$J = 0,02 \text{ mm/m}$$

Se obtiene que la velocidad con la que el agua circula por las cunetas es de 1,26 m/s que es menor que 4,5 m/s que propone la norma, por lo tanto, la cuneta cumple con todos los requisitos para su dimensionamiento.

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y OBRAS PÚBLICAS

## TRABAJO FIN DE GRADO

***“PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN  
APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO  
MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA  
(BIZKAIA)”***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

***ANEJO 13- PAVIMENTO***

**Alumno/Alumna:** García, Arroyo, David

**Director/Directora:** Larrauri, Gil, Marcos

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 21, junio, 2019

## ÍNDICE

---

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.	SITUACIÓN ACTUAL DE APARCAMIENTOS.....	2
3.	DIMENSIONAMIENTO DEL TRÁFICO .....	2
4.	FORMACIÓN DE EXPLANADA.....	3
5.	DIMENSIONAMIENTO DE FIRMES.....	6
5.1	MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE.....	7
5.2	ESPESOR DE LAS CAPAS DE MEZCLA BITUMINOSA.....	7
5.3	TIPOLOGIA DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS.....	8
5.3.1	LIGANTE HIDROCARBONADO.....	9
6	SECCIÓN TIPO.....	10
7	ACERAS.....	10
7.1	ADAPTACIÓN DE LAS ACERAS PARA PERSONAS CON MINUSVALÍA .....	10
7.2	DESCRIPCIÓN DE LAS ACERAS .....	10
8	PAVIMENTO DEL CAMPO DE FÚTBOL SALA.....	11

## 1. INTRODUCCIÓN

La finalidad de este anejo es definir los distintos tipos de pavimentos a ejecutar en las distintas partes del proyecto, de manera que este resista bien al uso que se le va a dar. Para el pavimento del aparcamiento, debido a la similitud a una carretera, se seguirá la Norma 6.1-IC "Dimensionamiento de Firmes" para cumplir con las exigencias necesarias para este tipo de pavimentos. Sin embargo, para el pavimento deportivo (campo de fútbol sala) se llevará a cabo basándose en la Normas NIDE en el apartado de "Campos pequeños".

## 2. SITUACIÓN ACTUAL DE APARCAMIENTOS

Debido a la orografía de Ermua, hace que el municipio sea una zona con espacio reducido a la hora de construir todo tipo de servicios como infraestructuras, edificaciones, aparcamiento, etc. Es por ello que en la localidad hay problemas de aparcamientos y problemas de sitio para poder construirlos.

Más concretamente, en la zona de Beti-Ondo, donde se va a llevar a cabo el proyecto, los fines de semana hay una gran problemática a la hora del estacionamiento de vehículos ya que en estos días una gran cantidad de personas acuden a practicar alguna o para ver algún partido de los distintos deportes que se practican en el Instituto Municipal de Deportes de la localidad. Esto conlleva a que opte por el aparcamiento ilegal en zonas no habilitadas para ello.

A la problemática anterior se le añade la progresiva expansión urbanística a la que está siendo sometida la zona de Beti-Ondo con la construcción de bloques de viviendas y viviendas unifamiliares lo que va a conllevar a el aumento de la demografía de la zona y consecuentemente a un mayor número de vehículos. Esto va a hacer que la demanda de aparcamiento aumente en los próximos años.

En los últimos años se han habilitado unas zonas para ampliar las plazas de aparcamiento por los alrededores de Beti-Ondo, entre ellas, la explanada en la que se prevé edificar el presente proyecto. Algunas de estas zonas actualmente suelen estar en su máxima capacidad incluso entre semana.

Cabe a destacar que casi ninguna de las nuevas zonas habilitadas para el estacionamiento está señalizada como tal ni tiene las características necesarias para personas con minusvalía. Concretamente la zona construcción del proyecto, al ser de alta concurrencia pública, por formar parte del complejo deportivo que compone el Instituto Municipal de Deportes de Ermua y alrededores, es necesario que sus instalaciones cuenten con las exigencias básicas en cuanto a accesibilidad de personas con movilidad reducida y una buena señalización.

## 3. DIMENSIONAMIENTO DEL TRÁFICO

El primer paso es saber la categoría del tráfico que va a tener el aparcamiento que se va a proyectar, esto es, el número de vehículos pesados que se prevé que circularán por el carril de proyecto durante el periodo del proyecto. Para ello, se determina la intensidad media diaria de los vehículos pesados (IMDp) que circulan por el lugar de estudio.

Siguiendo la Norma 6.1-IC “Secciones de firmes”, para la selección de la categoría del tráfico pesado, se ha de elegir entre 8 categorías basándose en la IMDp anteriormente mencionada tal y como se muestra en las siguientes tablas:

Categoría de tráfico pesado	T00	T0	T1	T2
IMDp	≥4000	<4000	<2000	< 800
(vehículos pesados/día)		≥2000	≥ 800	≥ 200

Tabla 13.1 Categorías de tráfico pesado de T00 a T2

Categoría de tráfico pesado	T31	T32	T41	T42
IMDp	< 200	<100	<50	<25
(vehículos pesados/día)	≥ 100	≥50	≥ 25	

Tabla 13.2 Categorías de tráfico pesado de T3 y T4

En este aparcamiento se prevé la utilización mayoritaria de vehículos ligeros. Además, como en esta carretera no es habitual que haya un flujo constante de tránsito de vehículos se ha considerado el aparcamiento como categoría T42 con menos de 25 vehículos pesados al día.

## 4. FORMACIÓN DE EXPLANADA

En este apartado se elegirá el tipo de explanada necesaria para la posterior construcción de la sección de firmes que se va a situar sobre la mencionada explanada. Existen tres categorías de explanadas, que se denominan E1, E2 y E3 respectivamente y se determinan según el módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga ( $E_{v2}$ ), obtenido de acuerdo con la NLT-357 “Ensayo de carga con placa”.

Categoría de explanada	E1	E2	E3
$E_{v2}$ (MPa)	≥ 60	≥ 120	≥ 300

Tabla 13.3 Módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga

En este proyecto se desconoce el módulo de compresibilidad. A pesar de ello, se ha elegido la explanada de categoría E2 ya que se considera que está suficientemente compactada porque, como se ha mencionado, la zona en la que se va a llevar a cabo la construcción del aparcamiento actualmente sirve como lugar para el estacionamiento de los vehículos de manera improvisada y anteriormente se usó durante muchos años como campo de fútbol.

Por otro lado, también se necesita conocer el tipo de suelo que existe en el lugar donde se va a ejecutar el aparcamiento. Según el PG-3 en su artículo 330 se clasifica el suelo como tolerable (0).

A continuación, basándose en los datos anteriores, se elegirá la sección de la explanada sobre la que se va a apoyar el paquete de firmes.

		TIPOS DE SUELOS DE LA EXPLANACIÓN (DESMONTES) O DE LA OBRA DE TIERRA SUBYACENTE (TERRAPLENES, PEDRAPLENES O RELLENOS TODO-UNO)				
		SUELOS INADECUADOS Y MARGINALES (IN)	SUELOS TOLERABLES (0)	SUELOS ADECUADOS (1)	SUELOS SELECCIONADOS (2) y (3)	ROCA (R)
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1 $E_{p2} \geq 60\text{MPa}$					
	E2 $E_{p2} \geq 120\text{MPa}$					
	E3 $E_{p2} \geq 300\text{MPa}$					

Tabla 13.4 Formación de la explanada.



Imagen 13.1 Leyenda formación de la explanada.

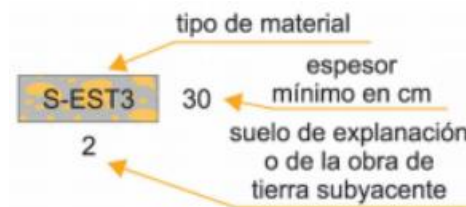


Imagen 13.2 Esquema formación de la explanada.

Por tanto, con una categoría de explanada E2 ( $\geq 120$  MPa) y con suelo tolerable (0), la Norma indica 4 distintas posibilidades a elegir en el tipo de explanada:

- Tipo de explanada Nº1: 75 cm de suelo seleccionado (2).
- Tipo de explanada Nº2: 25 cm de suelo estabilizado 1 y 25 cm de suelo estabilizado 2.
- Tipo de explanada Nº3: 50 cm de suelo adecuado (1) y 40 cm de suelo seleccionado (2).
- Tipo de explanada Nº4: 25 cm de suelo estabilizado 1 y 25 cm de suelo seleccionado (3).

Para elegir entre los 4 tipos de explanadas se tendrá en cuenta el factor económico, valorando positivamente el uso de tierras procedentes de la excavación durante la obra, y a su vez que la opción elegida tenga un buen comportamiento durante la vida útil del aparcamiento.



Desde un inicio se han descartado las tipologías 1 y 3 de suelo debido a que en ambos hay que hacer una mayor excavación que en las dos restantes.

Entre las otras dos opciones que quedan se ha decidido elegir el tipo 4, es decir, 25 cm de suelo estabilizado 1 y 25 cm de suelo seleccionado (3) debido de una serie de factores:

- Tiene la menor excavación posible lo que conlleva ser una opción económica.
- A pesar de ser un poco mas cara que la opción 2, se pretende asegurar la explanada con un suelo seleccionado.
- Al estabilizarse el suelo existente en la traza se reduce el transporte a vertedero.

Debido a la utilización de un suelo estabilizado, este se tendrá que llevar de acuerdo con el “Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes” en su artículo 512. En este articulo se indica, entre otras cosas, las especificaciones para llevar a cabo la estabilización de un suelo. En la siguiente tabla se indican concretamente dichas especificaciones:

Característica	Unidad	Norma	Tipo de suelo estabilizado		
			S-EST1	S-EST2	S-EST3
Contenido de conglomerante	% en masa del suelo seco		≥2	≥3	
Indice CBR, a 7 días <sup>(1)</sup>		UNE 103502	≥6	≥12	
Resistencia a compresión simple, a 7 días <sup>(1)</sup>	MPa	UNE-EN 13286-41			≥1,5 <sup>(3)</sup>
Densidad (Proctor modificado)	% de la densidad máxima	UNE 103501	≥95 <sup>(2)</sup>	≥97	≥98

Tabla 13.5 Tipos y especificaciones del suelo estabilizado in situ.

<sup>(1)</sup> Para la realización de estos ensayos, las probetas se compactarán y conservarán (norma UNE-EN 13286-51) con la densidad especificada en la fórmula de trabajo.

<sup>(2)</sup> Para la capa superior de la categoría de explanada E1 definida en la Norma 6.1 IC Secciones de firme, este valor será del noventa y siete por ciento (97%).

<sup>(3)</sup> En los casos en los que deba tenerse en cuenta el efecto de las heladas este valor podrá aumentarse a dos megapascales (2 MPa).

El suelo estabilizado in situ con cemento deberá tener un período de trabajabilidad, determinado a la máxima temperatura esperada durante la puesta en obra (norma UNE-EN 13286-45) para permitir completar la compactación de una franja antes de que haya finalizado dicho plazo en la adyacente estabilizada previamente, no pudiendo ser inferior al especificado en la tabla 13.6.

TIPO DE OBRA	Wpc(horas) (norma UNE-EN 13286-45)
Anchura completa	2
Por franjas	3

Tabla 13.6 Periodo mínimo de trabajabilidad (Wpc) del suelo estabilizado in situ con cemento

Dada la influencia que las condiciones climáticas tienen sobre el periodo de trabajabilidad, éste se determinará de forma periódica a lo largo de la realización de los trabajos, adaptándose a los cambios estacionales que pudieran producirse.

## 5. DIMENSIONAMIENTO DE FIRMES

Una vez elegida la tipología de explanada a disponer, se procede a dimensionar el paquete de firmes que va a ir sobre dicha explanada. Este dimensionamiento depende de las relaciones entre las intensidades de tráfico pesado y los niveles de deterioro admisibles al final de la vida útil.

Teniendo en cuenta que en el presente proyecto la categoría de tráfico pesado es T42 y la categoría de explanada es E2, se obtiene tres paquetes de firmes diferentes.

		CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO											
		T31			T32			T41			T42		
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1	3111 MB 20 ZA 40	3112 MB 15 SC 30	3114 HF 21 ZA 30	3211 MB 18 ZA 40	3212 MB 12 SC 30	3214 HF 21 ZA 20	4111 MB 10 <sup>11</sup> ZA 40	4112 MB 8 SC 30	4114 HF 20 ZA 20	4211 MB 5 <sup>11</sup> ZA 35	4212 MB 5 SC 25	4214 HF 18 ZA 20
	E2	3121 MB 16 ZA 40	3122 MB 12 SC 30	3124 HF 21 ZA 25	3221 MB 15 ZA 35	3222 MB 10 SC 30	3224 HF 21 ZA 20	4121 MB 10 <sup>11</sup> ZA 30	4122 MB 8 SC 25	4124 HF 20	4221 MB 5 <sup>11</sup> ZA 25	4222 MB 5 SC 22	4224 HF 18
	E3	3131 MB 16 ZA 25	3132 MB 12 SC 22	3134 HF 21 ZA 20	3231 MB 15 ZA 20	3232 MB 10 SC 22	3234 HF 21	4131 MB 10 <sup>11</sup> ZA 20	4132 MB 8 SC 20	4134 HF 20	4231 MB 5 <sup>11</sup> ZA 20	4232 MB 5 SC 20	4234 HF 18

Espesores mínimos en cm

Tabla 13.7 Catálogo de secciones de firme para las categorías T3 y T4, en función de la categoría de la explanada



Imagen 13.3 Leyenda catálogos de secciones de firme

Tal y como se indica en la tabla anterior, las tres opciones de la selección de firmes son las siguientes:

- Tipo de firme 1 (4221): 25 cm de zahorra artificial + 5 cm de mezclas bituminosas.
- Tipo de firme 2 (4222): 22 cm de suelocemento + 5 cm de mezclas bituminosas.
- Tipo de firme 3 (4223): 18 cm de hormigón de firme.

De la misma manera que en el apartado de la topología de la explanada, para la selección del paquete de firmes, se van a tener en cuenta el criterio económico y el buen comportamiento del firme respecto a las cargas del tráfico.

En este caso, se desestima la opción 3 por su precio y porque por la baja intensidad de tráfico que se prevé no se ha visto necesario la implantación de este tipo de pavimento. Entre las dos opciones restantes, se ha elegido la opción 1 ya que a pesar de que la excavación sea ligeramente mayor, el precio de la zahorra artificial es más bajo que el del suelocemento.

### 5.1 MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE

Para la elección del ligante bituminoso a utilizar en el proyecto, así como su relación entre su dosificación en masa y la del polvo mineral, se tendrá en cuenta la zona térmica estival en la que se encuentra el firme en cuestión. Tal y como se muestra en la siguiente figura, la zona térmica en la que está el aparcamiento es en la zona térmica media.

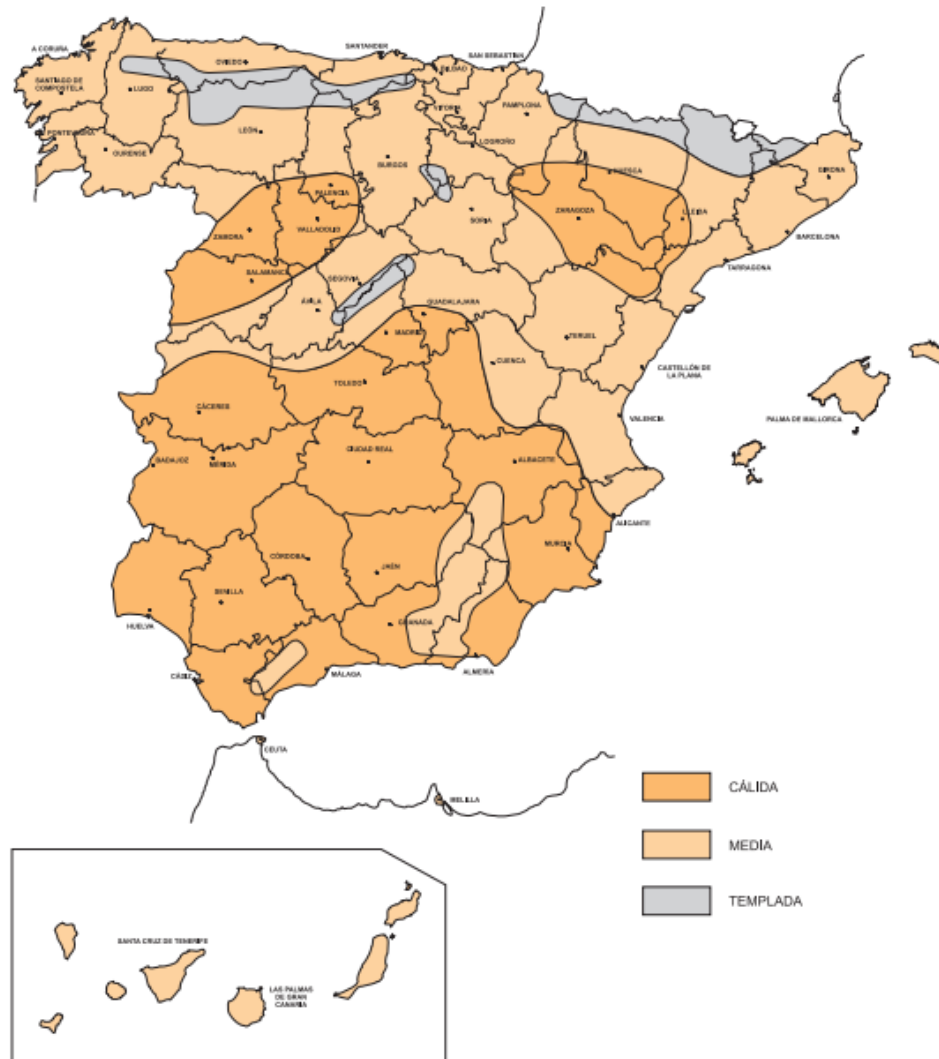


Imagen 13.3 Zonas térmicas estivales

### 5.2 ESPESOR DE LAS CAPAS DE MEZCLA BITUMINOSA

Los espesores de cada capa vienen determinados por los valores que se muestran en la tabla 13.7. Salvo justificación en contrario, las secciones de firme se proyectarán con el menor número de capas posible compatible con los valores de dicha tabla para conseguir una mayor continuidad estructural del firme.

