

EL ENTRAMADO PESADO EN MADERA. SISTEMA ESTRUCTURAL Y DISEÑO PARA OBRA NUEVA EN USOS MIXTOS-TERCIARIO, EN ALTURA.



Titulo

EL ENTRAMADO PESADO EN MADERA. SISTEMA ESTRUCTURAL Y DISEÑO PARA OBRA NUEVA EN USOS MIXTOS-TERCIARIO, EN ALTURA.

Autor

David Quintana Justel

Tutor

Francisco González Quintial

Tipología de trabajo

Ejercicio de investigación

Tema propuesto:

Diseño de un forjado prefabricado de hormigón-madera.

Resumen

El trabajo consiste en el diseño y comprobación de la viabilidad de las estructuras de madera en la edificación de un edificio de uso mixto-terciario de baja y media altura. El diseño está desarrollado en un sistema estructural de madera de entramado pesado y un forjado prefabricado de hormigón- madera. El diseño es sometido a una repetición de elementos prefabricados que permita su optimización de cara a una industrialización más sencilla, y por lo tanto, un ahorro de tiempos en obra. Mediante las herramientas empleadas se han obtenido resultados con mucho potencial para un uso de cara los proyectos de edificación, en un mercado donde las soluciones pesen a ser muy extensas el empleo masivo deja relucir las carencias de cada uno de esos sistemas y productos derivados de la madera. Por eso surge la oportunidad de plantear sistemas híbridos para la construcción de estructuras con madera.

Palabras Clave: Madera, Forjado Mixto, Industrialización, Optimización, Sistemas Híbridos



Índice del Trabajo de Fin de Master:

Tema	4	Propuesta del forjado	43
Contexto.....	4	Forjado Hormigón Madera. 7 +3.5 m.....	43
Propuesta de la Idea	5	Modelado.....	47
Objetivos.....	6	Cálculo.....	48
Análisis de Trabajos Previos.....	7	Diagramas de modelo completo.....	49
Estructura portante planteada en TFM Habilitante.....	7	Modelado de Estructura externa de fachada	50
Conclusión de sistema Estructural de TFM habilitante.....	10	Edificio Industrial.....	52
Forjado Losa Hormigón – Madera. TFM Habilitante	12	Diseño de Sistema Constructivo.....	53
Conclusiones tras el cálculo con el programa.....	13	Modelado de modelo simplificado de cálculo final.....	56
Ventajas del forjado de Hormigon-Madera Insitu.....	13	Calculo de modelo simplificado de cálculo final.....	57
Desventajas del forjado de Hormigon-Madera Insitu.....	13	ELU.....	58
Conclusiones de análisis de trabajos previos.....	13	ELS.....	59
Investigación.....	14	Comprobaciones Timber Pro.....	60
Sistemas Hormigon-Madera.....	14	Diseño y cálculo de uniones.....	61
Sistemas Hormigon-Madera.....	15	Johansen.....	61
Sistemas prefabricados.....	16	Rediseño de estructura. BIM-Madera	62
Otros casos.....	17	Conclusiones Finales de Trabajo de Fin de Master.....	64
Ventajas de los casos estudiados.....	17	Referencias y Bibliografía	65
Desventajas de los casos estudiados.....	17		
Conclusiones de investigación previa.....	17		
Caso de estudio. Edificio Industrial.....	18		
Descripción.....	18		
Esquema Estructural. Estructura Global.....	19		
Montaje y funcionamiento estructural.....	20		
Acciones para calculo.....	21		
Diseño de Losa de Hormigón-Madera prefabricada.....	21		
Propuestas de Losa.....	22		
Propuesta Final de Losa	23		
Modelo estructural de Forjado Hormigón-Madera	24		
Modelado de Viga Mixta.....	24		
Análisis del elemento constructivo.....	25		
Modelo estructural de Forjado Hormigón-Madera	31		
Modelado de Forjado.....	31		
Análisis del Propuestas de forjados	32		
Forjado Hormigón Madera. 7m con viguetas inter.....	33		



Tema

El tema del trabajo sobre el que se va a desarrollar el TFM consiste en el diseño, cálculo y comprobación de la viabilidad de un sistema o solución estructural basada en las estructuras de madera de entramado pesado para uso terciario.

Contexto.

Hoy en día los polígonos industriales y parques tecnológicos, construidos desde los años 50 dada la productividad y empleos son gran parte del colchón económico para muchas ciudades. El crecimiento gradual de las ciudades ha conllevado que muchos de estos tejidos industriales se hayan quedado insertos dentro del tejido urbano. Estos polígonos en su mayoría ocupados por pequeñas y medianas empresas (PYMES) que no pueden permitirse el traslado a otros nuevos parques tecnológicos fuera de la ciudad. Por esta razón nos encontramos en la situación de tener que conservar un parque edificatorio bastante extenso dentro o junto a los tejidos urbanos.

La tradicional construcción de naves extensas de una altura y materiales prefabricados ha dado como resultado tejidos urbanos industriales sin ninguna calidad de vida diurna y sin una posibilidad de actuación urbana sostenible debido al coste de traslado de las empresas y derribos de estos edificios en pésimas condiciones.

Sin embargo, actualmente cada vez se están rehabilitando más pabellones industriales dándoles un nuevo uso. Desde la introducción de oficinas, a locales de ensayo (para grupos musicales), centros comerciales, ocio, etc.

Por otro lado, la solución arquitectónica y la materialidad de estas naves limitan las nuevas actuaciones. Ya que los nuevos usos requieren de refuerzos estructurales, aislamiento y protección de fachada, detección y saneamiento de las patologías.

Por esta razón se detecta la oportunidad de construir con madera en edificios de uso industrial o terciario. Estrategia que al igual muchas empresas ya reconocidas ya han comenzado a realizar no solo como con criterio de sostenibilidad, si no como estrategia de imagen para clientes mejora del confort de trabajadores. Estos proyectos, desde los de gran envergadura partiendo desde el nuevo barrio urbano industrial de Woven TOYOTA a proyectos más pequeños como las oficinas de FINSA, suelen consistir en la nueva construcción de edificios industriales y laboratorios con estructura, fachada y acabados de madera.



Imagen: Polígono industrial Gamarra-Betoño, Vitoria-Gasteiz.



Imagen: Polígono industrial Ferreros, Oviedo.



Imagen: Toyota Woven City, Susono. BIG



Imagen: Eco Park, Stroud. Zaha Hadid Architects.



Imagen: Toyota Woven City, Susono. BIG.



Imagen: Oficinas Finsa, Santiago de Compostela.

Conclusión.

Teniendo todo lo anteriormente expuesto en cuenta, se plantean **múltiples** posibilidades de construir con diversas **tipologías estructurales en madera** para la resolución de **edificios en altura** para el **uso Mixto-Terciario** en los polígonos industriales. Coincidiendo de esta manera con los criterios generales de redensificación de las ciudades en altura y una menor ocupación de suelo. Dando la posibilidad de mayores espacios verdes y ocio con lo que mejorará la calidad de vida de los ciudadanos y trabajadores.

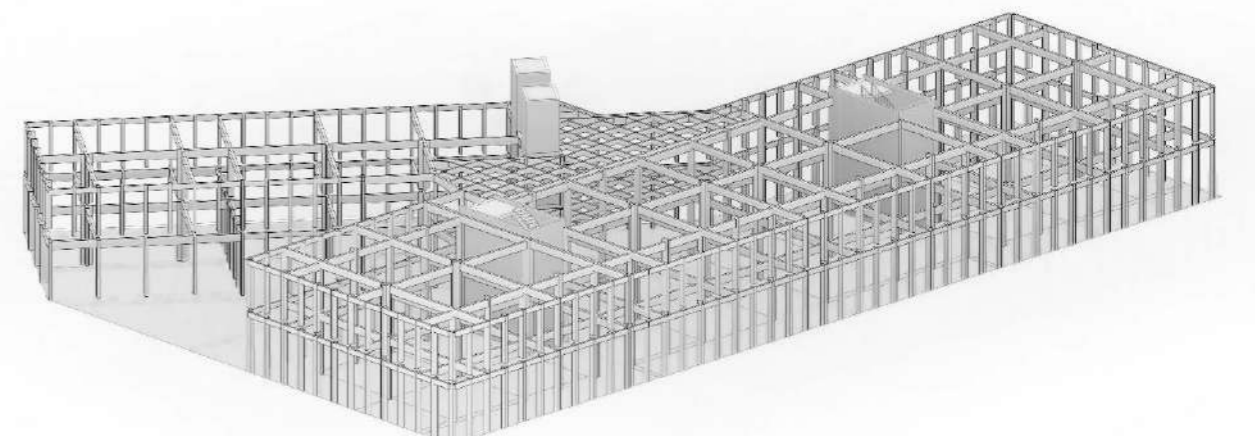
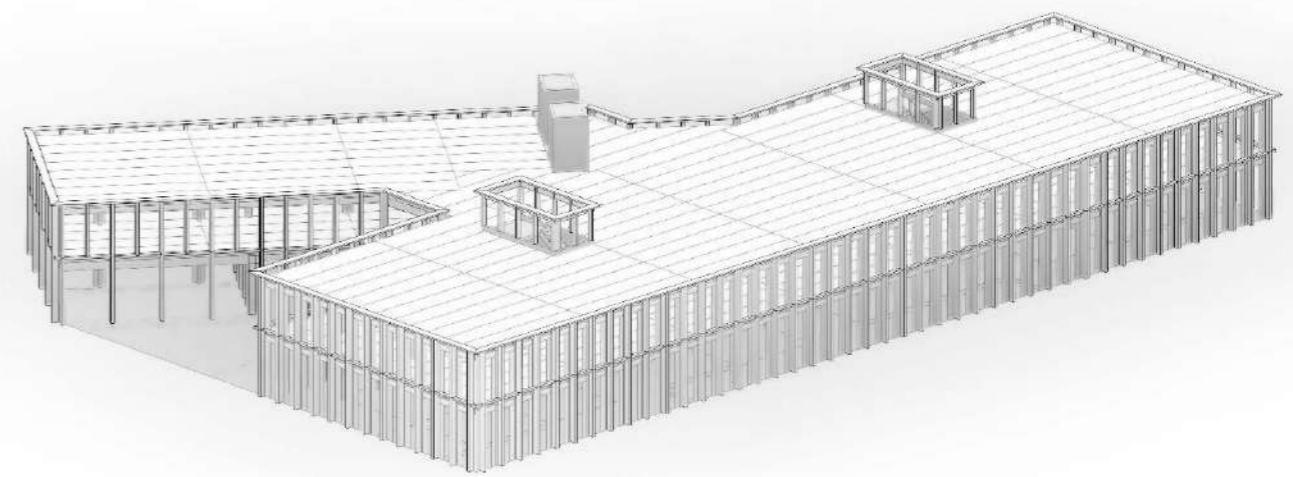
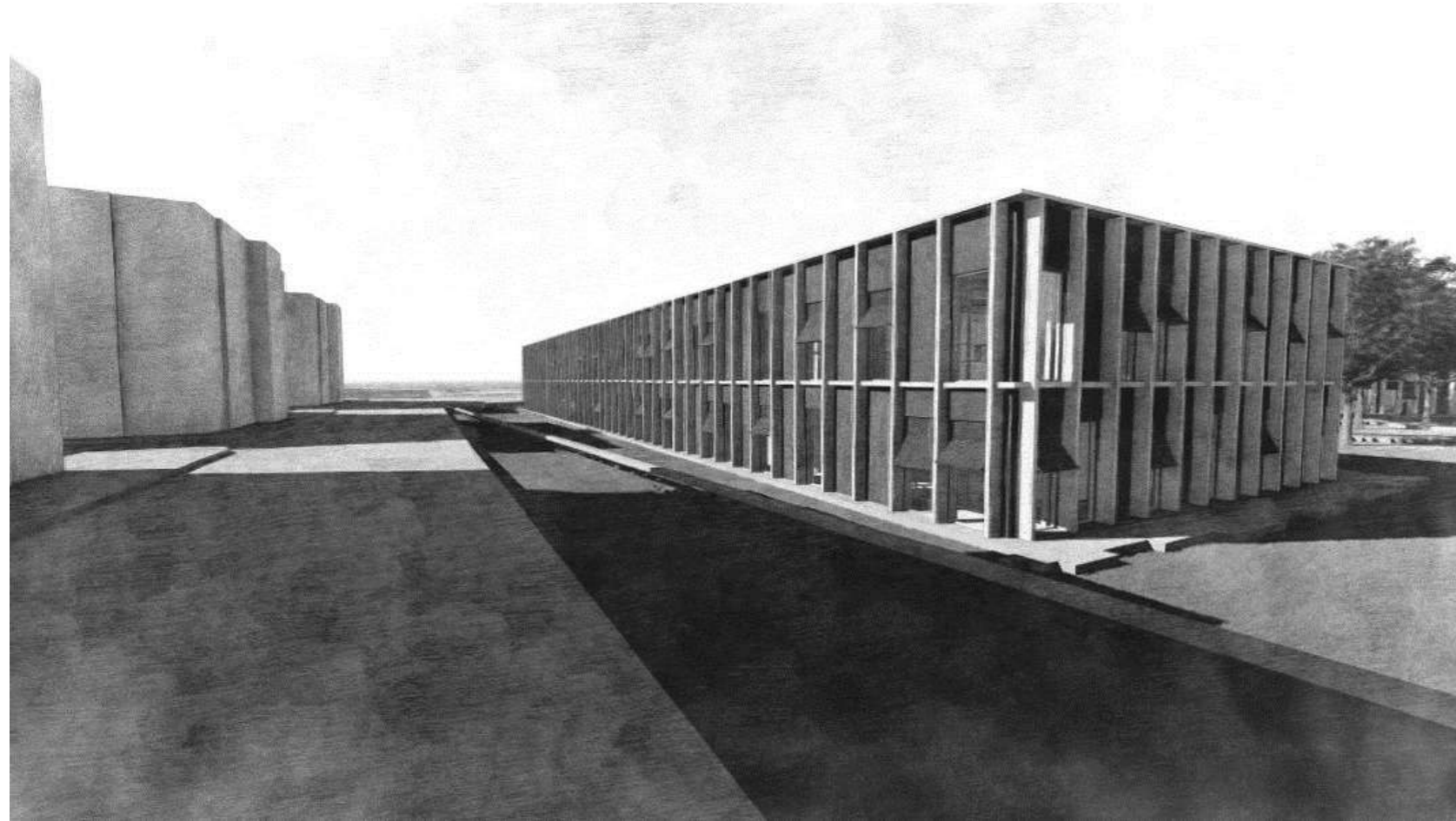
Propuesta de la Idea.

Partiendo de la premisa de construir edificios de uso Mixto-Terciario de media altura se plantea como idea, la investigación tipologías estructurales en madera y el desarrollo adecuado de una solución estructural y constructiva para este tipo de posibles proyectos, teniendo en cuenta el aspecto de la prefabricación.

Tras el análisis que posteriormente se explica, se decide que la **idea** final del **TFM** de madera consistirá en el **diseño de un forjado de hormigón-madera prefabricado**. El desarrollo de esta idea aparte de cálculo como elemento único, también conlleva el diseño de un sistema constructivo que contendrá como base la facilidad de puesta en obra y construcción en seco.

Para abordar esta idea se propone como punto de partida y base de investigación recoger dos proyectos teóricos desarrollados en el Grado y Máster Habilitante de Arquitectura, en la ETSASS. Concretamente el Trabajo de Fin de Grado (TFG) y el trabajo de Fin de Máster (TFM)

De estos trabajos se recoge uno de los edificios definidos sobre el que trabajar y desarrollar la idea como caso teórico: **Edificio de Talleres y Laboratorios** en Portal de Gamarra, Vitoria Gasteiz.



Objetivos.

1. Diseño del módulo de forjado y la tipología estructural en entramado pesado que permita unas distribuciones variables, altura suficiente para el uso terciario en el caso de estudio.
2. Predimensionado y cálculo en base a una optimización del módulo de forjado, para transporte. (Dlupal)
3. Diseño del sistema constructivo de acorde a una previa prefabricación, fácil transporte y puesta en obra.
4. Predimensionado, cálculo de la estructura completa y análisis de estabilidad ante la posibilidad de aumentar la altura del edificio.(Dlupal)
5. Diseño de la solución constructiva de acorde a la tipología estructural que se base en unos criterios de sostenibilidad, soleamiento, puentes térmicos etc.
6. Puesta en valor de la madera como acabado interior y la estructura de madera vista. Durabilidad, fuego y buen diseño constructivo.

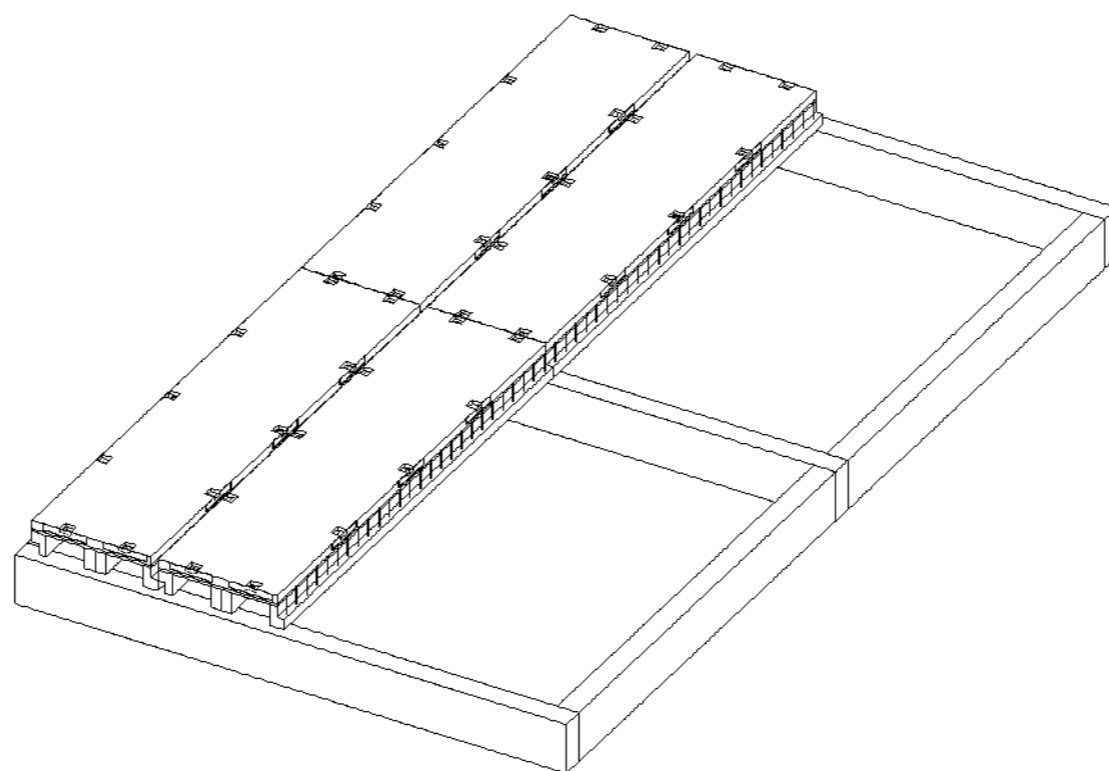


Imagen: Puesta en obra inicial

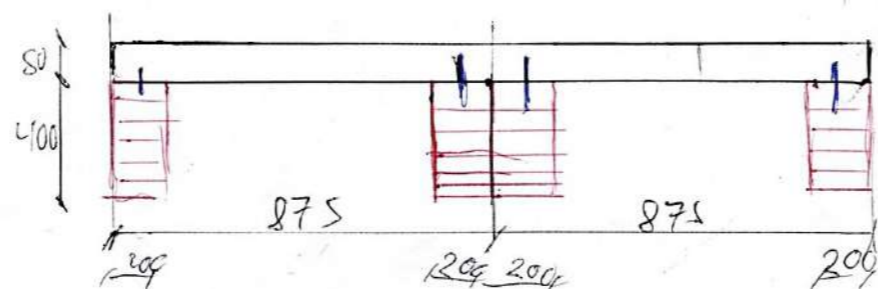


Imagen: propuesta de forjado

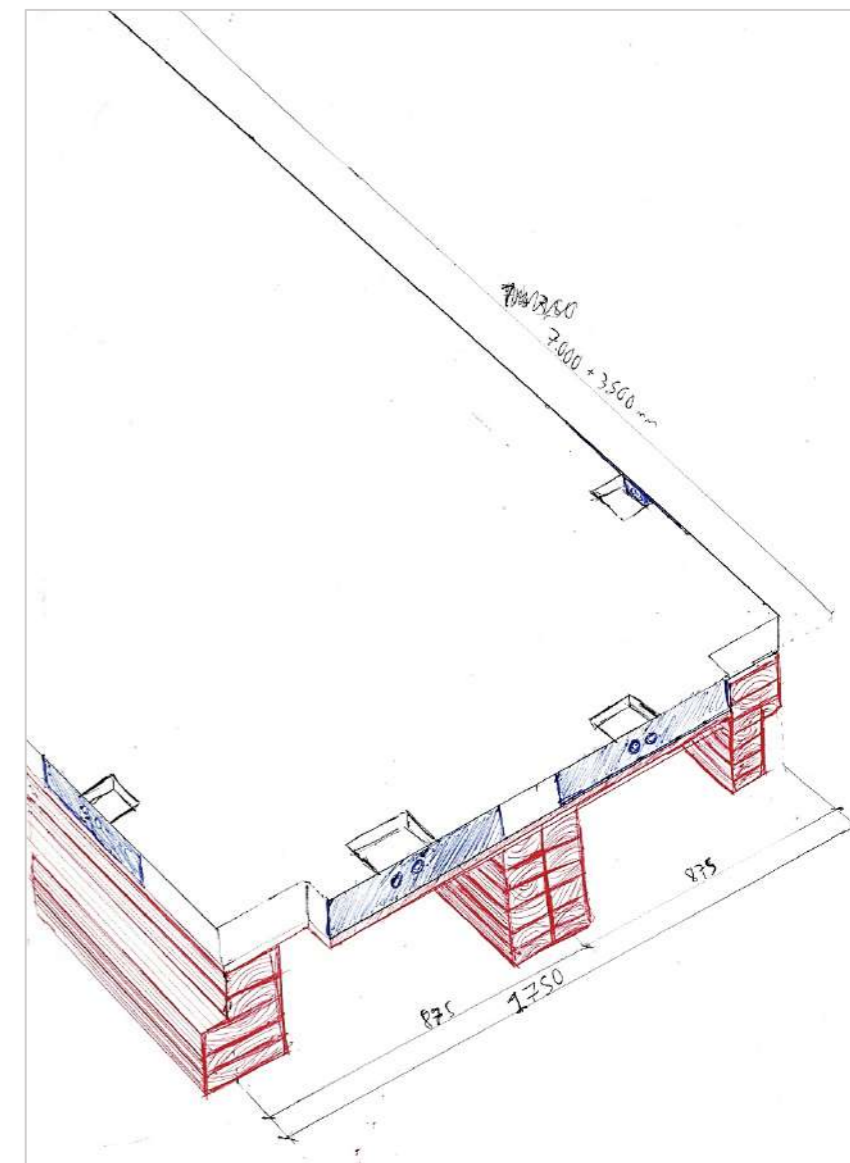


Imagen: Propuesta de Forjado Prefabricado

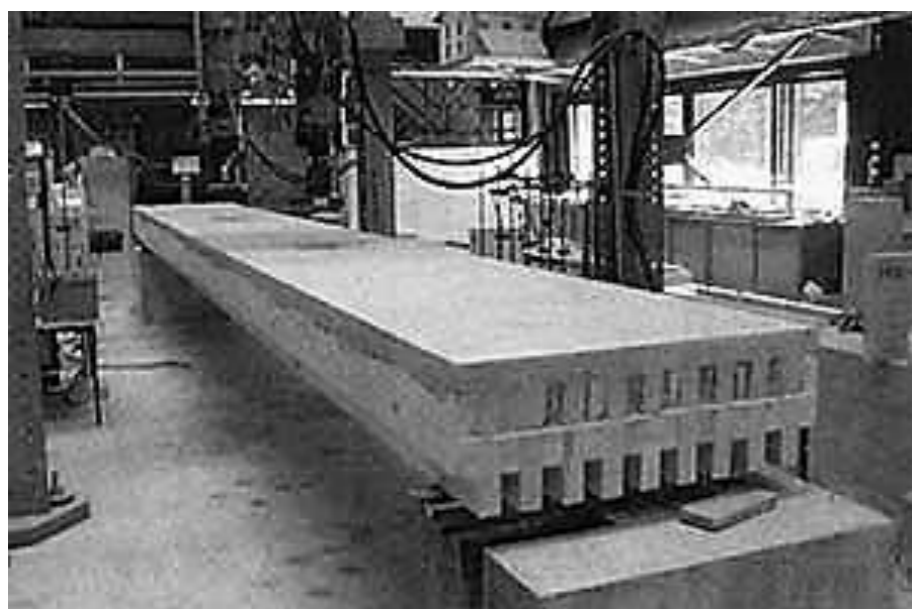


Imagen: Forjado colaborante madera-hormigón. Fuente Conteptboistructure

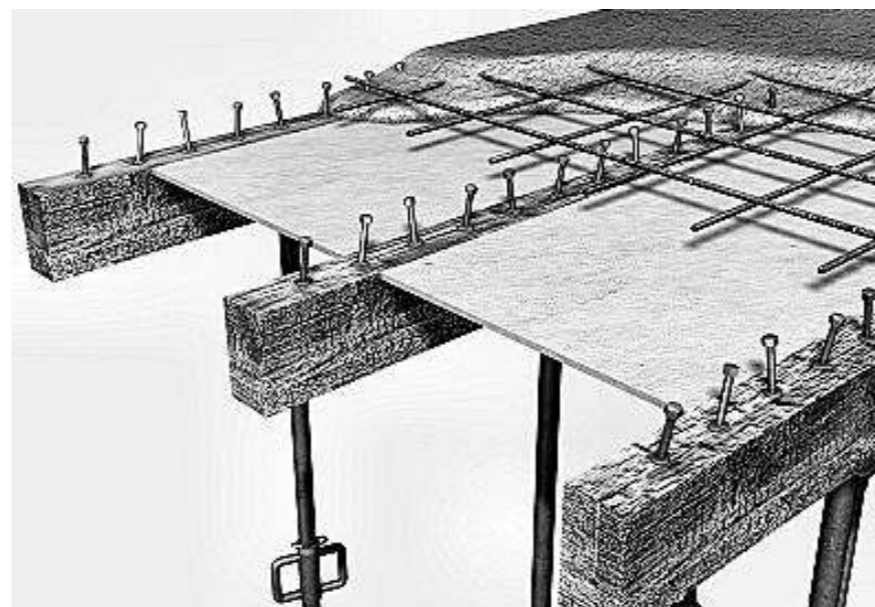


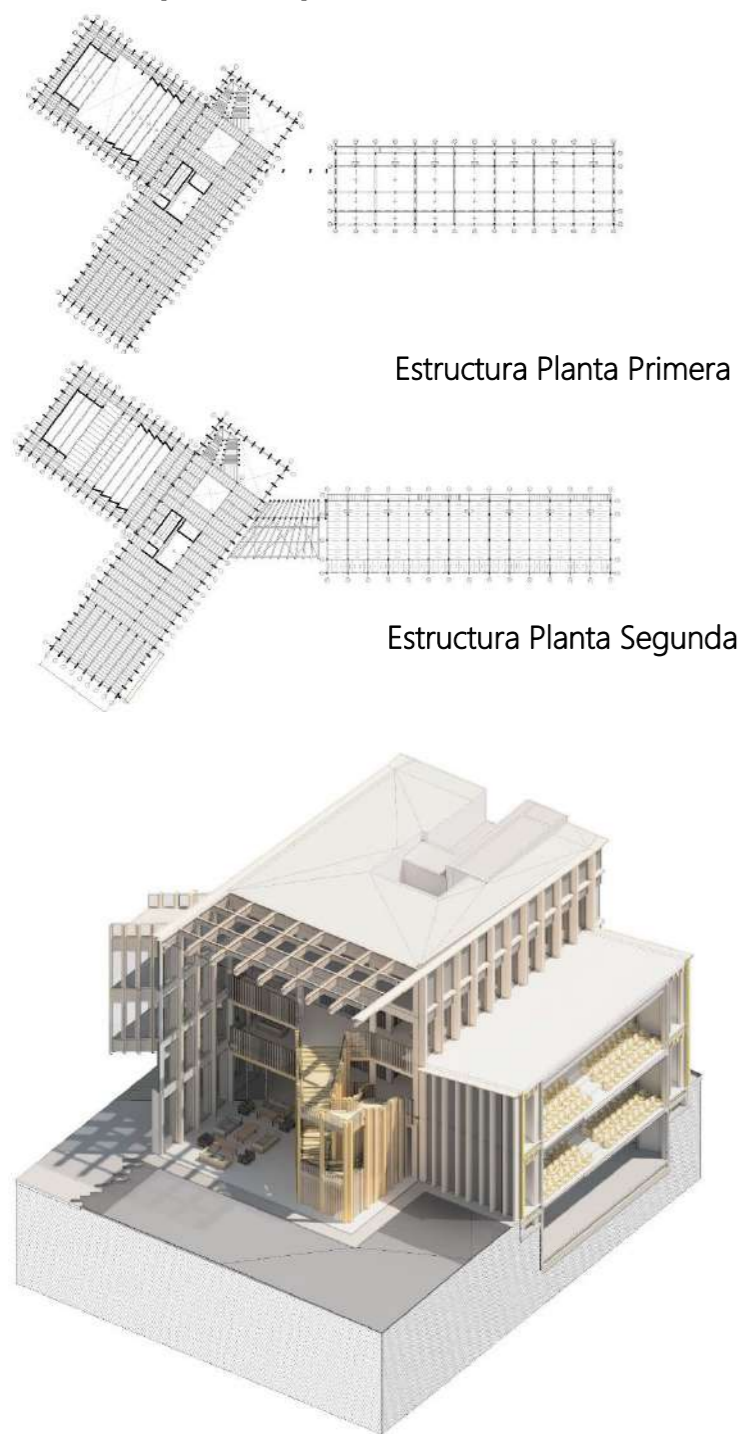
Imagen: Forjado colaborante madera-hormigón. Fuente: Maab Arquitectura



Imagen: Wood Innovation Design Center,Canada. Michael Green Architecture.

Análisis de Trabajos Previos

Estructura portante planteada en TFM Habilitante.



Estructura Planta Primera

Estructura Planta Segunda

Imagen: Edificio Principal. Fuente.TFM habilitante

Punto de partida

Partimos desde el planteamiento de una estructura desarrollada previamente en la cual se planteaba una estructura de entramado pesado con núcleos de hormigón armada.