Tipo de capa	Tipo de mezcla	Categoría de tráfico pesado		
		T00 a T1	T2 y T31	T32 y T4 (T41 y T42)
Rodadura	PA	4		
	M	2	2-3	
	F			
	D y S		6-5	5
Intermedia	D y S	5-10(**)		
Base	S y G	7-15		
	MAM	7-13		

Tabla 13.8 espesor de capas de mezclas bituminosas en caliente.

(\*) Ver definiciones en tabla 5 o artículos 542 y 543 del PG-3.

(\*\*) Salvo en arcenes, para los que se seguirá lo indicado en el apartado 7.

Como el espesor de las mezclas bituminosas en este proyecto es de 5 cm se ha puesto solo capa de rodadura ya que es la única posibilidad viable.

En la tabla 13.7, para una categoría de tráfico pesado T42, en la capa de rodadura no se contempla la posibilidad de poner una mezcla drenante por lo que se desestima el análisis de las zonas pluviométricas que propone la Norma 6.1 IC "Secciones de Firme". Por lo tanto, en dicha capa se puede disponer 2-3 cm de una mezcla tipo F (la cual no cumple con el espesor que se quiere poner en la rodadura) y 5 cm de una mezcla tipo D o tipo S.

Por lo tanto, se ha decidido poner una mezcla bituminosa de tipo S de 5 cm.

### 5.3 TIPOLOGIA DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS

Dentro de la categoría de mezclas bituminosas hay diferentes tipos de las mismas dependiendo de la zona en la que se vaya a construir el firme, de la categoría del tráfico, del espesor de la propia mezcla, etc.

Tipo de capa	Tipo de mezcla	Espesor (cm)
	Denominación Norma UNE-EN 13108-1 (*)	
Rodadura	AC16 surf D	4 - 5
	AC16 surf S	
	AC22 surf D	>5
	AC22 surf S	
Intermedia	AC22 bin D	5-10
	AC22 bin S	
	AC32 bin S	
	AC22 bin S MAM (**)	
Base	AC32 base S	7-15

	AC22 base G AC32 base G AC22 base S MAM (***)	
Arcenes (****)	AC16 surf D	4-6

Tabla 13.9 Tipo de mezcla a utilizar en función del tipo y de espesor de la capa.

(\*) Se ha omitido en la denominación de la mezcla la indicación del tipo de ligante por no ser relevante a efectos de esta tabla.

(\*\*) Espesor mínimo seis centímetros (6 cm).

(\*\*\*) Espesor máximo trece centímetros (13 cm).

(\*\*\*\*) En el caso de que no se emplee el mismo tipo de mezcla que en la capa de rodadura de la calzada

Según la tabla 13.5 para una capa de rodadura de 5 cm se podría elegir entre AC16 surf S y AC16 surf D. Se ha elegido la mezcla bituminosa AC16 surf S.

El aparcamiento es una zona en la que los vehículos van a velocidad reducida y en la que se realizan muchas maniobras de freno y arranque. Esto conlleva que los vehículos derramen aceite o algún tipo de combustible, por ello, se ha decidido extender una capa de lechada bituminosa sobre la capa de rodadura para evitar que se filtren dichas sustancias por el firme.

### 5.3.1 LIGANTE HIDROCARBONADO

ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO					
	T00	T0	T1	T2 y T31	T32 y ARCENES	T4
Cálida	35/50 BC35/50 PMB 25/55-65 PMB 45/80-65	35/50 BC35/50 PMB 25/55-65 PMB 45/80-60 PMB 45/80-65	35/50 BC35/50 PMB 25/55-65 BC35/50 BC50/70 PMB 45/80-60	35/50 50/70 BC35/50 BC50/70 PMB 45/80-60	50/70 BC50/70	
Media	35/50 BC35/50 PMB 45/80-60 PMB 45/80-65	35/50 50/70 BC35/50 BC50/70 PMB 45/80-60	50/70 BC50/70 PMB 45/80-60	50/70 BC50/70 PMB 45/80-60	50/70 70/100 BC50/70	50/70 70/100 BC50/70
Templada	50/70 BC50/70 PMB 45/80-60 PMB 45/80-65	50/70 70/100 BC50/70 PMB 45/80-60	50/70 70/100 BC50/70 PMB 45/80-60		BC50/70	

Tabla 13.10 Tipo de ligante hidrocarbonado a emplear en capada de rodadura

El tipo de ligante hidrocarbonado a utilizar en un pavimento con categoría de tráfico T42 son el betún B 50/70 y el betún B 70/100. De estas dos posibilidades se elegirá el betún B 50/70 por ser más duro y consistente debido a su menor penetración.

## 6 SECCIÓN TIPO

Finalmente, una vez definidas todas las capas que va componer el firme, se muestra en el siguiente esquema la sección tipo final con todas las capas propuestas, incluyendo los riegos a disponer entre cada una de estas.

CUADRO DE MATERIALES		
TIPO	MATERIAL	ESPESOR CMS
A	LECHADA BITUMINOSA	5
	CAPA DE RODADURA MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE AC 16 surf 3	
B	RIEGO DE IMPRIMACIÓN	25
	BASE GRANULAR ZAHORRA ARTIFICIAL	
C	EXPLANADA SUELO SELECCIONADO 3	25
	RIEGO DE CURADO	
D	EXPLANADA SUELO ESTABILIZADO 1	25

Tabla 13.11 Sección tipo del firme del aparcamiento

## 7 ACERAS

### 7.1 ADAPTACIÓN DE LAS ACERAS PARA PERSONAS CON MINUSVALÍA

Para que el nuevo aparcamiento del complejo deportivo permita el acceso a personas con minusvalía, se dispondrán unas pequeñas rampas de hormigón que permitan el paso desde el pavimento a la acera y viceversa.

### 7.2 DESCRIPCIÓN DE LAS ACERAS

Para la construcción de las aceras, se ha decidido no variar mucho la composición de las mismas respecto a las existentes que se encuentra en los alrededores del aparcamiento, para no afectar en la estética urbanística de la zona.

Las aceras se han dimensionado en función del flujo de peatones que va a pasar por las mismas y también teniendo en cuenta las arquetas a instalar para el registro de las instalaciones que haya en el aparcamiento.

En el siguiente croquis se muestra la sección que van a tener las aceras que se vayan en el aparcamiento y en las aceras perimetrales que se dispondrán alrededor del campo de fútbol sala.

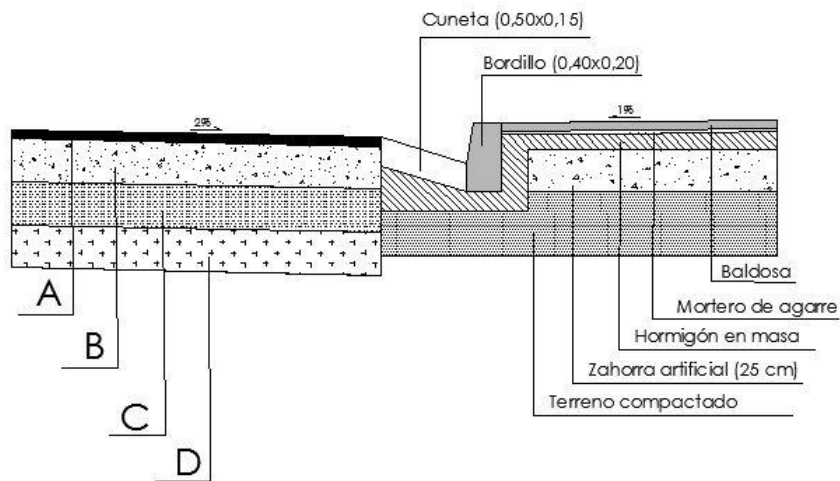


Imagen 13.4 Detalle de las aceras

Se colocarán unos bordillos de hormigón prefabricados de 20x40cm en los bordes interior y exterior de las aceras en toda su longitud.

## 8 PAVIMENTO DEL CAMPO DE FÚTBOL SALA

Otro pavimento a tener en cuenta es el del campo de fútbol sala ya que este es muy importante para evitar problemas durante su utilización. Este pavimento tiene que ser resistente para su uso.

La primera parte que compone el pavimento deportivo es la compactación del terreno existente con un grado de compactación del 95% respecto a la densidad seca máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado.

Después, se colocará un geotextil en toda la superficie que compondrá el campo de fútbol sala que servirá como refuerzo y protección de la geotecnia de la zona, así como para facilitar el drenaje y la filtración del agua además de favorecer la separación entre el terreno existente y la zahorra artificial que se va a poner en este proyecto.

A continuación, tal y como se ha indicado, se va a ejecutar una capa de zahorra artificial con un grado de compactación no inferior al 98% respecto a la densidad seca máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado.

Por encima de la zahorra artificial se colocará una solera de hormigón armado monolítico formado por una solera de 15 cm. de hormigón HA-25/B/20/IIa armada por una malla de 15x15x10.

Por último, se ejecutará una capa de resina sintética acrílica compatible para colocar sobre hormigón y el marcaje de las líneas reglamentarias para este tipo de campos. Cabe a destacar que el terreno de juego y las bandas serán del mismo material pero distinto color para que se diferencien con mayor facilidad. Tanto el pavimento de resinas sintéticas como las líneas serán de materiales antideslizantes.

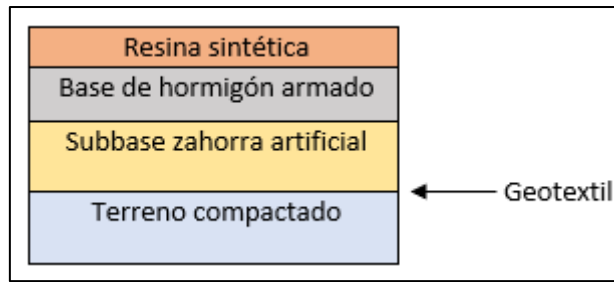


Imagen 13.5 Capas del pavimento del terreno de juego

Para la zona del área auxiliar y la zona para los espectadores se utilizarán las mismas capas que en el terreno de juego exceptuando la resina sintética quedando el hormigón armado al descubierto. Al pavimento de hormigón se le hará un tratamiento de fratasado para proporcionar una superficie rugosa.

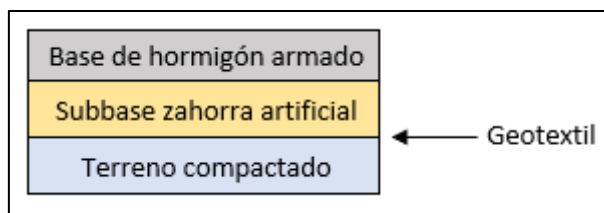


Imagen 13.6 Capas del pavimento de las zonas exteriores al terreno de juego



GRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y OBRAS PÚBLICAS

## TRABAJO FIN DE GRADO

***“PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN  
APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO  
MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA  
(BIZKAIA)”***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

***ANEJO 14- SEÑALIZACIÓN***

**Alumno/Alumna:** García, Arroyo, David

**Director/Directora:** Larrauri, Gil, Marcos

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 21, junio, 2019

# ÍNDICE

---

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.	SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL .....	2
2.1	MARCAS VIALES.....	2
2.1.1	MARCAS LONGITUDINALES.....	3
2.1.2	MARCAS TRANSVERSALES.....	3
2.1.3	FLECHAS .....	4
2.1.4	SEÑALES HORIZONTALES DE CIRCULACIÓN .....	5
3.	SEÑALIZACIÓN VERTICAL .....	7
3.1	INTRODUCCIÓN .....	7
3.2	CLASIFICACIÓN DE SEÑALES VERTICALES.....	8
3.3	SEÑALES VERTICALES UTILIZADAS EN EL PROYECTO .....	9

## 1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se recogen todas las señales de tráfico y señales de tránsito que se van a utilizar en el aparcamiento, así como sus características y dimensiones con el objetivo de mostrar la información necesaria a los usuarios que transiten por dicho aparcamiento a pie o mediante un vehículo.

La normativa a utilizar para llevar a cabo este anejo será la Norma 8.2 “Marcas viales” y la ordenanza municipal de Ermua.

## 2. SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

### 2.1 MARCAS VIALES

Son marcas sobre el pavimento y su objetivo es regular la circulación y advertir a los usuarios de la vía. Este tipo de señalización pueden usarse solas o complementarse con otros medios de señalización con el fin de reforzar sus indicaciones.

A continuación, se muestran los tipos de marcas viales existentes. Esta clasificación realizada por la Dirección General de Tráfico (DGT).

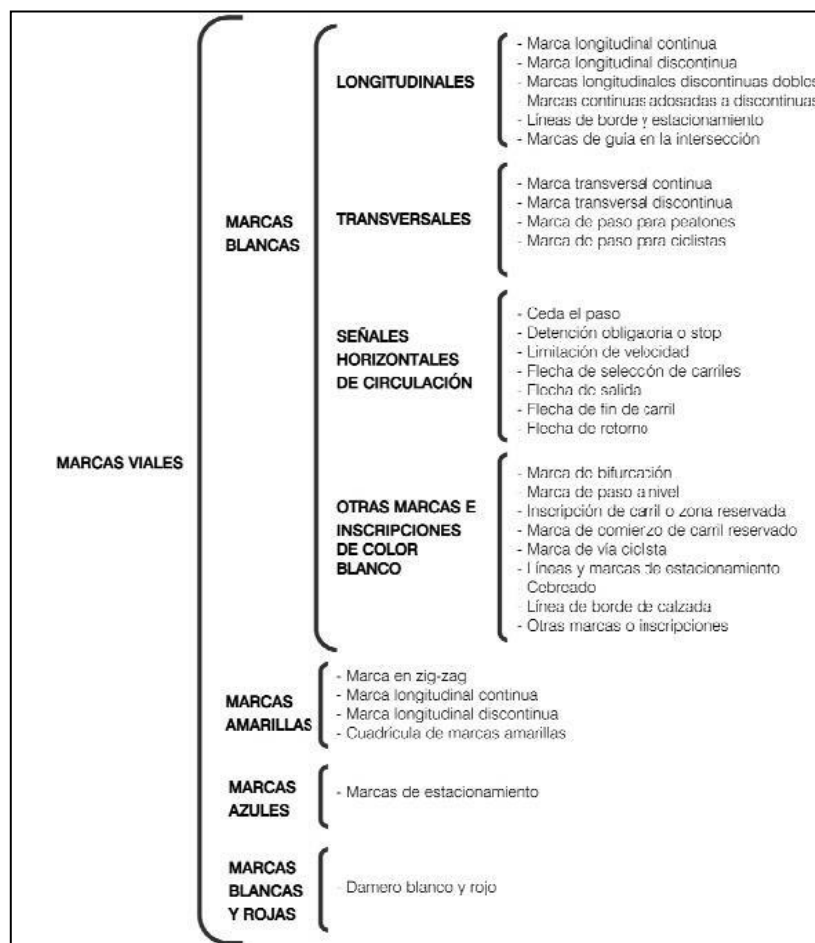


Imagen 14.1 Clasificación de las marcas viales

Antes de comenzar con los tipos específicos de marcas viales que se van a utilizar, se ha

delimitado la velocidad máxima a la que se puede circular en el aparcamiento a 30 km/h para determinar el espesor de líneas de dichas marcas.

### 2.1.1 MARCAS LONGITUDINALES

#### MARCA LONGITUDINAL CONTINUA (M-7.8)

Una línea continua de color amarillo, en el bordillo o junto al borde de la calzada, significa que la parada y el estacionamiento están prohibidos en toda la longitud de la línea y en el lado en que esté dispuesta.

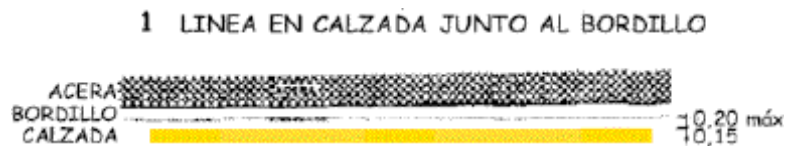


Imagen 14.2 Marca amarilla continua.

### 2.1.2 MARCAS TRANSVERSALES

#### LÍNEA DE DETENCIÓN (M-4.1)

Es una línea que ningún vehículo puede rebasar, ya que tiene la obligación de detenerse por la señalización de STOP (tanto en marca vial como en señalización vertical), paso a nivel, semáforos o paso de peatones que pueden acompañar a esta línea.

La anchura de la línea será igual al de los carriles a la que se refiere la detención.

En el proyecto se ha usado este tipo de línea, acompañado de la marca STOP, para la incorporación de los vehículos desde el aparcamiento a la carretera de al lado.

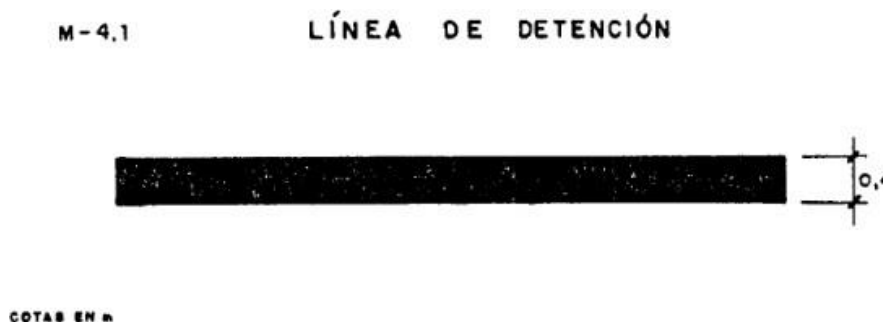


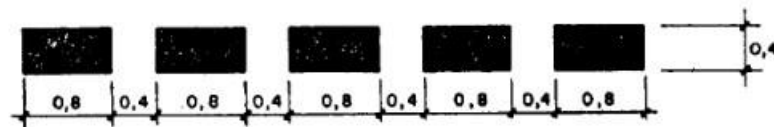
Imagen 14.3 Marca transversal de detención.

#### LÍNEA DE CEDA EL PASO (M-4.2)

Línea de detención que indica que ningún vehículo deben franquearla, cuando tengan que ceder el paso, en obligación impuesta por una señal vertical u horizontal de "Ceda el paso". La anchura de la línea será igual a la de los carriles a la que se refiere el ceda el paso.

En este caso, se utilizará esta marca vial para que los vehículos que vayan a salir del aparcamiento dejen paso a los que tienen la intención de entrar tal y como se ve en los planos.