Debido a la elección de una estructura de madera hay que entender que con la madera es muy difícil garantizar los apoyos y uniones rígidos, por lo que la mayoría de las uniones que planteaban son semirrígidas por lo que a efectos de

diseño estructural. Para garantizar esta rigidez se optaba por resolver todas las uniones mediante chapas embebidas dentro de la madera laminada con unas coronas de pernos que coarten la libertad de movimiento y puedan absorber y transmitir los giros. Aunque no se considere que mediante una solución así se obtenga una rigidez absoluta a efectos de cálculo se estableció que todos los pilares en vez de calcularse biapoyados eran biempotrados.

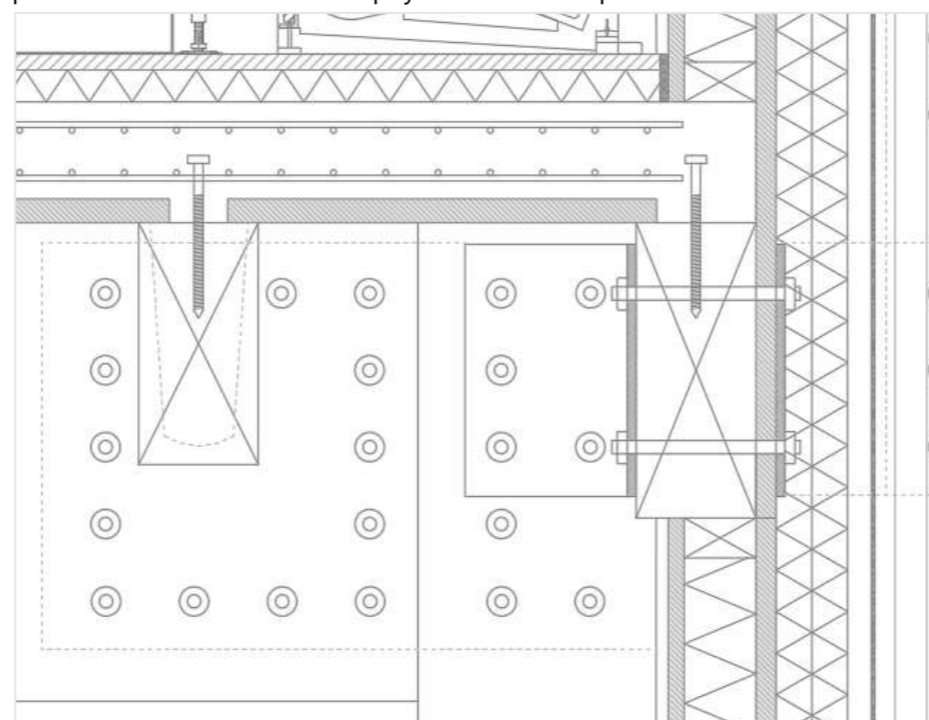


Imagen: Uniones en corona. Fuente.TFM habilitante

Diseño estructural del Edificio principal TFM habilitante.

En cuanto al diseño estructural hay que aclarar una serie de decisiones debido a razones de carácter proyectual:

En primer lugar debido al lugar industrial en el que se emplaza el edificio y la cercanía de un parque arbolado de implantación artificial, se adoptó la decisión de relacionar el ritmo de una estructura de madera laminada de nueva construcción con el ritmo más pausado 7,5 m de los árboles del entorno. Debido a esta decisión de hacer de la estructura del proyecto un elemento compositivo y contenedor por su materialidad. La disposición repetida que establece un orden de 1.875 m de distancia inter-ejes se repite continuamente y es en el interior donde la búsqueda de grandes espacios da como lugar a los pórticos con mayor luz en sus dos testeros.

En cuanto a la elección material de la estructura hay que destacar que debido al comportamiento tan desfavorable de las estructuras de madera en exterior se decide duplicar la estructura en dos. De esta forma obtenemos una estructura interior que será la que soporte las cargas más desfavorables y otra exterior a la que como se indica en el detalle tendrá una serie de anclajes que permitan una conexión cada planta de las dos estructuras.

Por otro lado siguiendo con el edificio principal que está separado en dos por una junta de dilatación deja el auditorio como un volumen exento del principal.

En cuanto al edificio Principal se entiende que la estructura se mueve continuamente ya sea por la meteorología, por los diferentes asentamientos o

por cualquier acción. Para ello se diseñaron pórticos de frenado que aseguren la estabilidad de todo el conjunto. Estos pórticos se pueden realizar con diferentes elementos:

- Cruces de san Andrés
- Muros de fábrica entre forjados
- Rigidizando nudos
- Usando elementos como las escaleras o el ascensor para atar toda la estructura

En el edificio se aplican todos menos los muros de fábrica.

A la hora de rigidizar los nudos, como ha explicado anteriormente en el proyecto se opta por una solución semirrígida mediante coronas de pernos y placas de Rothoblaas.

Por otro lado, los muros de ascensor montacargas y escalera de hormigón armado se usan en conjunto como rigidizado del pórtico al que pertenece. Cabe destacar que el mayor inconveniente es la decisión de como arriostrar la estructura frente a las cargas que la desestabilicen. Debido a esto se concibe que el edificio es una mega estructura pilares de madera y vigas la cual hay que garantizar que absorba las deformaciones y las reparta de manera solidaria. Por esta razón se decide utilizar **un forjado colaborante de madera hormigón**. Se entiende que la losa armada repartirá de manera solidaria entre la estructura además de dar cierta rigidez en el plano horizontal a toda la estructura.

Por último, también se prevía la necesidad de arriostrar todo el volumen de cristal del testero norte mediante cables a tracción dispuestos como cruces de San Andrés en el interior. Debido al vaciado de esta parte no existen suficientes elementos horizontales de sección importante que puedan absorber los empujes de viento. Por esta razón se entiende también que la estructura exterior también aportara una pequeña ayuda en este caso. También se opta por disponer de cruces de San Andrés a todos los pórticos perimetrales de la planta cubierta. Dando a entender de esta manera que disponemos de un cordón superior lo suficiente mente rígido en toda su altura.

Cabe mencionar que dado que el edificio está separado del resto por juntas de dilatación, para el diseño de esta estructura no se consideran juntas de dilatación.

Una vez visto el funcionamiento de la estructura veremos su disposición. La retícula está conformada por pórticos cada 1.875 metros, a excepción de los testeros. En el testero sur se cambiaba la orientación del pórtico, para resolver una luz de 10 metros. En el testero norte se liberaba un hueco de 7,5 m de profundidad donde se sitúa la escalera.

Estructura horizontal. Forjado colaborante.

La estructura horizontal es la parte más "caprichosa" de todo el proyecto. Al tener la intención de dejarla vista hay que resolver el problema que plantea la resistencia al fuego. Para ello se plantea un sistema formado por tres capas.

En un primer nivel tenemos unas series de viguetas GLH24 que se apoyan directamente sobre la estructura principal mediante uniones de cola de milano. Para que estas, puedan estar vistas se pintaran con barniz incoloro intumescentes que garantiza un EI 90, el cual se deberá de aplicar bajo las condiciones estipuladas por el fabricante

En un segundo nivel aparece el tablero de roble como encofrado perdido. Para poder dejarlo visto ya que se pretende que tenga unas características portantes para garantizar cierta rigidez en la puesta en obra de la escuadría de madera. Por ello al igual que las viguetas se barnizara su cara inferior con el barniz intumescente para darle cierta protección al fuego.

Como tercer y último nivel aparece una losa de hormigón armado. Como peculiaridad de esta losa, debido al espesor de 12 cm el mallazo superior será con redondos de del 6 y la inferior de 8. La elección de este sistema, como ya se ha dicho, es un capricho estético. Pero se ha escogido para que el canto de la losa sea el menos posible, de ahí que las viguetas este separadas únicamente 0.63 metros. Con esto se consigue que la losa funcione de una forma bidireccional.



Imágenes: Interior. Fuente. TFM habilitante

Cálculo.

Para realizar el cálculo de la estructura de madera se uso el programa DLUBAL-RFEM5. Programa de cálculo por elementos finitos

En él se introdujo una parte del edificio, entendiendo que será en el forjado de hormigón al que se trasladan los esfuerzos en los apoyos que se modelo en el programa.

La intención de utilizar este programa era debido a la preocupación de la inestabilidad de una estructura compuesta por tantos elementos verticales de una sección bastante esbelta. Con la intención de estudiar el comportamiento de las diferentes barras que lo conforman.

Se consideró que la estructura que forma el sótano es infinitamente rígida, por lo que se despreció en el cálculo. Por ello se calculara como si la estructura comenzase en planta 0.

Tambien hay que decir que para el cálculo se modelo la estructura entendiendo que las uniones entre pilares y vigas se hacen por coronas de pernos. Por lo que primeramente habría que calcular el Kser de la unión para después obtener la rigidez elástica que garantiza dicha unión. Sin embargo, utilizó una cifra de **11501 kN. m rad** a ELU, para simplificar el cálculo. Esto se tendría que corroborar calculando la unión debidamente.

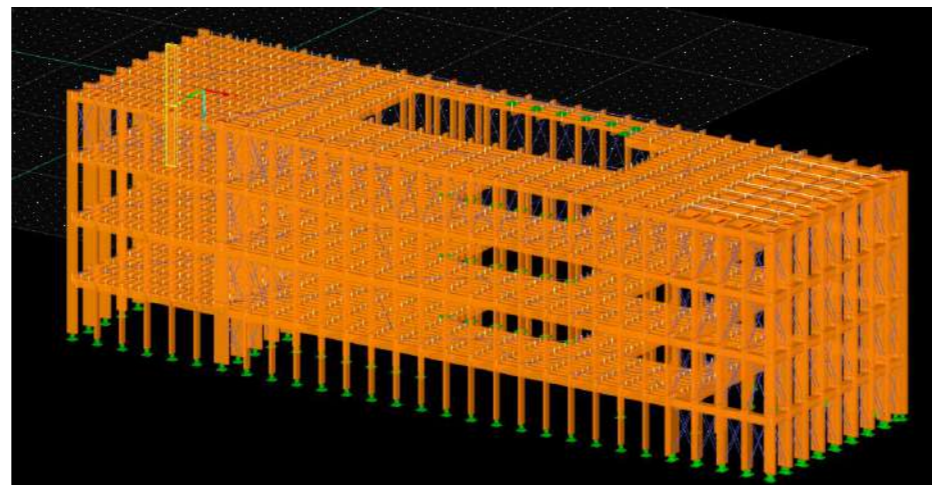


Imagen: Modelo de DLUBAL. Fuente. TFM habilitante

A la hora de realizar el cálculo se introdujo, en el programa, la disposición de pilares, vigas y viguetas que se había decidido en un primer momento.

La intención en el proyecto era que toda la estructura se construya con una serie de perfiles similares, es decir, que el tipo y la sección de estos sea el mismo siempre que se pueda. Gracias a esto se conseguía reducir el número de tipologías de uniones, haciendo así el montaje en obra más sencillo aparte de reducir el coste en taller de secciones de diferente tamaño

Tras varios fallos a la hora de calcular, Sobre todo debido a la inestabilidad se modificaron algunos elementos. Estos fallaban sobre todo por temas de esbeltez de pilares, es decir, eran pilares susceptibles de pandeo respecto al lado perpendicular al pórtico, Es por ello por lo que se decidió en primer lugar simular el efecto del forjado colaborante mediante la introducción de varios tirantes que hacen la función de elemento arriostrador en el sentido horizontal.

Para el modelado también se ha tenido en cuenta la rigidez que aportaría los muros de hormigón del núcleo de escaleras y ascensores, por lo tanto se ha introducido esta rigidez mediante la introducción de apoyos simples en cada planta en los puntos donde la estructura se apoya en el hormigón. De esta manera se obtuvieron lo esfuerzos que para trasladar al modelo de cálculo de CYPECAD.

Acciones finales

A continuación se enumeran todas las acciones consideradas que se consideraron en el programa.

- Peso propio – definida por el programa
- Fachada – 1.8kN/m
- Tabiquería - 1,2 kN/m²
- Carga muerta pasillos por equipo - 4 kN/m².
- Sobrecarga de uso – 4 kN/m²
- Sobrecarga de uso zona administrativa B en cubiertas - 1kN/m²
- zonas de acceso y evacuación tipo A y B - 1 kN/m²
- Acción de viento – definido en programa
- Nieve - 1,0 kN/m²

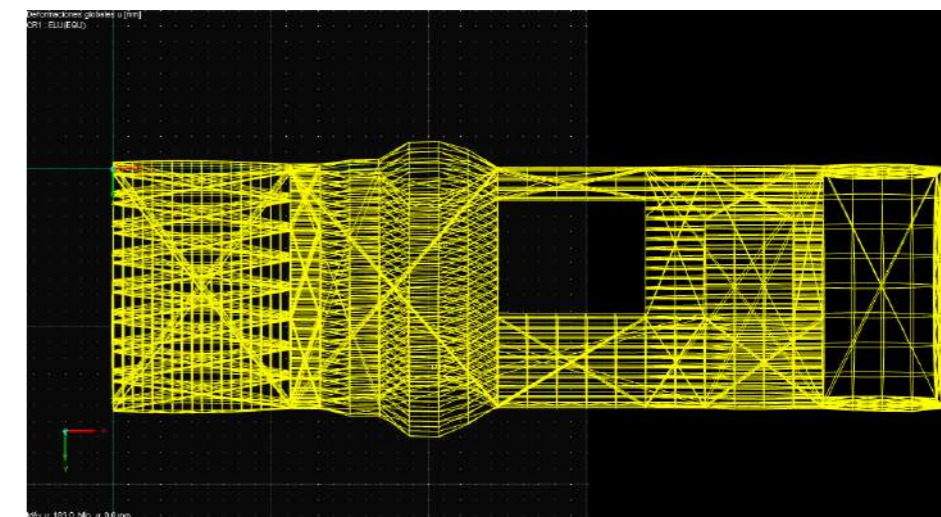


Imagen: deformaciones por viento. Fuente. TFM habilitante

Se observa que el programa al obtener mediante las combinaciones de acciones obtiene analiza las deformaciones respecto al eje vertical. Se razona que el los paños más desfavorables frente a viento son el central debido a que la cubierta tiene un rebaje en esa parte por lo que el viento ejerce una succión y presión para la cual no se había planteado ningún arriostramiento. Para solucionar eso solo habría que disponer de unos tirantes en los pórtico de cubierta (Se ha exagerado la deformada mediante un factor)

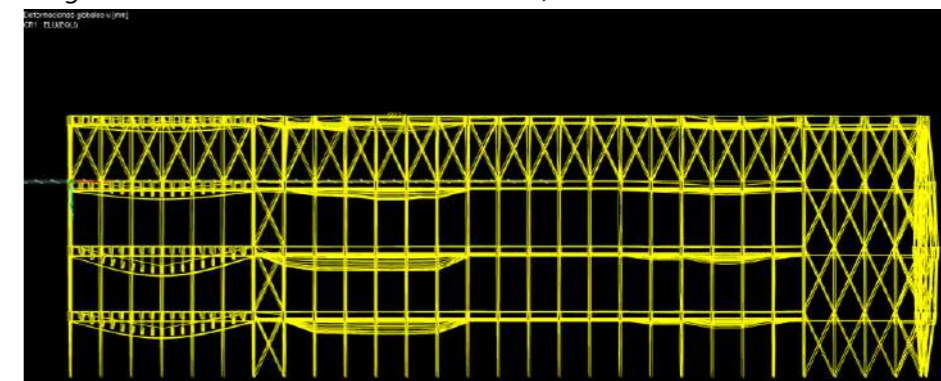
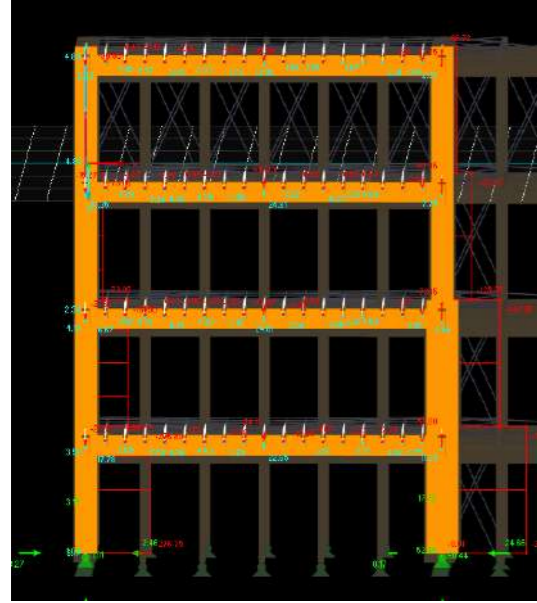


Imagen: deformaciones globales. Fuente. TFM habilitante

Tras esto proseguimos con el análisis de los resultados obtenidos. En primero lugar se pretendió verificar que la estructura no colapsaba por inestabilidad. Una vez garantizado esto se procedió a la búsqueda del forjado más desfavorable.

El forjado de 10 m de luz era el más desfavorable así que se seleccionaron as barras para sacar los esfuerzos internos de pilares y vigas y así poder calcular independientemente del programa y verificar que cumplía.

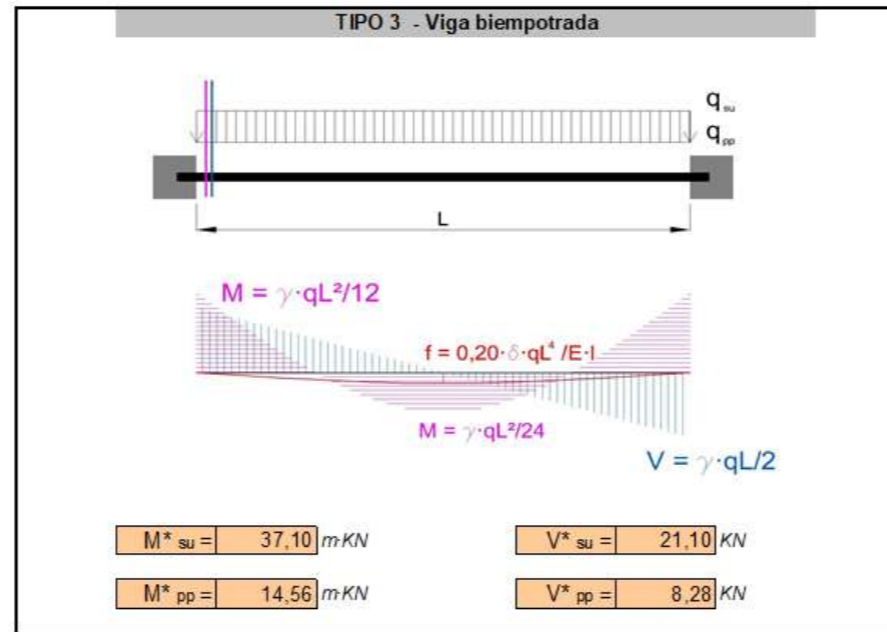


Finalmente el programa dio como buena la diferente selección de perfiles seleccionados, (sin embargo se procede a calcularlo mediante una tabla Excel adjuntando los datos obtenidos.

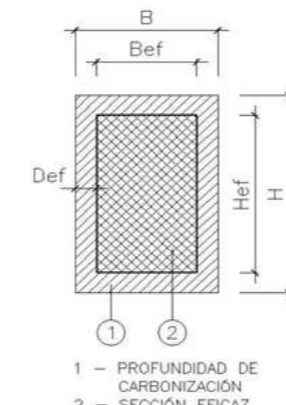
Calculo de la Viga GLH24 del pórtico 5AD en planta Primera

Datos a introducir:

Cargas y Longitud en Vigas	
<i>En esta sección hay que introducir el peso debido a la sobrecarga de uso y las debidas a peso propio, como pp del forjado, pavimentos y tabiquería. En el caso de vigas inclinadas en cubierta, puede existir una componente axil.</i>	
$q_{su} =$	4,00 KN/ml
$q_{pp} =$	1,00 KN/ml
$q_{ppv} =$	1,57 KN/ml, sumando el pp de la viga
$L =$	10,55 m, longitud de cálculo de la viga
Elegir el tipo de viga de entre los siguientes: VIGA 3 - Biempotrada	



Clase de madera:	GL24	LAMINADA HOMOGÉNEA
$f_{m,k} =$	24,0 N/mm ²	Resistencia característica a flexión
$f_{v,k} =$	2,7 N/mm ²	Resistencia característica a cortante
$E_m =$	11,6 KN/mm ²	Módulo elasticidad medio
$\rho_m =$	3,8 KN/m ³	Densidad media
Resist. al fuego :	R-90	
$D_{ef} =$	70,0 mm	Profundidad de carbonización
Caras expuestas:	Inferior y laterales	
Clase de servicio:	CS 1	Interior seco (Temp > 20°, Humedad < 65%)



Propiedades de la sección		
$B =$	25 cm	$I =$ 450.000 cm ⁴ Momento de inercia (de la sección completa)
$H =$	60 cm	$W =$ 15.000 cm ³ Momento resistente (de la sección completa)
Area =	8,0 cm ²	
Peso =	0,57 KN/ml	
$B_{ef} =$	11,0 cm	$I_{ef} =$ 136.471 cm ⁴ Momento de inercia (de la sección eficaz)
$H_{ef} =$	53,0 cm	$W_{ef} =$ 5.150 cm ³ Momento resistente (de la sección eficaz)
$A_{ef} =$	583,0 cm ²	

Cargas y coeficientes		
Cargas permanentes		
$N_{pp} =$	1,00 KN	
$N_{pp}^* =$	1,00 KN	
$M_{pp} =$	14,56 m·KN	
$V_{pp} =$	8,28 m·KN	
$\gamma_{pp} =$	1,00	
Sobrecargas de uso		
$N_{su} =$	4,00 KN	Axil
$N_{su}^* =$	4,00 KN	Axil mayorado
$M_{su} =$	37,10 m·KN	Momento flector mayorado
$V_{su} =$	21,10 m·KN	Cortante mayorado
$\gamma_{su} =$	1,00	Coef. Mayoración cargas

$k_{cr} =$	1,00	Factor de corrección por influencia de fendas en esfuerzo cortante
$k_{fi} =$	1,15	Factor de modificación en situación de incendio
$K_{mod} =$	1,00	Factor de modificación según ambiente y tipo de carga
$K_h =$	1,00	Coef. Que depende del tamaño relativo de la sección
$Y_m =$	1,00	Coef. Parcial seguridad para cálculo en situación de incendio

Estado límite último flexión

$f_{m,d} =$	27,6 N/mm ²	>	$\sigma_d =$	10,1 N/mm ²
Capacidad resistente máxima a flexión del material		37%	Tensión aplicada en la sección eficaz	
$f_{m,d} = k_{mod} \cdot k_h \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{m,k}}{Y_m} > \sigma_d = \left(\frac{N_{pp}^* + N_{su}^*}{A_{ef}} + \frac{M_{pp}^* + M_{su}^*}{W_{ef}} \right)$				

Estado límite último cortante

$f_{v,d} =$	3,1 N/mm ²	>	$\tau_d =$	0,8 N/mm ²
Capacidad resistente máxima a cortante del material		24%	Cortante aplicada en la sección eficaz	
$f_{v,d} = k_{mod} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{v,k}}{Y_m} > \tau_d = \left(1,5 \cdot \frac{V_{pp}^* + V_{su}^*}{k_{cr} \cdot A_{ef}} \right)$				

Condición de cumplimiento

$f_{m,d} > \sigma_d$
 $f_{v,d} > \tau_d$

CUMPLE

COMPROBACIÓN ESTRUCTURAL DE SECCIONES DE MADERA SOMETIDAS A CARGA DE FUEGO Comprobación de flecha

La flecha de un elemento estructural se compone de dos términos, la instantánea y la diferida, causada por la fluencia del material, que en el caso de la madera es bastante apreciable

La flecha instantánea, se calcula con la formulación tradicional de la resistencia de materiales; al tratarse de un Estado Límite de Servicio y no Estado Límite último, las cargas NO se mayoran

$$\delta' = 0,00260 \quad \delta = \delta' \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I}$$

Por tanto la formulación de la flecha total de una viga de madera será:

$$\delta_{tot} = \delta_{pp} \cdot (1 + k_{def}) + \delta_{su} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$$

Dónde: $k_{def} = 0,60$ es el factor de fluencia para CS 1

Dónde: $\psi_2 = 0,30$ para cargas de corta duración

$\delta_{pp} = 0,97$ mm	Flecha instantánea debida a carga permanente
$\delta_{su} = 2,47$ mm	Flechaintantánea debida a sobrecarga de uso

Triple Condición de cumplimiento

Para garantizar integridad de elementos constructivos, la flecha debida a la fluencia, más la motivada por la carga variable no ha de ser superior a:

$$k_{def} \cdot \delta_{pp} + (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot \delta_{su} < \begin{cases} L/500 \text{ Con luces grandes, pav. Rígidos} \\ \text{sin juntas y tabiques frágiles} \\ L/500 = 21,10 \text{ mm} \end{cases}$$

Para asegurar el confort de los usuarios la flecha debida a cargas de corta duración deberá ser inferior a L/350

$$\delta_{su} < L/350 \quad 2,47 \text{ mm} = L/4268 < L/350 = 30,14 \text{ mm}$$

La apariencia de la obra será adecuada cuando la flecha no supere L/300 con cualquier combinación de carga

$$(1 + k_{def}) \cdot \delta_{pp} + (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot \delta_{su} \cdot \psi_2 < L/300 \quad 2,43 \text{ mm} = L/4346 < L/300 = 35,17 \text{ mm}$$

CUMPLE

Calculo de los pilares GLH24 del pórtico 5AD en planta Primera

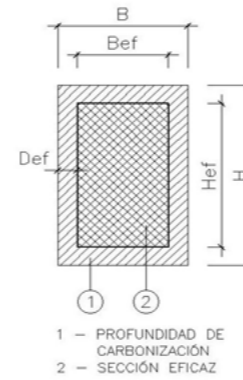
Datos a introducir: (los datos se han obtenido del programa de cálculo DLUBAL-REFM5.

Cargas y Longitud en Pilares

Aquí debemos introducir las cargas axiales en el pilar y el momento (si lo hubiera) actuante en la sección a comprobar. Recordemos que puede haber varias secciones críticas en cada tramo. Las acciones se dividirán en peso propio (pp) y sobrecarga de uso (su)

Q _{su} = 187,00 KN	M _{su} = 37,10 m-KN	β = 0,70
Q _{pp} = 21,10 KN	M _{pp} = 14,56 m-KN	
L = 4,00 m, longitud de cálculo del pilar		
Elegir el tipo de pilar, s/ sus apoyos: PILAR 3 - Biempotrado		

Clase de madera:	GL24	LAMINADA HOMOGÉNEA		
f _{c,0,k} =	24,0 N/mm ²	Resistencia característica a compresión		
E _{0,k} =	9,4 KN/mm ²	Módulo elasticidad característico		
ρ _m =	3,8 KN/m ³	Densidad característica		
Resist. al fuego:	R-90			
D _{ef} =	70,0 mm	Profundidad de carbonización		
Caras expuestas:	2H + 1B			
Clase de servicio:	CS 1 <small>Interior seco (Temp > 20°, Humedad < 65%)</small>			
Propiedades de la sección				
H =	70 cm	I = 91,146 cm ⁴ Momento de inercia (de la sección completa)		
B =	25 cm	W = 7,292 cm ³ Momento resistente (de la sección completa)		
Area =	1750,0 cm ²			
H _{ef} =	56,0 cm	I _{ef} = 27,216 cm ⁴ Momento de inercia (de la sección eficaz)		
B _{ef} =	18,0 cm	W _{ef} = 3,024 cm ³ Momento resistente (de la sección eficaz)		
Area _{ef} =	1008,0 cm ²			
Cargas y coeficientes				
Cargas permanentes		Sobrecargas de uso		
N _{pp} =	21,10 KN	N _{su} =	187,00 KN	Axil mayorado
M _{pp} =	14,56 m-KN	M _{su} =	37,10 m-KN	Momento flector mayorado
Y _{pp} =	1,00	Y _{su} =	1,00	Coef. Mayoración
k _{fi} =	1,15	Factor de modificación en situación de incendio		
K _{mod} =	1,00	Factor de modificación según ambiente y tipo de carga		
K _h =	1,19	Coef. Que depende del tamaño relativo de la sección		
Y _m =	1,00	Coef. Parcial seguridad para cálculo en situación de incendio		
β _v =	0,70	Coef de pandeo que depende de los apoyos del pilar		
β _c =	0,10	Coef de pandeo que depende del material		



Se calculó primero con la comprobación a fuego El 90 entendiendo que son 3 sus caras expuestas

Esbeltez mecánica	λ = 38,80	$\lambda = \frac{\beta_v \cdot L}{\sqrt{I_{ef} / A_{ef}}}$
Esbeltez relativa	λ _{rel} = 0,62	$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,k}}}$
> 0,30 Hay que comprobar pandeo		

K _v =	0,71	$k_v = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0,3)) + \lambda_{rel}^2$
X _c =	0,951	$X_c = \frac{1}{k_v + \sqrt{k_v^2 - \lambda_{rel}^2}}$

f _{c,0,d} =	14,6 N/mm ²	>	σ _{c,0,d} =	12,1 N/mm ²	
Capacidad resistente máxima a compresión del material		83%	Tensión aplicada en la sección eficaz		

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot X_c \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{c,0,k}}{Y_m} > \sigma_d = \left(\frac{N_{pp}^* + N_{su}^*}{A_{ef}} + \frac{M_{pp}^* + M_{su}^*}{W_{ef}} \right)$$

Condición de cumplimiento
f_{c,0,d} > σ_{c,0,d}
CUMPLE

Inestabilidad de soportes

Se definen la esbeltez (λ) y la esbeltez relativa (λ_{rel}) y a través de ellos los coeficiente K_v y X_c para evaluar el efecto del pandeo en la estructura

Esbeltez mecánica	λ = 53,89	$\lambda = \frac{\beta_v \cdot L}{\sqrt{I_{ef} / A_{ef}}}$
Esbeltez relativa	λ _{rel} = 0,87	$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,k}}}$
> 0,30 Hay que comprobar pandeo		

K _v =	0,90	$k_v = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0,3)) + \lambda_{rel}^2$
X _c =	0,862	$X_c = \frac{1}{k_v + \sqrt{k_v^2 - \lambda_{rel}^2}}$

Estado limite último compresión

f _{c,0,d} =	23,8 N/mm ²	>	σ _{c,0,d} =	19,1 N/mm ²	
Capacidad resistente máxima a compresión del material		81%	Tensión aplicada en la sección eficaz		
$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot X_c \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{c,0,k}}{Y_m} > \sigma_d = \left(\frac{N_{pp}^* + N_{su}^*}{A_{ef}} + \frac{M_{pp}^* + M_{su}^*}{W_{ef}} \right)$					

Condición de cumplimiento

f_{c,0,d} > σ_{c,0,d}

CUMPLE

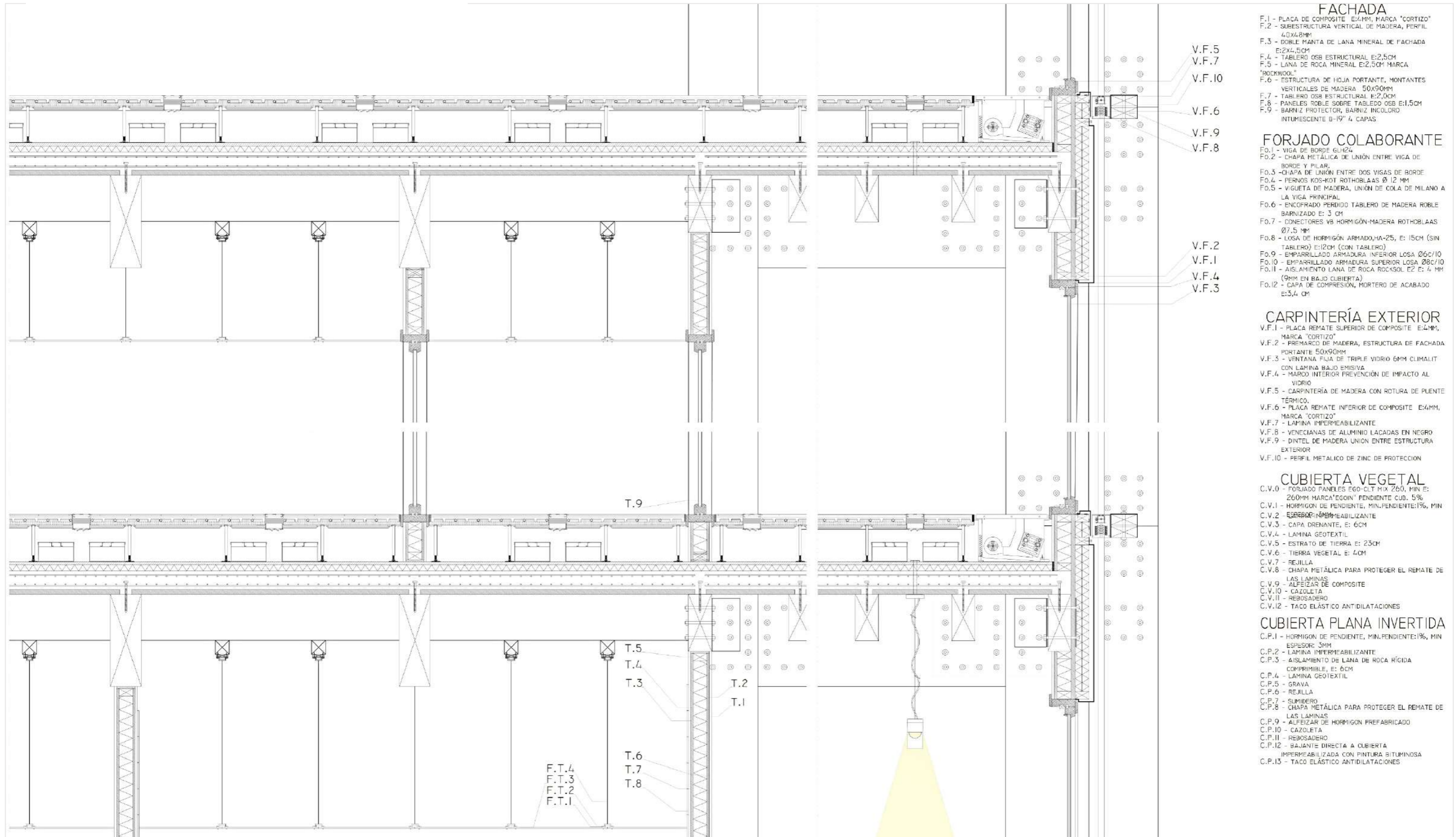
Conclusión de sistema Estructural de TFM habitante.

Entendiendo que el trabajo realizado anteriormente carecía de bastantes criterios de diseño que se deberían de haber contemplado y tras revisar la solución propuesta así como el modelo y su comportamiento estructural. Se observa que debido a las secciones bastante considerables que acababan saliendo y tras no conseguir ejecutar realmente un modelo veraz relacionado con la capa de hormigón colaborante se decide desechar toda esta propuesta y partir de un planteamiento estructural más estandarizado y de acuerdo a una geometría más versátil para una optimización del planteamiento estructural.

Sin embargo, la idea del forjado resulta muy interesante por lo que se decide seguir trabajando partiendo del trabajo previo.



Sección Constructiva TFM Habilitante.



- FACHADA**
- F.1 - PLACA DE COMPOSITE E:4MM, MARCA "CORTIZO"
 - F.2 - SUBESTRUCTURA VERTICAL DE MADERA, PERFIL 40x48MM
 - F.3 - DOBLE MANTA DE LANA MINERAL DE FACHADA E:2x4,5CM
 - F.4 - TABLERO OSB ESTRUCTURAL E:2,5CM
 - F.5 - LANA DE ROCA MINERAL E:2,5CM MARCA "ROCKWOOL"
 - F.6 - ESTRUCTURA DE HOJA PORTANTE, MONTANTES VERTICALES DE MADERA 50x90MM
 - F.7 - TABLERO OSB ESTRUCTURAL E:2,0CM
 - F.8 - PANELES ROBLE SOBRE TABLERO OSB E:1,5CM
 - F.9 - BARNIZ PROTECTOR, BARNIZ INCOLORO INTUMESCENTE 6-19" 4 CAPAS
- FORJADO COLABORANTE**
- Fo.1 - VIGA DE BORDE 60x24
 - Fo.2 - CHAPA METALICA DE UNION ENTRE VIGA DE BORDE Y PILAR
 - Fo.3 - CHAPA DE UNION ENTRE DOS VIGAS DE BORDE
 - Fo.4 - PERNOS KOS-KOT ROTHBLAAS Ø 12 MM
 - Fo.5 - VIGUETA DE MADERA, UNION DE COLA DE MILANO A LA VIGA PRINCIPAL
 - Fo.6 - ENCOFRADO PERDIDO TABLERO DE MADERA ROBLE BARNIZADO E: 3 CM
 - Fo.7 - CONECTORES VB HORMIGÓN-MADERA ROTHBLAAS Ø7,5 MM
 - Fo.8 - LOSA DE HORMIGÓN ARMADO, HA-25, E: 15CM (SIN TABLERO) E:12CM (CON TABLERO)
 - Fo.9 - EMPARRILLADO ARMADURA INFERIOR LOSA Ø6C/10
 - Fo.10 - EMPARRILLADO ARMADURA SUPERIOR LOSA Ø8C/10
 - Fo.11 - AISLAMIENTO LANA DE ROCA ROCKSOL E2 E: 4 MM (9MM EN BAJO CUBIERTA)
 - Fo.12 - CAPA DE COMPRESION, MORTERO DE ACABADO E:3,4 CM
- CARPINTERÍA EXTERIOR**
- V.F.1 - PLACA REMATE SUPERIOR DE COMPOSITE E:4MM, MARCA "CORTIZO"
 - V.F.2 - FREMARCO DE MADERA, ESTRUCTURA DE FACHADA PORTANTE 50x90MM
 - V.F.3 - VENTANA FIJA DE TRIPLE VIDRIO 6MM CLIMALIT CON LAMINA BAJO EMISIVA
 - V.F.4 - MARCO INTERIOR PREVENCIÓN DE IMPACTO AL VIDRIO
 - V.F.5 - CARPINTERÍA DE MADERA CON ROTURA DE PUENTE TÉRMICO.
 - V.F.6 - PLACA REMATE INFERIOR DE COMPOSITE E:4MM, MARCA "CORTIZO"
 - V.F.7 - LAMINA IMPERMEABILIZANTE
 - V.F.8 - VENECIANAS DE ALUMINIO LACADAS EN NEGRO
 - V.F.9 - DINTEL DE MADERA UNION ENTRE ESTRUCTURA EXTERIOR
 - V.F.10 - PERFIL METALICO DE ZINC DE PROTECCION
- CUBIERTA VEGETAL**
- C.V.0 - FORJADO PANELES EGO-CLT MIX 260, MIN E: 260MM MARCA "EGON" PENDIENTE CUB. 5%
 - C.V.1 - HORMIGÓN DE PENDIENTE, MIN.PENDIENTE:1%, MIN ESPESOR: 100MM
 - C.V.2 - IMPERMEABILIZANTE
 - C.V.3 - CAPA DRENANTE, E: 6CM
 - C.V.4 - LAMINA GEOTEXTIL
 - C.V.5 - ESTRATO DE TIERRA E: 23CM
 - C.V.6 - TIERRA VEGETAL E: 4CM
 - C.V.7 - REJILLA
 - C.V.8 - CHAPA METALICA PARA PROTEGER EL REMATE DE LAS LAMINAS
 - C.V.9 - ALFEIZAR DE COMPOSITE
 - C.V.10 - CAZOLETA
 - C.V.11 - REBOSADERO
 - C.V.12 - TACO ELÁSTICO ANTIDILATACIONES
- CUBIERTA PLANA INVERTIDA**
- C.P.1 - HORMIGÓN DE PENDIENTE, MIN.PENDIENTE:1%, MIN ESPESOR: 3MM
 - C.P.2 - LAMINA IMPERMEABILIZANTE
 - C.P.3 - AISLAMIENTO DE LANA DE ROCA RÍGIDA COMPRESIBLE, E: 6CM
 - C.P.4 - LAMINA GEOTEXTIL
 - C.P.5 - GRAVA
 - C.P.6 - REJILLA
 - C.P.7 - SUMIDERO
 - C.P.8 - CHAPA METALICA PARA PROTEGER EL REMATE DE LAS LAMINAS
 - C.P.9 - ALFEIZAR DE HORMIGÓN PREFABRICADO
 - C.P.10 - CAZOLETA
 - C.P.11 - REBOSADERO
 - C.P.12 - BAJANTE DIRECTA A CUBIERTA IMPERMEABILIZADA CON PINTURA BITUMINOSA
 - C.P.13 - TACO ELÁSTICO ANTIDILATACIONES



Forjado Losa Hormigón – Madera. TFM Habilitante

Descripción.

Partiremos del trabajo y análisis previos del forjado de hormigón madera desarrollado el en TFM habilitante.

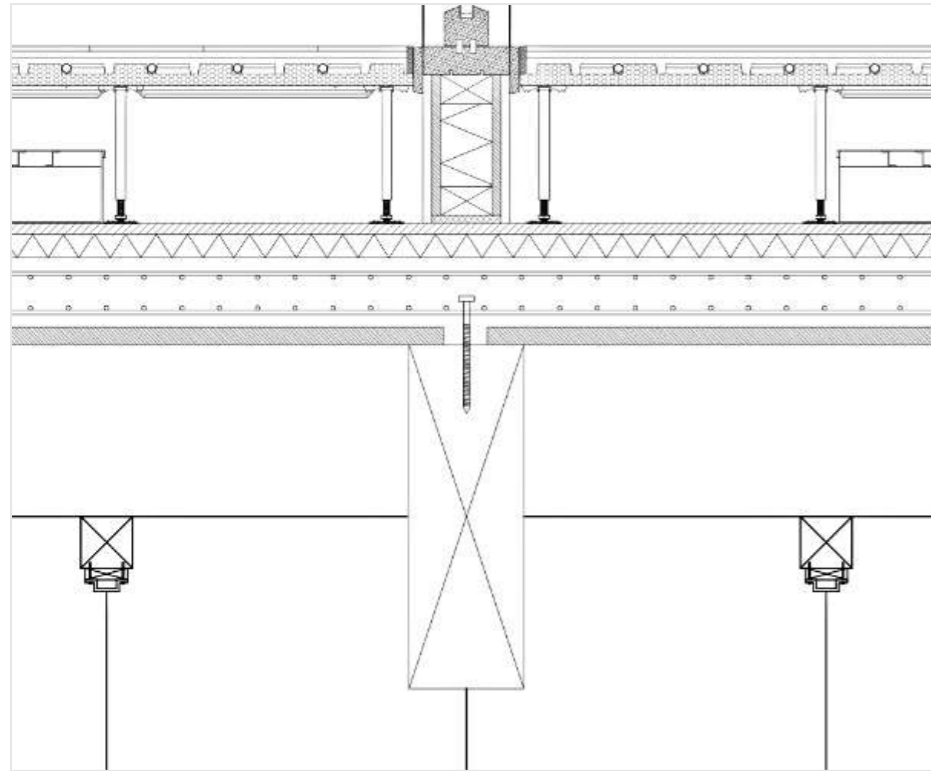


Imagen Detalle: Forjado colaborante madera-hormigón. Fuente. TFM Habilitante

FORJADO COLABORANTE

- FO.1 - VIGA DE BORDE GLH24
- FO.2 - CHAPA METÁLICA DE UNIÓN ENTRE VIGA DE BORDE Y PILAR.
- FO.3 - CHAPA DE UNIÓN ENTRE DOS VIGAS DE BORDE
- FO.4 - PERNOS KOS-KOT ROTHOBLAAS Ø 12 MM
- FO.5 - VIGUETA DE MADERA, UNIÓN DE COLA DE MILANO A LA VIGA PRINCIPAL
- FO.6 - ENCOFRADO PERDIDO TABLERO DE MADERA ROBLE BARNIZADO E: 3 CM
- FO.7 - CONECTORES VB HORMIGÓN-MADERA ROTHOBLAAS Ø7.5 MM
- FO.8 - LOSA DE HORMIGÓN ARMADO, HA-25, E: 15CM (SIN TABLERO) E:12CM (CON TABLERO)
- FO.9 - EMPARRILLADO ARMADURA INFERIOR LOSA Ø6C/10
- FO.10 - EMPARRILLADO ARMADURA SUPERIOR LOSA Ø8C/10
- FO.11 - AISLAMIENTO LANA DE ROCA ROCKSOL E2 E: 4 MM (9MM EN BAJO CUBIERTA)
- FO.12 - CAPA DE COMPRESIÓN, MORTERO DE ACABADO E:3,4 CM

CALCULO DE FORJADO COLABORANTE HORMIGON MADERA

Para el cálculo del forjado se utilizó el programa de cálculo de ROTHOBLAAS para forjados colaborantes y obtener el número de conectores necesarios según el fabricante. Se calculó la Viga (250x650 cm) la más desfavorable con una Luz de 10m.

Datos del Sistema - Viga de madera

Ancho [mm]	Altura [mm]	Distancia entre apoyos [m]	Iy [cm4]	Wy [cm3]	A [cm2]	Clase de resistencia:
250	650	10,0	572135,4	17604,2	1625,0	GL24h según Eurocode 5 DE

Clase de servicio: 1

Datos del Sistema - Capa de hormigón

Ancho* [mm]	Grosor [mm]	Iy [cm4]	Wy [cm3]	A [cm2]	Clase de resistencia:	Entablado [mm]
1875	120	27000,0	4500,0	2250,0	C25/30	3,0

*) Ancho efectivo de la losa de hormigón según DIN 1045 / EN 1991 / SIA 262

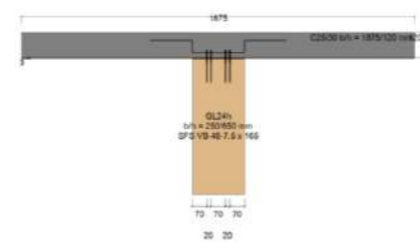
Valores característicos de resistencia de la madera según Eurocode 5 DE

Emean t=0 [N/mm2]	Emean t=∞ [N/mm2]	fm,k [N/mm2]	f0,k [N/mm2]	ft,90,k [N/mm2]	fc,0,k [N/mm2]	fc,90,k [N/mm2]	fv,k [N/mm2]
11500	7188	24,0	19,2	0,50	24,0	2,5	3,5

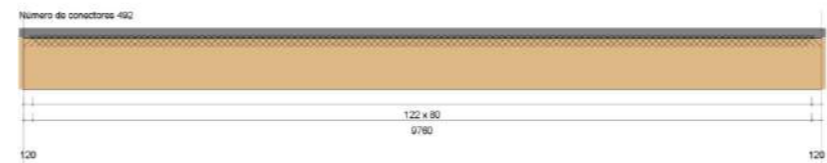
Modificación

Clase de servicio	kmod permanente	kmod larga	kmod media	kmod corta	kmod instantánea	γM	kcr
1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	1,30	0,714
2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	1,30	0,714
3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	1,30	0,714

Esquema estático - Sección

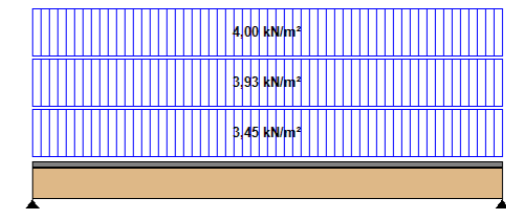


Reparto optimizado de los conectores



Se introdujeron las cargas a las que está sometida la viga y se colocaron los conectores necesarios para la optimización de ellos. A pesar de salir bastantes, es normal dado que la viga en cuestión esta sometida a unas cargas considerables, además el programa solo contemplaba lo conectores de su propia marca, pensado generalmente para viguetas.

e = 1,88m

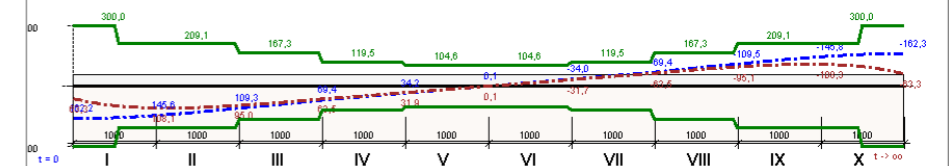
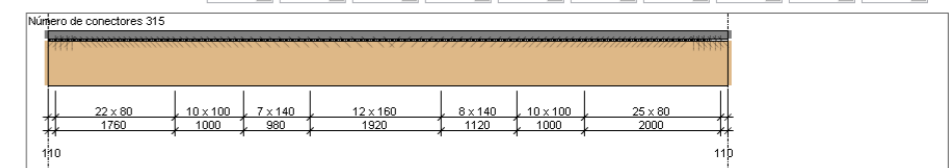


Norma de referencia para la combinación de cargas: 0
Retracción del hormigón: -0.50 %

1 = capa de hormigón + entablado + vigas de madera = 3,000 + 0,014 + 0,433 kN/m²

CC	Tipo de carga	Valor [kN/m²]	Posición [m]	Longitud [m]	Duración	Categoría para la combinación de cargas	ψ0	ψ1	ψ2	Origen
1	Carga uniforme	3,45			pema...	00 - carga permanente	1	1	1	Peso propio
2	Carga uniforme	3,93			media	03 - Aaamblea y salas de ventas	0,7	0,7	0,6	Sobre carga de uso
3	Carga uniforme	4,00			pema...	00 - carga permanente	1	1	1	Carga permanente

Grado de sollicitación de tensión marginal: 64 %
Coeficiente de utilización a cortante: 57 %
Verificación de los conectores: 39 %



Una vez metidos los conectores se calcula la resistencia al fuego para ver si se mantendría la resistencia del forjado. Los conectores propuestos por la casa comercial son los siguientes.

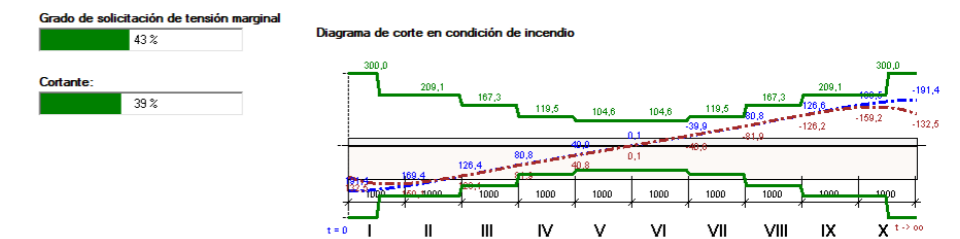
Verificación en condiciones de incendio según EN 1995-1-2:10-2006

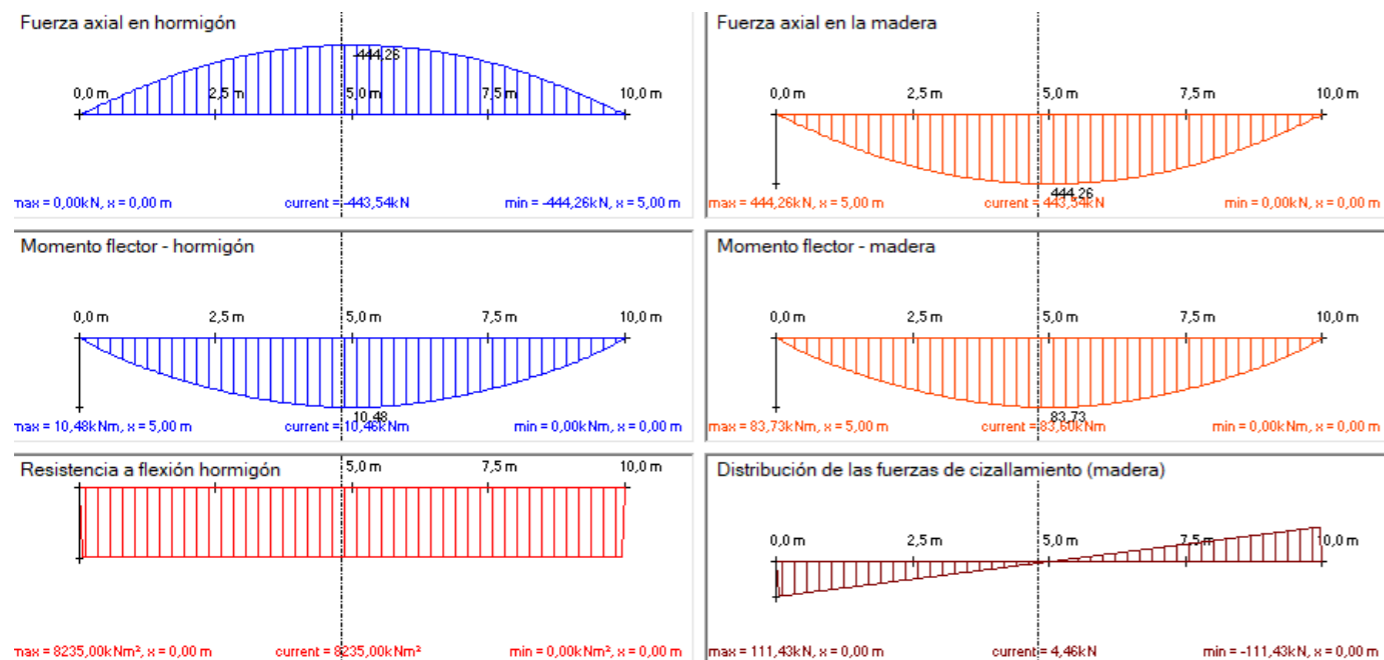
Resistencia al fuego (duración): 90 min

Características en condiciones de incendio:

- Velocidad: 0,70 mm/min
- fm,d,fi = 25,14 N/mm²
- fc,0,d,fi = 23,66 N/mm²
- fc,90,d,fi = 2,46 N/mm²
- ft,0,d,fi = 20,89 N/mm²
- ft,90,d,fi = 0,54 N/mm²
- fv,d,fi = 3,81 N/mm²
- Ed,fi = 10425,3 N/mm²

Sección eficaz en condición de incendio





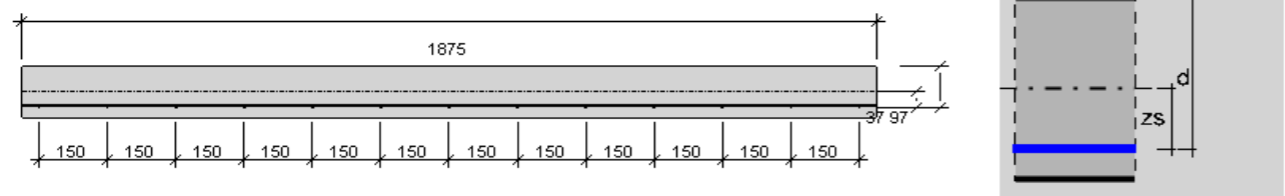
Momento
Combinación determinante de cargas
Prueba de tensión al margen
 $1,35*(LF1+LF3)+1,5*LF2$
 Momento t=0

Comprobación de resistencia a cortante
 $1,35*(LF1+LF3)+1,5*LF2$
 Momento t=oo

Grado de sollicitación de la madera
Tension borde (madera) 55%
Cortante: 3%
Posición 4.800

Se ejecutó el cálculo y se obtuvieron los diagramas de cortantes y momentos en la viga. También con el mismo programa se puede calcular el armado de la losa, pero el programa solo deja calcular con un armado, entendiéndolo como una capa de compresión. Sin embargo, en su momento se obvió este cálculo para el hormigón ya que se introdujo un segundo mallazo superior.

Dimensiones de la capa de hormigón

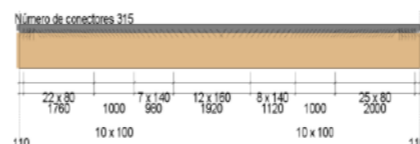


Valores de referencia
Combinación determinante de cargas $1,35*(LF1+LF3)+1,5*LF2$
Clase de resistencia del hormigón C25/30 $f_c, k (hormigón) 25 N/mm^2$ $f, y, k (acero de amadura) 500 N/mm^2$
Fuerzas internas $M Ed: 10,48 kNm$ $N Ed: -444,26 kN$ $\mu Eds = 0,108$
Diámetro de las barras c nom 20 mm
Diámetro de las barras (dirección principal) 6 mm } $z_s 37 mm$

Selección de la amadura
Amadura longitudinal necesaria 1,88 cm²/m
Diámetro de las barras (dirección principal) 6 mm
Distancia entre barras 15,0 cm
Amadura longitudinal efectiva 1,88 cm²/m
Amadura transversal necesaria 1,88 cm²/m
Diámetro de las barras (dirección transversal) 6 mm
Distancia entre barras 15,0 cm
Amadura transversal efectiva 1,88 cm²/m

x (m)	Longitud límite de carbón a (mm)	$f_{y,d}$ (N/mm ²)	$f_{y,d,0,95}$ (N/mm ²)	$f_{y,d}$ (N/mm ²)	OK?
0,00	273,31	0,83	0,32	2,15	✓
0,50	273,31	0,81	0,50	2,15	✓
1,00	273,31	0,75	0,55	2,15	✓
1,50	273,31	0,66	0,54	2,15	✓
2,00	273,31	0,56	0,49	2,15	✓
2,50	273,31	0,46	0,42	2,15	✓
3,00	273,31	0,36	0,33	2,15	✓
3,50	273,31	0,27	0,25	2,15	✓
4,00	273,31	0,18	0,16	2,15	✓
4,50	273,31	0,08	0,08	2,15	✓
5,00	273,31	0,00	0,00	2,15	✓
5,50	273,31	-0,09	-0,08	2,15	✓
6,00	273,31	-0,17	-0,16	2,15	✓
6,50	273,31	-0,27	-0,25	2,15	✓
7,00	273,31	-0,36	-0,33	2,15	✓
7,50	273,31	-0,46	-0,42	2,15	✓
8,00	273,31	-0,56	-0,49	2,15	✓
8,50	273,31	-0,66	-0,54	2,15	✓
9,00	273,31	-0,75	-0,55	2,15	✓
9,50	273,31	-0,81	-0,50	2,15	✓
10,00	273,31	-0,83	-0,32	2,15	✓

Reparto optimizado de los conectores



Conclusiones tras el cálculo con el programa.

Fuego. A pesar, de que la sección de la viga aguante a fuego la sección de la vigueta no aguantaría ya que en 90 min se perdería 7,11 cm y el espesor de la vigueta de 15cm perdería sus características resistentes.

Conectores. En el caso de los conectores es inviable la cantidad que estipulaba el programa.

Simplificación. El programa no ofrece todas las soluciones o variables de este tipo de solución constructiva Aplicaciones a nuevo Diseño.

Las cuestiones para considerar para el nuevo diseño son evitar estos dos inconvenientes. Primero reduciendo la luz más desfavorable puliendo el diseño estructural y segundo duplicando los elementos estructurales tipo viguetas para proteger de una larga duración expuesta a fuego.

Ventajas del forjado de Hormigón-Madera Insitu.

- Reparto homogéneo de las cargas gracias a la capa de compresión.

Frente a la resolución de forjados con tableros o entramados ligeros la utilización de conectores y el mallazo consigue homogeneizar el reparto de cargas a la estructura portante.

- Aumento de la capacidad resistente de los elementos estructurales.

Además el disponer de una capa de compresión aumenta notoriamente la capacidad de carga de las viguetas, aliviando los esfuerzos de compresión a la fibra de la madera, siendo estos peores que la capacidad resistente a tracción de la madera.

- Obtención de un plano bastante rígido frente a cargas horizontales en sus ejes.

Conseguir un plano muy rígido por el que trasladar y asumir los esfuerzos horizontales.

- Resolución puentes acústicos.

Debido a la densidad del propio material del hormigón es muy fácil conseguir aliviar los problemas acústicos derivados de la construcción con madera.

Desventajas del forjado de Hormigón-Madera Insitu.

- Peso.

Al disponer de un material más pesado se aumenta considerablemente el peso propio que de los elementos estructurales

- Tiempos de fraguado insitu.

Al tener que esperar al fraguado de la capa de compresión se aumentan los tiempos de obra.

- Puesta en obra.

El tener que disponer un vertido y vibrado, además de los controles de calidad, puesta en obra de los conectores complican la ejecución.

- Humedad.

Introduciendo un elemento húmedo en una obra con estructura de madera hay que tener extremo cuidado de los cambios de humedad debido al hinchazón y merma de la propia madera.

Conclusiones de análisis de trabajos previos.

Tras analizar bajo otra perspectiva y con conocimientos más amplios en el cálculo estructural se puede resumir que el trabajo anterior sirvió para intuir superficialmente las características de combinar la madera trabajando a tracción y el hormigón a compresión para resolver un forjado.

Tras ver las ventajas y desventajas de esta solución se observa que al meter un elemento prefabricado de fácil puesta en obra se reducen completamente todas las desventajas excepto la del peso. Sin embargo fabricando en taller estos elementos podemos garantizar una ejecución más sencilla por las herramientas disponibles, aparte de conseguir una estandarización, industrialización y reducción de costes.



Investigación.

Sistemas Hormigón-Madera.

Sistema alle O'portune® de conceptboisstructure.

Tras indagar y descubrir una foto en Pinterest de un forjado colaborante de madera hormigón se acaba obteniendo unas fichas técnicas de una empresa francesa que comercializa este tipo de forjados.