**M-4.2 LÍNEA DE CEDA EL PASO**



COTAS EN m

Imagen 14.4 Marca transversal de ceda el paso.

*MARCA DE PASO PARA PEATONES (M-4.3)*

Son una serie de líneas de gran anchura, paralelas al eje de ésta y que forman un conjunto transversal a la calzada para permitir el paso de peatones por esa zona, de manera que los conductores de los vehículos deben dejarles paso. No podrán utilizarse líneas de otros colores que alternen con las blancas.

La anchura de este tipo de líneas podrá ser variable en función de la intensidad de proyecto de peatones. No deberá tener una anchura inferior a 4 metros. Sin embargo, en ciertos casos, como puede ser el de una vía con velocidad máxima menos que 40 kilómetros por hora, y escasa anchura podrá reducirse la del paso hasta 2,5 metros.

Se procurará que no quede banda con anchura inferior a 50 centímetros, por lo que se hará que la banda más próxima al borde de la calzada o al bordillo quede a una distancia del mismo comprendida entre 0 y 50 centímetros.

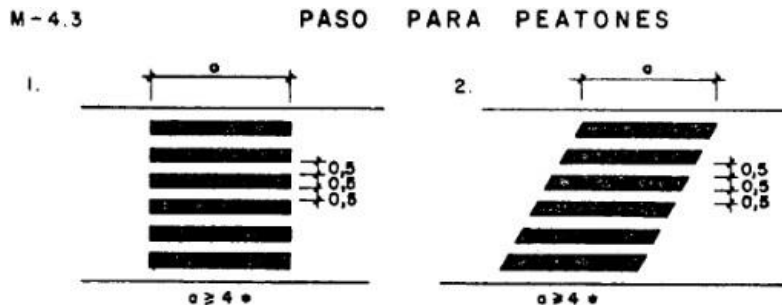


Imagen 14.5 Marca transversal de paso para peatones.

**2.1.3 FLECHAS**

*FLECHAS DE DIRECCIÓN O DE SELECCIÓN DE CARRILES (M-5.1)*

Una flecha, situada en un carril delimitado por líneas longitudinales, indica que todo conductor debe seguir la dirección, o una de las direcciones o, si la señalización lo permite, cambiarse a otro carril.

En el proyecto se utilizarán las flechas de ir de frente y de ir hacia la izquierda como las que se muestran en la imagen.

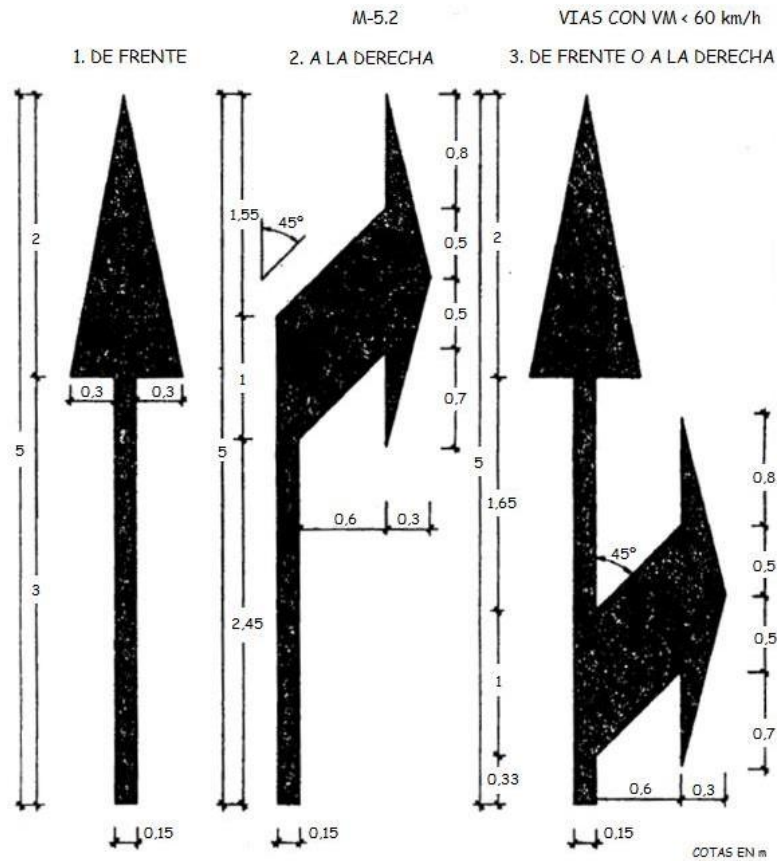


Imagen 14.6 Flecha de dirección.

### 2.1.4 SEÑALES HORIZONTALES DE CIRCULACIÓN

#### DETENCIÓN OBLIGATORIA O STOP

El símbolo "STOP", marcado sobre la calzada, indica al conductor la obligación de detener su vehículo ante la próxima línea de detención y de ceder el paso a los vehículos que circulen por dicha calzada. Este tipo de señal se pinta de blanco.

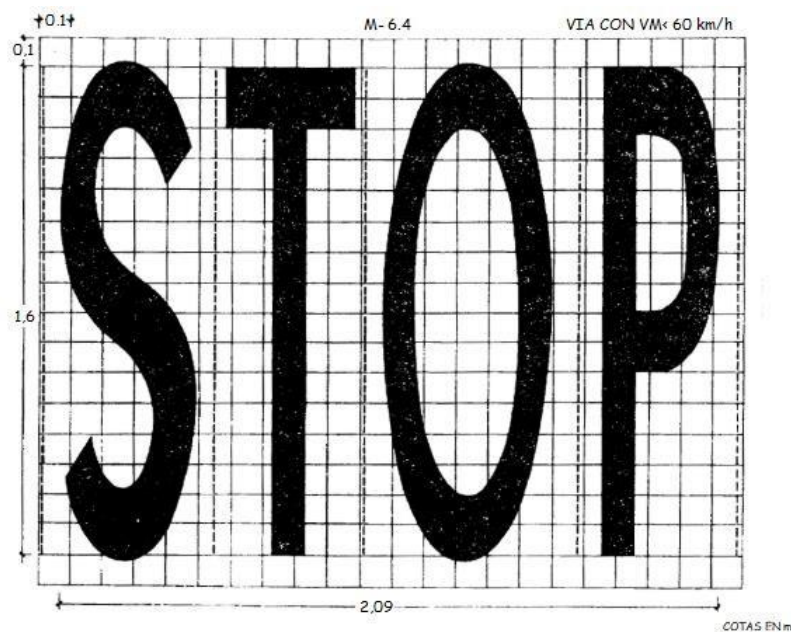


Imagen 14.7 Señal horizontal de "STOP".

Es un triángulo, marcado sobre la calzada con el vértice opuesto al lado menor y dirigido hacia el vehículo que se acerca, indica a su conductor la obligación que tiene en la próxima intersección de ceder el paso a otros vehículos. Esta señal será de color blanco.

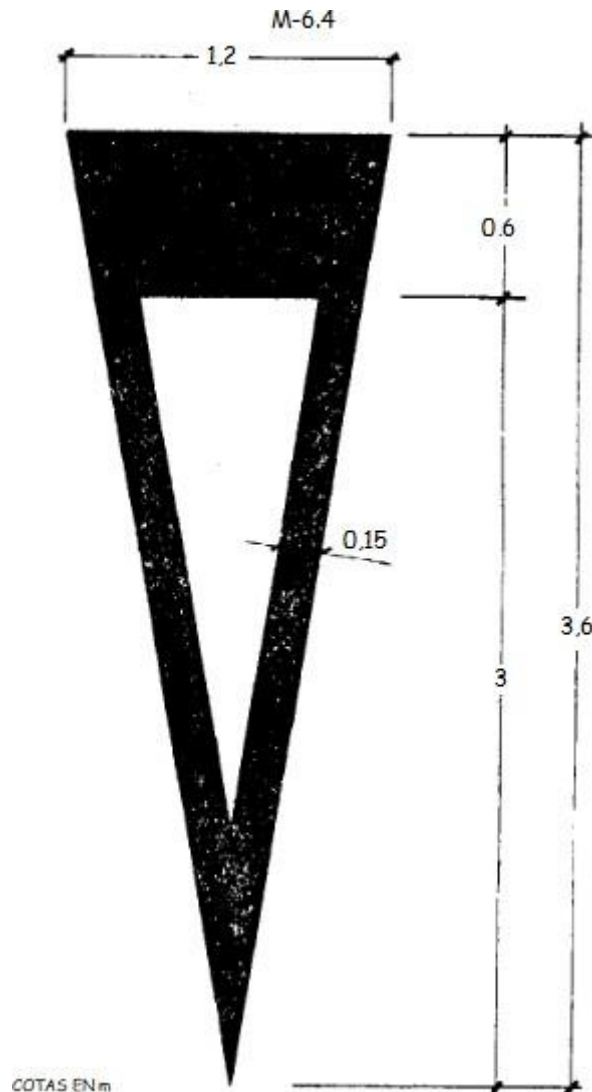


Imagen 14.8 Señal horizontal de ceda el paso.

#### *DELIMITACIÓN DE PLAZAS DE APARCAMIENTO (M-7.4)*

Este tipo de señal delimita las plazas de estacionamiento e indican la orientación en la que las deben ocupar. Estas marcas se pintarán de blanco debido que no van a ser plazas de aparcamiento que vayan a tener regulado el periodo de estacionamiento. El espesor de las líneas será de 10 cm a 15 cm. Las dimensiones y longitudes de estas serán variables.

En el proyecto se utilizarán dos plazas de aparcamiento de tipo batería recta y una de tipo doble batería.

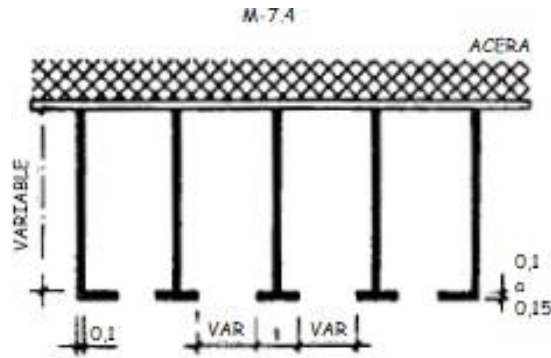


Imagen 14.9 Delimitación de plazas de aparcamiento tipo batería.

### DELIMITACIÓN DE PLAZAS DE APARCAMIENTO DE MINUSVALIDOS

En el caso del estacionamiento de personas con minusvalía se delimitará la zona con unas líneas blancas de espesor de 10 cm a 15 cm y se rellenará la plaza de aparcamiento con un sombreado de color azul. También se deberá marcar en el centro de la señal horizontal internacional de estacionamiento de minusválidos.



Imagen 14.10 Señal de estacionamiento de minusválidos.

## 3. SEÑALIZACIÓN VERTICAL

### 3.1 INTRODUCCIÓN

Las señales verticales tienen el objetivo de informar y ordenar la circulación por las carreteras. Estas señales son un conjunto de elementos que están compuestas por leyendas y/o símbolos que dan información, placas sobre las que estarán inscritas dicha información y por los dispositivos de sustentación que se especifiquen para cada caso como pueden ser postes, banderolas y pórticos.

Las dimensiones que deben de tener estas señales están normalizadas y dependen del tipo de carretera en la que se van a colocar.

En autopistas y autovías tienen estas dimensiones:



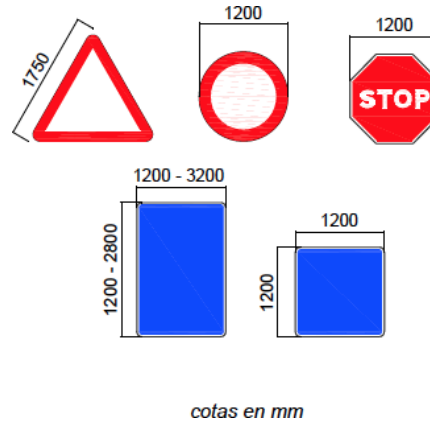


Imagen 14.11 Dimensiones de las señales verticales en autopistas y autovías.

En carreteras convencionales cuentan con estas dimensiones:

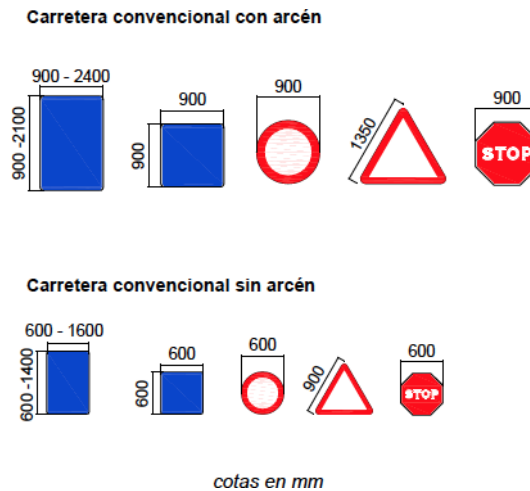


Imagen 14.12 Dimensiones de señales verticales de carreteras convencionales.

### 3.2 CLASIFICACIÓN DE SEÑALES VERTICALES

- **Señales de advertencia de peligro:** Tienen forma triangular y se designan por la letra “P” seguida de un número comprendido entre el 1 y 99.
- **Señales de reglamentación:** Su forma es circular y se designan por la letra “R” seguida de un número, y a su vez se clasifican en:
  - De prioridad (número inferior a 100).
  - De prohibición de entrada (número entre 100 y 199).
  - De restricción de paso (número entre 200 y 299).
  - Otras de prohibición o restricción (número entre 300 y 399).
  - De obligación (número entre 400 y 499).
  - De fin de prohibición o restricción (número superior a 500).
- **Señales de indicación:** Tienen una forma normalmente rectangular y se designan por

la letra "S" seguida de un número, y a su vez se clasifican en:

- De indicaciones generales (número inferior a 50).
- Relativas a carriles (número entre 50 y 99).
- De servicio (número entre 100 y 199).
- Otras señales (número superior a 900).
- De orientación, a su vez subdivididos en:
  - De preseñalización (número entre 200 y 299).
  - De dirección (número entre 300 y 399).
  - De identificación de carreteras (número entre 400 y 499).
  - De localización (número entre 500 y 599).
  - De confirmación (número entre 600 y 699).
  - De uso específico en zona urbana (número entre 700 y 799).
  - Paneles complementarios, (número entre 800 y 899).

### 3.3 SEÑALES VERTICALES UTILIZADAS EN EL PROYECTO

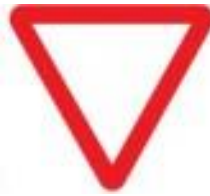


Imagen 14.13 Señal de "CEDA EL PASO". Nomenclatura R-1.



Imagen 14.14 Señal de "STOP". Nomenclatura R-2.



Imagen 14.15 Señal de velocidad máxima 30 km/h. Nomenclatura S-30.



Imagen 14.16 Señal de aparcamiento. Nomenclatura S-17.



Imagen 14.17 Señal de paso para peatones. Nomenclatura S-13.

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y OBRAS PÚBLICAS

## TRABAJO FIN DE GRADO

***“PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN  
APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO  
MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA  
(BIZKAIA)”***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

***ANEJO 15- NORMAS NIDE FÚTBOL SALA***

**Alumno/Alumna:** García, Arroyo, David

**Director/Directora:** Larrauri, Gil, Marcos

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 21, junio, 2019

# ÍNDICE

---

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.	DIMENSIONES .....	2
2.1	TAMAÑO DEL CAMPO .....	2
2.2	TRAZADO DEL CAMPO.....	2
2.3	ALTURA LIBRE DE OBSTACULOS .....	4
3.	ORIENTACION SOLAR .....	4
4.	ILUMINACIÓN.....	4
5.	PAVIMENTO DEPORTIVO .....	5
6.	LA META O PORTERÍA .....	6
6.1	MARCO .....	7
6.2	RED .....	7
7.	ESPACIOS ÁREA TÉCNICA. ÁREAS AUXILIARES .....	8
7.1	ESPACIOS AUXILIARES PARA LOS DEPORTISTAS.....	8
7.1.1	VESTUARIOS, ASEOS DEPORTISTAS.....	8
7.1.2	VESTUARIOS, ASEOS ÁRBITROS.....	8
7.1.3	ALMACÉN PARA MATERIAL DEPORTIVO.....	8
8.	ACCESIBILIDAD .....	9
8.1	CAMBIOS DE PLANO .....	9
8.2	ZONAS DE CIRCULACIÓN .....	9

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este anejo es definir las indicaciones para cumplir con la normativa para la construcción de un campo de fútbol sala reglamentario. Se indicarán las medidas necesarias para las distintas partes que lo componen, niveles mínimos de iluminación, materiales, etc.

Cabe a destacar, tal y como se menciona en la memoria, el campo se utilizará para uso recreativo y para entrenamientos.

## 2. DIMENSIONES

### 2.1 TAMAÑO DEL CAMPO

El terreno de juego tiene forma de rectángulo que deberá estar entre los límites de dimensiones siguientes:

<b>DIMENSIONES DEL CAMPO</b>	Longitud (líneas de banda) (m)	Anchura (líneas de meta) (m)
Máximo	42	25
Mínimo	25	16

Tabla 15.1 Dimensiones reglamentarias del campo.

Las dimensiones de la cancha del proyecto serán 40x20m por lo que se cumple las especificaciones respecto a este requisito.

#### *BANDAS DE SEGURIDAD*

Tal y como indica la norma, para facilitar la visión de juego y el desarrollo del mismo y también por seguridad, se dispondrán una banda de seguridad alrededor del campo de por lo menos 1 metro de anchura por las bandas laterales del campo y 2 metros de ancho por detrás de las líneas de meta. El color de dichas bandas puede ser distinto al del terreno de juego para que se distinga mejor, aunque también puede ser del mismo color que este. Además, el campo deberá estar separado de las zonas del público para que no supongan riesgo de lesión para los jugadores.

En este caso se ha optado poner 1 metro a cada banda lateral y 2 metros por detrás de las líneas de meta, cumpliendo así las especificaciones mínimas anteriormente mencionadas. Por lo tanto, las dimensiones totales del terreno de juego y zonas lindantes serán de 44x22m.