La propuesta consiste en un forjado con unas secciones de madera entre 60x120 o 80x260 con para resolver luces de 4 a 11 m

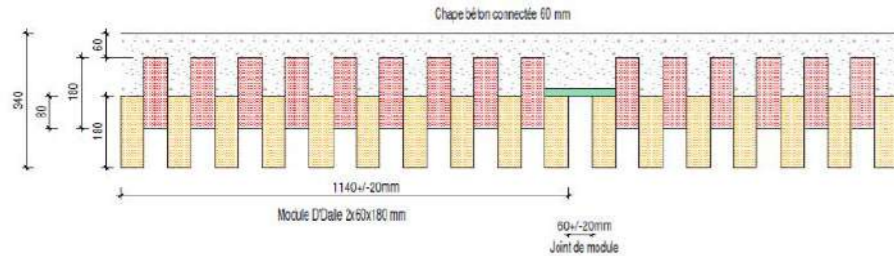


Imagen: deformaciones globales. Fuente. conceptboisstructure

Tras analizar esta propuesta en la que utilizan el desfase de las viguetas para aumentar la superficie de rozamiento entre la madera y la capa de hormigón. De esta madera además proponen disponer de unos conectores longitudinales tipo chapa embebida dentro de la capa de compresión.



Imagen: conectores. Fuente. . conceptboisstructure



Imagen: conectores. Fuente. . conceptboisstructure



Imagen: Ensayo. Fuente. . conceptboisstructure

También se observa el comportamiento a fuego y acústico del elemento. Sin embargo no se consigue obtener los valores mecánicos ni resistentes del forjado

D-dalle				Ln	Rw
Essai (fiche)	Composition				
S 9551-16 (32 / 31)		60 mm 380 mm	béton C20/C24 60/240 mm rec. 100mm	84 dB	53 dB
S 9551-18 (36 / 35)		20 mm 15 mm 60 mm 380 mm	2 x 10mm plâtre laine minérale béton C20/C24 60/240 mm rec. 100mm	44 dB	61 dB
S 9551-17 (34 / 33)		30 mm 30 mm 60 mm 380 mm	3 x 10mm plâtre laine minérale béton C20/C24 60/240 mm rec. 100mm	42 dB	63 dB

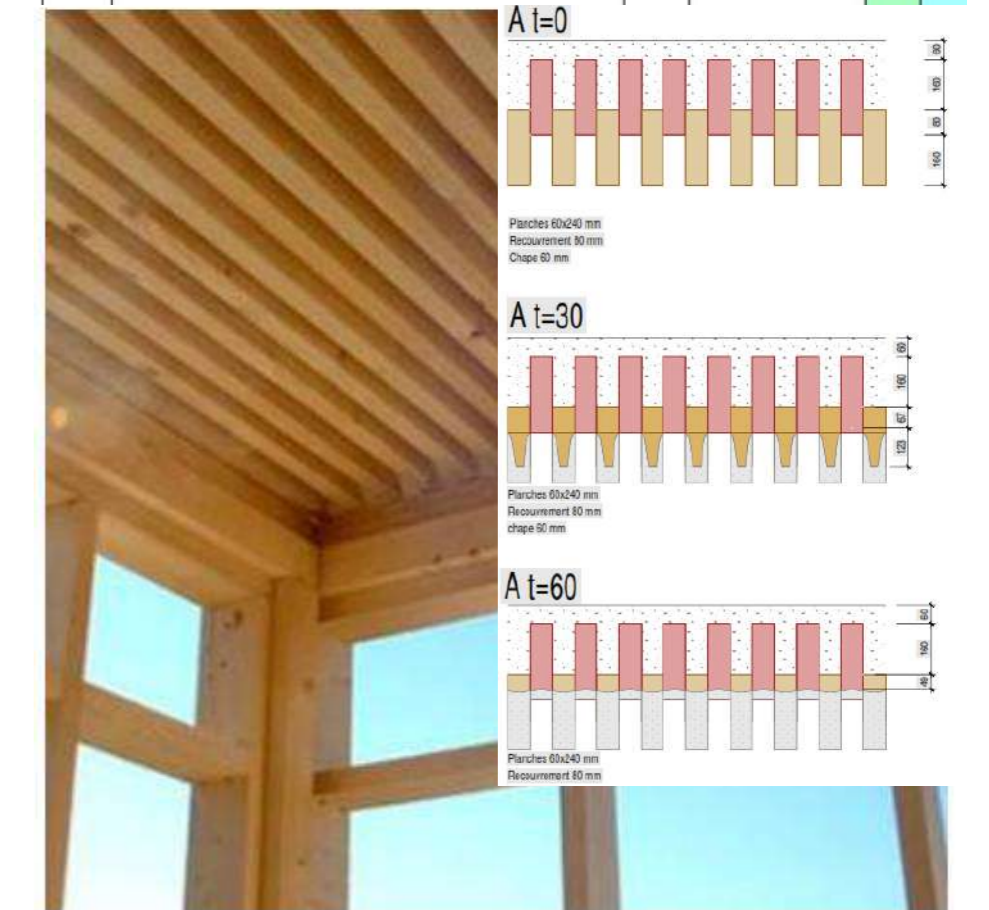


Imagen: deformaciones globales. Fuente. . conceptboisstructure

Sistemas Hormigón-Madera.

Sistema Edificio de oficinas en Dornbirn Hermann Kaufmann ZT

Otro de las soluciones y sistemas constructivos encontrados es el edificio de oficinas en Dornbirn.

En este edificio de entramado pesado se propone un forjado de hormigón-madera en el que las losas de los testeros se resuelven mediante un zuncho de hormigón. Todo ello prefabricado en talles para la ejecución más sencilla en obra.

En cuanto el sistema es bastante sencillo se disponen pilares en cada esquina de las losas. Sobre los pilares un conector tubular encaja perfectamente con el hueco dejado en la cabeza de la vida de borde de hormigón de la losa.

De esta manera disponiendo de unos apoyos en las cuatro esquinas se colocan de manera rápida todas las losas.

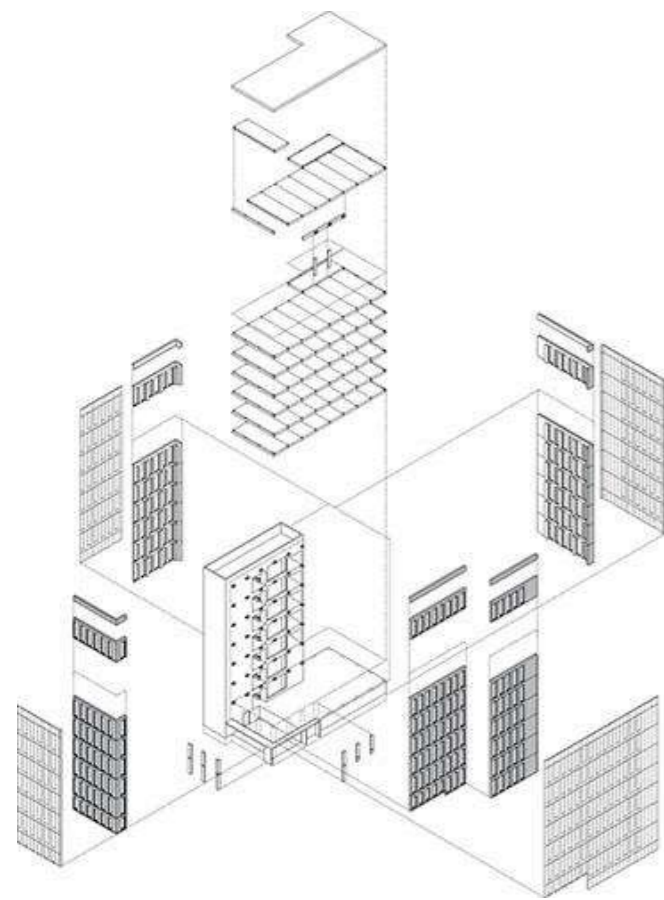
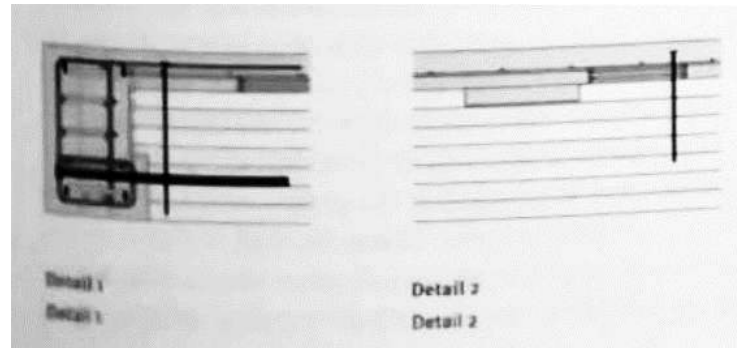


Imagen Dornbirn Hermann Kaufmann ZT GmbH. Fuente. Tektonica

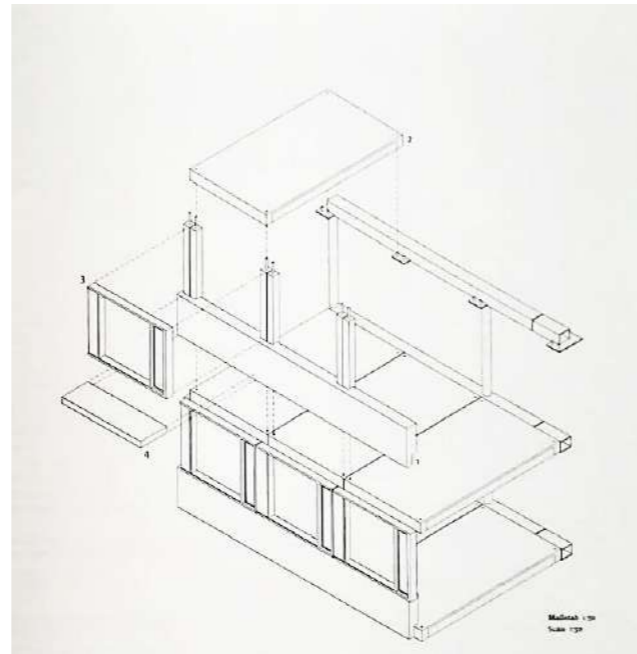


Imagen. Montaje Fuente: Detail

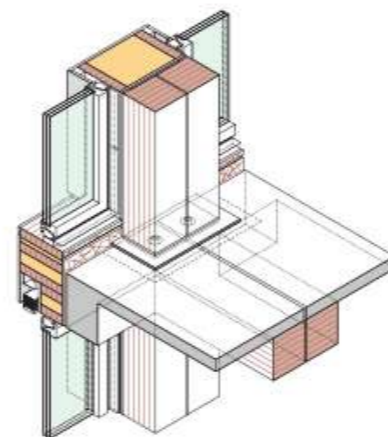
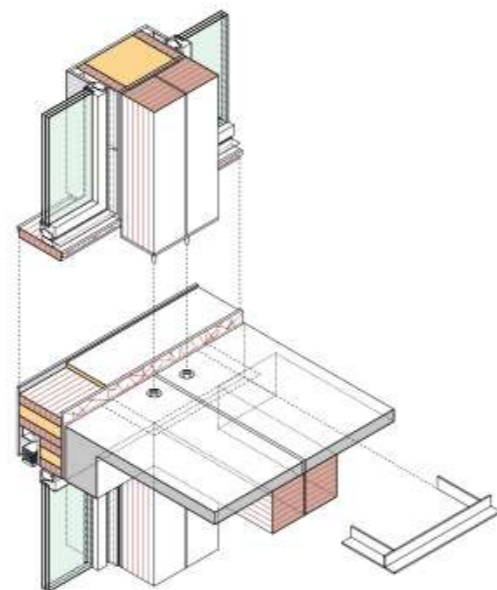
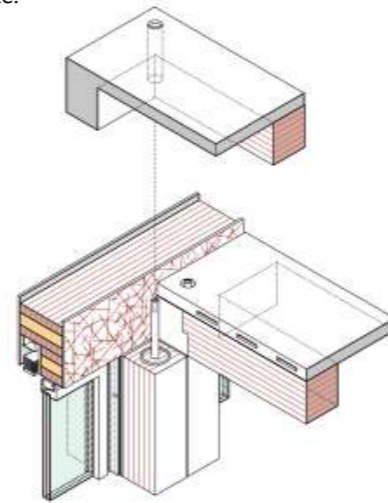
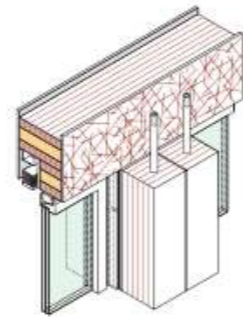


Imagen Dornbirn Hermann Kaufmann ZT GmbH. Fuente. Tektonica

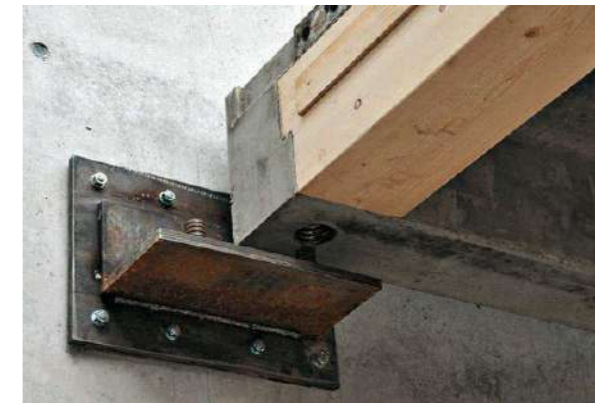


Imagen. Apoyo de forjado Fuente: Pinteres

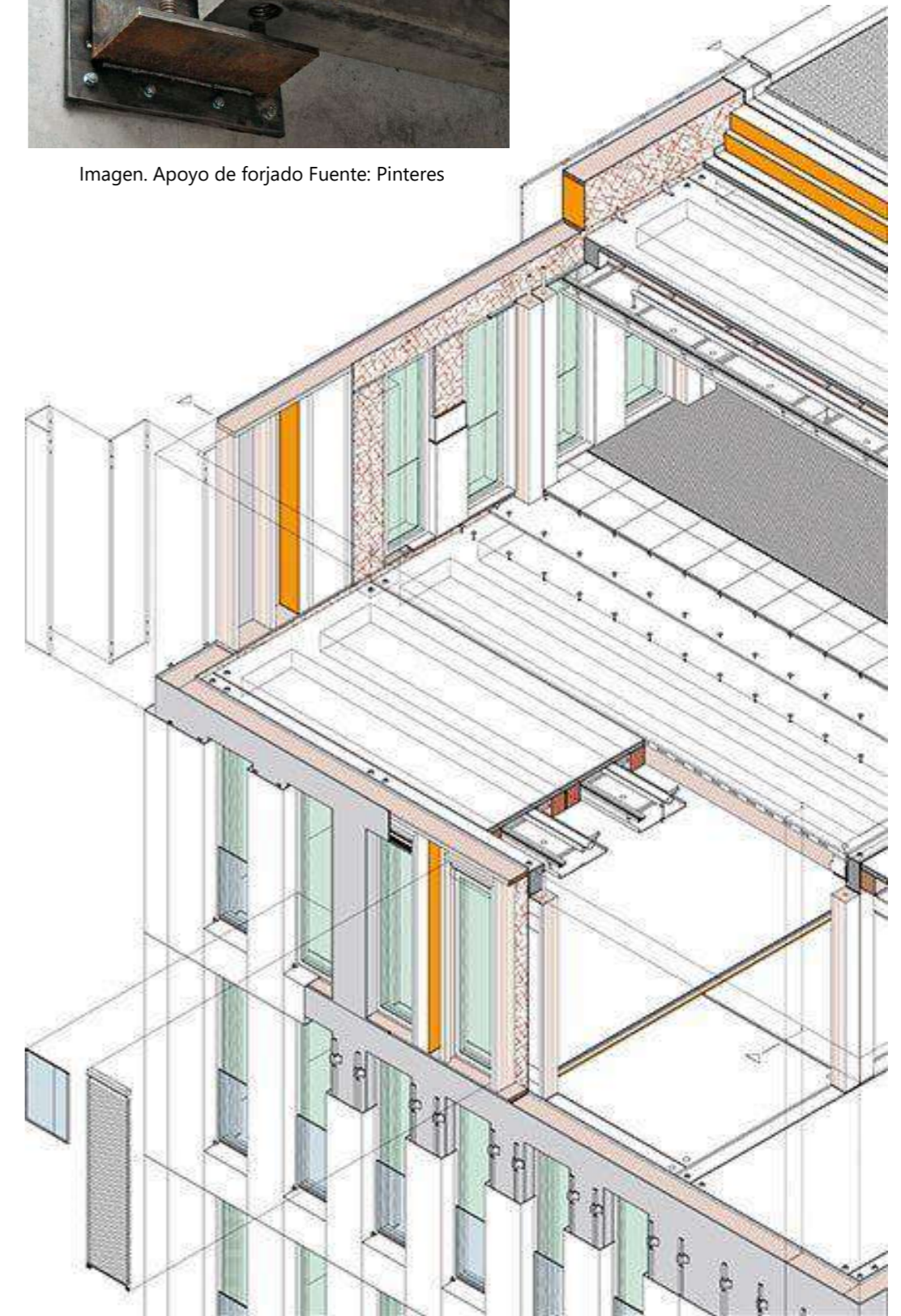


Imagen Dornbirn Hermann Kaufmann ZT GmbH. Fuente. Tektonica

Sistemas prefabricados

Sistema Edificio de oficinas en Dornbirn Hermann Kaufmann ZT

La investigación sobre este edificio fue muy interesante ya que todas sus fases fueron planteadas desde la metodología BIM, la construcción con madera y la prefabricación. En el se acaba planteando unos forjados de CLT para resolver la estructura portante horizontal.

Por experiencia previa con proyectos de madera en UBC, UBC PT estaban familiarizados con el riesgo fundamental que presenta la entrada de humedad en dicha estructura durante la construcción: demasiada humedad podría retrasar el sellado, lo que afectaría tanto el cronograma como el presupuesto, para no minimizar el potencial de moho futuro y problemas de pudriciones de la madera. Por lo tanto, sabían que sería beneficioso ensamblar y encerrar la estructura durante el secado es decir meses de verano. Esto proporcionó un margen de aproximadamente 16 semanas para montar y ensamblar toda la estructura de madera.

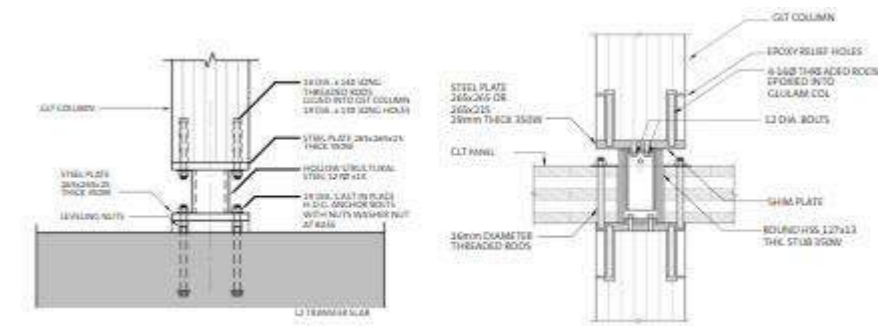
El desarrollo de un diseño que se pudiera construir en un plazo de 16 semanas requería la entrada detallada tanto del constructor como del fabricante, cuya colaboración podría proporcionar comentarios precisos sobre las implicaciones del horario (y el costo) de diferentes sistemas estructurales y opciones de envoltorio del edificio.

Arquitectos, junto con las ingenierías y un asesor en maderas altura, Hermann Kaufmann, fueron seleccionados para informar al equipo de diseño; cada vez que se designaba un nuevo miembro de los diferentes equipos que colaborarían en el proyecto.

Una vez que los profesionales del diseño, los fabricantes, los equipos de dirección de construcción y construcción estuvieron involucrados, se reunió a todos en torno a objetivos comunes: **simplicidad y eficiencia de diseño, capacidad de construcción, presupuesto objetivo y calendario.**



Imagen: Modelo real de propuesta estructural Fuente: naturally wood



Imágenes Detalle constructivo y gestión de obra. Fuente: naturally wood

Imagen: Modelo real de propuesta estructural Fuente: naturally wood
También se usó el modelado 3D durante la fase de diseño. El modelado 3D dio como resultado estructuras completamente detalladas: elementos y conexiones, sistemas mecánicos y eléctricos, y accesorios arquitectónicos; todo integrado durante el proceso de diseño. Cuando llegó el momento de la producción, la información del modelado 3D se convirtió en archivos de fabricación para CNC mecanizado. Esto, en combinación con la precisión de los elementos de madera prefabricados, condujo a tolerancias extremadamente estrictas, especialmente cuando se compara con la construcción de hormigón. La cantidad de tolerancias y desajustes en el sitio se redujo drásticamente.

El enfoque multidisciplinario desde el inicio hizo posible que el equipo de diseño afinara de manera simple y rentable diseño estructural que podría ensamblarse dentro de las restricciones de programación. Cuando todo estuvo fabricado la puesta en obra y construcciones teniendo en cuenta todos los posibles encuentros y detalles, redujeron el 40 por ciento de un calendario ya apretado. Los Beneficios prácticos de este tiempo de construcción más corto de lo previsto: rentabilidad, seguridad mejorada del sitio y menos interrupción del vecindario.

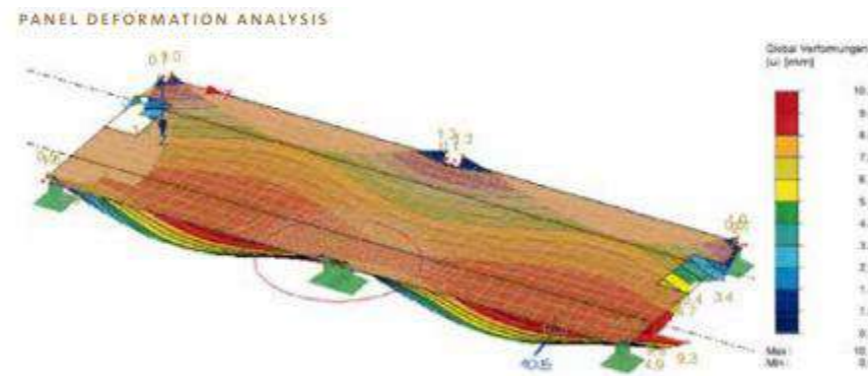


Imagen: Modelo dlobal de propuesta estructural Fuente: naturally wood

Otros casos.



Imagen: unión viga mixta con pilar ZT GmbH. Fuente. Pinterest

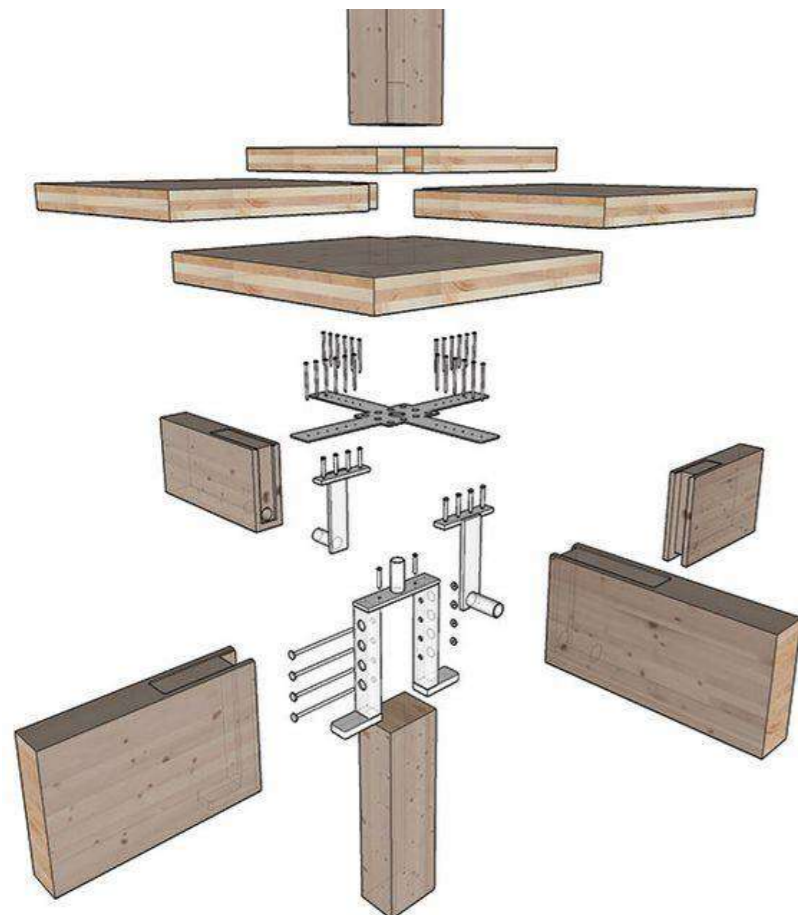


Imagen: Forjado CLT y pilar. Fuente. Pinterest

Ventajas de los casos estudiados.

- Industrialización y fabricación en taller.

Reducción de costes mediante el modelado 3d y la fabricación digital, así como la estandarización de los elementos..

- Secciones Mixtas

Aprovechamiento de las capacidades mecánicas de los materiales y optimización de las secciones.

- Sencillez de puesta en obra

Dimensiones de los elementos estructurales de acuerdo a un mejor transporte, almacenamiento y puesta en obra

- Luces importantes.

Resolución de vanos de mucha luz con los elementos de forjados prefabricados.

- Poco acero en las uniones

Uniones articuladas, evitando complicaciones para los aprietes de tuercas

- Rigidizar mediante núcleos de hormigón

Utilización de los núcleos verticales rígidos para la estabilidad global de la estructura.

Desventajas de los casos estudiados

- Carencia de continuidad en la capa de hormigón.

Al ser elementos discontinuos no hay una continuidad en la capa de compresión del hormigón por lo que no hay un traslado homogéneo de las cargas horizontales.

- Uso masivo de hormigón

El uso de hormigón para resolver las cabezas de las losas y armarlas pierde el sentido de utilizar la madera en la medida de lo posible.

Conclusiones de investigación previa.

Tras analizar las diferentes propuestas se observa que en todas ellas se opta por un sistema de prefabricación. La razón antes comentada es la industrialización de los materiales que mediante un modelo 3d se puede proceder a su mecanizado y ensamblaje por control numérico. Todo ello permite una automatización de los procesos y por ello a una mejor gestión de los materiales en todas las fases de ejecución.

Por otro lado también se puede observar un diseño más sencillo de puesta en obra por lo que los gremios y operarios necesarios se reducen considerablemente.

Tras ver las ventajas y desventajas de esta solución se observa que al meter un elemento prefabricado de fácil puesta en obra podemos garantizar una ejecución más sencilla, aparte de conseguir una estandarización, industrialización y reducción de costes.

Caso de estudio. Edificio Industrial

Descripción.

Edificio de Talleres y Laboratorios en Portal de Gamarra, Vitoria Gasteiz.

El edificio debido a su carácter del tipo industrial se distancia a unos 14 m para permitir el paso entre los edificios y la percepción del parque y arbolado entre ellos. En este edificio se plantea la entrada de la misma manera que el principal dando a un pequeño hall de entrada que da a un distribuidor principal donde a la derecha se suceden los diferentes laboratorios. Dichos laboratorios los conforman un almacén de 7 x 3.5 de, una sala de control de la misma dimensión, y una sala para maquinaria de unos 14x14m. Estos laboratorios cuentan con unas escaleras incendio y local técnico donde se controle las demandas y potencias de electricidad de cada sala. A la izquierda del hall se sitúan los servicios y núcleos de comunicación formado por escaleras de incendios y 2 montacargas. Este esquema de distribución se repite en 2º planta donde solo se añade el fatlab como cuerpo saliente y a modo de volumen que vuela sobre los pilares de madera en planta Baja.

Superficies

En planta Baja

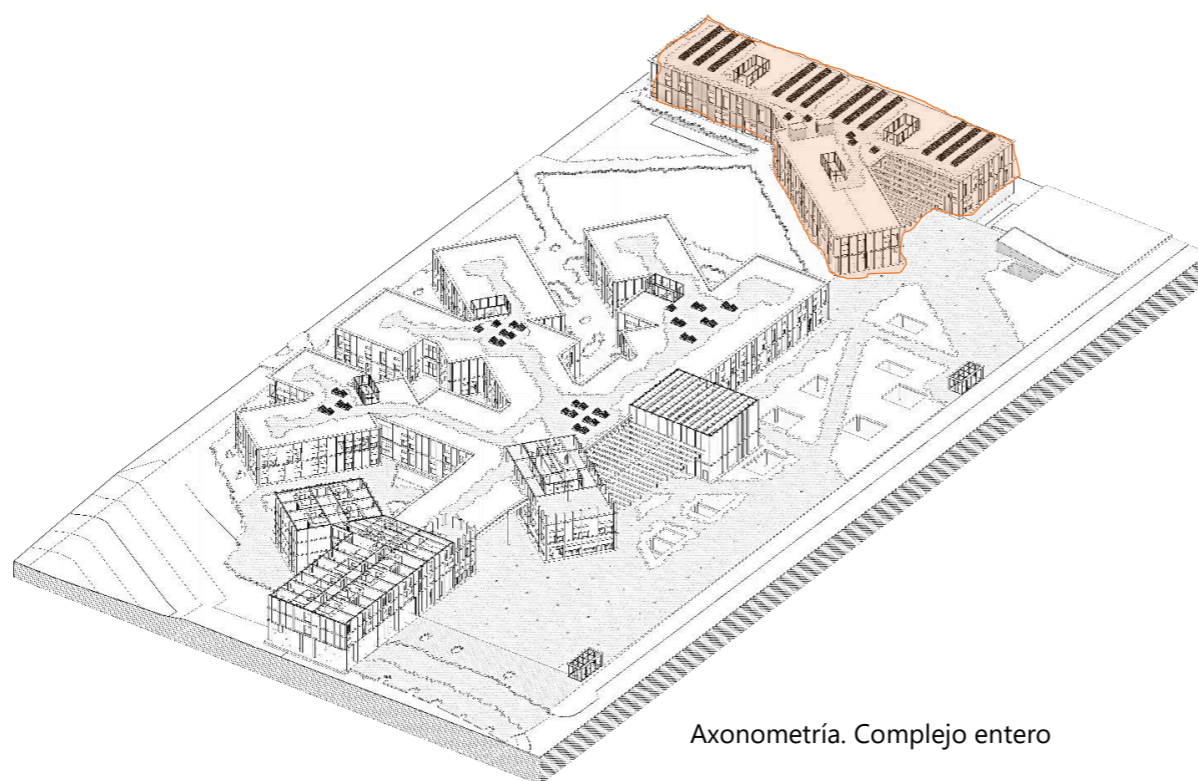
EDIFICIO INDUSTRIAL	
S. construida:	1883,83 m ²
Hall	284,39 m ²
Baños	83,93 m ²
Laboratorios (Sala de control, almacen...)	829,18 m ²
Locales técnicos	95,14 m ²

En planta primera

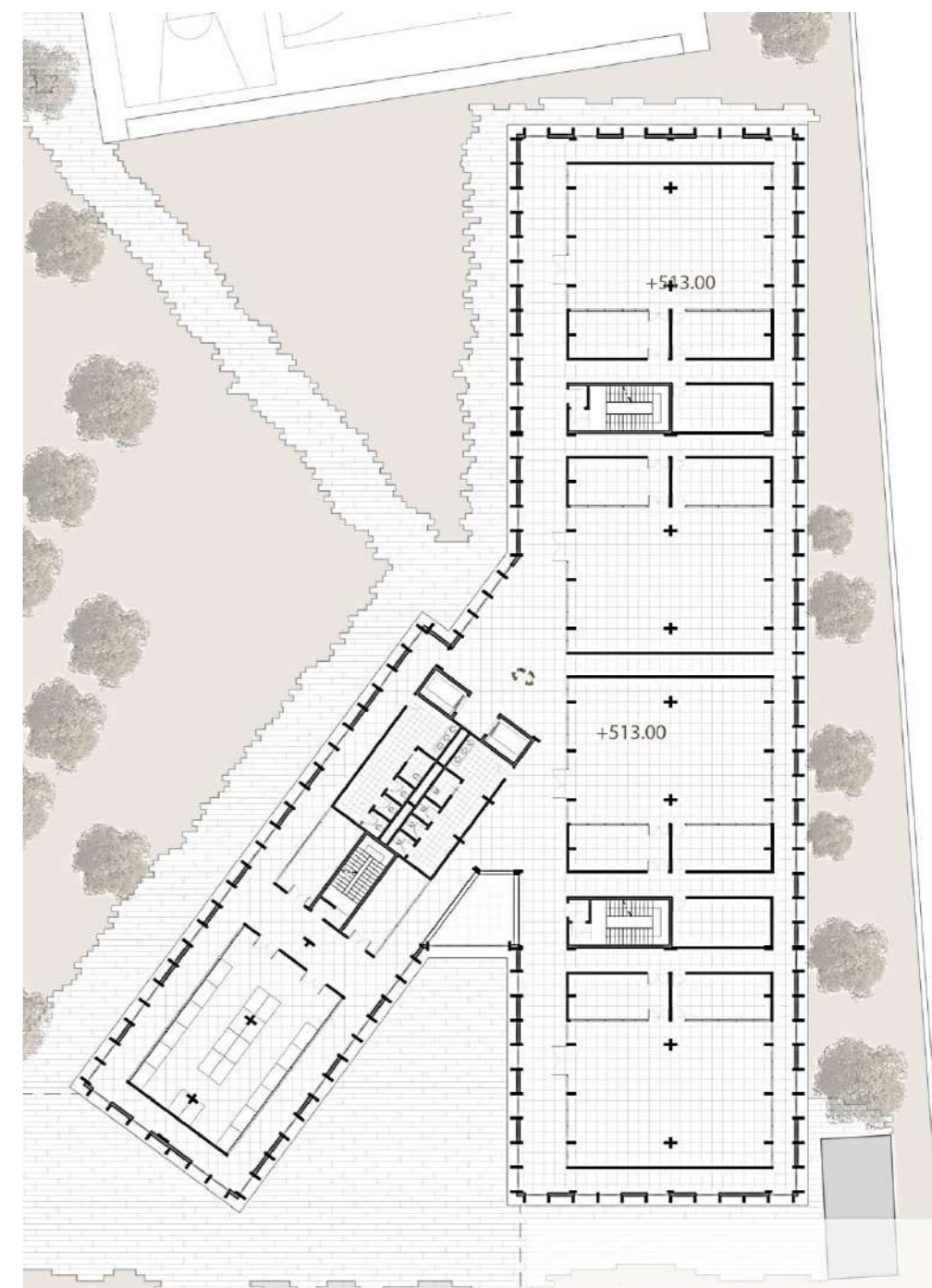
EDIFICIO INDUSTRIAL	
S. construida:	2116,12 m ²
Hall	263,39 m ²
Baños	83,93 m ²
Laboratorios (Sala de control, almacen...)	829,18 m ²
Locales técnicos	95,14 m ²



Infografía



Axonometría. Complejo entero



Planta 1º Edificio



Alzado



Sección Transversal

Esquema Estructural. Estructura Global.

Descripción.

Partiendo de la propuesta de la sección de la losa prefabricada se rediseña la distribución de pórticos principales genérica. Obteniendo una planta muy repetitiva en la que se existe una simetría, en los ejes longitudinal y transversal en el brazo principal del edificio. También se plantean dos núcleos, de escaleras y dos de ascensores, rígidos que ayuden en la estabilidad del edificio.

En el brazo corto del edificio y la unión entre ambos la tipología cambia, planteando dos vanos de 7m y en la unión se planteará una estructura reticular que reparta y resuelva la complejidad de ese espacio. Sin embargo, se decide abordar en primer brazo.

También se debe aclarar que en el diseño los pilares en el perímetro estas separados ya que se plantean dos estructuras. Siendo la primera la estructura interna y otra externa que será la de fachada.

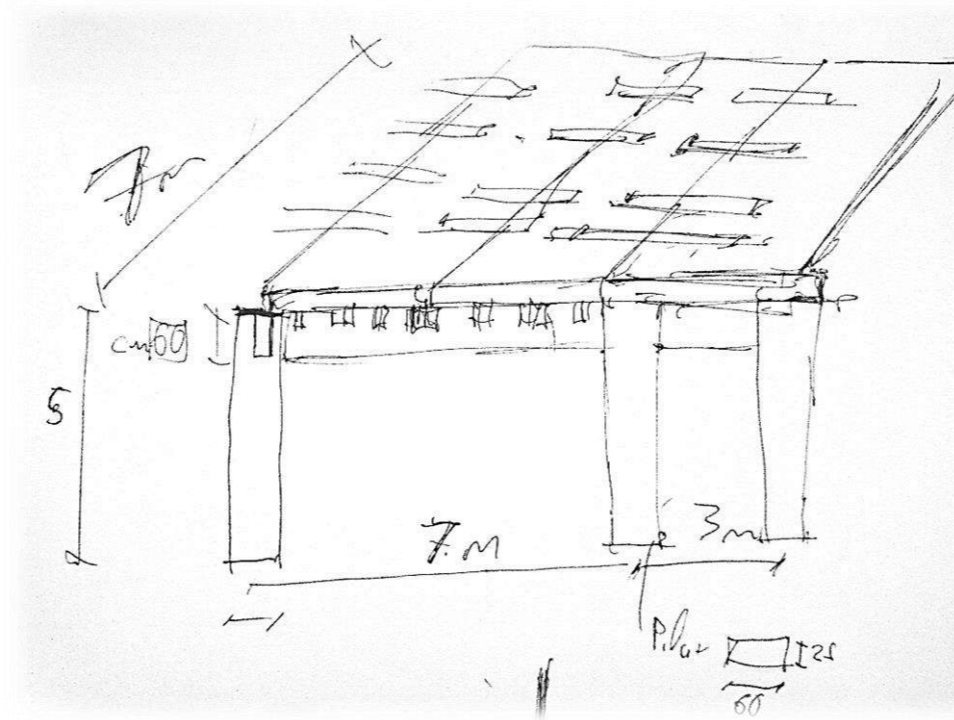
Estructura Externa.

La extruntura externa se plantea como una jaula que envuelve todo el edificio. Además esta estructura externa sera a la que le se apliquen las cargas de viento. Teniendo que diseñar una union rigida en el eje horizontal del esta malla vertical. Mediante esta estrategia y con la colaboracion de los forjados rigidos de Hormigon- Madera se pretende hacer frente a la estabilidad global del edificio.

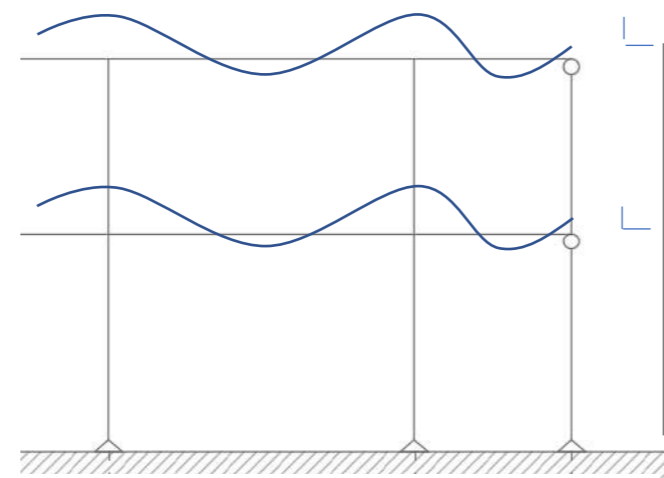
Estructura Interna.

La estructura interna por otro lado hara frente a las cargas verticales y mediante las conexiones con la estructura externe pretende que en el plano horizontal y con el peso propio de los forjados aportar la suficiente rigidez y peso a al comportamiento de la estructura global.

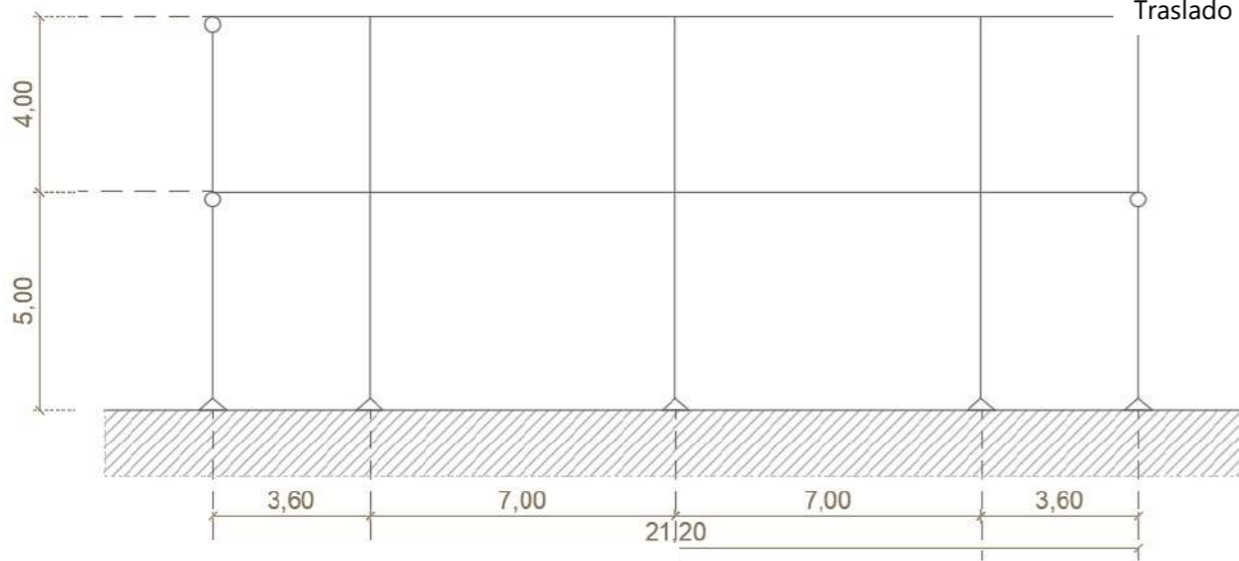
En el caso de la distribucion de las losas la intencion es colocarlos en el sentido mas eficiente de los mismos para su fabricación



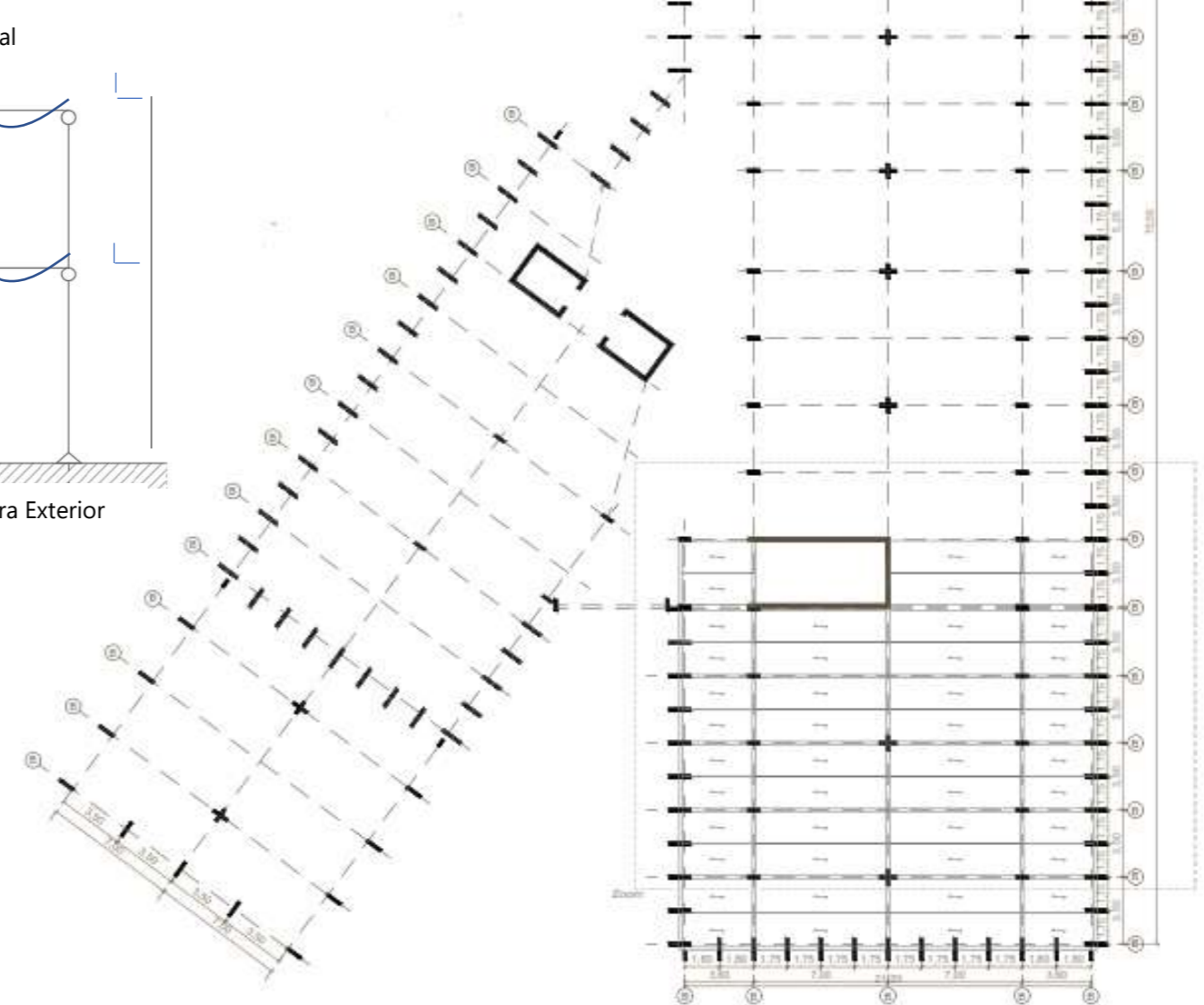
Primer Esbozo de Esquema estructural



Traslado de solicitaciones con Estructura Exterior

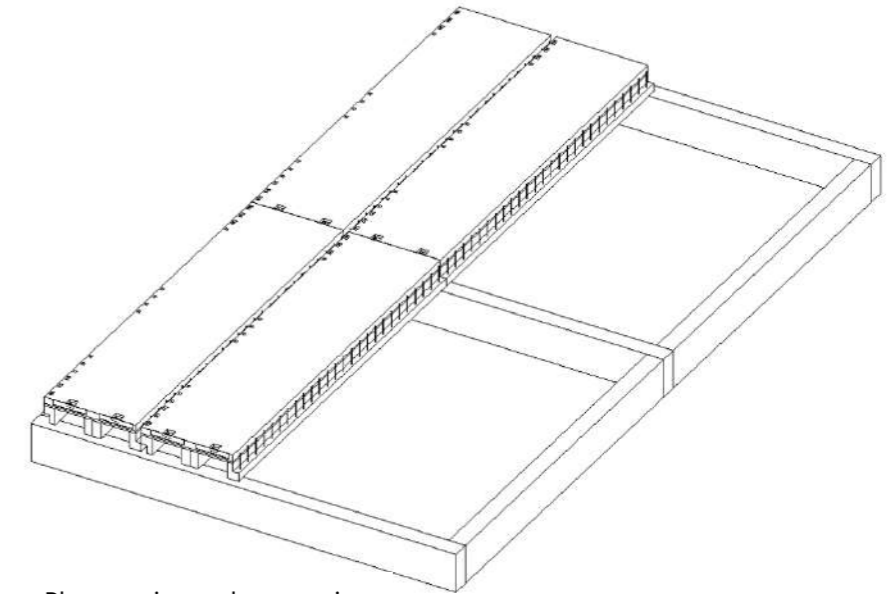


Primera idea de Modelado de tipología.

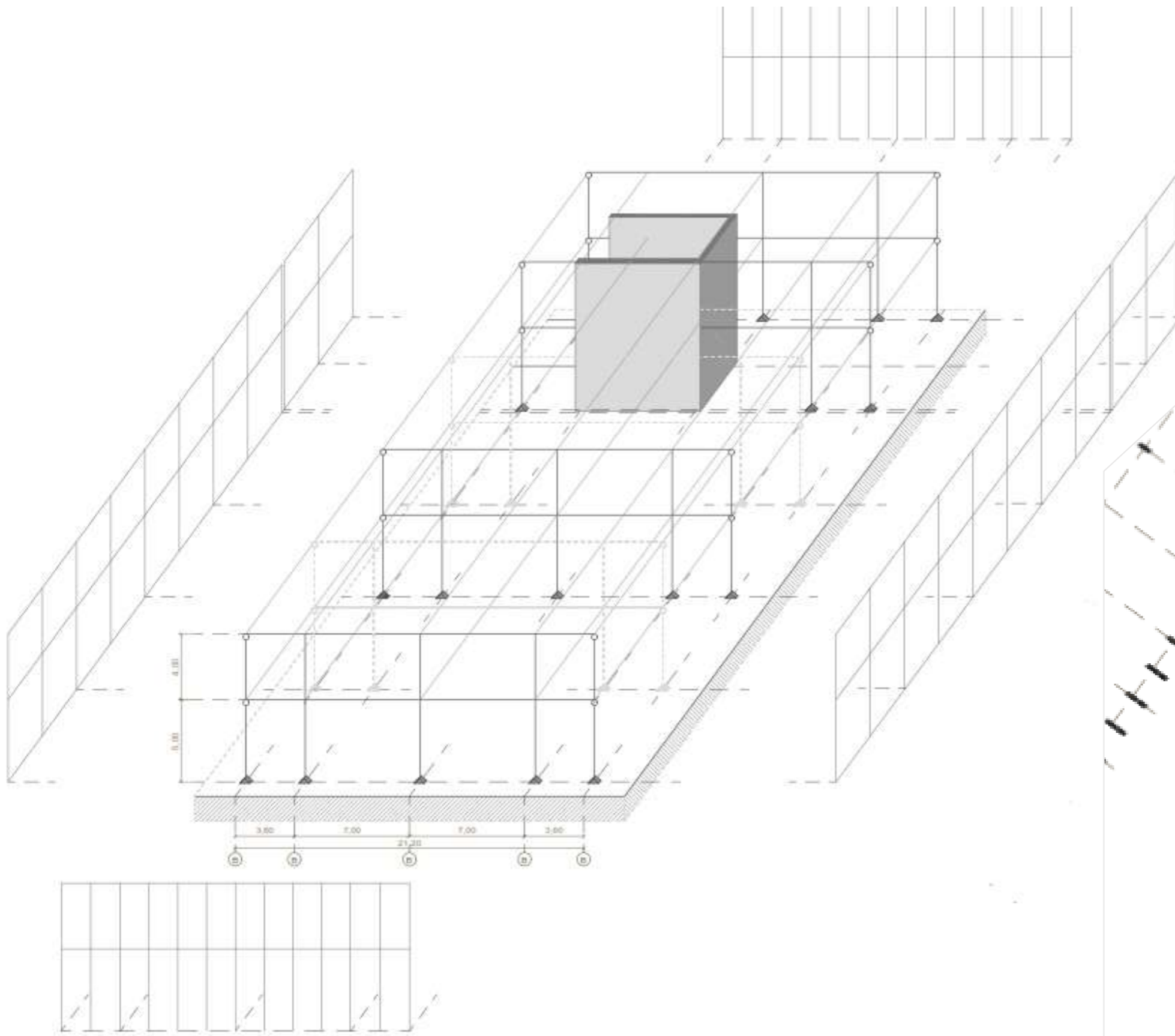


Planta Estructuras

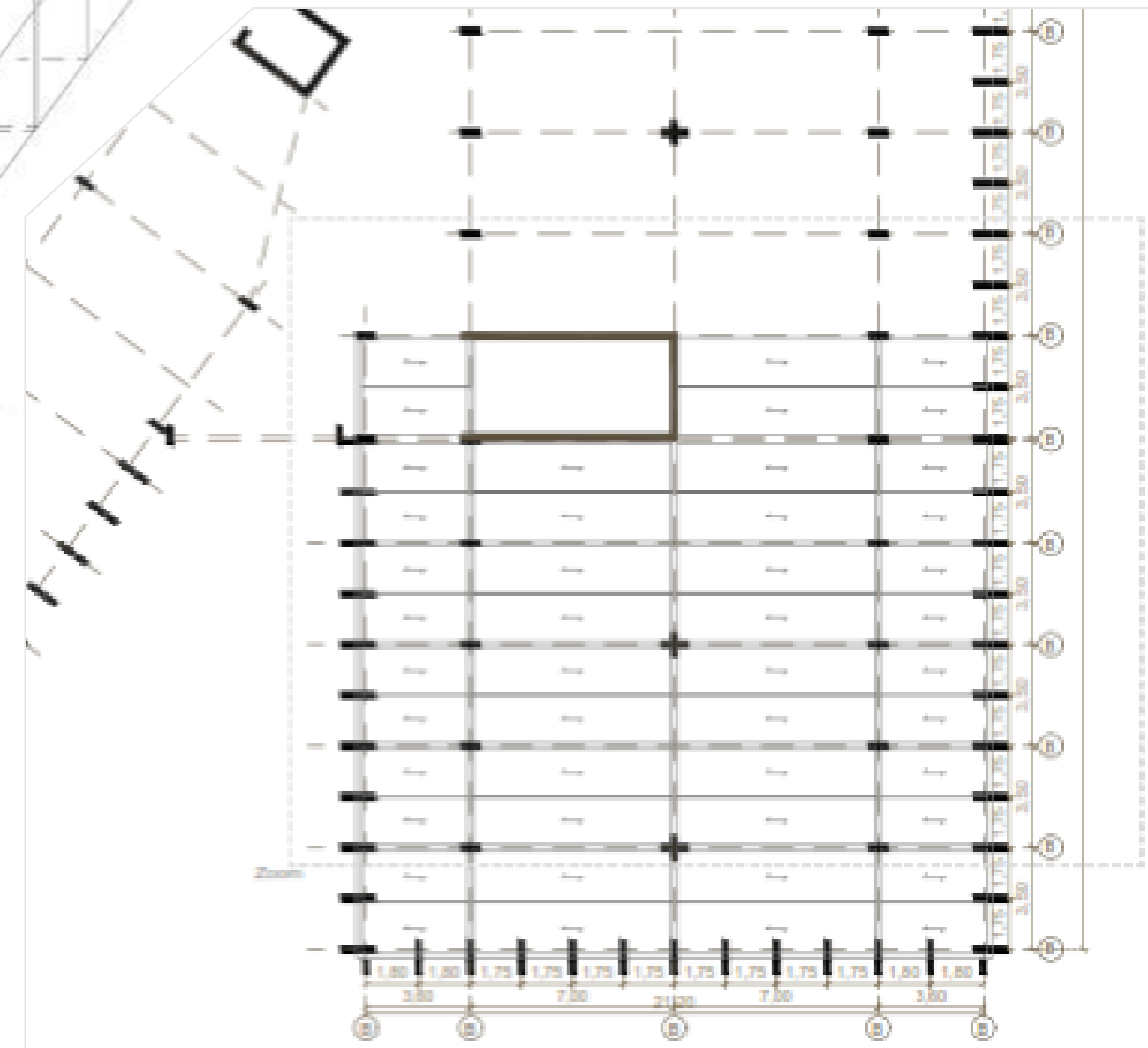




Primer Planteamiento de montaje



Axonometría de planteamiento.

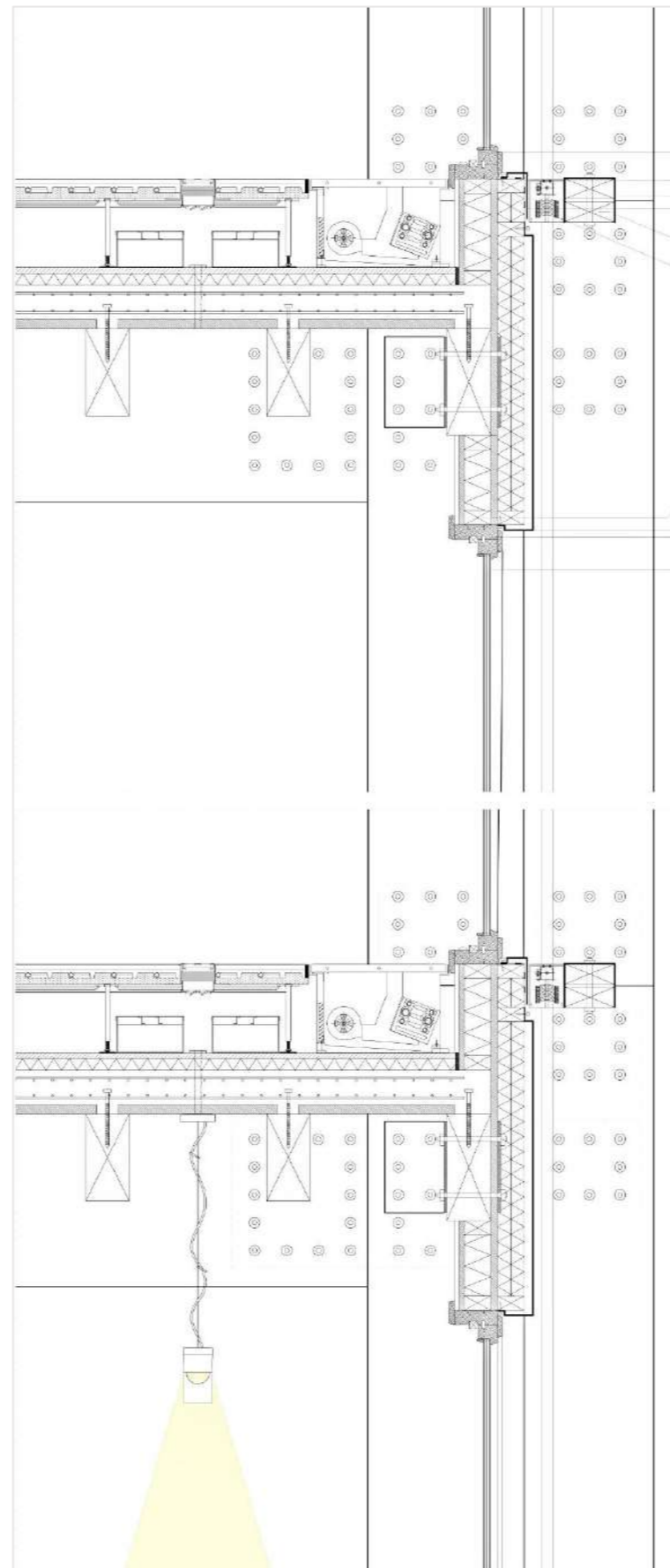


1ªPropuesta de disposición de losas Planta Estructuras

Acciones para cálculo.

A continuación se enumeran todas las acciones consideradas que se consideraron en el programa.

- Peso propio – definida por el programa
- Fachada – 1.8kN/m se desprecia para el ejercicio propuesto
- Tabiquería - 1,2 kN/m²
- Carga muerta pasillos por equipo - 4 kN/m².
- Sobrecarga de uso – 4 kN/m²
- Sobrecarga de uso zona administrativa B en cubiertas - 1kN/m²
- zonas de acceso y evacuación tipo A y B - 1 kN/m²
- Acción de viento – definido en programa
- Nieve - 1,0 kN/m²



Diseño de Losa de Hormigón-Madera prefabricada.

Para entender cómo se va a plantear el diseño y análisis del esquema estructural del edificio se ha comenzado desde el diseño del propio elemento de la losa de hormigón-madera.

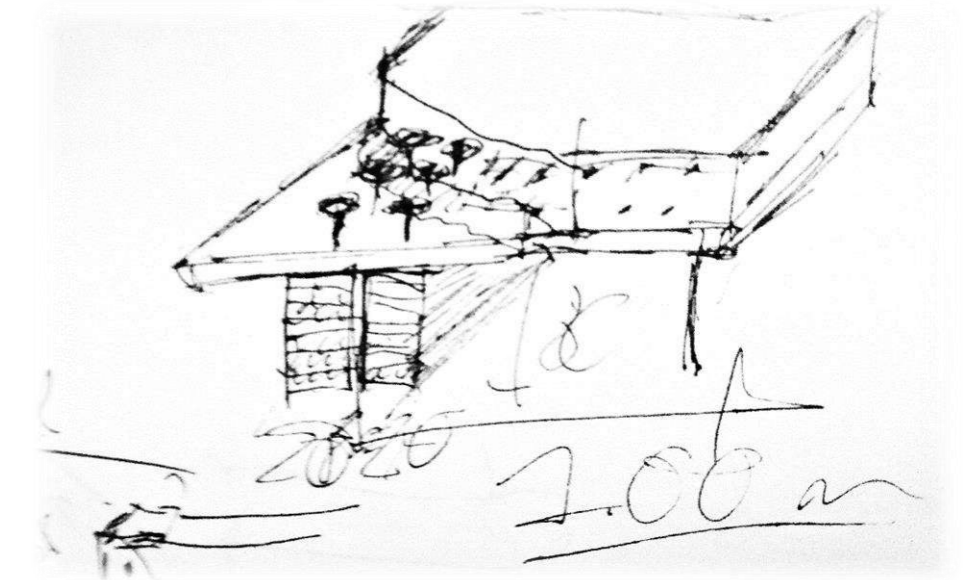
Para que se ajuste al objetivo de obtener una losa prefabricada eficiente para los criterios de ejecutar una obra en seco prescindiendo en la medida de lo posible de uniones, conectores y armados que no se ejecuten en la propia obra.

Se entiende por tanto que es imprescindible diseñar el elemento y sus uniones para la ejecución y puesta en obra sencilla. Intentado que las uniones y empalmes de cada losa eviten posibles errores al tener demasiada rigidez o al diseñarlo no meditar en posibles tolerancias y por consiguiente los errores en obra.

Teniendo en cuenta las anteriores conclusiones se comienza a diseñar una sección que haga frente a los requisitos y solicitudes a las que se va a someter tanto desde el aspecto de cargas como de resistencia a fuego.

Por lo tanto, para aumentar la capacidad estructural del forjado se decide duplicar las viguetas aumentando esa capacidad estructural frente a las solicitudes además de conseguir una sección que aguante más frente a la acción del fuego.

Ambas viguetas de (300x150 cm) contarán con conectores y un entablado de 3,5 cm continuo aportando mayor rigidez aparte de constituir como un encofrado perdido en el momento de hormigonado y fraguado en taller.