### 2.2 TRAZADO DEL CAMPO

El trazado del campo son las dimensiones (anchura, radios de curvatura, etc.) y formas que tienen las líneas que delimitan el campo y los elementos dentro de este. Todas las líneas de marcas tendrán 8 cm de ancho y serán de un color que se diferencien perfectamente de la superficie de juego. Las demás dimensiones y formas se detallan en las figuras que se muestran a continuación:

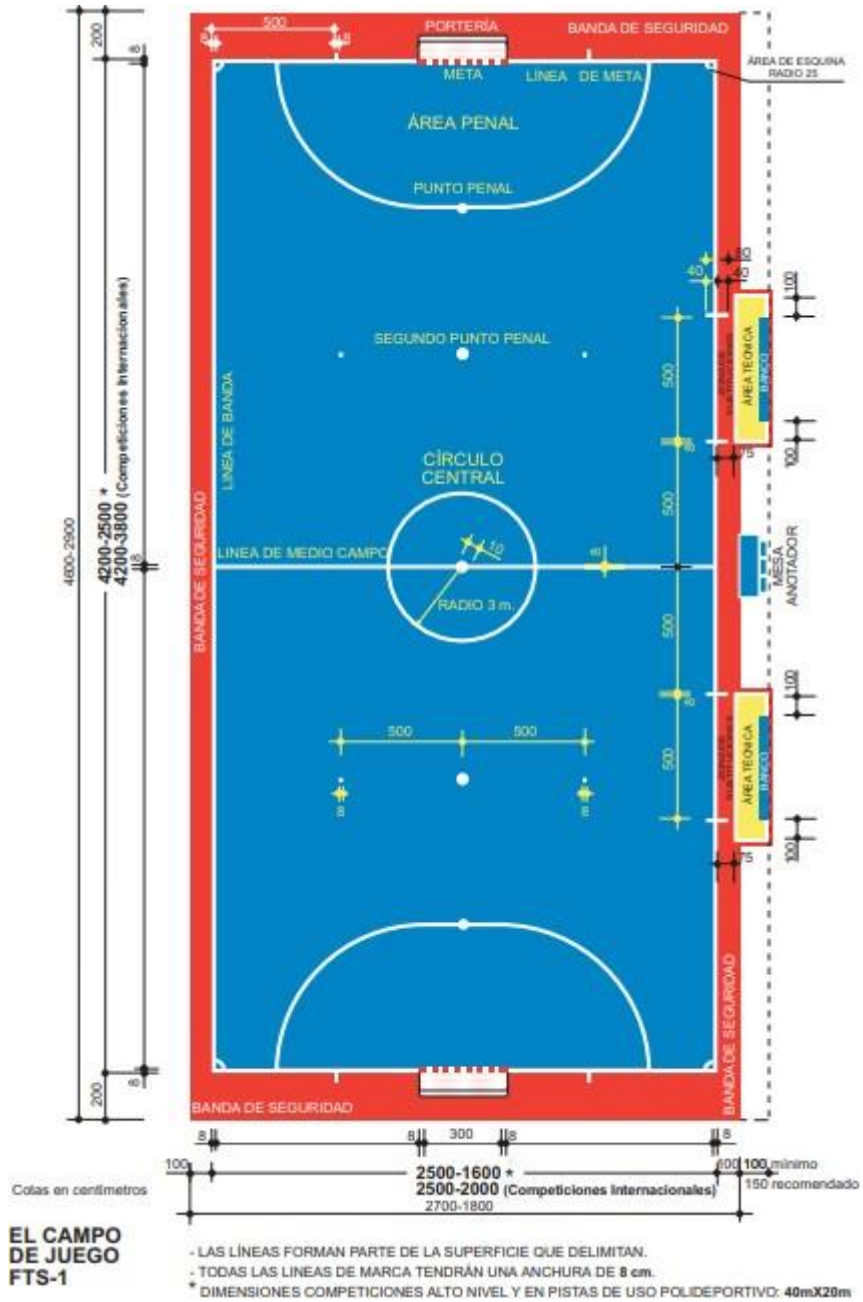


Imagen 15.1 Dimensiones del trazado del campo.

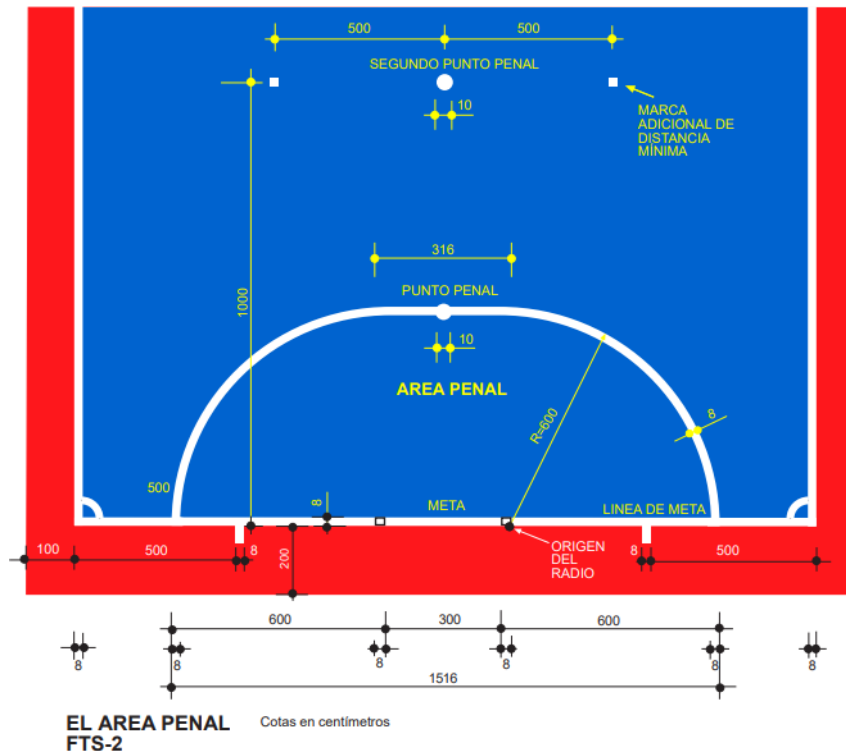


Imagen 15.2 Dimensiones del área de penal.

### 2.3 ALTURA LIBRE DE OBSTACULOS

La altura libre se refiere a la distancia que hay entre el pavimento deportivo y los obstáculos de las instalaciones de la construcción como pueden ser vigas, luminarias, tubería, etc. En campos al aire libre la distancia es de 7 metros. También hay una recomendación de que dicha distancia sea 10 metros, pero ésta solo se aplica a las competiciones de la Real Federación Española de Fútbol y a la Liga Nacional de Fútbol Sala por lo que no se usará para este proyecto.

La altura libre de obstáculos de proyecto será de 7,5 metros cumpliendo con la normativa.

## 3. ORIENTACION SOLAR

El eje longitudinal de la pista, en instalaciones al aire libre, debe coincidir con la orientación N- S, admitiéndose una variación de N-NO y N-NE.

En el presente proyecto por motivos de encuadre con la explanada no se ha conseguido poner el eje longitudinal en la orientación N-S, pero se ha podido colocar dentro de la variación N-NO.

## 4. ILUMINACIÓN

La iluminación natural será uniforme y no provocará deslumbramiento a los jugadores.

La iluminación artificial será uniforme y de manera que no provoque deslumbramiento a los jugadores, al equipo arbitral ni a los espectadores. Contará con los siguientes niveles mínimos de iluminación horizontal y rendimiento de color, de acuerdo con los criterios de la norma UNE-EN 12193 "Iluminación de instalaciones deportivas", que se indican a continuación:



NIVELES MÍNIMOS DE ILUMINACIÓN FÚTBOL SALA (Exterior)			
NIVEL DE COMPETICIÓN	Iluminancia horizontal		Rend Color (Ra)
	$E_{med}$ (lux)	Uniformidad $E_{min}/E_{med}$	
Competiciones internacionales y nacionales	750	0,7	60
Competiciones regionales y locales, entrenamiento alto nivel	500	0,7	60
Entrenamiento, deporte escolar y recreativo	200	0,5	20

Tabla 15.2 Niveles mínimos de iluminación.

Tal y como se indica en el “anejo de iluminación” se han elegido unas luminarias que cumplirán con los requisitos que se muestran en la tabla anterior para evitar la iluminación insuficiente y los posibles deslumbramientos.

## 5. PAVIMENTO DEPORTIVO

Son aptos los pavimentos de madera o sintéticos, fijos o desmontables. Los pavimentos de tipo rígidos no son recomendables. El pavimento deportivo se constituye por el terreno de juego y las bandas exteriores de seguridad. Dicho pavimento tendrá que cumplir que tenga una superficie lisa, plana, libre de asperezas y no abrasiva y cumplirá los siguientes requisitos, según la Norma UNE-EN 14877:2013 “Normativa para superficies deportivas sintéticas de exterior. Especificaciones”.

<b>Pendientes de evacuación</b>	Transversal y máxima del 1%
<b>Planeidad / Regularidad Superficial (“in situ”)</b> UNE-EN 13036-4	$\leq 6$ mm con regla de 3 m; $\leq 2$ mm con regla de 0,3 m
<b>Bote vertical del balón</b> UNE-EN 12235	Altura 1º rebote vertical: $\geq 50$ cm; $\leq 65$ cm, altura de caída 2,00 m.
<b>Reducción de fuerza (sintéticos)</b> UNE-EN 14808	$RF \geq 25\%$
<b>Deformación vertical (sintéticos)</b> UNE-EN 14809	$\leq 6$ mm
<b>Deslizamiento (sintéticos)</b> UNE-EN 13036-4	55 - 110
<b>Resistencia a tracción (sintéticos)</b> UNE-EN 12230	$\geq 0,40$ MPa
<b>Alargamiento de rotura (sintéticos)</b> UNE-EN 12230	$\geq 40$ %

Tabla 15.3 Especificaciones para pavimentos de resinas sintéticas.

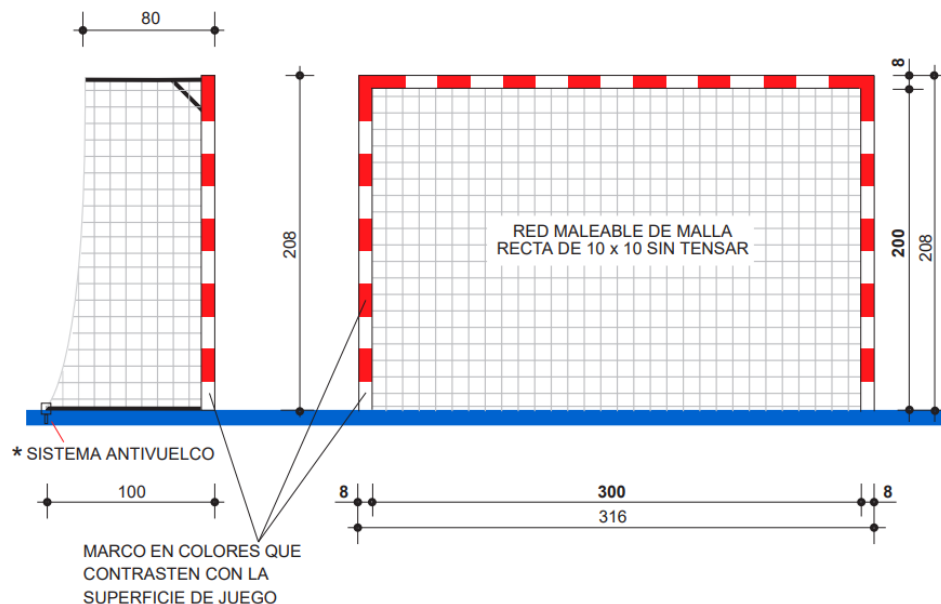
En relación con el proyecto se utilizará un pavimento de resina sintética debido a que como el campo va a ser de exterior es mejor material que la madera para resistir las adversidades meteorológicas y requiere menos mantenimiento que es lo ideal para un campo de estas características. Este material es continuo por lo que no presenta juntas (garantiza impermeabilidad a las capas inferiores), también cuenta con una textura superficial microrrugosa no abrasiva. De esta manera el pavimento seleccionado cumple con las especificaciones de la norma.

## 6. LA META O PORTERÍA

El campo de juego de fútbol sala estará equipado con dos metas o porterías. Se colocan en el centro de cada línea de meta. Sus medidas interiores son de 2 m de alto por 3 m de ancho tal y como se puede apreciar en las imágenes 15.3 y 15.4. Estas porterías deberán cumplir las normas de las Reglas de Juego de fútbol sala y los requisitos de seguridad de la norma UNE-EN 749.

Las porterías cumplirán especialmente los requisitos de resistencia y estabilidad que exige la norma UNE-EN 749 antes citada. Las porterías deben ser estables y dispondrán de un sistema antivuelco mediante sujeción al suelo por medio de un sistema de anclaje o a las paredes que estén detrás de ellas, de forma que, aunque el sistema impida su vuelco, permita un ligero movimiento horizontal de la misma que reduzca el golpe de un jugador contra el marco en caso de impacto.

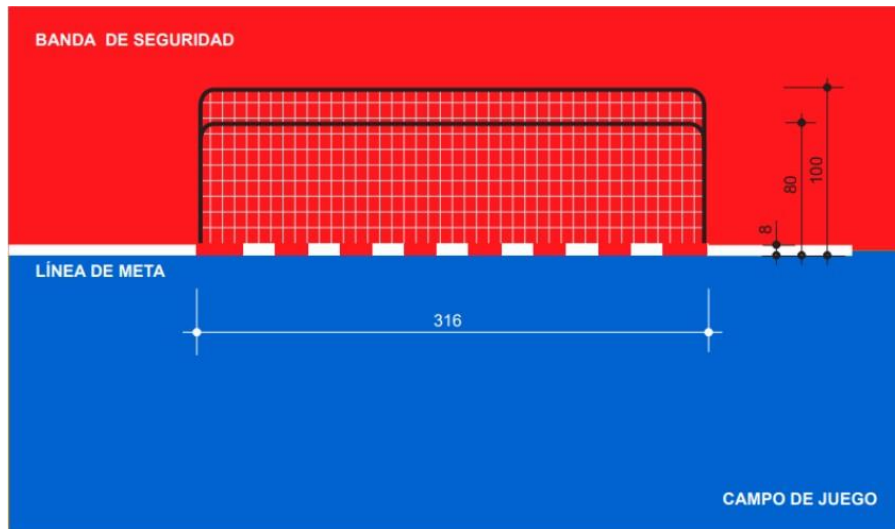
La portería consta de marco, la red y los elementos de sujeción de la red.



**- Las porterías dispondrán de un sistema antivuelco.**

\* El ejemplo gráfico del sistema antivuelco no presupone tipo.

Imagen 15.3 Dimensiones de las porterías.



- Las porterías para ciegos totales y deficientes visuales no podrán estar fijadas al suelo, para salvaguardar la integridad física de los jugadores, y evitar lesiones en caso de choque contra ellas.

Cotas en centímetros

Imagen 15.4 Dimensiones de las porterías.

## 6.1 MARCO

El marco está compuesto de dos postes y el travesaño o larguero, que deberán ser del mismo material (madera, acero, aleación ligera o material plástico) no corrosivo o protegido de la corrosión. Será de sección cuadrada, rectangular, o elíptica, de 8 cm de anchura y pintadas las caras con colores que contrasten claramente con el fondo del campo de juego, según se indica en la imagen 6.1. Los bordes o aristas estarán redondeados con un radio de al menos,  $4\pm 1$  mm.

Los marcos a utilizar en este terreno de juego serán de acero, de forma rectangular de anchura 8 cm. También tendrán los bordes redondeados como indica la norma y estarán pintados de blanco y rojo de manera que se contrastará bien con el fondo del campo de juego.

## 6.2 RED

La red será de malla cuadrada y podrá realizarse con hilos de fibras naturales (cáñamo, yute) o sintéticas (nylon). El diámetro del hilo será de 2 mm como mínimo y el ancho de la malla será como máximo de 10 cm. Además, la red debe estar sujeta a los postes y al larguero, al menos, cada 20 cm.

Las redes a utilizar serán de tipo sintéticas, es decir, de nylon y cumplirán con los requisitos mencionados en el párrafo anterior, siendo el diámetro del hilo de 3 mm, el ancho de la malla de 9 cm y la red estará sujeta cada 15 cm.

### ELEMENTOS DE SUJECCIÓN DE LA RED

La red debe estar fija a los postes y larguero sin estar tensa para evitar que el balón pueda rebotar al exterior cuando penetre en la portería y de forma que no pueda pasar a través de ella o por algún hueco entre ella y los postes.

Las sujeciones de la red a los postes y larguero deben estar diseñadas de tal forma que no puedan dañar a los jugadores, para ello se exige que las aberturas, si existen, no excedan de

5 mm. No se usarán ganchos de acero abiertos.

Cuando se utilicen soportes traseros para la red estos no sobresaldrán del marco de la portería.

El sistema de sujeción será tal que un balón que entre en la portería no pueda rebotar en las partes constituyentes de la misma.



Imagen 15.5 Elemento de sujeción de la red.

Las sujeciones de la red del proyecto serán de PVC de forma que no dañarán a los jugadores, tendrán una abertura de 3mm y en ningún caso sobresaldrán del marco. Las redes se tensarán de manera que, tal y como dice la norma, el balón no rebote hacia el exterior ni que pase a través de la red o a través de algún agujero por la mala sujeción de esta.

## 7. ESPACIOS ÁREA TÉCNICA. ÁREAS AUXILIARES

### 7.1 ESPACIOS AUXILIARES PARA LOS DEPORTISTAS

#### 7.1.1 VESTUARIOS, ASEOS DEPORTISTAS

Se dispondrán, como mínimo, dos vestuarios independientes, uno para cada equipo. Los vestuarios dispondrán de zona de cambio de ropa con bancos y perchas, zona de duchas con espacio para secado y zona de aseos con cabinas de inodoros y lavabos.

En los vestuarios a construir estarán compuestos de todas las zonas mencionadas.

#### 7.1.2 VESTUARIOS, ASEOS ÁRBITROS

Se dispondrá un vestuario para árbitros, que podrá utilizarse, cuando no haya competición, como vestuario de entrenadores, monitores o profesores. Estos vestuarios dispondrán de zona de cambio de ropa con bancos y perchas, zona de duchas con espacio para secado y zona de aseos con cabinas de inodoros y lavabos. En el mismo vestuario o anexo a él habrá una zona para redacción de actas, informes, etc. con el mobiliario apropiado.

#### 7.1.3 ALMACÉN PARA MATERIAL DEPORTIVO

Se dispondrá un almacén de material para guardar todo tipo material deportivo de fútbol sala necesario para llevar a cabo los entrenamientos así y se podrá cerrar con llave. Dispondrá de acceso fácil o directo a la pista deportiva y desde el exterior de la instalación deportiva sin obstáculos, cumplirá los requisitos de la norma NIDE "Salas y Pabellones".

Anexo a los vestuarios anteriormente mencionados se dispondrá una sala para almacenar el material deportivo.

## 8. ACCESIBILIDAD

Las instalaciones deportivas para fútbol sala se diseñarán y construirán de forma que sean accesibles para personas con discapacidad, de forma no discriminatoria, independiente y segura. Dispondrán de un itinerario exterior accesible a la instalación y de itinerarios accesibles a la pista principal, los espacios deportivos auxiliares, (Vestuarios, enfermería, etc.) y los espacios para espectadores. Los citados espacios deportivos, auxiliares y para espectadores serán accesibles, cumplirán los criterios de accesibilidad que se indican en la norma NIDE “Salas y Pabellones” así como la normativa nacional, autonómica y local al efecto. Se recomienda que cumplan los requisitos de las Normas UNE de “Accesibilidad”.

La norma NIDE “Salas y Pabellones” menciona que se deberán cumplir los requisitos de las Normas UNE de “Accesibilidad” que serán fundamentalmente las relacionadas con los cambios de planos y las zonas circulación.

### 8.1 CAMBIOS DE PLANO

Para los cambios de planos que existen entre la zona de vestuarios y la zona del terreno de juego se dispondrá una rampa de estructura metálica que cumplirá con las especificaciones que indica la norma:

- Anchura mínima debería ser 1.05 m. según flujo de paso simultaneo
- Pendiente longitudinal menor del 3% a ser posible
- Si la pendiente es:
  - Mayor del 3%: áreas de descanso cada 25 m.
  - Mayor del 6% con recorrido > de 3 m.: se instalarán también escaleras
  - Menor del 2 m de longitud del tramo: máximo 8% pendiente.
- Se debería prever áreas de descanso cada 9 m (1,50 m long) cuando requieran esfuerzo excesivo
- Colocación de pasamanos o barandillas
- Rodapiés de 10 cm. de altura a lo largo la rampaZona libre de obstáculos en ambos extremos

Para los demás pequeños cambios de plano, como bordillos y aceras, se dispondrán unas rampas de hormigón con anchura suficiente para el paso de una silla de ruedas y con una pendiente uniforme suficiente para poder salvar esa barrera arquitectónica, siempre y cuando cumpla con las inclinaciones que indica la norma.

### 8.2 ZONAS DE CIRCULACIÓN

Las zonas de circulación tanto las de acceso a la pista como las de la propia pista, cumplirán las exigencias para la circulación de personas con movilidad reducida. También se tendrán en cuenta las dimensiones de las puertas por las que se prevé que van a pasar las personas con minusvalía.

Para el ancho de estas zonas se deberá de disponer:

- Mínimo 110 cm con estrechamientos puntuales de 90 cm
- Recomendable de 150 cm para el paso de 2 personas y una silla de ruedas

En estas zonas deberán estar libres de obstáculos permitiéndose papeleras, bancos siempre y cuando no reduzcan el ancho a menos del mínimo anteriormente indicado. En zonas de



maniobra no deberá de haber cambios de planos.

En cuanto a las puertas, se deberá cumplir qué:

- Serán mínimo de 80 cm x 220 cm
- Los elementos de accionamientos estarán a una altura adecuada entre 85 cm y 105 cm
- No se podrán utilizar puertas giratorias
- Si son de vidrio ha de ser de seguridad o protegido con rodapiés, y la zona acristalada debe de ser señalizada con una banda.

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y OBRAS PÚBLICAS

## TRABAJO FIN DE GRADO

***“PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN  
APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO  
MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA  
(BIZKAIA)”***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

***ANEJO 16- GESTIÓN DE RESIDUOS***

**Alumno/Alumna:** García, Arroyo, David

**Director/Directora:** Larrauri, Gil, Marcos

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 21, junio, 2019

## ÍNDICE

---

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.	DEFINICIONES SEGÚN NORMATIVA.....	2
3.	ÁMBITO DE APLICACIÓN .....	3
4.	OBLIGACIONES DEL POSEEDOR DE RESIDUOS.....	4
5.	CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.....	4
6.	RESIDUOS EN TAREAS DE DEMOLICIÓN.....	4
6.2	IDENTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS QUE SE VAN A GENERAR .....	4
6.3	ESTIMACIÓN DE RESIDUOS DURANTE EL DERRIBO.....	7
7.	RESIDUOS EN OBRA NUEVA.....	9
7.1	IDENTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS QUE SE VAN A GENERAR.....	9
7.2	ESTIMACIÓN DE RESIDUOS DURANTE EL DERRIBO.....	11
8.	MEDIDAS PARA LA PREVENCIÓN DE LOS RESIDUOS.....	13
8.1	MEDIDAS DE CARÁCTER GENERAL.....	13
8.2	MEDIDAS EN TAREAS DE DERRIBOS.....	13
8.3	MEDIDAS EN PUESTA EN OBRA.....	13
9.	OPERACIONES DE REUTILIZACIÓN, VALORACIÓN Y ELIMINACIÓN DE RESIDUOS.....	13
9.1	OPERACIONES DE REUTILIZACIÓN .....	13
9.2	OPERACIONES DE VALORIZACIÓN O ELIMINACIÓN .....	14
10.	SEPARACIÓN DE LOS RESIDUOS .....	14
11.	MEDIDAS PARA LA SEPARACIÓN DE RESIDUOS. ....	15
12.	VERTEDEROS AUTORIZADOS.....	15



## 1. INTRODUCCIÓN

La finalidad de este documento es realizar un estudio de prevención, reutilización y reciclado de los residuos que se generen durante el transcurso de la obra. Este estudio se realizará de acuerdo con el RD 105/2008, que regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición, y la normativa de desarrollo posterior Decreto 112/2012, de 26 de junio, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

El presente estudio realiza una estimación de los residuos que se prevé que se producirán en los trabajos relacionados con la obra. Este estudio observará los residuos que se puedan generar durante la demolición de los vestuarios antiguos y durante la propia construcción de la obra del proyecto.

Una vez obtenidos las cantidades de los residuos, se indicarán los vertederos autorizados de la Comunidad Autónoma del País Vasco más cercanos a la zona del proyecto para su correcto tratamiento.

## 2. DEFINICIONES SEGÚN NORMATIVA

En este apartado se muestran una serie de definiciones que se encuentran en el Real Decreto 105/2008:

- **Residuo de construcción y demolición:** Cualquier sustancia u objeto que, cumpliendo la definición de «Residuo» incluida en el artículo 3.a) de la Ley 10/1998, de 21 de abril, se genere en una obra de construcción o demolición.
- **Residuo inerte:** aquel residuo no peligroso que no experimenta transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas, no es soluble ni combustible, ni reacciona física ni químicamente ni de ninguna otra manera, no es biodegradable, no afecta negativamente a otras materias con las cuales entra en contacto de forma que pueda dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana. La lixiviabilidad total, el contenido de contaminantes del residuo y la ecotoxicidad del lixiviado deberán ser insignificantes, y en particular no deberán suponer un riesgo para la calidad de las aguas superficiales o subterráneas.
- **Obra de construcción o demolición:** la actividad consistente en:
  - 1.º La construcción, rehabilitación, reparación, reforma o demolición de un bien inmueble, tal como un edificio, carretera, puerto, aeropuerto, ferrocarril, canal, presa, instalación deportiva o de ocio, así como cualquier otro análogo de ingeniería civil.
  - 2.º La realización de trabajos que modifiquen la forma o sustancia del terreno o del subsuelo, tales como excavaciones, inyecciones, urbanizaciones u otros análogos, con exclusión de aquellas actividades a las que sea de aplicación la Directiva 2006/21/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de marzo, sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas.

Se considerará parte integrante de la obra toda instalación que dé servicio exclusivo a la misma, y en la medida en que su montaje y desmontaje tenga lugar durante la ejecución de la obra o al final de la misma, tales como:

- **Obra menor de construcción o reparación domiciliaria:** obra de construcción o demolición en un domicilio particular, comercio, oficina o inmueble del sector servicios, de sencilla técnica y escasa entidad constructiva y económica, que no suponga alteración del volumen, del uso, de las instalaciones de uso común o del número de viviendas y locales, y que no precisa de proyecto firmado por profesionales titulados.
- **Productor de residuos de construcción y demolición:**
  - 1.º La persona física o jurídica titular de la licencia urbanística en una obra de construcción o demolición; en aquellas obras que no precisen de licencia urbanística, tendrá la consideración de productor del residuo la persona física o jurídica titular del bien inmueble objeto de una obra de construcción o demolición.
  - 2.º La persona física o jurídica que efectúe operaciones de tratamiento, de mezcla o de otro tipo, que ocasionen un cambio de naturaleza o de composición de los residuos.
  - 3.º El importador o adquirente en cualquier Estado miembro de la Unión Europea de residuos de construcción y demolición.
- **Poseedor de residuos de construcción y demolición:** la persona física o jurídica que tenga en su poder los residuos de construcción y demolición y que no ostente la condición de gestor de residuos. En todo caso, tendrá la consideración de poseedor la persona física o jurídica que ejecute la obra de construcción o demolición, tales como el constructor, los subcontratistas o los trabajadores autónomos. En todo caso, no tendrán la consideración de poseedor de residuos de construcción y demolición los trabajadores por cuenta ajena.
- **Tratamiento previo:** proceso físico, térmico, químico o biológico, incluida la clasificación, que cambia las características de los residuos de construcción y demolición reduciendo su volumen o su peligrosidad, facilitando su manipulación, incrementando su potencial de valorización o mejorando su comportamiento en el vertedero.

### 3. ÁMBITO DE APLICACIÓN

1. Este real decreto será de aplicación a los residuos de construcción y demolición definidos en el artículo 2, con excepción de:
  - Las tierras y piedras no contaminadas por sustancias peligrosas reutilizadas en la misma obra, en una obra distinta o en una actividad de restauración, acondicionamiento o relleno, siempre y cuando pueda acreditarse de forma fehaciente su destino a reutilización.
  - Los residuos de industrias extractivas regulados por la Directiva 2006/21/CE, de 15 de marzo.
  - Los lodos de dragado no peligrosos reubicados en el interior de las aguas superficiales derivados de las actividades de gestión de las aguas y de las vías navegables, de prevención de las inundaciones o de mitigación de los efectos de las inundaciones o las sequías, reguladas por el Texto Refundido de la Ley de Aguas, por la Ley 48/2003, de 26 de noviembre.
2. A los residuos que se generen en obras de construcción o demolición y estén regulados por legislación específica sobre residuos, cuando estén mezclados con otros residuos de construcción y demolición, les será de aplicación este real decreto en aquellos aspectos no contemplados en aquella legislación.

## 4. OBLIGACIONES DEL POSEEDOR DE RESIDUOS

Dentro del proceso de gestión de residuos, el poseedor de los residuos estará obligado, mientras se encuentren en su poder, a mantenerlos en condiciones adecuadas de higiene y seguridad, así como a evitar la mezcla de fracciones ya seleccionadas que impida o dificulte su posterior valorización o eliminación.

## 5. CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Tal y como indica la orden del MAM/304/2002 se pueden definir dos categorías de residuos de construcción y demolición (RCD):

- Residuos de construcción y demolición de Nivel I:** residuos generados por el desarrollo de las obras de infraestructura de ámbito local o supramunicipal contenidas en los diferentes planes de actuación urbanística o planes de desarrollo siendo resultado de los excedentes de excavación de los movimientos de tierra generados en el transcurso de dichas obras.

Se trata, por tanto, de las tierras y materiales pétreos, no contaminados, procedentes de obras de excavación. Será el apartado más importante en cuanto a porcentaje de residuos de la obra.

Será material de excavación procedente de las cimentaciones especialmente, aunque no se considera una gran cantidad.

- Residuos de construcción y demolición de Nivel II:** residuos generados principalmente en las actividades propias del sector de la construcción, de la demolición, de la reparación domiciliar y de la implantación de servicios. Son residuos no peligrosos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas.

Los residuos inertes no son solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente, no son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las que entran en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana.

Los residuos generados serán tan solo los marcados los que se detallan en la lista Europea.

## 6. RESIDUOS EN TAREAS DE DEMOLICIÓN

### 6.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS QUE SE VAN A GENERAR

#### RCDs Nivel I

1. TIERRAS Y PÉTROS DE LA EXCAVACIÓN		Tratamiento	Destino	Cantidad
17 05 04	Tierras y piedras distintas de las especificadas en el código 17 05 03	Sin tratamiento esp.	Restauración / Vertedero	0,00
17 05 06	Lodos de drenaje distintos de los especificados en el código 17 05 06	Sin tratamiento esp.	Restauración / Vertedero	0,00
17 05 08	Balasto de vías férreas distinto del especificado en el código 17 05 07	Sin tratamiento esp.	Restauración / Vertedero	0,00

#### RCDs Nivel II

<b>RCD: Naturaleza no pétreo</b>			<b>Tratamiento</b>	<b>Destino</b>	<b>Cantidad</b>
<b>1. Asfalto</b>					
	17 03 02	Mezclas bituminosas distintas a las del código 17 03 01	Reciclado	Planta de reciclaje RCD	0,00
<b>2. Madera</b>					
	17 02 01	Madera	Reciclado	Gestor autorizado RNPs	0,00
<b>3. Metales</b>					
	17 04 01	Cobre, bronce, latón	Reciclado	Gestor autorizado RNPs	0,00
	17 04 02	Aluminio	Reciclado		0,00
	17 04 03	Plomo			0,00
	17 04 04	Zinc			0,00
X	17 04 05	Hierro y Acero	Reciclado		0,00
	17 04 06	Estaño			0,00
	17 04 06	Metales mezclados	Reciclado		0,00
X	17 04 11	Cables distintos de los especificados en el código 17 04 10	Reciclado		0,00
<b>4. Papel</b>					
	20 01 01	Papel	Reciclado	Gestor autorizado RNPs	0,00
<b>5. Plástico</b>					
X	17 02 03	Plástico	Reciclado	Gestor autorizado RNPs	3,26
<b>6. Vidrio</b>					
X	17 02 02	Vidrio	Reciclado	Gestor autorizado RNPs	1,09
<b>7. Yeso</b>					
	17 08 02	Materiales de construcción a partir de yeso distintos a los del código 17 08 01	Reciclado	Gestor autorizado RNPs	0,00

<b>RCD: Naturaleza pétreo</b>			<b>Tratamiento</b>	<b>Destino</b>	<b>Cantidad</b>
<b>1. Arena Grava y otros áridos</b>					
	01 04 08	Residuos de grava y rocas trituradas distintos de los mencionados en el código 01 04 07	Reciclado	Planta de reciclaje RCD	0,00
	01 04 09	Residuos de arena y arcilla	Reciclado	Planta de reciclaje RCD	0,00
<b>2. Hormigón</b>					
X	17 01 01	Hormigón	Reciclado / Vertedero	Planta de reciclaje RCD	26,10
<b>3. Ladrillos , azulejos y otros cerámicos</b>					
X	17 01 02	Ladrillos	Reciclado	Planta de reciclaje RCD	41,11
X	17 01 03	Tejas y materiales cerámicos	Reciclado	Planta de reciclaje RCD	76,34
	17 01 07	Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos distintas de las especificadas en el código 1 7 01 06.	Reciclado / Vertedero	Planta de reciclaje RCD	0,00
<b>4. Piedra</b>					
	17 09 04	RDCs mezclados distintos a los de los códigos 17 09 01, 02 y 03	Reciclado		0,00

RCD: Potencialmente peligrosos y otros	
<b>1. Basuras</b>	
20 02 01	Residuos biodegradables
20 03 01	Mezcla de residuos municipales

Tratamiento	Destino	Cantidad
Reciclado / Vertedero	Planta de reciclaje RSU	0,00
Reciclado / Vertedero	Planta de reciclaje RSU	0,00

2. Potencialmente peligrosos y otros	
17 01 06	mezcal de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos con sustancias peligrosas (SP's)
17 02 04	Madera, vidrio o plástico con sustancias peligrosas o contaminadas por ellas
17 03 01	Mezclas bituminosas que contienen alquitran de hulla
17 03 03	Alquitran de hulla y productos alquitranados
17 04 09	Residuos metálicos contaminados con sustancias peligrosas
17 04 10	Cables que contienen hidrocarburos, alquitran de hulla y otras SP's
17 06 01	Materiales de aislamiento que contienen Amianto
17 06 03	Otros materiales de aislamiento que contienen sustancias peligrosas
17 06 05	Materiales de construcción que contienen Amianto
17 08 01	Materiales de construcción a partir de yeso contaminados con SP's
17 09 01	Residuos de construcción y demolición que contienen mercurio
17 09 02	Residuos de construcción y demolición que contienen PCB's
17 09 03	Otros residuos de construcción y demolición que contienen SP's
17 06 04	Materiales de aislamientos distintos de los 17 06 01 y 03

Depósito Seguridad	Gestor autorizado RPs	0,00
Tratamiento Fco-Qco		0,00
Depósito / Tratamiento		0,00
Depósito / Tratamiento		0,00
Tratamiento Fco-Qco		0,00
Tratamiento Fco-Qco		0,00
Depósito Seguridad		0,00
Depósito Seguridad		0,00
Depósito Seguridad		0,00
Tratamiento Fco-Qco		0,00
Depósito Seguridad		0,00
Depósito Seguridad		0,00
Depósito Seguridad		0,00
Reciclado		Gestor autorizado RNPs

RCD: Potencialmente peligrosos y otros	
<b>2. Potencialmente peligrosos y otros</b>	
17 05 03	Tierras y piedras que contienen SP's
17 05 05	Lodos de drenaje que contienen sustancias peligrosas
17 05 07	Balastro de vías férreas que contienen sustancias peligrosas
15 02 02	Absorbentes contaminados (trapos,...)
13 02 05	Aceites usados (minerales no clorados de motor,...)
16 01 07	Filtros de aceite
20 01 21	Tubos fluorescentes
16 06 04	Pilas alcalinas y salinas
16 06 03	Pilas botón
15 01 10	Envases vacíos de metal o plástico contaminado
08 01 11	Sobrantes de pintura o barnices
14 06 03	Sobrantes de disolventes no halogenados