En resumen, la sección del forjado con la que se parte entonces es la siguiente:

- Viguetas GLH24h de 300x150 cm
- Tablero OSB e: 2.0 cm
- Capa de compresión C25/30 e: 12 cm
- Mallazo de 6ø15cm
- Conectores ROTHOBLOSS

Propuestas de Losa

Se decide empezar a pensar y diseñar las uniones antes de empezar a calcular y analizar el forjado como elemento independiente para obtener los esfuerzos y solicitaciones internos del propio elemento para conocer las limitaciones máximas.

Carece de sentido empezar a calcular sin resolver la cuestión primordial de hacer viable y factible la producción y puesta en obra de las losas.

Propuesta 1. Uniones con grapas.

La primera idea para garantizar la rigidez entre las losas fue la de introducir unos enanos dentro de la capa de compresión que se atornillarían con una chapa en la parte superior. De esta manera antes del vertido y fraguado en taller del hormigón se dejarían unos canales donde posteriormente se cubrirían con una lámina de neopreno para garantizar la suficiente tolerancia de cara a la puesta en obra.

Posteriormente, una vez colocadas las losas habiendo preparado mediante pretaladro a la vigueta inferior, se rellenaría de unas resinas epoxi para que el conector superior una vez colocado verticalmente quede garantizada esa unión.

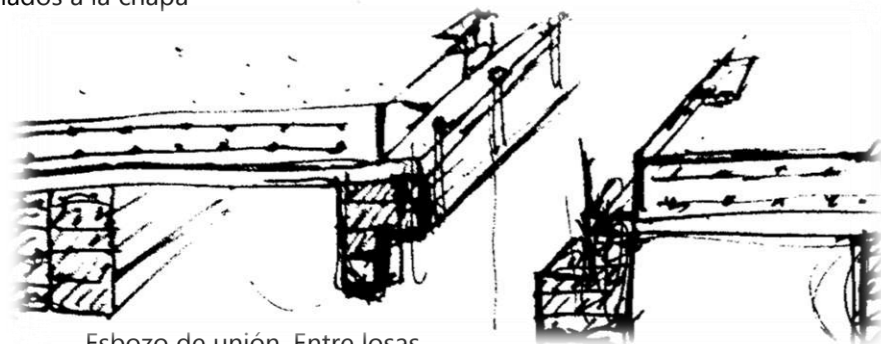
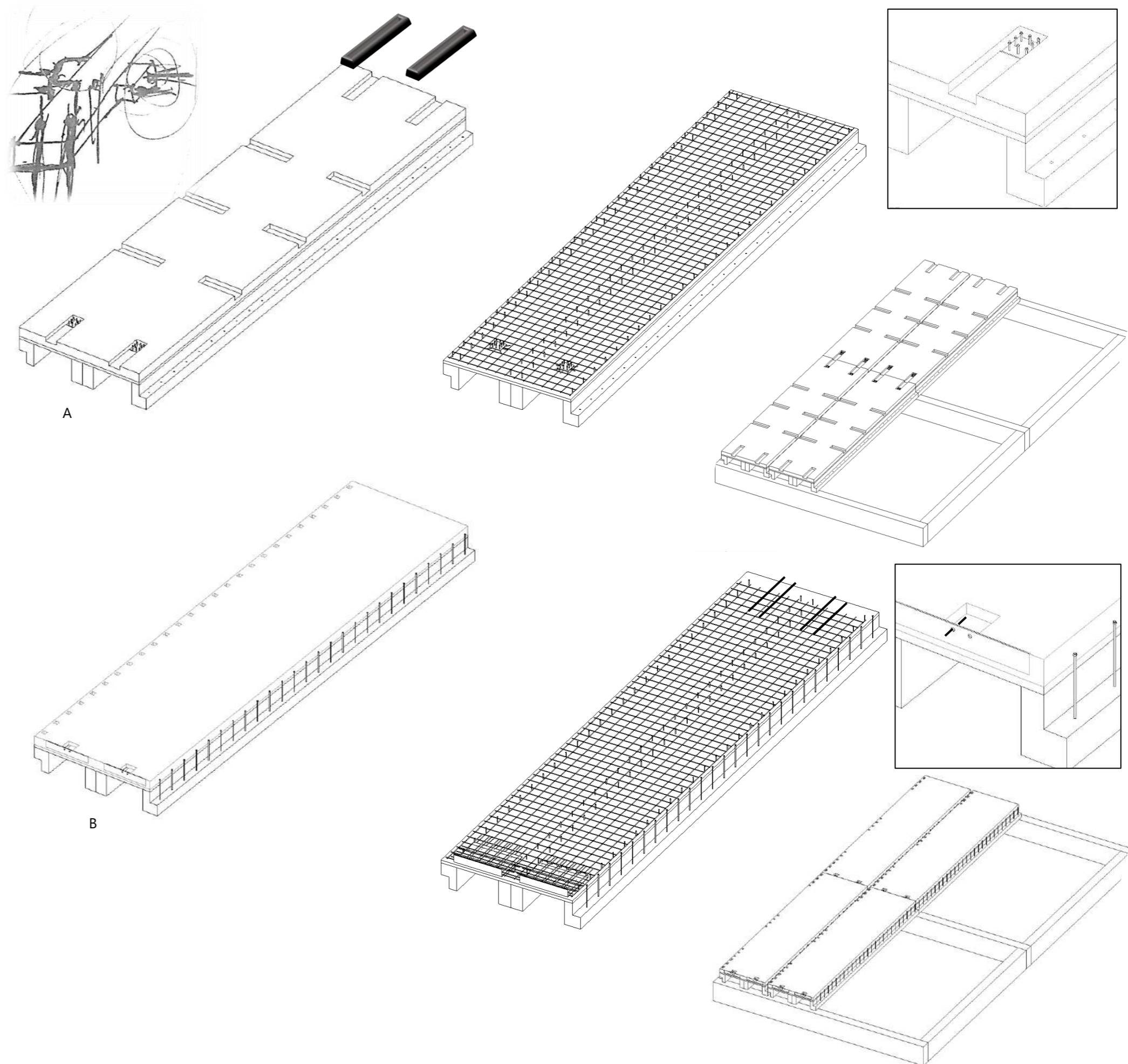
Para finalizar, se colocarán los elementos tipo grapa prefabricada que contendrían los armados negativos en su interior, siendo en los extremos colocados otra chapa a la que se atornillarán los enanos de la losa

Propuesta 2. Uniones atornilladas en Frente y laterales

Tras la primera propuesta, se decide simplificar la unión. Teniendo en cuenta en primer que es bastante complejo y elaborado el tema del doblar los enanos con la curvatura necesaria y que penetre lo suficiente en los 12 cm de la capa de compresión. En segundo lugar, los elementos tipo grapa al tener demasiados agujeros en los que coincidir era bastante probable que no se pudieran prever las tolerancias para que encajen en obra.

Por lo tanto, en el sentido longitudinal se decide invertir la solución para evitar tener que recurrir a resinas epoxi u otro tipo de adhesivo líquido. Siendo la unión atornillada.

En cambio, en los extremos se decide utilizar unión más simple. Dejando en el extremo B unos refuerzos en espera bastante contundentes que irán atornillados al extremo A donde se prepara una caja para ser accesible atornillar estos armados a la chapa



Esbozo de unión. Entre losas

Propuesta Final de Losa

En la última, solución surgía la dificultad de como ejecutar el empalme horizontal del armado en espera con la losa enfrentada, teniendo que ejecutarlo en el aire mediante grúas y apoyar en las siguientes losas.

Tras las dos anteriores propuestas en las que cada una tiene sus posibles facilidades de ejecución y desventajas. Se replantea la propuesta a algo aún más sencillo para su colocación y atornillado

Propuesta 3. Uniones con bulones Atornillados.

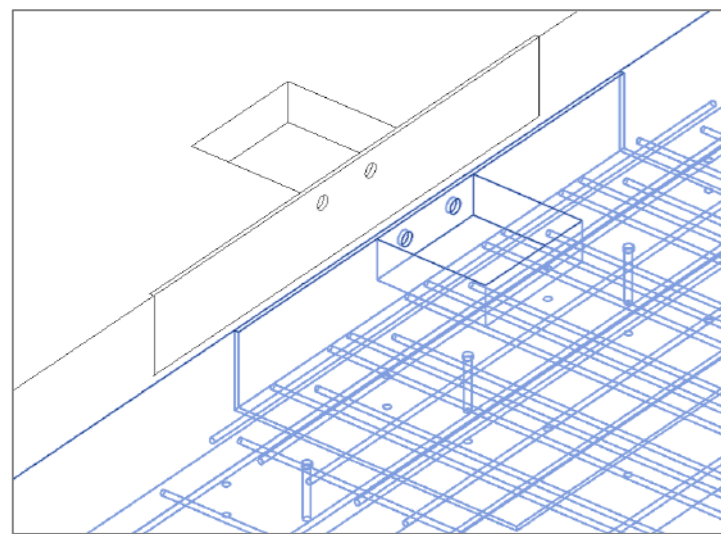
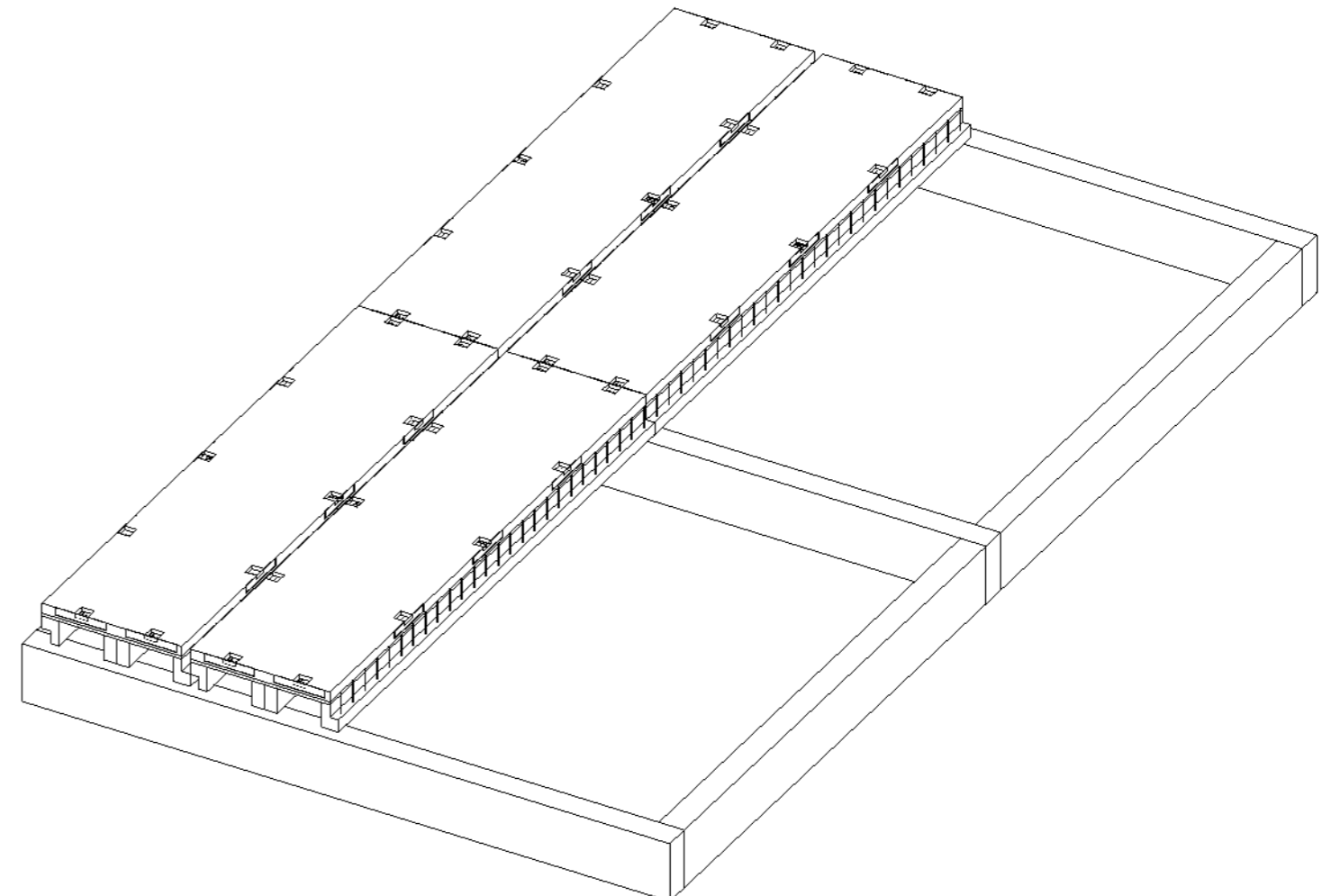
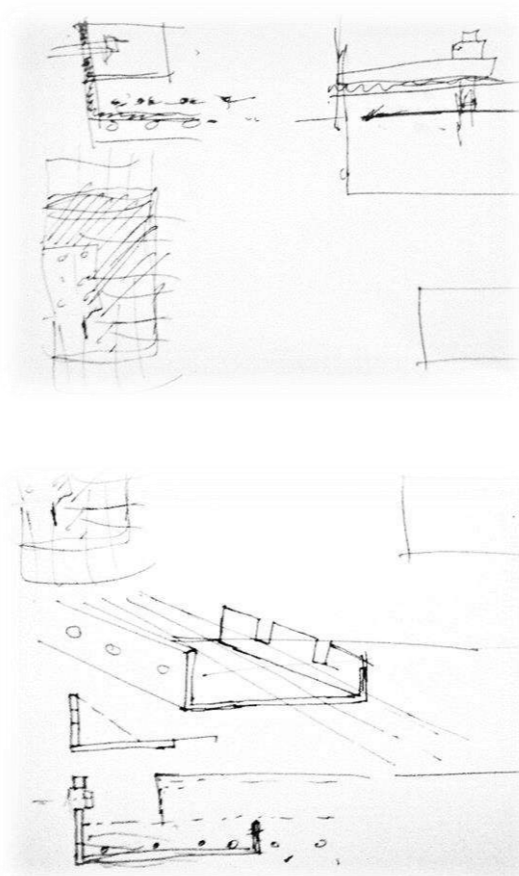
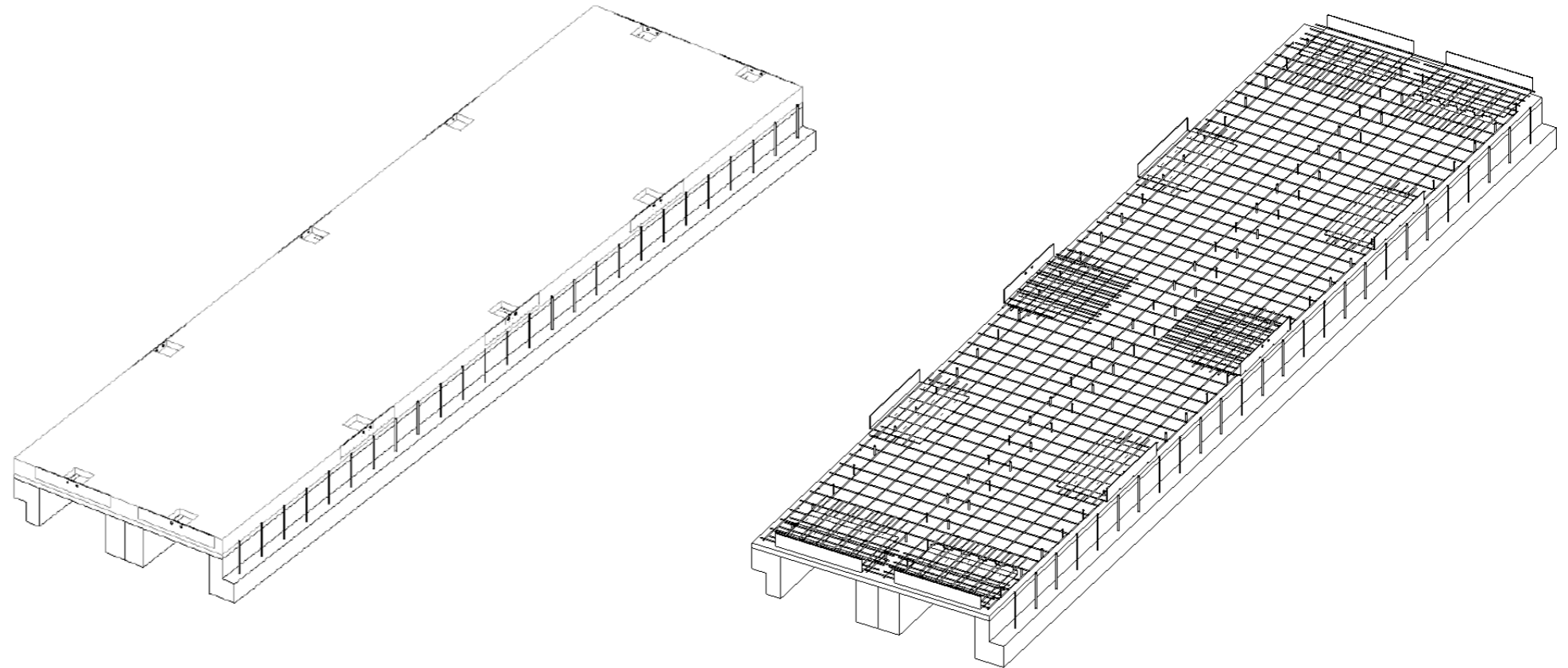
En este caso viendo la dificultad de poder atornillar por un lado los conectores entre las viguetas que se solapan de las losas contiguas se decide volver al recurso de resinas epoxi. (Sin embargo, esta solución se cambiara dejando finalmente el apoyo a media madera entre las viguetas de cada losa.)

Por otro lado, para evitar empalmes en el aire se decide prescindir de ese refuerzo de los armados dejados en espera y garantizar las uniones con las otras losas mediante bulones atornillados a las chapas de los lados y extremos.

En el caso de los dibujos planteados se han colocado y diseñado esas chapas que irían reforzadas antes del hormigonado. Dejando posteriormente unas cajas accesibles para la introducción de los bulones y el atornillado y apriete.

Por ultimo esta solución también pretende refinarse siendo más las cajas previstas y así poder hacer una unión más homogénea mediante un cosido más continuo de todos los lados y no tan puntual. Esto claro se haría garantizando que en los agujeros dejados en las chapas tengan la suficiente tolerancia para los posibles desfases en obra.

Por otro lado al plantearlo de esta manera se permite la posible unión entre losas de diferentes longitudes. Cuestión que hasta el momento no se había podido resolver.



Modelo estructural de Forjado Hormigón-Madera

Modelado de Viga Mixta.

Tras los planteamientos de diferentes losas se decide analizar el comportamiento material del elemento básico una viga de madera laminada y hormigón que conformaría este tipo de forjados

Para ello se decide hacer una serie de cálculos con modelos de una viga laminada GL24H con unos conectores tipo chapa y una capa de compresión de 8 cm. A efectos de este cálculo se decide prescindir del tablero que lo contiene dando la posibilidad de obtener un elemento constructivo con diferentes acabados. Dejando el tablero como madera vista y encofrado perdido o retirándolo quedando el hormigón visto.

Modelado.

Para el modelado tras varios intentos de se decide realizarlo en Dlubal mediante la introducción de los elementos como superficies. Introduciendo y verificando las propiedades de cada material.

Núm.	Color	Descripción
1		Hormigón C30/37

Constantes del material

Módulo de elasticidad E : 33000.0 [N/mm²]
Módulo de cortante G : 13750.0 [N/mm²]
Coeficiente de Poisson ν : 0.200 [-]
Peso específico γ : 25.00 [kN/m³]
Coeficiente de dilatación térmica α : 1.0000E-05 [1/°C]
Coeficiente parcial de seguridad γ_M : 1.00 [-]

Modelo de material
Isótropo elástico lineal

Características del hormigón

Núm.	Color	Descripción
2		Acero S 235

Constantes del material

Módulo de elasticidad E : 210000.0 [N/mm²]
Módulo de cortante G : 80769.2 [N/mm²]
Coeficiente de Poisson ν : 0.300 [-]
Peso específico γ : 78.50 [kN/m³]
Coeficiente de dilatación térmica α : 1.2000E-05 [1/°C]
Coeficiente parcial de seguridad γ_M : 1.00 [-]

Modelo de material
Isótropo elástico lineal

Características del Acero S235

Núm.	Color	Descripción
3		Madera laminada encolada GL24h

Constantes del material

Módulo de elasticidad E : [N/mm²]
Módulo de cortante G : [N/mm²]
Coeficiente de Poisson ν : [-]
Peso específico γ : 4.50 [kN/m³]
Coeficiente de dilatación térmica α : 5.0000E-06 [1/°C]
Coeficiente parcial de seguridad γ_M : 1.25 [-]

Modelo de material
Ortótropo elástico 2D...

Comentario
Los parámetros adicionales del material se definen en el cuadro de diálogo Mc

Para el modelado del apoyo en vez de ser puntual se modela como barra rígida unos 20 cm de superficie total en el apoyo esta barra simulara la distancia de apoyo de la viga reduciendo las tensiones fuertes por aplastamiento de la fibra. Los conectores de chapa de metálica 30cm también se modelan como superficies metiendo una articulación lineal entre e conector y la capa de compresión del valor de 300000 KN/m² (acero).

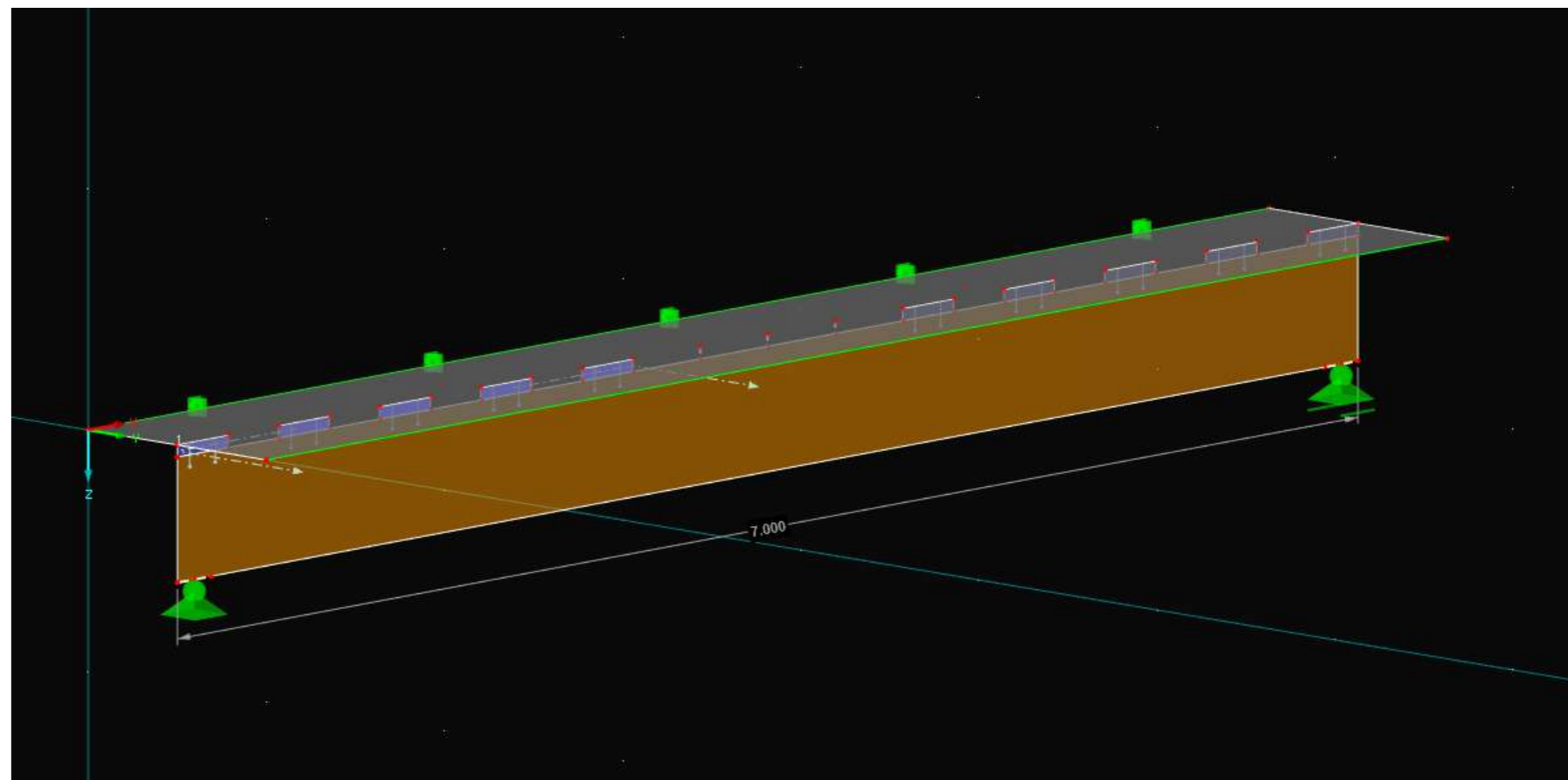
Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	520	50	80
Espesor e (mm)	200	4	1000
<hr/>			
Luz total (m)			7.00
Luz entre apoyos(m)			7.00
Distancia entre vigas (m)			-
Viguetas intermedias			NO
Vuelos (m)			0.00

La disposición de conectores ha colocado de manera alterna por el ahorro de materia dejando el centro de la vida donde no serán necesarios.

Para garantizar la unión en el centro de los materiales en el centro se modelan unas barras rígidas sin materialidad ni sección.

En la solución final sin embargo se pondrán conectores separados cada 30 cm incluido en el centro, para evitar tracciones en la capa del hormigón.



Análisis del elemento constructivo.

Viga Mixta 7m. Resultados

Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	520	50	80
Espesor e (mm)	200	4	1000

Luz total (m) 7.00

Luz entre apoyos(m) 7.00

Distancia entre vigas (m) -

Viguetas intermedias NO

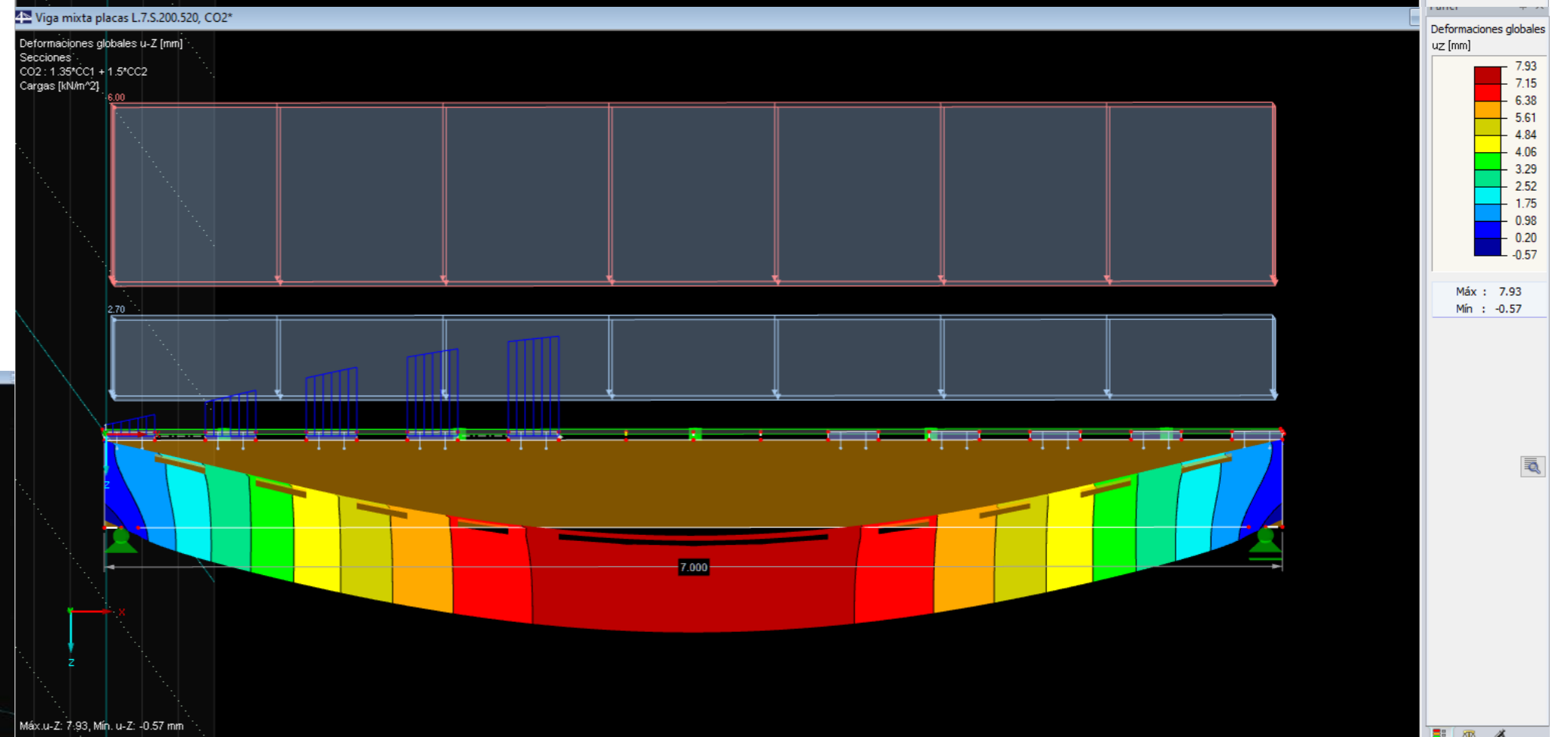
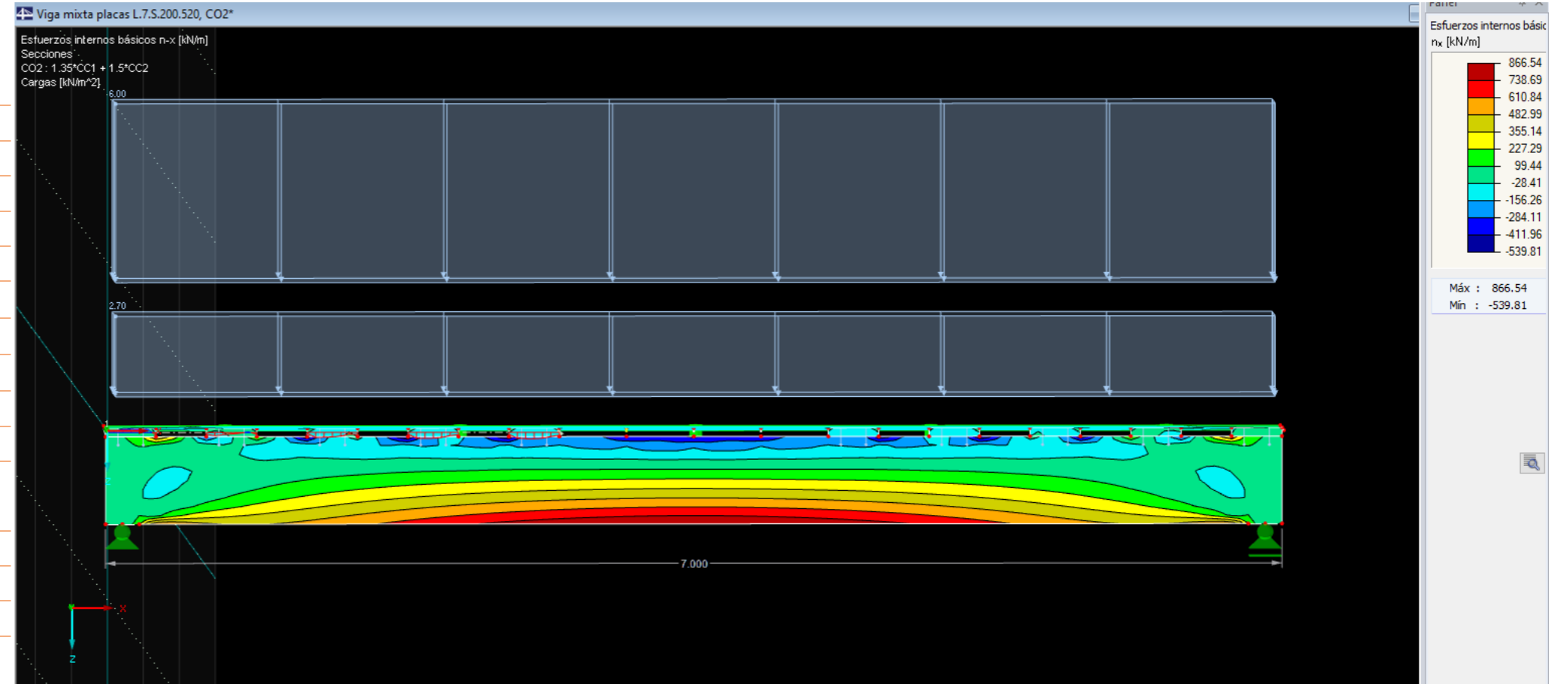
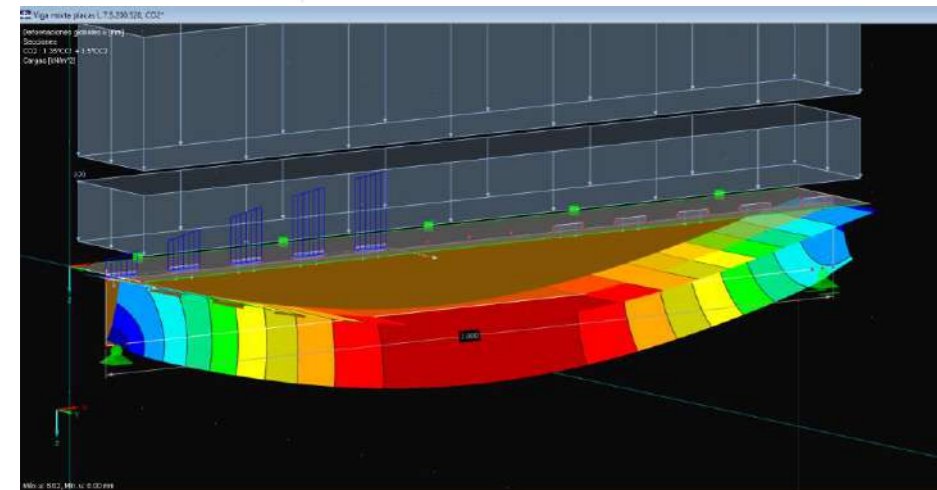
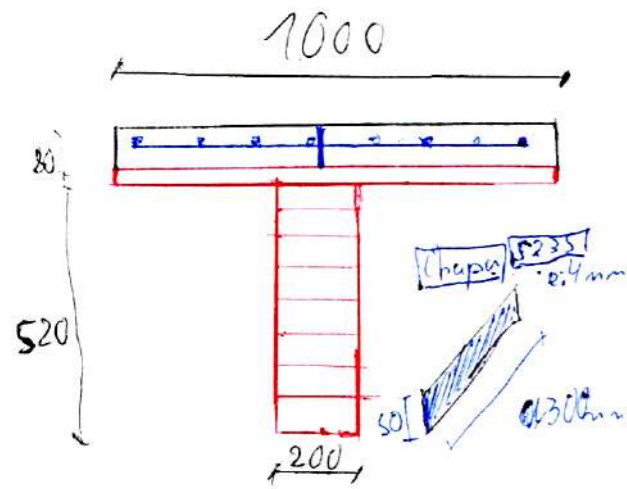
Vuelos (m) 0.00