Tratamiento	Destino	Cantidad
Tratamiento Fco-Qco	Gestor autorizado RPs	0,00
Tratamiento Fco-Qco		0,00
Depósito / Tratamiento		0,00
Depósito / Tratamiento		0,00
Depósito / Tratamiento		0,00
Depósito / Tratamiento		0,00
Depósito / Tratamiento		0,00
Depósito / Tratamiento		0,00
Depósito / Tratamiento		0,00
Depósito / Tratamiento		0,00
Depósito / Tratamiento		0,00
Depósito / Tratamiento		0,00
Depósito / Tratamiento		0,00
Depósito / Tratamiento		0,00



07 07 01	Sobrantes de desencofrantes	Depósito / Tratamiento		0,00
15 01 11	Aerosoles vacios	Depósito / Tratamiento		0,00
16 06 01	Baterías de plomo	Depósito / Tratamiento		0,00
13 07 03	Hidrocarburos con agua	Depósito / Tratamiento		0,00
17 09 04	RDCs mezclados distintos códigos 17 09 01, 02 y 03	Depósito / Tratamiento	Restauración / Vertedero	0,00

Tabla 16.1 Identificación de los residuos que se van a generar durante el derribo

### 6.3 ESTIMACIÓN DE RESIDUOS DURANTE EL DERRIBO

Estimación de residuos en DERRIBO	
Superficie Construida total	1450,00 m <sup>2</sup>
Toneladas de residuos	217,50 Tn

Tabla 16.2 Estimación de los residuos en derribo

RCDs Nivel I				
		Tn	d	V
Evaluación teórica del peso por tipología de RDC		Toneladas de cada tipo de RDC	Densidad tipo (entre 1,5 y 0,5)	m <sup>3</sup> Volumen de Residuos
<b>1. TIERRAS Y PÉTROS DE LA EXCAVACIÓN</b>				
Tierras y pétreos procedentes de la excavación estimados directamente desde los datos de proyecto		0,00	1,50	0,00

<b>RCDs Nivel I</b>				
		Tn	d	V
Evaluación teórica del peso por tipología de RDC		Toneladas de cada tipo de RDC	Densidad tipo (entre 1,5 y 0,5)	m <sup>3</sup> Volumen de Residuos
<b>1. TIERRAS Y PÉTROS DE LA EXCAVACIÓN</b>				
Tierras y pétreos procedentes de la excavación estimados directamente desde los datos de proyecto		0,00	1,50	0,00

<b>RCDs Nivel II</b>				
	%	Tn	d	V
Evaluación teórica del peso por tipología de RDC	% de peso	Toneladas de cada tipo de RDC	Densidad tipo (entre 1,5 y 0,5)	m <sup>3</sup> Volumen de Residuos
<b>RCD: Naturaleza no pétreo</b>				
1. Asfalto	0,000	0,00	1,30	0,00
2. Madera	0,000	0,00	0,60	0,00
3. Metales	0,025	5,44	1,50	3,63
4. Papel	0,000	0,00	0,90	0,00
5. Plástico	0,015	3,26	0,90	3,63
6. Vidrio	0,005	1,09	1,50	0,73
7. Yeso	0,000	0,00	1,20	0,00
<b>TOTAL estimación</b>	0,140	<b>30,45</b>		<b>7,98</b>
<b>RCD: Naturaleza pétreo</b>				
1. Arena Grava y otros áridos	0,000	0,00	1,50	0,00
2. Hormigón	0,120	26,10	1,50	17,40
3. Ladrillos , azulejos y otros cerámicos	0,540	117,45	1,50	78,30
4. Piedra	0,000	0,00	1,50	0,00
<b>TOTAL estimación</b>	0,750	<b>163,13</b>		<b>95,70</b>
<b>RCD: Potencialmente peligrosos y otros</b>				
1. Basuras	0,000	0,00	0,90	0,00
2. Potencialmente peligrosos y otros	0,000	0,00	0,50	0,00
<b>TOTAL estimación</b>	0,000	<b>0,00</b>		<b>0,00</b>

Tabla 16.3 Volúmenes de residuos durante el derribo

<b>6.- ESTIMACIÓN DEL COSTE DE TRATAMIENTO DE LOS RCDs (calculo sin fianza)</b>			
Tipología RCDs	Estimación (m <sup>3</sup> )	Precio gestión en Planta / Vestadero / Cantera / Gestor (€/m <sup>3</sup> )	Importe (€)
<b>RCDs Nivel I</b>			
Tierras y pétreos de la excavación	0,00	4,00	0,00
<b>RCDs Nivel II</b>			
RCDs Naturaleza Pétreo	95,70	10,00	957,00
RCDs Naturaleza no Pétreo	7,98	10,00	79,75
RCDs Potencialmente peligrosos	0,00	10,00	0,00

Tabla 16.4 Estimación del coste durante el derribo

## 7. RESIDUOS EN OBRA NUEVA

### 7.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS QUE SE VAN A GENERAR

#### RCDs Nivel I

1. TIERRAS Y PÉTROS DE LA EXCAVACIÓN			Tratamiento	Destino	Cantidad
X	17 05 04	Tierras y piedras distintas de las especificadas en el código 17 05 03	Sin tratamiento esp.	Restauración / Vertedero	525,00
	17 05 06	Lodos de drenaje distintos de los especificados en el código 17 05 06	Sin tratamiento esp.	Restauración / Vertedero	0,00
	17 05 08	Balasto de vías férreas distinto del especificado en el código 17 05 07	Sin tratamiento esp.	Restauración / Vertedero	0,00

#### RCDs Nivel II

RCD: Naturaleza no pétreo			Tratamiento	Destino	Cantidad
<b>1. Asfalto</b>					
	17 03 02	Mezclas bituminosas distintas a las del código 17 03 01	Reciclado	Planta de reciclaje RCD	180,88
<b>2. Madera</b>					
X	17 02 01	Madera	Reciclado	Gestor autorizado RNP	144,70
<b>3. Metales</b>					
	17 04 01	Cobre, bronce, latón	Reciclado	Gestor autorizado RNP	0,00
X	17 04 02	Aluminio	Reciclado		0,76
	17 04 03	Plomo			0,00
	17 04 04	Zinc			0,00
X	17 04 05	Hierro y Acero	Reciclado		143,94
	17 04 06	Estaño			0,00
	17 04 06	Metales mezclados	Reciclado		0,00
X	17 04 11	Cables distintos de los especificados en el código 17 04 10	Reciclado		0,00
<b>4. Papel</b>					
X	20 01 01	Papel	Reciclado	Gestor autorizado RNP	10,85
<b>5. Plástico</b>					
X	17 02 03	Plástico	Reciclado	Gestor autorizado RNP	54,26
<b>6. Vidrio</b>					
X	17 02 02	Vidrio	Reciclado	Gestor autorizado RNP	18,09
<b>7. Yeso</b>					
	17 08 02	Materiales de construcción a partir de yeso distintos a los del código 17 08 01	Reciclado	Gestor autorizado RNP	7,24



<b>RCD: Naturaleza pétreo</b>		
<b>1. Arena Grava y otros áridos</b>		
01 04 08	Residuos de grava y rocas trituradas distintos de los mencionados en el código 01 04 07	
01 04 09	Residuos de arena y arcilla	
<b>2. Hormigón</b>		
X	17 01 01	Hormigón
<b>3. Ladrillos , azulejos y otros cerámicos</b>		
X	17 01 02	Ladrillos
X	17 01 03	Tejas y materiales cerámicos
	17 01 07	Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos distintas de las especificadas en el código 1 7 01 06.
<b>4. Piedra</b>		
	17 09 04	RDCs mezclados distintos a los de los códigos 17 09 01, 02 y 03

<b>Tratamiento</b>	<b>Destino</b>	<b>Cantidad</b>
Reciclado	Planta de reciclaje RCD	0,00
Reciclado	Planta de reciclaje RCD	0,00
Reciclado / Vertedero	Planta de reciclaje RCD	434,11
Reciclado	Planta de reciclaje RCD	683,73
Reciclado	Planta de reciclaje RCD	1269,78
Reciclado / Vertedero	Planta de reciclaje RCD	0,00
Reciclado		180,88

<b>RCD: Potencialmente peligrosos y otros</b>		
<b>1. Basuras</b>		
	20 02 01	Residuos biodegradables
	20 03 01	Mezcla de residuos municipales
<b>2. Potencialmente peligrosos y otros</b>		
	17 01 06	mezcal de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos con sustancias peligrosas (SP's)
	17 02 04	Madera, vidrio o plástico con sustancias peligrosas o contaminadas por ellas
X	17 03 01	Mezclas bituminosas que contienen alquitran de hulla
	17 03 03	Alquitran de hulla y productos alquitranados
	17 04 09	Residuos metálicos contaminados con sustancias peligrosas
	17 04 10	Cables que contienen hidrocarburos, alquitran de hulla y otras SP's
	17 06 01	Materiales de aislamiento que contienen Amianto
	17 06 03	Otros materiales de aislamiento que contienen sustancias peligrosas
	17 06 05	Materiales de construcción que contienen Amianto
	17 08 01	Materiales de construcción a partir de yeso contaminados con SP's
	17 09 01	Residuos de construcción y demolición que contienen mercurio
	17 09 02	Residuos de construcción y demolición que contienen PCB's
	17 09 03	Otros residuos de construcción y demolición que contienen SP's

<b>Tratamiento</b>	<b>Destino</b>	<b>Cantidad</b>
Reciclado / Vertedero	Planta de reciclaje RSU	0,00
Reciclado / Vertedero	Planta de reciclaje RSU	0,00
Depósito Seguridad	Gestor autorizado RPs	0,00
Tratamiento Fco-Qco		0,00
Depósito / Tratamiento		5,79
Depósito / Tratamiento		0,00
Tratamiento Fco-Qco		0,00
Tratamiento Fco-Qco		0,00
Depósito Seguridad		0,00
Depósito Seguridad		0,00
Depósito Seguridad		0,00
Tratamiento Fco-Qco		0,00
Depósito Seguridad		0,00
Depósito Seguridad		0,00
Depósito Seguridad		0,00

RCD: Potencialmente peligrosos y otros		Tratamiento	Destino	Cantidad
<b>2. Potencialmente peligrosos y otros</b>				
17 06 04	Materiales de aislamientos distintos de los 17 06 01 y 03	Reciclado	Gestor autorizado RNPs	0,00
17 05 03	Tierras y piedras que contienen SP's	Tratamiento Fco-Qco	Gestor autorizado RPs	0,00
17 05 05	Lodos de drenaje que contienen sustancias peligrosas	Tratamiento Fco-Qco		0,00
17 05 07	Balastro de vías férreas que contienen sustancias peligrosas	Depósito / Tratamiento		0,00
15 02 02	Absorbentes contaminados (trapos,...)	Depósito / Tratamiento		0,00
13 02 05	Aceites usados (minerales no clorados de motor,...)	Depósito / Tratamiento		0,00
16 01 07	Filtros de aceite	Depósito / Tratamiento		0,00
20 01 21	Tubos fluorescentes	Depósito / Tratamiento		0,00
16 06 04	Pilas alcalinas y salinas	Depósito / Tratamiento		0,00
16 06 03	Pilas botón	Depósito / Tratamiento		0,00
X 15 01 10	Envases vacíos de metal o plástico contaminado	Depósito / Tratamiento		109,98
X 08 01 11	Sobrantes de pintura o barnices	Depósito / Tratamiento		28,94
14 06 03	Sobrantes de disolventes no halogenados	Depósito / Tratamiento		0,00
07 07 01	Sobrantes de desencofrantes	Depósito / Tratamiento		0,00
15 01 11	Aerosoles vacíos	Depósito / Tratamiento		0,00
16 06 01	Baterías de plomo	Depósito / Tratamiento		0,00
13 07 03	Hidrocarburos con agua	Depósito / Tratamiento	0,00	
17 09 04	RDCs mezclados distintos códigos 17 09 01, 02 y 03	Depósito / Tratamiento	Restauración / Vertedero	0,00

Tabla 16.5 Identificación de los residuos que se van a generar durante la obra

## 7.2 ESTIMACIÓN DE RESIDUOS DURANTE EL DERRIBO

Estimación de residuos en OBRA NUEVA	
Superficie Construida total	4256,00 m <sup>2</sup>
Toneladas de residuos	3617,60 Tn

Tabla 16.6 Estimación de los residuos en la obra

RCDs Nivel I				
		Tn	d	V
Evaluación teórica del peso por tipología de RDC		Toneladas de cada tipo de RDC	Densidad tipo (entre 1,5 y 0,5)	m <sup>3</sup> Volumen de Residuos
<b>1. TIERRAS Y PÉTROS DE LA EXCAVACIÓN</b>				
Tierras y pétreos procedentes de la excavación estimados directamente desde los datos de proyecto		525,00	1,50	350,00

<b>RCDs Nivel II</b>				
	%	Tn	d	V
Evaluación teórica del peso por tipología de RDC	% de peso	Toneladas de cada tipo de RDC	Densidad tipo (entre 1,5 y 0,5)	m <sup>3</sup> Volumen de Residuos
<b>RCD: Naturaleza no pétreo</b>				
1. Asfalto	0,000	0,00	1,30	0,00
2. Madera	0,000	0,00	0,60	0,00
3. Metales	0,025	5,44	1,50	3,63
4. Papel	0,000	0,00	0,90	0,00
5. Plástico	0,015	3,26	0,90	3,63
6. Vidrio	0,005	1,09	1,50	0,73
7. Yeso	0,000	0,00	1,20	0,00
<b>TOTAL estimación</b>	<b>0,140</b>	<b>30,45</b>		<b>7,98</b>
<b>RCD: Naturaleza pétreo</b>				
1. Arena Grava y otros áridos	0,000	0,00	1,50	0,00
2. Hormigón	0,120	26,10	1,50	17,40
3. Ladrillos , azulejos y otros cerámicos	0,540	117,45	1,50	78,30
4. Piedra	0,000	0,00	1,50	0,00
<b>TOTAL estimación</b>	<b>0,750</b>	<b>163,13</b>		<b>95,70</b>
<b>RCD: Potencialmente peligrosos y otros</b>				
1. Basuras	0,000	0,00	0,90	0,00
2. Potencialmente peligrosos y otros	0,000	0,00	0,50	0,00
<b>TOTAL estimación</b>	<b>0,000</b>	<b>0,00</b>		<b>0,00</b>

Tabla 16.7 Volúmenes de residuos durante la obra

<b>6.- ESTIMACIÓN DEL COSTE DE TRATAMIENTO DE LOS RCDs (calculo sin fianza)</b>			
Tipología RCDs	Estimación (m <sup>3</sup> )	Precio gestión en Planta / Vestadero / Cantera / Gestor (€/m <sup>3</sup> )	Importe (€)
<b>RCDs Nivel I</b>			
Tierras y pétreos de la excavación	0,00	4,00	0,00
<b>RCDs Nivel II</b>			
RCDs Naturaleza Pétreo	95,70	10,00	957,00
RCDs Naturaleza no Pétreo	7,98	10,00	79,75
RCDs Potencialmente peligrosos	0,00	10,00	0,00

Tabla 16.8 Estimación del coste durante la obra

## 8. MEDIDAS PARA LA PREVENCIÓN DE LOS RESIDUOS

---

### 8.1 MEDIDAS DE CARÁCTER GENERAL

Como medida general, se deberá minimizar y reducir las cantidades de materias primas que se utilizan, así como los residuos que se originan en la obra.

Se deberá prever la cantidad de materiales que se necesitan para la ejecución de la obra, evitando un exceso de materias primas que, además de encarecer la obra, es origen de un mayor volumen de residuos sobrante durante la ejecución.

Será necesario prever el acopio de los materiales fuera de zonas de tránsito de la obra, de forma que permanezcan bien embalados y protegidos hasta el momento de su utilización, con el fin de evitar residuos precedentes de la rotura de piezas.

### 8.2 MEDIDAS EN TAREAS DE DERRIBOS

Durante las tareas de derribo, se tendrán unas medidas de prevención para reducir la generación de residuos.

En la medida de lo posible, las tareas de derribo se realizarán empleando técnicas de desconstrucción selectiva y desmontaje con el fin de favorecer la reutilización, reciclado y valorización de los residuos.

Como norma general, el derribo se iniciará con los residuos peligrosos, posteriormente los residuos destinados a reutilización, tras ellos los que se valoricen y por último los que se llevarán a vertedero.

### 8.3 MEDIDAS EN PUESTA EN OBRA

De igual manera, en el transcurso de la obra se tendrán en cuenta una serie de medidas para la minimización de la generación de residuos. Dichas medidas se mencionan a continuación:

- Se optimizará al empleo de materiales en obra evitando la sobredosificación o la ejecución con derroche de material especialmente de aquellos con mayor incidencia en la generación de los residuos.
- En la medida de lo posible se favorecerá la elaboración de productos en taller frente a los realizados en la propia obra que habitualmente generan mayor cantidad de residuos.
- Todo personal involucrado en la obra dispondrá los conocimientos mínimos de prevención de residuos y correcta gestión de residuos.
- Se primará el empleo de elementos desmontables o reutilizables frente a otros de similares prestaciones no reutilizables.
- En la puesta en obra de materiales se intentará realizar los diversos elementos a módulo de tamaño de las piezas que lo componen para evitar desperdicio de material.

## 9. OPERACIONES DE REUTILIZACIÓN, VALORACIÓN Y ELIMINACIÓN DE RESIDUOS

---

### 9.1 OPERACIONES DE REUTILIZACIÓN

- Reutilización de tierras procedentes de la excavación.
- Reutilización de residuos minerales o pétreos en áridos reciclados o en urbanización.
- Reutilización de materiales cerámicos.
- Reutilización de materiales no pétreos: madera, vidrio, etc.
- Reutilización de materiales metálicos.
- Procurar retornar los palets al suministrador.

- Reutilizar las lonas y otros materiales de protección, andamios, etc.

## 9.2 OPERACIONES DE VALORIZACIÓN O ELIMINACIÓN

Se deberá fomentar la clasificación de los residuos que se producen, de manera que sea más fácil su valorización y gestión por el gestor de residuos. Para ello es necesario disponer de un punto limpio.

La recogida selectiva de los residuos debe ir encaminada tanto a facilitar la valorización de los residuos, como a mejorar su gestión en el relleno autorizado. Así, los residuos, una vez clasificados pueden enviarse a gestores especializados en el reciclaje o deposición de cada uno de ellos.