Peso propio total por forjado:

Cargas

Carga Permanente 2 KN/m²

SobreCarga de uso 4 KN/m²



Análisis del elemento constructivo.

Viga Mixta. 10m

Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	520	50	80
Espesor e (mm)	200	4	1000

Luz total (m) 10.00

Luz entre apoyos(m) 10.00

Distancia entre vigas (m) -

Viguetas intermedias NO

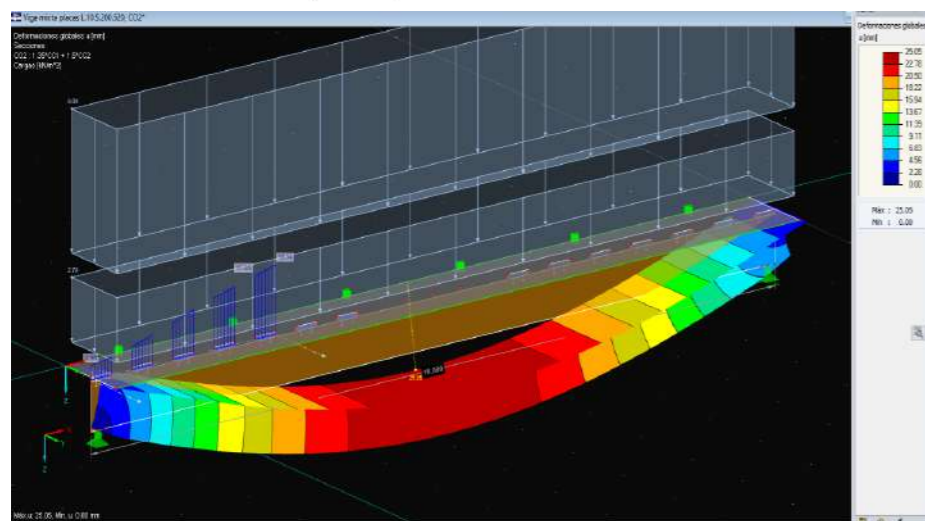
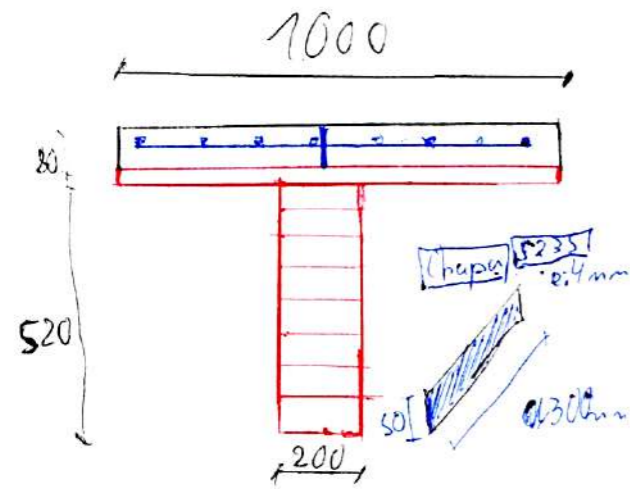
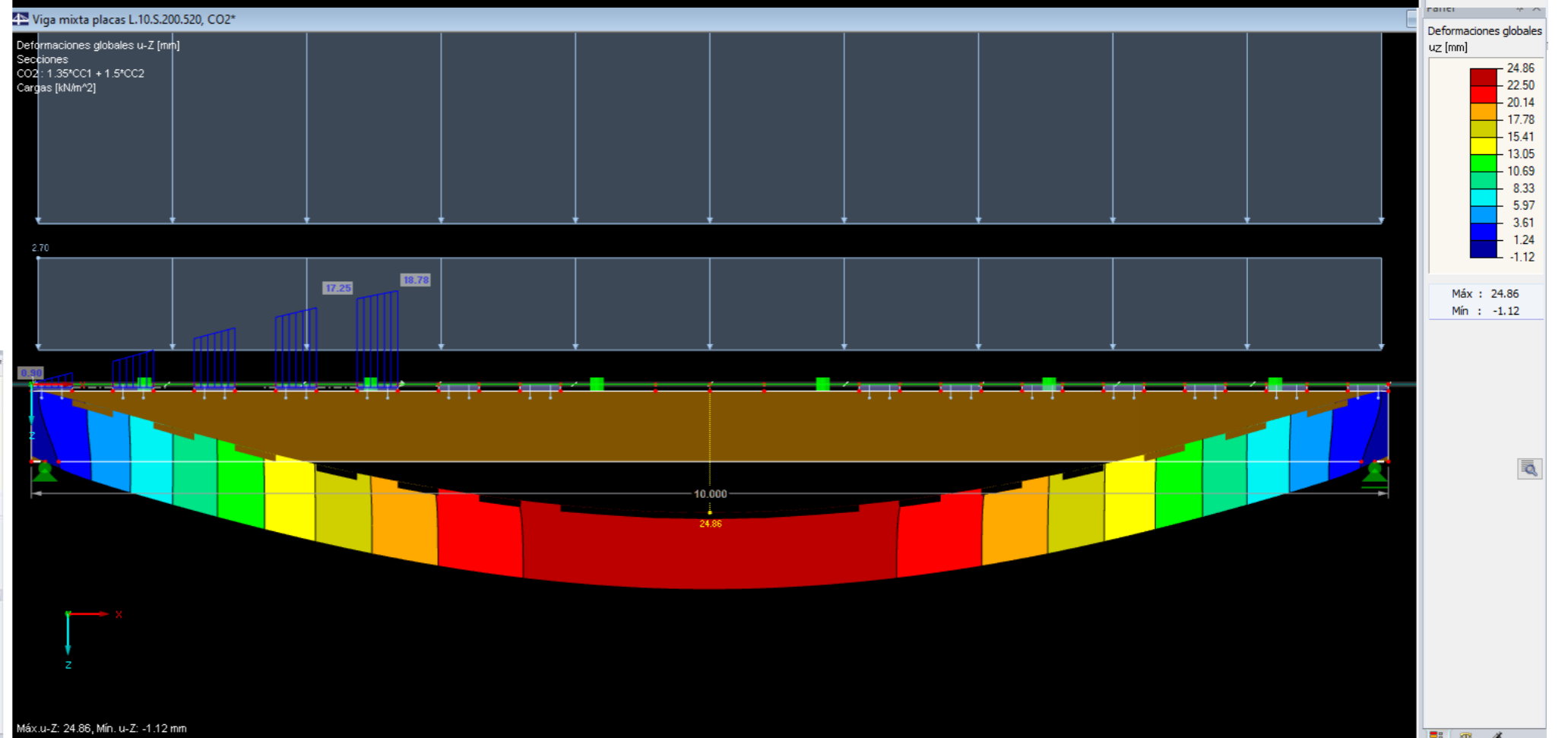
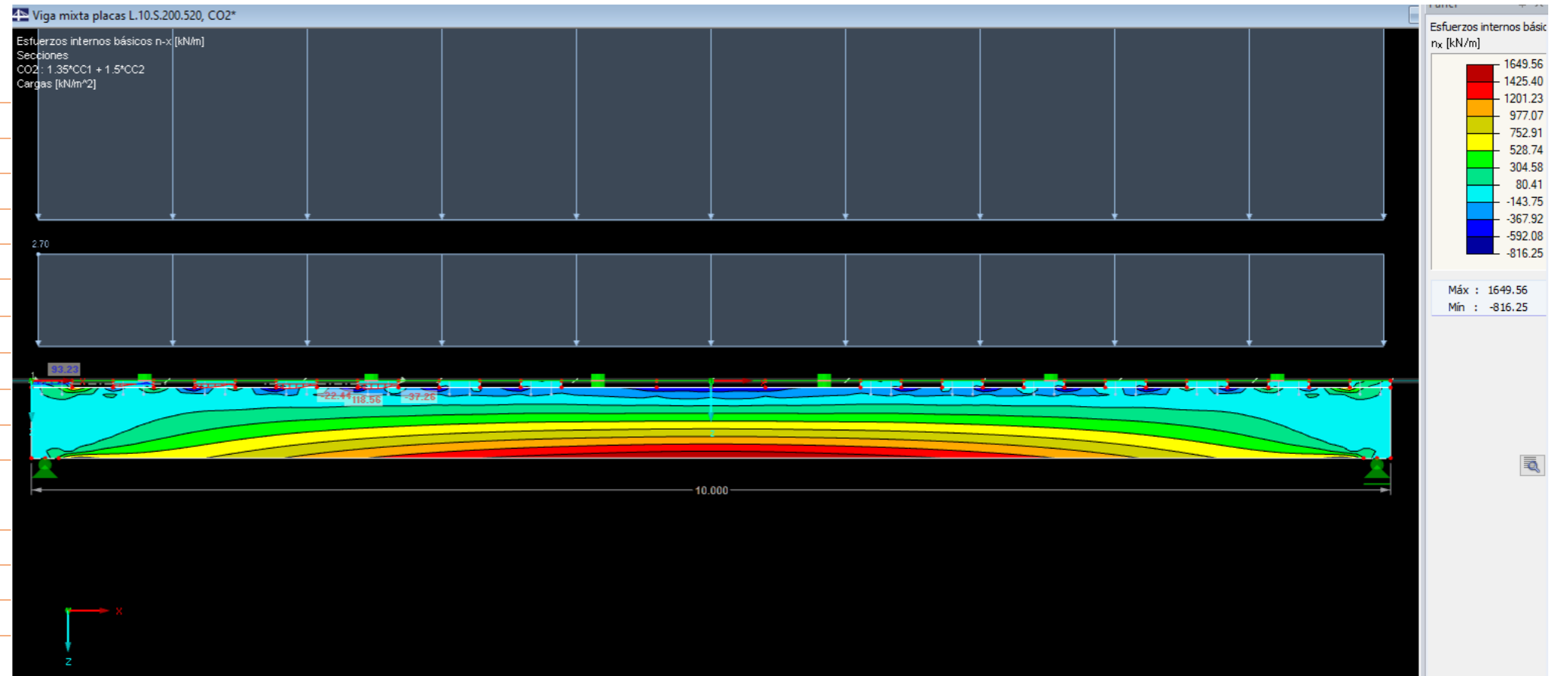
Vuelos (m) 0.00

Peso propio total por forjado:

Cargas

Carga Permanente 2 KN/m²

SobreCarga de uso 4 KN/m²



Análisis del elemento constructivo.

Viga Mixta. 10m con sección modificada

Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	700	50	80
Espesor e (mm)	250	4	1000

Luz total (m) 10.00

Luz entre apoyos(m) 7.00

Distancia entre vigas (m) -

Viguetas intermedias NO

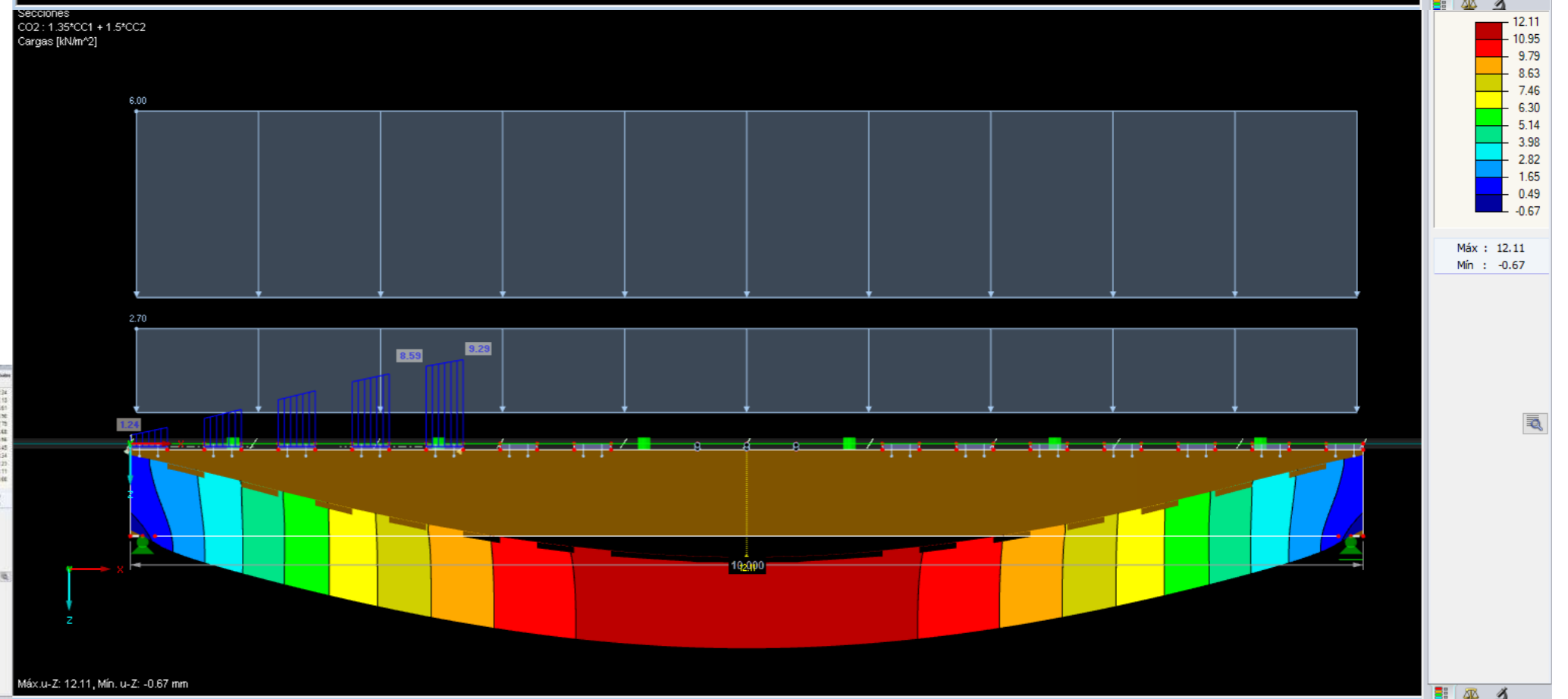
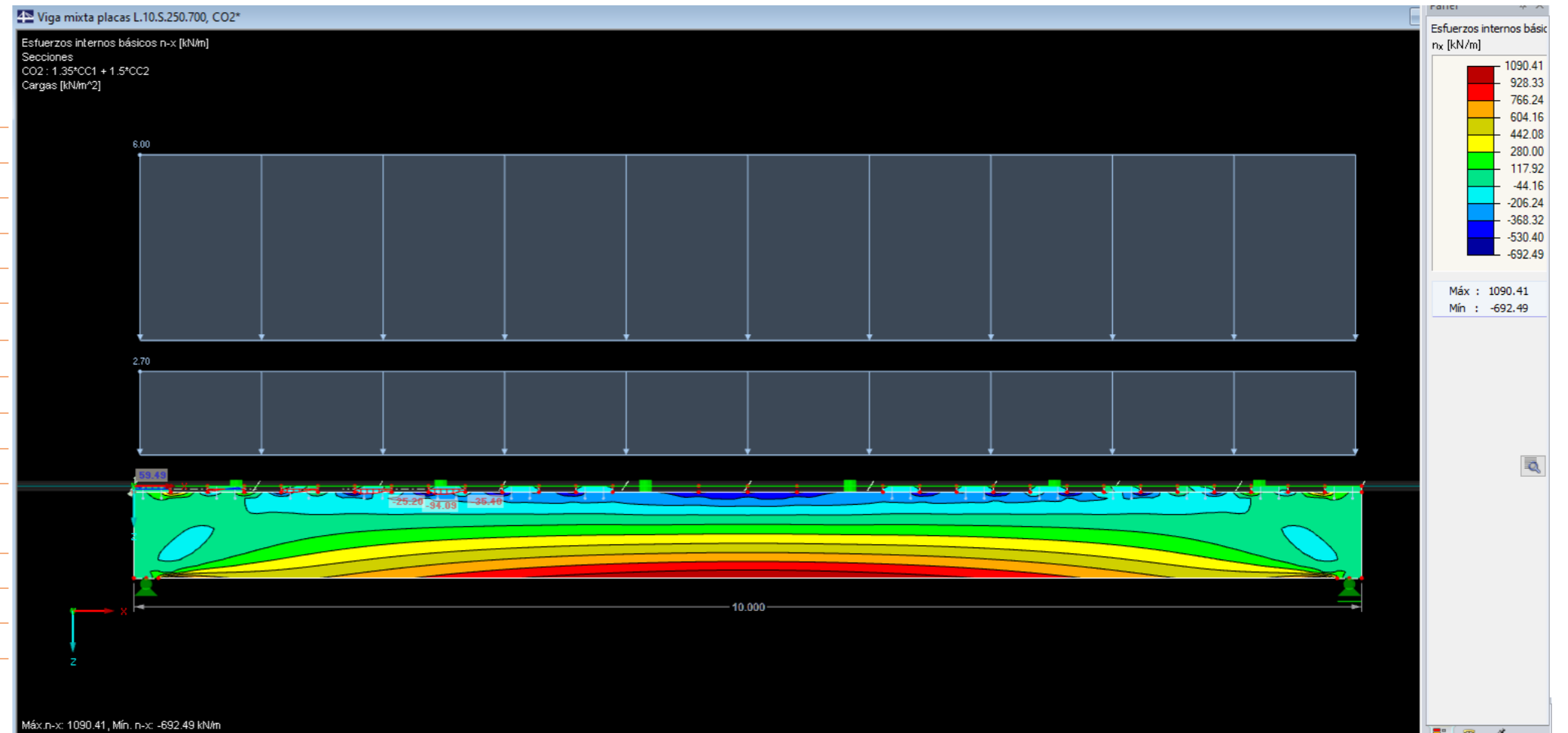
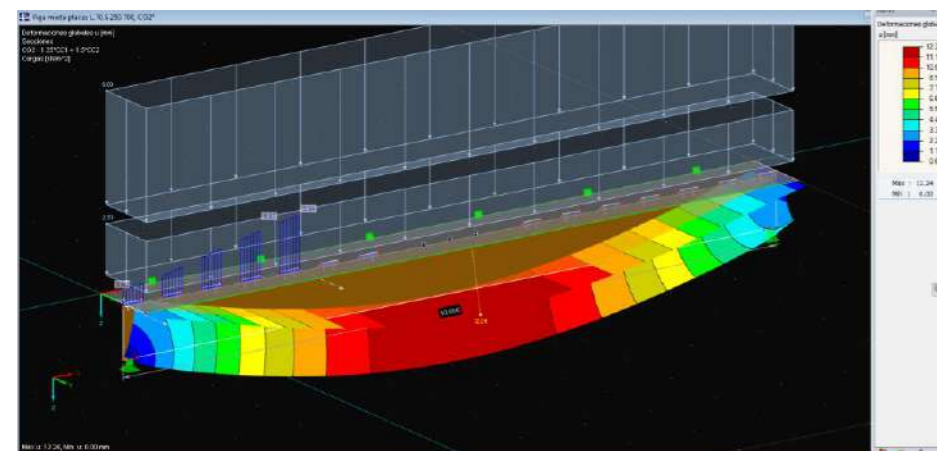
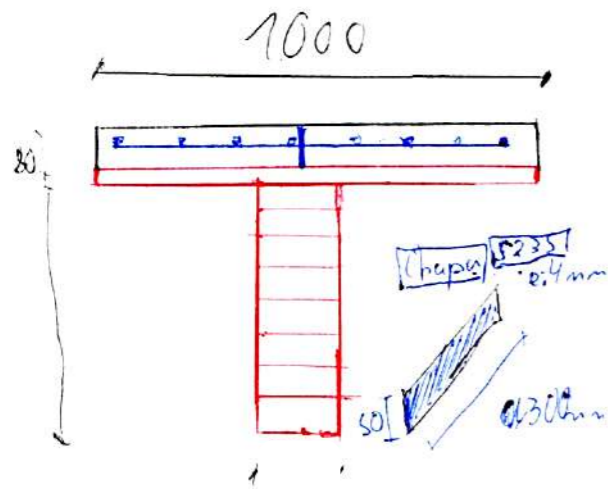
Vuelos (m) 1.50

Peso propio total por forjado:

Cargas

Carga Permanente 2 KN/m²

SobreCarga de uso 4 KN/m²



Análisis del elemento constructivo.

Viga Mixta. 10m con vuelos

Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	700	50	80
Espesor e (mm)	250	4	1000

Luz total (m) 10.00

Luz entre apoyos(m) 7.00

Distancia entre vigas (m) -

Viguetas intermedias NO

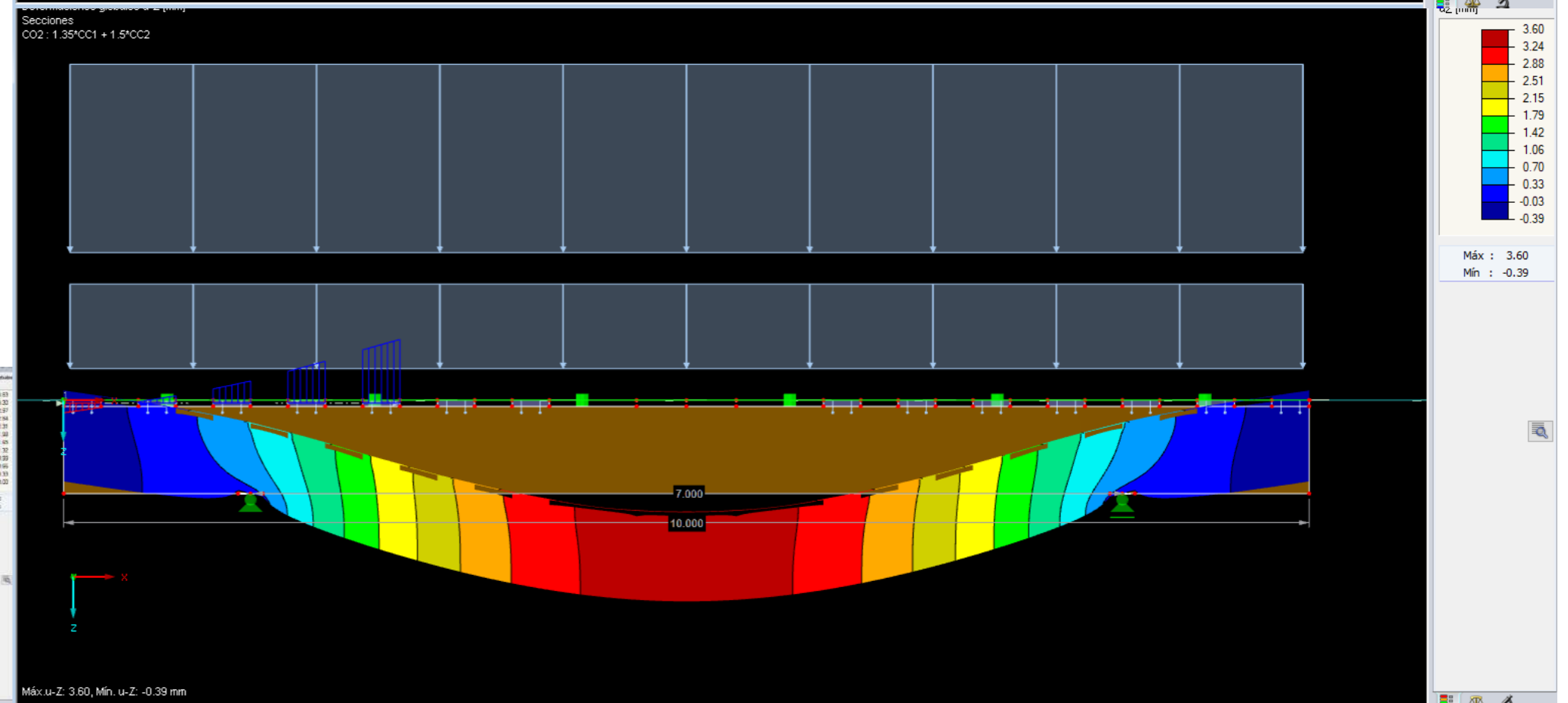
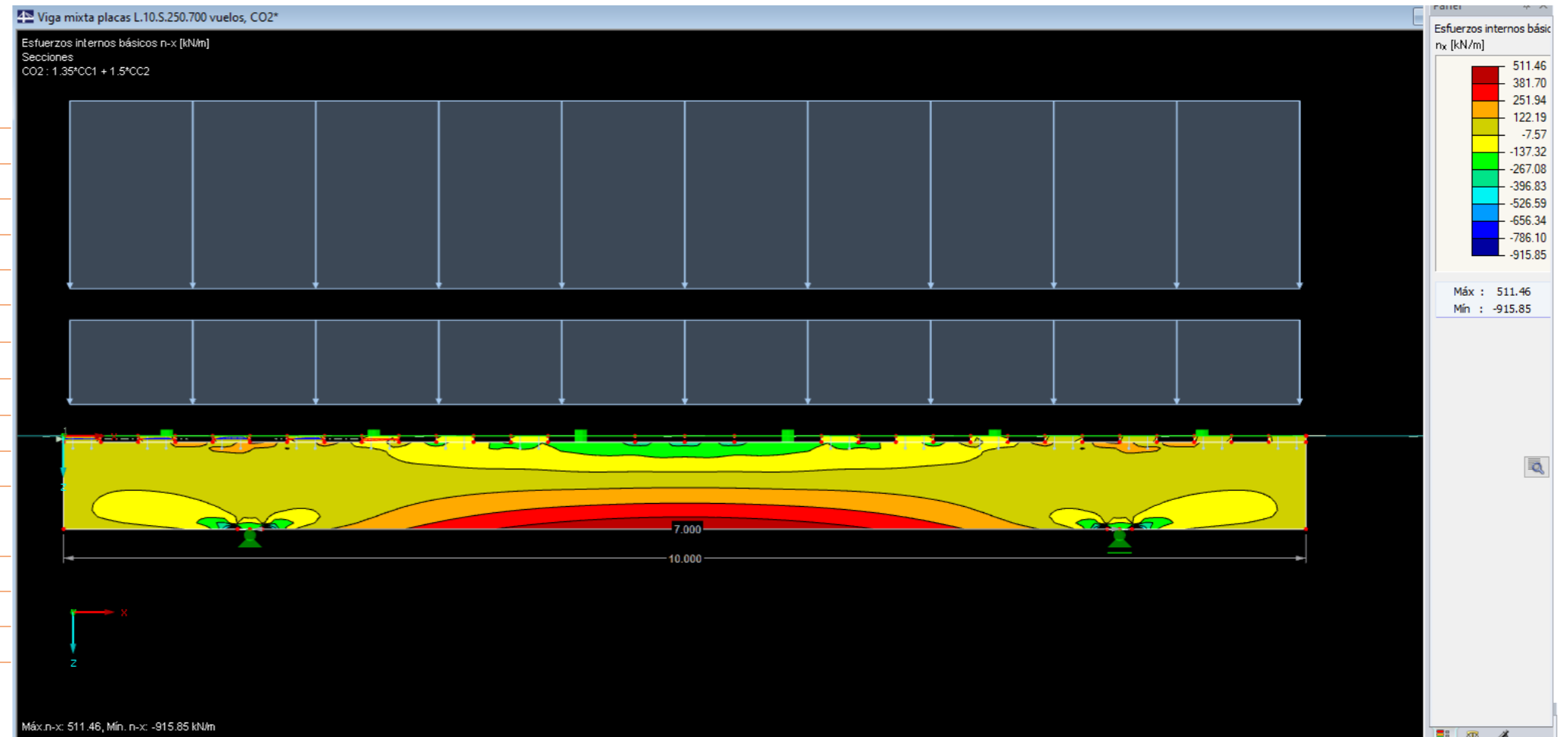
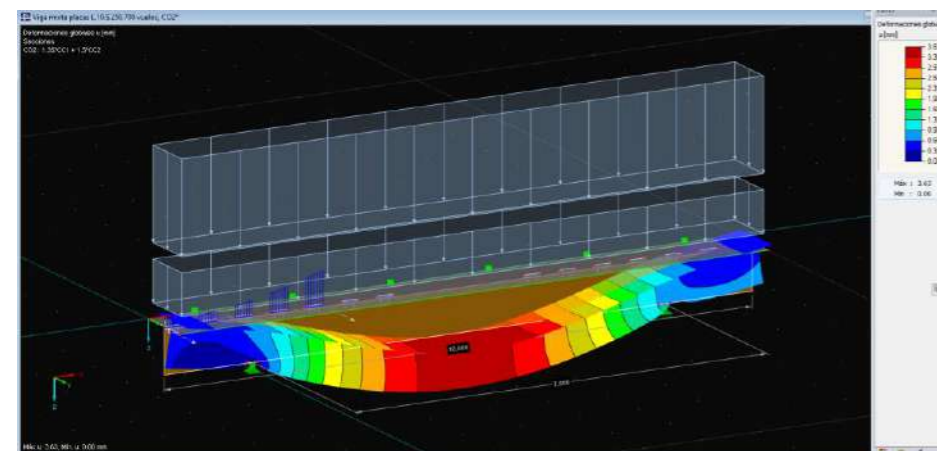
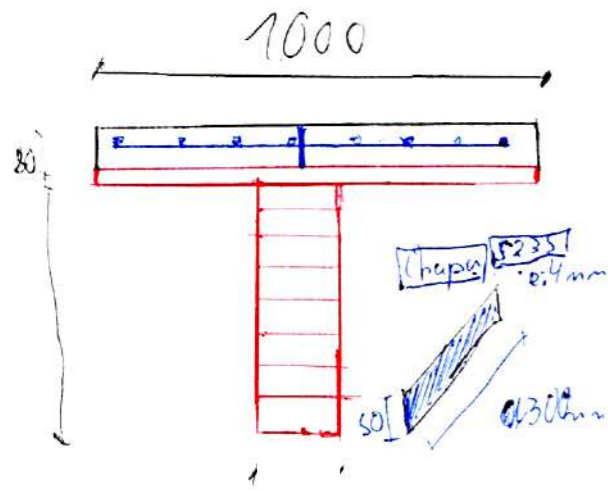
Vuelos (m) 1.50