Con el fin de realizar una gestión eficaz de los residuos se deberán conocer las mejores posibilidades para su gestión. Se tratará, por tanto, de analizar las condiciones técnicas necesarias y, antes de empezar los trabajos, se definirá un conjunto de prácticas para una buena gestión de la obra, que el personal deberá cumplir durante la ejecución de los trabajos.

Se deberá planificar la obra teniendo en cuenta las expectativas de generación de residuos y de su eventual minimización o reutilización.

Se deberá identificar, en cada una de las fases de la obra, las cantidades y características de los residuos que se originarán en el proceso de ejecución, con el fin de hacer una previsión de los métodos adecuados para su minimización o reutilización y de las mejores alternativas para su deposición.

Se deberá disponer de un directorio de los compradores de residuos, vendedores de materiales reutilizados y recicladores más próximos, que se deberá presentar a la dirección de la obra previo al inicio de la obra dentro del PGR.

- Recuperación o regeneración de disolventes.
- Reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no utilizan disolventes.
- Reciclado y recuperación de metales o compuestos metálicos.
- Reciclado o recuperación de otras materias inorgánicas.
- Regeneración de ácidos y bases.
- Tratamiento de suelos, para una mejora ecológica de los mismos.
- Acumulación de residuos para su tratamiento.
- Potenciar el reciclado de los sacos de papel y de plástico evitando que entren en contacto con otros materiales, clasificándolos convenientemente y consultando a los proveedores si ofrecen algún tipo de gestión específica.

El tratamiento de los residuos generados se lleva a cabo en los gestores autorizados por el gobierno vasco. Para este proyecto se seleccionarán los más próximos, con el fin de optimizar el impacto producido por el transporte de los mismos.

Los listados de los gestores autorizados por el gobierno vasco se encuentran en la página del mismo, en estas referencias:

- [http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/registro\\_residuos/es\\_def/adjuntos/gestores\\_rnp\\_es.pdf](http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/registro_residuos/es_def/adjuntos/gestores_rnp_es.pdf)
- [http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/residuos\\_peligrosos/es\\_def/adjuntos/instalaciones\\_gestores.pdf](http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/residuos_peligrosos/es_def/adjuntos/instalaciones_gestores.pdf)

## 10. SEPARACIÓN DE LOS RESIDUOS

Tal y como se menciona en el artículo 5 del Real Decreto 105/2008, los residuos de construcción y demolición deberán separarse en las siguientes fracciones, cuando, de forma individualizada

para cada una de dichas fracciones, la cantidad prevista de generación para el total de la obra supere las siguientes cantidades:

- Hormigón: 80 t.
- Ladrillos, tejas, cerámicos: 40 t.
- Metal: 2 t.
- Madera: 1 t.
- Vidrio: 1 t.
- Plástico: 0,5 t.
- Papel y cartón: 0,5 t.

La separación en fracciones se llevará a cabo preferentemente por el poseedor de los residuos de construcción y demolición dentro de la obra en que se produzcan.

## 11. MEDIDAS PARA LA SEPARACIÓN DE RESIDUOS.

A continuación, se describen las medidas contempladas para la separación de los residuos de obra:

- Las zonas de obras destinadas al almacenaje de residuos quedarán convenientemente señalizadas y para cada fracción se dispondrá un cartel señalización que indique el tipo de residuo que recoge.
- Todos los envases que lleven residuos deben de estar claramente identificados indicando en todo momento el nombre del residuo, código LER, nombre y dirección del poseedor y el pictograma de peligro en su caso.
- Todos los productos envasados que tengan carácter de residuo peligroso deberán estar convenientemente identificados especificando en su etiquetado el nombre del residuo, código LER, nombre y dirección del productor y el pictograma normalizado de peligro.
- Los residuos se depositarán en las zonas acondicionadas para ellos conforme se vayan generando.
- Los residuos se almacenarán en contenedores adecuados tanto en número como en volumen evitando en todo caso la sobrecarga de los contenedores por encima de sus capacidades límite.
- Los contenedores situados próximos a lugares de acceso público se protegerán fuera de los horarios de obra con lonas o similares para evitar vertidos descontrolados por parte de terceros que puedan provocar su mezcla o contaminación.
- Para aquellas obras en la que por falta de espacio no resulte técnicamente viable efectuar la separación de los residuos, esta se podrá encomendar a un gestor de residuos en una instalación de residuos de construcción y demolición externa a la obra.

## 12. VERTEDEROS AUTORIZADOS

De igual manera que en la reutilización y valoración de los residuos, el vertido de los mismos se deberá hacer en vertederos autorizados por el gobierno vasco. En caso de que sean residuos peligrosos se llevarán previamente a un tratamiento especializado.

La siguiente referencia contiene el listado de vertederos autorizados por el gobierno vasco.



- [http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/registro\\_residuos/es\\_def/adjuntos/vertederos.pdf](http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/registro_residuos/es_def/adjuntos/vertederos.pdf)

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y OBRAS PÚBLICAS

## TRABAJO FIN DE GRADO

***“PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN  
APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO  
MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA  
(BIZKAIA)”***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

***ANEJO 17- PLAN DE CONTROL DE CALIDAD***

**Alumno/Alumna:** García, Arroyo, David

**Director/Directora:** Larrauri, Gil, Marcos

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 21, junio, 2019



## ÍNDICE

---

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.	CONTROL DE RECEPCIÓN DE LOS SUMINISTROS.....	2
2.1	CONTROL DE LA DOCUMENTACIÓN DE LOS SUMINISTROS.....	2
2.2	CONTROL MEDIANTE DISTINTIVOS DE CALIDAD.....	3
2.3	CONTROL MEDIANTE ENSAYOS.....	3
2.3.1	CONTROL DE LA CALIDAD DE REPLANTEO.....	3
2.3.2	CONTROL DE CALIDAD DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	4
2.3.3	CONTROL 1DE CALIDAD DE FIRMES Y PAVIMENTOS.....	5
2.3.4	CONTROL DE CALIDAD DE LA SEÑALIZACIÓN.....	6
2.3.5	CONTROL DE CALIDAD DE LOS HORMIGONES.....	6
2.3.6	CONTROL DE CALIDAD DE LOS ACEROS.....	7
2.3.7	CONTROL DE CALIDAD DE LAS TUBERIAS.....	7
3.	CONDICIONES PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS.....	7
3.1	SUMINISTRO, IDENTIFICACIÓN Y RECEPCIÓN.....	7
3.2	TOMA DE MUESTRAS.....	7
3.3	IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	8
3.4	REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS.....	8
3.5	CONTRAENSAYOS.....	8
4.	INFORMES DE RESULTADOS E INFORMES MENSUALES Y FINAL.....	9
4.1	INFORMES DE RESULTADOS.....	9
4.2	INFORMES MENUSALES.....	9
4.3	INFORME FINAL.....	9

## 1. INTRODUCCIÓN

El objeto del presente Plan de Control de Calidad es dar cumplimiento a lo establecido en el RD 314/2006, de 17 de marzo por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

Antes del comienzo de la obra el Director de la Ejecución de la Obra realizará la planificación del control de calidad correspondiente a la obra objeto del presente proyecto, atendiendo a las características del mismo, a lo estipulado en el Pliego de Condiciones de éste, y a las indicaciones del Director de Obra, además de a las especificaciones de la normativa de aplicación vigente. Todo ello contemplando los siguientes aspectos:

- a. El control de recepción de productos, equipos y sistemas
- b. El control de la ejecución de la obra
- c. El control de la obra terminada

Para ello:

- El Director de la Ejecución de la Obra recopilará la documentación del control realizado, verificando que es conforme con lo establecido en el proyecto, sus anejos y modificaciones.
- El Constructor recabará de los suministradores de productos y facilitará al Director de Obra y al Director de la Ejecución de la Obra la documentación de los productos anteriormente señalada, así como sus instrucciones de uso y mantenimiento, y las garantías correspondientes cuando proceda; y
- La documentación de calidad preparada por el Constructor sobre cada una de las unidades de obra podrá servir, si así lo autorizara el Director de la Ejecución de la Obra, como parte del control de calidad de la obra.

Una vez finalizada la obra, la documentación del seguimiento del control será depositada por el Director de la Ejecución de la Obra en el Colegio Profesional correspondiente o, en su caso, en la Administración Pública competente, que asegure su tutela y se comprometa a emitir certificaciones de su contenido a quienes acrediten un interés legítimo.

## 2. CONTROL DE RECEPCIÓN DE LOS SUMINISTROS

El control de recepción tiene por objeto comprobar las características técnicas mínimas a cumplir por los productos, equipos y sistemas que se incorporen de forma permanente en el proyecto, así como sus condiciones de suministro, las garantías de calidad y el control de recepción.

Durante la construcción de las obras el director de la ejecución de la obra realizará los siguientes controles:

### 2.1 CONTROL DE LA DOCUMENTACIÓN DE LOS SUMINISTROS

Los suministradores entregarán al constructor, quien los facilitará al director de la ejecución de la obra, los documentos de identificación del producto exigidos por la normativa de obligado cumplimiento y, en su caso, por el proyecto o por la dirección facultativa. Esta documentación comprenderá, al menos, los siguientes documentos:

1. Los documentos de origen, hoja de suministro y etiquetado.
2. El certificado de garantía del fabricante, firmado por persona física.

3. Los documentos de conformidad o autorizaciones administrativas exigidas reglamentariamente, incluida la documentación correspondiente al marcado CE de los productos de construcción, cuando sea pertinente, de acuerdo con las disposiciones que sean transposición de las Directivas Europeas que afecten a los productos suministrados.

## 2.2 CONTROL MEDIANTE DISTINTIVOS DE CALIDAD

El suministrador proporcionará la documentación precisa sobre:

Los distintivos de calidad que ostenten los productos, equipos o sistemas suministrados, que aseguren las características técnicas de los mismos exigidas en el proyecto y documentará, en su caso, el reconocimiento oficial del distintivo de acuerdo con lo establecido en el artículo 5.2.3 del capítulo 2 del CTE.

Las evaluaciones técnicas de idoneidad para el uso previsto de productos, equipos y sistemas innovadores, de acuerdo con lo establecido en el artículo 5.2.5 del capítulo 2 del CTE, y la constancia del mantenimiento de sus características técnicas.

El director de la ejecución de la obra verificará que esta documentación es suficiente para la aceptación de los productos, equipos y sistemas amparados por ella.

## 2.3 CONTROL MEDIANTE ENSAYOS

Para verificar el cumplimiento de las exigencias básicas del CTE puede ser necesario, en determinados casos, realizar ensayos y pruebas sobre algunos productos, según lo establecido en la reglamentación vigente, o bien según lo especificado en el proyecto u ordenados por la dirección facultativa.

La realización de este control se efectuará de acuerdo con los criterios establecidos en el proyecto o indicados por la dirección facultativa sobre el muestreo del producto, los ensayos a realizar, los criterios de aceptación y rechazo y las acciones a adoptar.

### 2.3.1 CONTROL DE LA CALIDAD DE REPLANTEO

El control de replanteo de las obras se realizará antes de la firma del Acta de Replanteo.

Durante dicho control se deberán comprobar como mínimo los siguientes puntos de carácter general:

- Disponibilidad de los terrenos de la zona, prestando especial interés a límites y franjas exteriores de terrenos afectados.
- Comprobación de las conexiones con la vialidad existente (posibles cambios de rasante en la conexión).
- Comprobación en planta de las dimensiones.
- Comprobación de las rasantes.
- Comprobación de la posible existencia de servicios afectados que puedan comprometer la ejecución de las obras y que no se hayan tenido en cuenta en la realización del proyecto.
- Comprobación de los puntos de desagüe del sistema de drenaje.
- Compatibilidad con los sistemas generales.
- Señalización de elementos existentes a conservar.

### 2.3.2 CONTROL DE CALIDAD DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS

#### EXCAVACIONES

Tanto para la excavación en desmonte como para la excavación en zanja, se llevará a cabo el control geométrico de la excavación, cuidando que quede saneado el fondo de la misma. El fondo de la excavación quedará refinado y compactado.

#### RELLENOS

##### RELLENOS DE TIERRAS PROPIAS

Las tierras propias provendrán de las excavaciones realizadas para el mejor encaje del campo de fútbol sala.

En caso de que se considere necesario, se empleará este tipo de relleno como suelo para la nivelación de la explanada, estudiando previamente su calidad. Se realizarán los siguientes ensayos con las frecuencias que se muestran a continuación:

Frecuencia	Ensayo
1.000 m <sup>3</sup>	Proctor modificado
5.000 m <sup>3</sup>	Granulometría
5.000 m <sup>3</sup>	Límites de Atterberg
1.000 m <sup>3</sup>	Equivalente de Arena
10.000 m <sup>3</sup>	Materia orgánica
10.000 m <sup>2</sup>	CBR
1.000 m <sup>3</sup>	Densidad "in situ"

Tabla 17.1 Frecuencias de ensayos de rellenos de tierras propias

##### RELLENOS DE SUELO SELECCIONADO

Los suelos seleccionados se utilizarán para la formación el paquete del firme aparcamiento y de sus aceras. También se utilizará este suelo para la construcción del pavimento del campo de fútbol y para rellenar las zanjas que se efectúen en la obra. En la tabla que se muestran a continuación se establecen las cantidades con las que se deben hacer los ensayos:

Frecuencia	Ensayo
1.000 m <sup>3</sup>	Proctor modificado
5.000 m <sup>3</sup>	Granulometría
5.000 m <sup>3</sup>	Límites de Atterberg
5.000 m <sup>3</sup>	Desgaste Los Ángeles
5.000 m <sup>3</sup>	Caras de fractura
10.000 m <sup>3</sup>	Materia orgánica
10.000 m <sup>3</sup>	CBR
1.000 m <sup>2</sup>	Densidad "in situ"

Tabla 17.2 Frecuencias de ensayos de rellenos de suelo seleccionado

### 2.3.3 CONTROL DE CALIDAD DE FIRMES Y PAVIMENTOS

Las partidas que componen este apartado son las relacionadas con el aparcamiento, es decir, son la base de zahorra artificial, riegos de adherencia e imprimación, capa de rodadura, bordillos, cunetas, bordillo prefabricado de hormigón y baldosas de hormigón.

Sobre cada uno de estos componentes se realizarán los siguientes ensayos con la frecuencia indicada

#### ZAHORRA ARTIFICIAL

Frecuencia	Ensayo
1.000 m <sup>3</sup>	Proctor modificado
1.000 m <sup>3</sup>	Granulometría
1.000 m <sup>3</sup>	Límites de Atterberg
2 cada 1.000 m <sup>3</sup>	Equivalente de Arena
5.000 m <sup>3</sup>	CBR
5.000 m <sup>3</sup>	Caras de fractura
6 cada 3.000 m <sup>2</sup> o 250 ml	Densidad "in situ"

Tabla 17.3 Frecuencias de ensayo de zahorra artificial

#### CAPA DE RODADURA

Frecuencia	Ensayo
500 Tn	Contenido en ligante
500 Tn	Granulometría
500 Tn	Marshall (completo)
125 Tn	Compactación

Tabla 17.4 Frecuencias de ensayo de capa de rodadura

#### RIEGOS

Frecuencia	Ensayo
2.500 m	Contenido en ligante
2.500 m	Granulometría
5.000 m	Marshall (completo)
1.500 m	Compactación

Tabla 17.5 Frecuencia de ensayo de riegos

#### CUNETAS DE HORMIGÓN

Frecuencia	Ensayo
2.500 m	Absorción
2.500 m	Resistencia a flexión
1.500 m	Resistencia a compresión
1.500 m	Rozamiento

Tabla 17.6 Frecuencia de ensayo de cunetas de hormigón

*BALDOSAS DE HORMIGÓN*

Frecuencia	Ensayo
5.000 m	Absorción
5.000 m	Helicidad
5.000 m	Resistencia al desgaste

Tabla 17.7 Frecuencia de ensayo de baldosas de hormigón

2.3.4 CONTROL DE CALIDAD DE LA SEÑALIZACIÓN

Para la señalización que componen las marcas viales longitudinales y transversales del aparcamiento se realizará un control mediante los ensayos que se muestran a continuación:

Frecuencia	Ensayo
1 ud	Cons. Kerbbs
1 ud	Tiempo de secado
1 ud	% defectos
1 ud	Indice de refracción
1 ud	Resistencia agentes
1 ud	Granulometría
1 ud	Muestreo y dosificación

Tabla 17.8 Frecuencia de ensayo en señalización

2.3.5 CONTROL DE CALIDAD DE LOS HORMIGONES

Las partidas de hormigón objeto de control serán las preceptivas de la Instrucción de Hormigón estructural (EHE). En el proyecto se utilizan hormigones armados y hormigones en masa.

En los hormigones armados se realizará el ensayo de consistencia del hormigón y además se seguirán como mínimo las disposiciones indicadas en el artículo 88.4 de la vigente “Instrucción del hormigón Estructural”, correspondiente al control estadístico del hormigón.

Una vez realizados los ensayos, para la lectura de los resultados se dispondrá de las indicaciones del art. 88.5 de la EHE “Decisiones derivadas del control de resistencia”.

Para el hormigón en masa se llevarán a cabo los pertinentes ensayos de consistencia (ensayo de cono de Abrams) con la frecuencia que se indique por la Dirección de Obra.

Una determinación de resistencia o serie de probetas, comprende el siguiente conjunto de operaciones:

1. Desplazamiento del equipo de laboratorio a obra.
2. Toma de muestras de hormigón fresco.
3. Determinación de la consistencia, mediante el ensayo de asiento en el Cono de Abrams.
4. Enmoldado de una serie de tres probetas prismáticas de 10x10x40 para flexotración o de cinco cilíndricas de 15 x 30 para rotura a compresión.
5. Recogida de la serie de probetas para su transporte a la cámara húmeda del laboratorio, pasadas 24 horas de su fabricación.

6. Desmoldeo, marcado, curado en la cámara húmeda y rotura a flexotracción y/o compresión de la serie de probetas.
7. Envío de los resultados al Solicitante y Dirección Facultativa.

### 2.3.6 CONTROL DE CALIDAD DE LOS ACEROS

Para el acero de los perfiles utilizados en el proyecto emplea acero B-500 S. Para los ensayos del acero se seguirá lo dispuesto en la “Instrucción de Hormigón Estructural” (EHE).

El nivel de control especificado será control a nivel normal. Puesto que en ninguna de las series se supera el límite de 40 tn por lote, únicamente se considerarán 1 lote.

Así, se tomarán dos probetas por lote y se comprobará:

- Sección equivalente
- Características geométricas
- Doblado-desdoblado

Además, a lo largo de la obra, se determinará en una ocasión el límite elástico, carga de rotura y alargamiento en una probeta del lote.

### 2.3.7 CONTROL DE CALIDAD DE LAS TUBERIAS

#### TUBERIAS DE PVC

Para las instalaciones de la red de evacuación de aguas pluviales y residuales se han empezado tuberías de PVC. En dichas tuberías se han hecho una serie de ensayos con las frecuencias que se muestran a continuación

## 3. CONDICIONES PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS

### 3.1 SUMINISTRO, IDENTIFICACIÓN Y RECEPCIÓN

El suministro, la identificación, el control de recepción de los materiales y los ensayos se realizarán de acuerdo con la normativa explicitada en las disposiciones de carácter obligatorio. Cuando un material no disponga de normativa obligatoria, dichos aspectos se realizarán de acuerdo con las normas UNE o NTE o según las instrucciones que indique la Dirección Facultativa.

Todos los materiales llegarán a obras identificadas y en perfectas condiciones para su empleo. Para ello, serán transportados de manera adecuada y las operaciones de carga y descarga se efectuarán de forma que no produzcan deterioro en los materiales.

### 3.2 TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestras será para todos los materiales cuya recepción mediante ensayos se establezca en la programación del control y en aquellos que considere la Dirección Facultativa.

El procedimiento de muestreo se realizará de acuerdo con la normativa de cada producto y en cantidad suficiente para la realización de los ensayos y contraensayos.

Para ello, por cada partida de material o lote se tomarán tres muestras iguales: una se remitirá al laboratorio para la realización de los ensayos y las otras dos se conservarán en obra para la realización de los contraensayos en caso de que fuera necesario. Estas muestras se conservarán en obra durante al menos 100 días si se trata de materiales perecederos (conglomerantes), o hasta la recepción definitiva de las unidades constructivas realizadas con cada uno de los

materiales. En el caso de no tener que realizar ensayos de control, bastará con tomar estas dos últimas muestras.

Todas las muestras se conservarán de manera que no se alteren las propiedades de los materiales. Estos materiales deberán estar bajo cubierta, protegidas de la humedad del suelo, al abrigo de la intemperie y lo más aisladas posible de cualquier maltrato. El constructor deberá aportar los medios adecuados que garanticen la conservación en los términos indicados y se encargará de su custodia.

Cabe a destacar que en los materiales que necesiten un certificado de calidad como bien pueden ser homologaciones por parte del MICT o marcas de calidad (AENOR, AITIM, CIESTSID, etc.) el constructor deberá entregar la documentación de dichos materiales a la Dirección Facultativa para poder corroborar los resultados.

### 3.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras deberán estar identificadas cumpliendo los siguientes apartados:

- Denominación del producto.
- Nombre del fabricante o marca comercial.
- Fecha de llegada a obra.
- Denominación de la partida o lote que corresponde la muestra.
- Nombre de la obra.
- Número de unidades o cantidad, en masa o volumen que constituye la muestra.
- Sello, tiene homologación o le acompaña algún certificado de ensayos, en caso de que lo precise

### 3.4 REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

Todos los ensayos a realizar para determinar la calidad de los materiales se deberán realizar por un laboratorio acreditado basándose en el Real Decreto 1230/1989 de 13 Octubre. Cabe a destacar ciertos ensayos, podrán ser realizados por la Dirección Facultativa.

El número de ensayos por cada material o pruebas de servicio serán las que se indican en la programación de control y como mínimo los prescritos como obligatorios por el LC/91. Sin embargo, el constructor podrá aumentar el número de ensayos previstos.

### 3.5 CONTRAENSAYOS

En caso que durante el proceso de control se obtuvieran resultados no válidos que implicasen el rechazo de la partida o lote, el constructor tendrá derecho a realizar contraensayos por medio de las muestras conservadas en obra.

El contra ensayo consiste en enviar las dos muestras a dos laboratorios distintos del contratado por el promotor, aceptados por la Dirección Facultativa. Si uno de los dos resultados fuera insatisfactorio, el material se rechazará. Si los dos fueran satisfactorios se aceptará la partida.



## 4. INFORMES DE RESULTADOS E INFORMES MENSUALES Y FINAL

---

### 4.1 INFORMES DE RESULTADOS

El Laboratorio encargado de realizar los ensayos a cada uno de los materiales citados en este Plan de Control, emitirá un acta de resultados con los datos obtenidos en ellos, conteniendo la siguiente información:

- Nombre y dirección del Laboratorio de Ensayos.
- Nombre y dirección del Cliente.
- Identificación de la obra o precisión de a quién corresponde el material analizado con su número de expediente.
- Definición del material ensayado.
- Fecha de recepción de la muestra, fecha de realización de los ensayos y fecha de emisión del Informe de Ensayo.
- Identificación de la especificación o método de ensayo.
- Identificación de cualquier método de ensayo no normalizado que se haya utilizado.
- Cualquier desviación de lo especificado para el ensayo.
- Descripción del método de muestreo si así es especificado por la normativa vigente o por el Peticionario.
- Identificación de si la muestra para el ensayo se ha recogido en obra o ha sido entregada en el Laboratorio
- Indicación de las incertidumbres de los resultados, en los casos que se den.
- Firma del Jefe de Área correspondiente, constatando titulación y visto bueno del Director del Laboratorio.

### 4.2 INFORMES MENSUALES

A final de cada mes, durante el transcurso la Obra, el Laboratorio emitirá un informe resumen de los trabajos realizados en ese período que contendrá la siguiente información:

- Resumen de los ensayos realizados en obra durante ese mes.
- Interpretación de los resultados en cuanto a su cumplimiento con las especificaciones de la Normativa actual o con el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto.
- Cuantas observaciones se pudieran derivar del cumplimiento del Plan de Control u otras que se crean oportunos sobre el desarrollo del Control de Calidad.

### 4.3 INFORME FINAL

Al finalizar la ejecución de la Obra, se emitirá por parte del Laboratorio un informe resumen conteniendo la misma información que los anteriores, pero ya de una forma global en cuanto al cumplimiento y seguimiento del Plan de Control.

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y OBRAS PÚBLICAS

## TRABAJO FIN DE GRADO

***“PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN  
APARCAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LAS  
INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL INSTITUTO  
MUNICIPAL DE DEPORTES DE ERMUA  
(BIZKAIA)”***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

***ANEJO 18- PLAN DE OBRA***

**Alumno/Alumna:** García, Arroyo, David

**Director/Directora:** Larrauri, Gil, Marcos

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** Bilbao, 21, junio, 2019

## ÍNDICE

---

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. ACTIVIDADES.....	2
3. COMIENZO DE LAS OBRAS .....	4
4. EJECUCIÓN DE LAS OBRAS .....	4
5. DIAGRAMA DE GANTT .....	5

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del plan de obra es definir de manera orientativa los principales trabajos a realizar en un tiempo real. Dicho plan se realizará de manera que se consigan los siguientes objetivos:

- Garantizar la viabilidad del plan de obra desde un punto de vista técnico.
- Adelantar, dentro de lo posible, la ejecución de las tareas de mayor dificultad, con el fin de evitar retrasos en la finalización de las obras por posibles imprevistos.
- Lograr la utilización óptima de los recursos de mano de obra, maquinaria y materiales evitando en lo posible puntos de trabajo con el objetivo de lograr una alta rentabilidad económica.

Para ver esta planificación de manera más gráfica se realizará un diagrama de Gantt. En dicho diagrama se deducirán cuáles son las actividades más críticas, a los cuales se deberá de dedicar una mayor atención durante la ejecución de los trabajos para evitar que se originen retrasos en otras tareas.

## 2. ACTIVIDADES

Para llevar a cabo este análisis, se han dividido los trabajos en 10 actividades cuya duración determinará el proceso total de la ejecución de la obra.

Algunas de estas actividades, se realizarán de manera simultánea para conseguir acortar plazos de ejecución y aumentar la rentabilidad de la obra. Sin embargo, hay otras tareas que son críticas, es decir, que es necesario que estas terminen para poder comenzar con otras.

Cabe a destacar que se ha decidido realizar el parking de manera independiente a los demás elementos del proyecto, y una vez terminadas estas, ya que el parking servirá tanto a las instalaciones deportivas como a cualquiera que precise usarlo.

A continuación, se resumen cada una de las actividades en las que se ha clasificado la realización de la obra:

- 1. Desbroce y nivelación del terreno:** Se extraerá la tierra vegetal y se eliminarán las irregularidades del terreno de manera que quedará nivelado.
- 2. Replanteo general:** Se identificarán en el terreno los puntos de referencia que se encuentran en las zonas más significativas de la obra. Dichos puntos se están representados en el plano de replanteo.
- 3. Derribo de los vestuarios en mal estado:** Consiste en derribar los vestuarios antiguos existentes debido a su mal estado. Dichos materiales de derribo, se gestionarán y se llevarán a vertederos autorizados.
- 4. Movimiento de tierras:** Se extrae el terreno necesario para la posterior implantación de la estructura del campo de fútbol sala, para la formación de zanjas para las instalaciones y para las cimentaciones y muros.
- 5. Vestuarios:** En esta tarea se llevarán a cabo unas subtareas correspondientes a la construcción de los vestuarios. Dichas subtareas son las siguientes:
  - 5.1 Implantación de colectores de saneamiento:** Los colectores destinados a la evacuación de aguas, que van ubicados por debajo de la superficie del terreno deben de ser instalados antes de realizar la estructura de los vestuarios.
  - 5.2 Cimentación:** Consiste en la construcción de las cimentaciones de la estructura de los vestuarios.
  - 5.3 Estructura metálica:** Construcción de la estructura metálica con los perfiles laminados en caliente que se indican en el anejo de "Estructuras metálicas".

- 5.4 **Cubierta:** Implantación del panel sándwich sobre las correas de la estructura metálica de los vestuarios para formar la cubierta
- 5.5 **Cerramientos y particiones:** Construcción de los cerramientos exteriores de los vestuarios.
- 5.6 **Red de evacuación de aguas:** Consiste en la instalación de los distintos elementos que conforman la red de evacuación de aguas, como colectores, bajantes, registros de limpieza, etc.
- 5.7 **Instalación de abastecimiento de agua:** Trata de la colocación de los conductos y aparatos sanitarios que forman la red de abastecimiento de agua.
- 5.8 **Instalación eléctrica e iluminación:** Instalación de todos los elementos eléctricos (cables, tomas de corriente, etc.) así como de las luminarias utilizadas.
- 5.9 **Instalación de climatización:** Consiste en la implantación de las conducciones de agua, radiadores, etc. que forman parte de esta instalación.
6. **Campo de fútbol sala:** En esta tarea se llevarán a cabo unas subtareas correspondientes a la construcción de los vestuarios. Dichas subtareas son las siguientes:
  - 6.1 **Implantación de colectores de saneamiento:** Los colectores destinados a la evacuación de aguas, que van ubicados por debajo de la superficie del terreno deben de ser instalados antes de realizar la estructura del campo de fútbol sala.
  - 6.2 **Cimentación:** Consiste en la construcción de las cimentaciones de la estructura del campo de fútbol sala.
  - 6.3 **Estructura metálica:** Construcción de la estructura metálica con los perfiles laminados en caliente que se indican en el anejo de "Estructuras metálicas"
  - 6.4 **Cubierta:** Implantación del panel sándwich sobre las correas de la estructura metálica del recinto deportivo para formar la cubierta.
  - 6.5 **Cerramiento y particiones:** Construcción de los muros de hormigón exteriores del campo de fútbol sala.
  - 6.6 **Red de evacuación de agua:** Consiste en la instalación de los distintos elementos que conforman la red de evacuación de aguas, como colectores, bajantes, registros de limpieza, etc.
  - 6.7 **Instalación eléctrica e iluminación:** Instalación de todos los elementos eléctricos (cables, tomas de corriente, etc.) así como de las luminarias utilizadas.
7. **Rampa:** En esta tarea se llevarán a cabo dos subtareas correspondientes a la construcción de la rampa de acceso para minusválidos. Dichas subtareas son las siguientes:
  - 7.1 **Cimentación:** Consiste en la construcción de las cimentaciones de la estructura de la rampa para minusválidos
  - 7.2 **Estructura metálica:** Construcción de la estructura metálica con los perfiles laminados en caliente que se indican en el anejo de "Estructuras metálicas"
8. **Aparcamiento:** En esta tarea se dividen las actividades en unas subtareas que se especifican a continuación:
  - 8.1 **Red de evacuación de aguas pluviales:** Consiste en la instalación de los distintos elementos que conforman la red de evacuación de aguas, como cunetas, sumideros, etc.
  - 8.2 **Instalación eléctrica e iluminación:** Instalación de todos los elementos eléctricos (cables, tomas de corriente, etc.) así como de las luminarias utilizadas.
  - 8.3 **Aceras:** Consiste en la ejecución de las aceras adecuándolas a las cunetas existentes.
  - 8.4 **Pavimentación:** Consiste en la extensión de capas que va a llevar el paquete de firmes del aparcamiento.
9. **Acabados generales de la obra:** En esta actividad se incluyen los acabados como instalación de puertas y ventanas, colocación de mobiliario urbano y repaso de los cavados de obra.
10. **Limpieza de obra:** Trata de realizar la limpieza final de la obra, dejando la misma en condiciones para su uso.

### 3. COMIENZO DE LAS OBRAS

Para determinar la fecha para el comienzo de las obras se ha tenido en cuenta los trámites administrativos que hay que realizar antes de las mismas, como, por ejemplo, la obtención de las licencias correspondientes. Por ello, se ha optado por comenzar tres meses después de la redacción del presente proyecto.

De esta manera, el comienzo de las obras tendrá lugar el día 30 de septiembre de 2019, comenzando las mismas en lunes.

### 4. EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

Tras la ejecución de las obras se ha previsto que su finalización sea el día 30 de septiembre de 2020, por lo que la obra tendrá una duración aproximada de 12 meses.

A continuación, se adjunta una tabla en la que se muestran las duraciones de cada una de las actividades a realizar en el transcurso de las obras además de la fecha de inicio y final de cada una de ellas.

Nombre de tarea	Comienzo	Fin	Duración
	<b>lun 30/09/19</b>	<b>mié 30/09/20</b>	<b>263 días</b>
<b>1. Desbroce y nivelación del terreno</b>	lun 30/09/19	lun 18/11/19	<b>36 días</b>
<b>2. Replanteo general</b>	mar 19/11/19	mié 20/11/19	<b>2 días</b>
<b>3. Derribo de vestuarios en mal estado</b>	jue 21/11/19	mié 04/12/19	<b>10 días</b>
<b>4. Movimiento de tierras</b>	jue 05/12/19	jue 23/01/20	<b>36 días</b>
<b>7. Vestuarios</b>	<b>vie 24/01/20</b>	<b>mar 09/06/20</b>	<b>98 días</b>
Implantación de colectores de saneamiento	vie 24/01/20	mié 29/01/20	4 días
Cimentación	jue 30/01/20	mié 04/03/20	25 días
Estructura metálica	jue 05/03/20	mié 01/04/20	20 días
Cubierta	jue 02/04/20	vie 10/04/20	7 días
Cerramientos y particiones	lun 13/04/20	vie 01/05/20	15 días
Abastecimiento y evacuación de aguas	lun 04/05/20	mar 12/05/20	7 días
Electricidad e iluminación	mié 13/05/20	lun 01/06/20	14 días
Climatización	mar 02/06/20	mar 09/06/20	6 días
<b>8. Campo de fútbol sala</b>	<b>vie 24/01/20</b>	<b>lun 01/06/20</b>	<b>92 días</b>
Implantación de colectores de saneamiento	vie 24/01/20	mié 29/01/20	4 días
Cimentación	jue 30/01/20	lun 09/03/20	28 días
Estructura metálica	mar 10/03/20	lun 13/04/20	25 días
Cubierta	mar 14/04/20	lun 27/04/20	10 días
Cerramientos y particiones	mar 28/04/20	lun 11/05/20	10 días
Evacuación de aguas	mar 12/05/20	lun 18/05/20	5 días
Electricidad e iluminación	mar 19/05/20	lun 01/06/20	10 días
<b>9. Rampa</b>	mar 10/03/20	mar 28/04/20	<b>36 días</b>
Cimentación	mar 10/03/20	lun 06/04/20	20 días
Estructura metálica	mar 07/04/20	mar 28/04/20	16 días
<b>10. Aparcamiento</b>	<b>mié 10/06/20</b>	<b>mar 01/09/20</b>	<b>60 días</b>
Pluviales	mié 10/06/20	jue 18/06/20	7 días
Electricidad e iluminación	vie 19/06/20	mié 08/07/20	14 días
Aceras	jue 09/07/20	vie 31/07/20	17 días
Pavimentación	lun 03/08/20	mar 01/09/20	22 días
<b>11. Acabados generales</b>	mié 02/09/20	vie 25/09/20	<b>18 días</b>
<b>12. Limpieza de la obra</b>	lun 28/09/20	mié 30/09/20	<b>3 días</b>



Nombre de tarea	Comienzo	Fin	Duración
<b>13. Seguridad y salud</b>	lun 30/09/19	mié 30/09/20	<b>263 días</b>
<b>14. Calidad</b>	lun 30/09/19	mié 30/09/20	<b>263 días</b>

Tabla 18.1 Resumen del plan de obra

## 5. DIAGRAMA DE GANTT

Un diagrama de Gantt es una herramienta que sirve para proporcionar una vista general de las tareas programadas de manera gráfica. De esta manera se sabrán que tareas deben de completarse y en qué orden. Además, se podrá saber en qué periodo de tiempo se deben realizar y en qué fecha. En el eje de abscisas se muestra la duración de las tareas y en el eje de ordenadas se indican las tareas a realizar.

A continuación, se adjunta el diagrama de Gantt del presente proyecto para ver de manera esquematizada la organización de cada una de las tareas y cuales se pueden hacer al mismo y cuales necesitan que acabe un trabajo para empezar. Cabe a destacar que se ha optado comenzar al mismo tiempo a realizar todas las estructuras y para reducir el tiempo de ejecución.