Peso propio total por forjado:

Cargas

Carga Permanente 2 KN/m²

SobreCarga de uso 4 KN/m²



Análisis del elemento constructivo

Viga Mixta. 12 m

Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	700	50	80
Espesor e (mm)	250	4	1000

Luz total (m) 12.00

Luz entre apoyos(m) 7.00

Distancia entre vigas (m) -

Viguetas intermedias NO

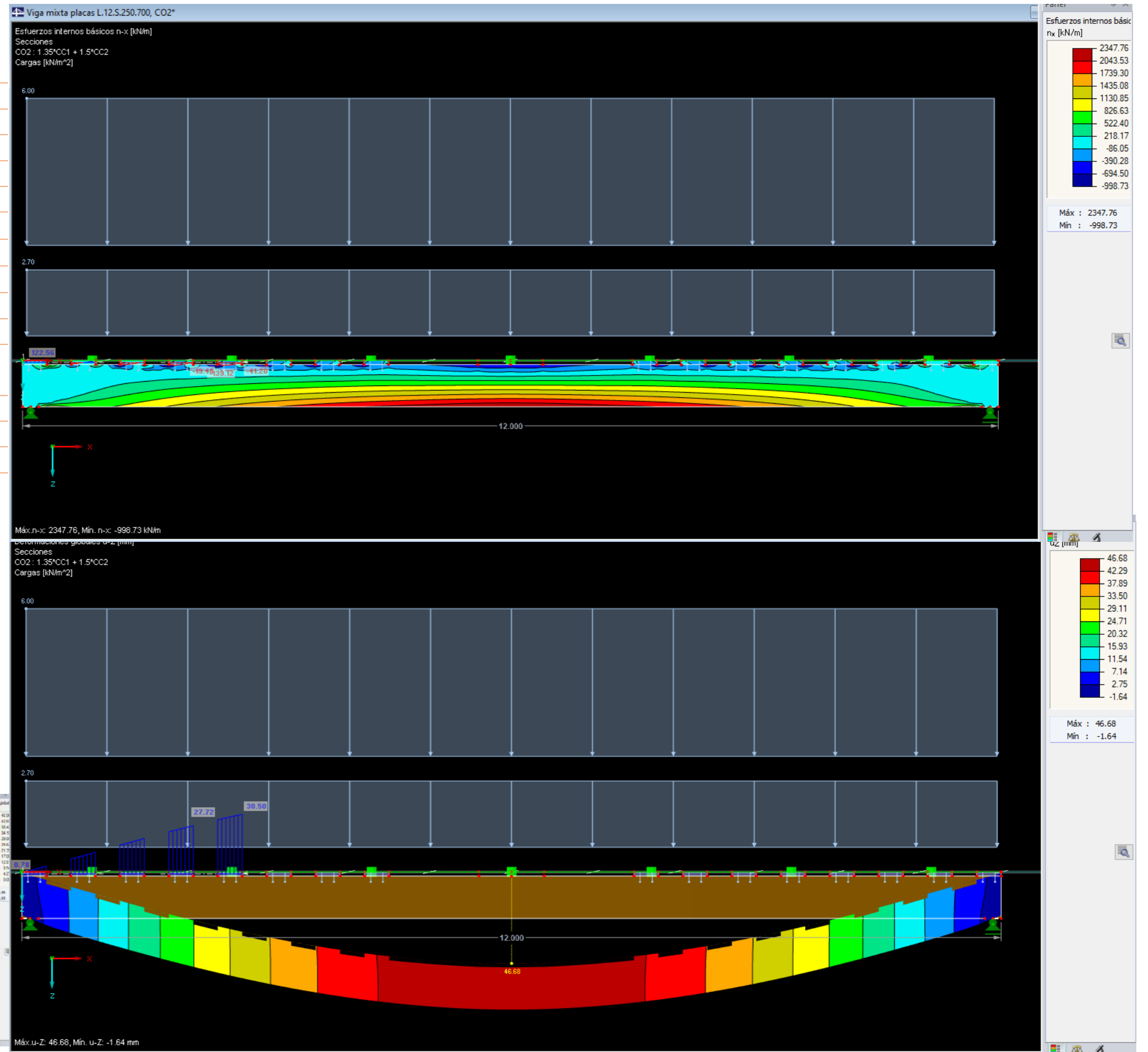
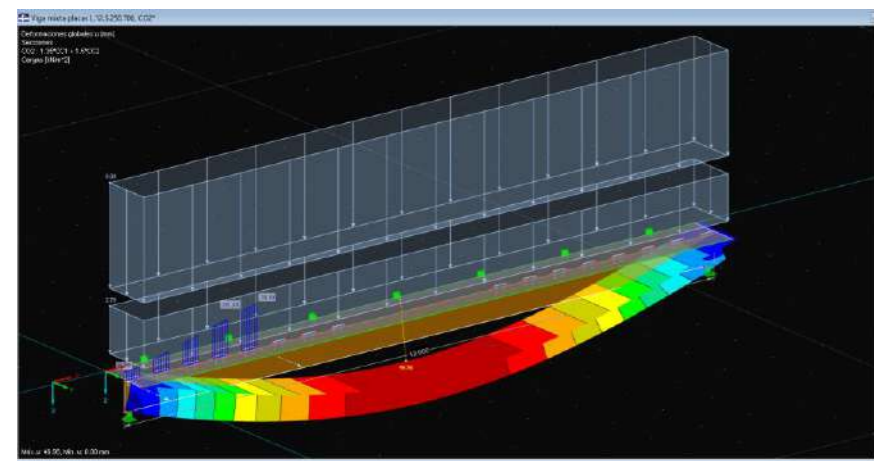
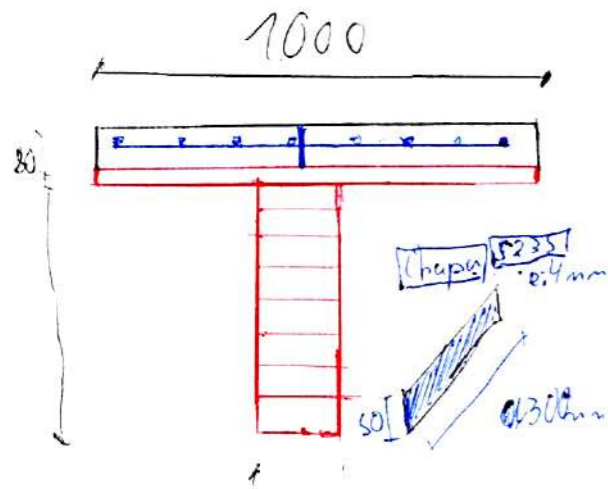
Vuelos (m) 2.5

Peso propio total por forjado:

Cargas

Carga Permanente 2 KN/m²

SobreCarga de uso 4 KN/m²



Análisis del elemento constructivo

Viga Mixta.12 m con vuelos

Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	700	50	80
Espesor e (mm)	250	4	1000

Luz total (m) 12.00

Luz entre apoyos(m) 7.00

Distancia entre vigas (m) -

Viguetas intermedias NO

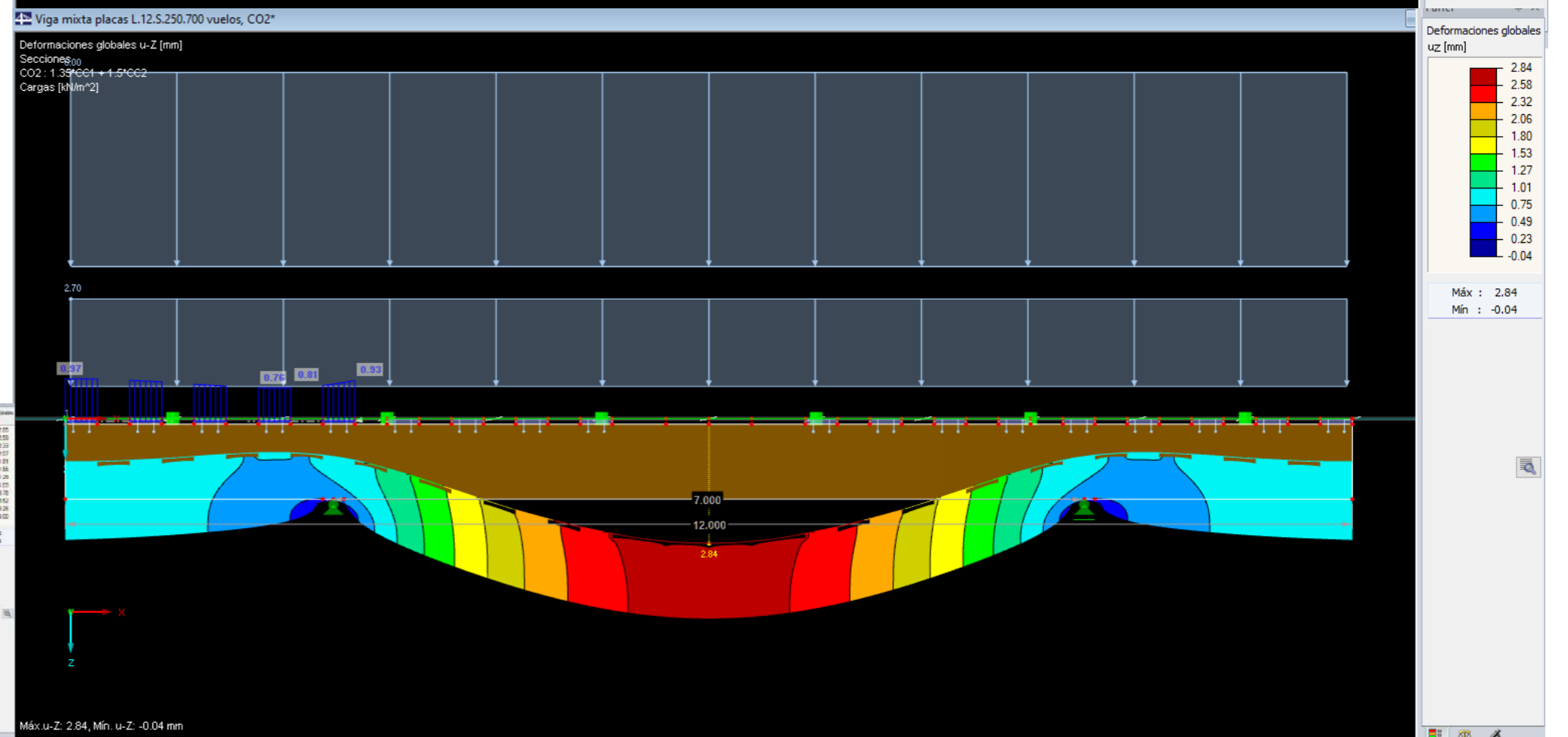
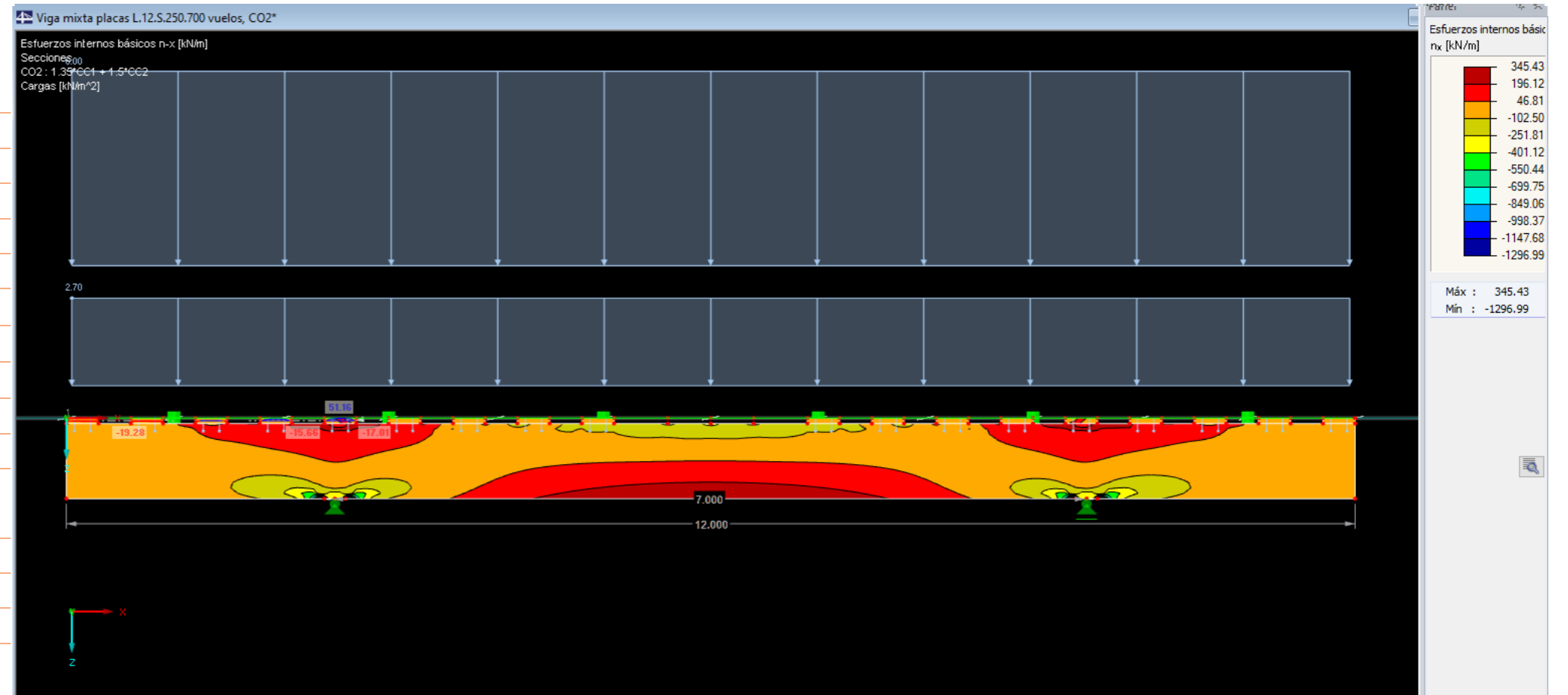
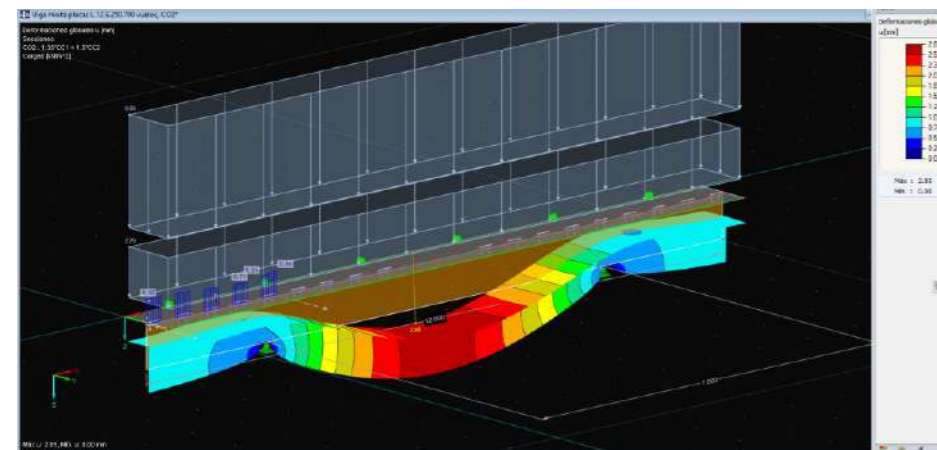
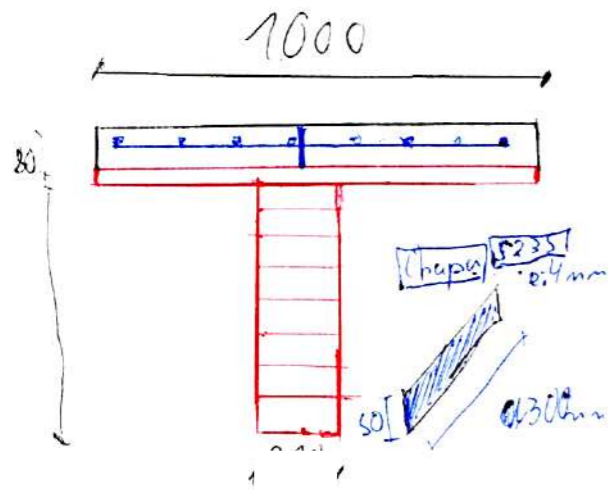
Vuelos (m) 2.50

Peso propio total por forjado:

Cargas

Carga Permanente 2 KN/m²

SobreCarga de uso 4 KN/m²



Modelo estructural de Forjado Hormigón-Madera

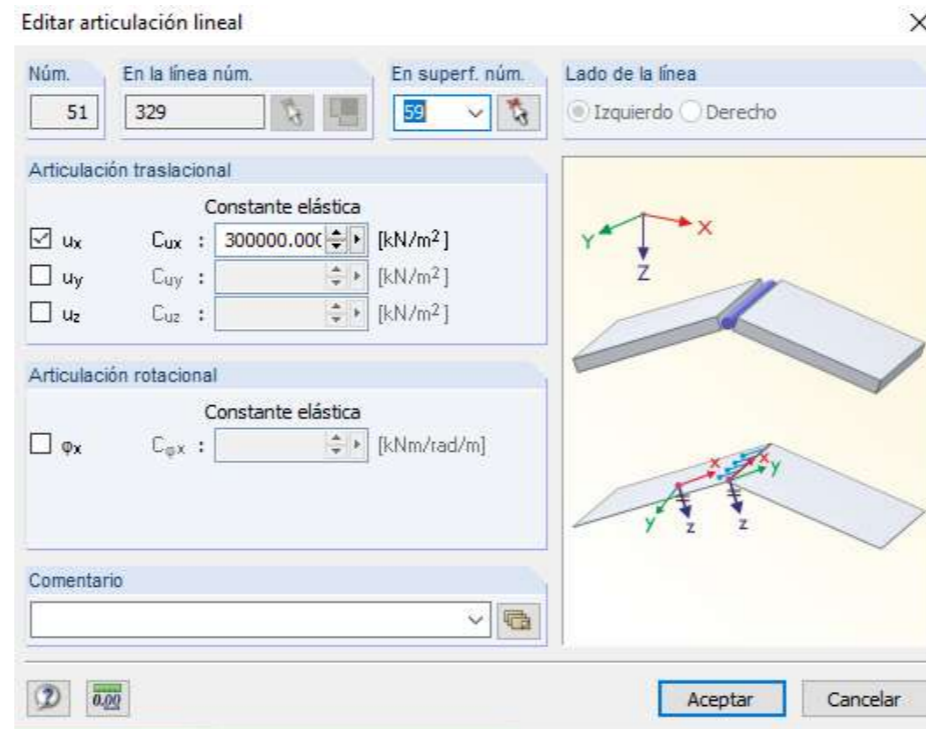
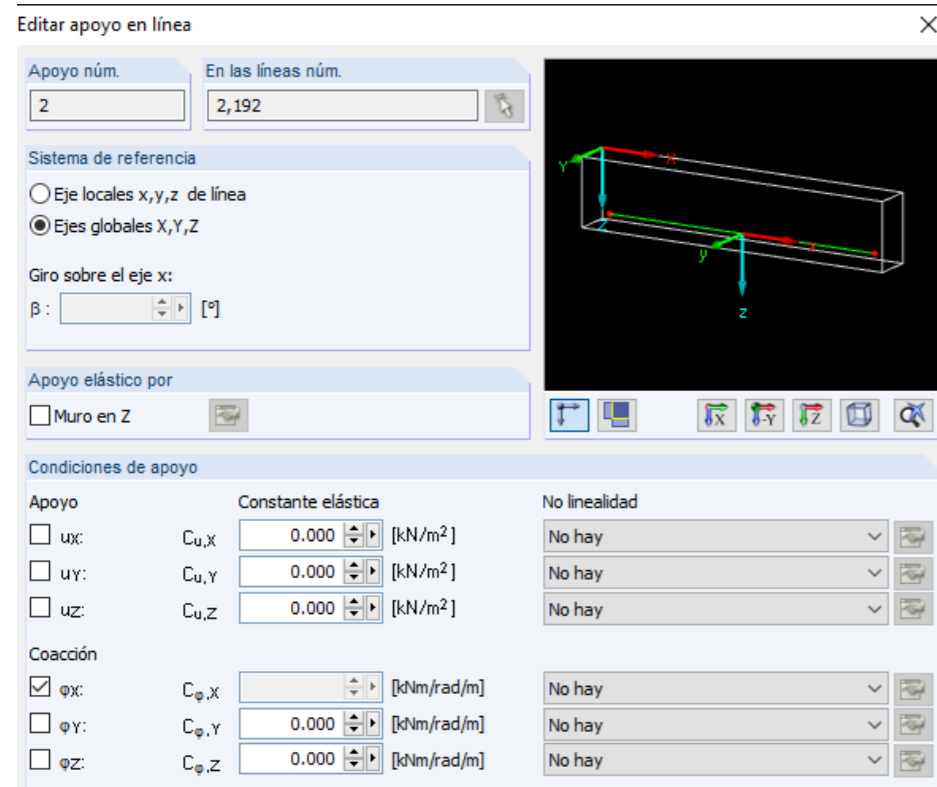
Modelado de Forjado.

Tras los análisis de diferentes vigas se decide realizar los mismos cálculos de diferentes forjados variando las luces, dimensiones de vigas y disponiendo de viguetas intermedias.

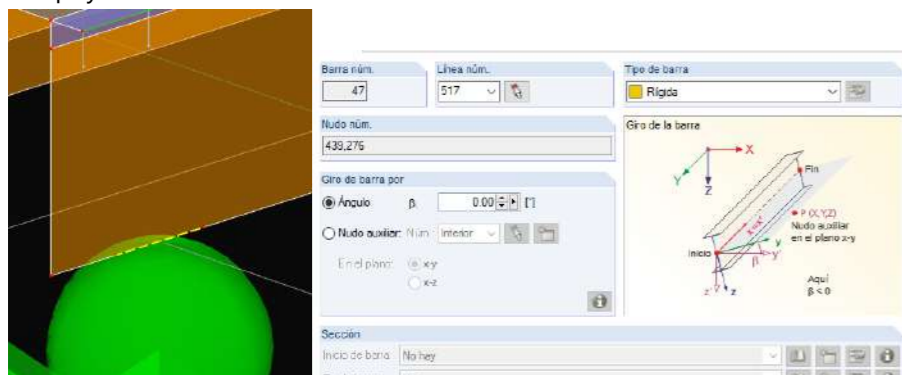
Para ello se continúa con el modelo base anterior con unas viguetas laminadas GL24H, partiendo de los mismos conectores de tipo chapa y una capa de compresión de 8 cm. A efectos de este cálculo se decide prescindir del tablero que lo contiene dando la posibilidad de obtener un elemento constructivo con diferentes acabados. Dejando el tablero como madera vista y encofrado perdido o retirándolo quedando el hormigón visto.

Modelado.

Para el modelado tras varios intentos de se decide seguir con los elementos como superficies. Introduciendo y verificando las propiedades de cada material. En este caso para simular la continuidad de la capa de compresión del hormigón se decide simular dicha continuidad introduciendo una articulación en línea. Que coarte los giros en x.



Por otro lado continuaremos simulando el apoyo mediante las barras rígidas de los apoyos.

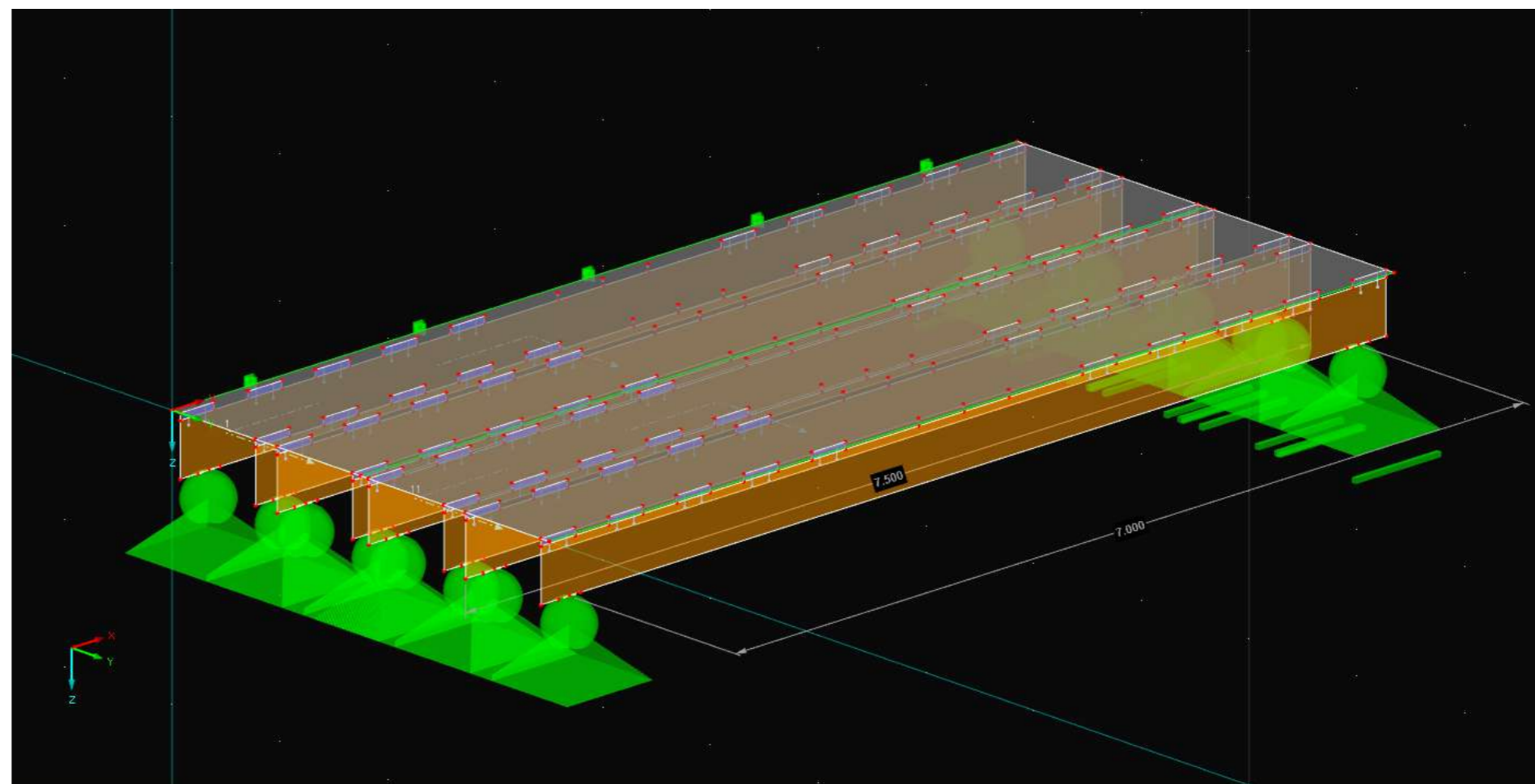


Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	520	50	80
Espesor e (mm)	200	4	1000

Luz total (m)	7.00	
Luz entre apoyos(m)	7.00	
Distancia entre vigas (m)	0.65	
Viguetas intermedias	NO	
Vuelos (m)	0.00	
Peso propio total por forjado:		

Para el modelado de los conectores de chapa de metálica 30cm también se modelan como superficies metiendo una articulación lineal entre e conector y la capa de compresión del valor de 300000 KN/m² (acero).



Análisis del Propuestas de forjados

Forjado Hormigón Madera. 7m

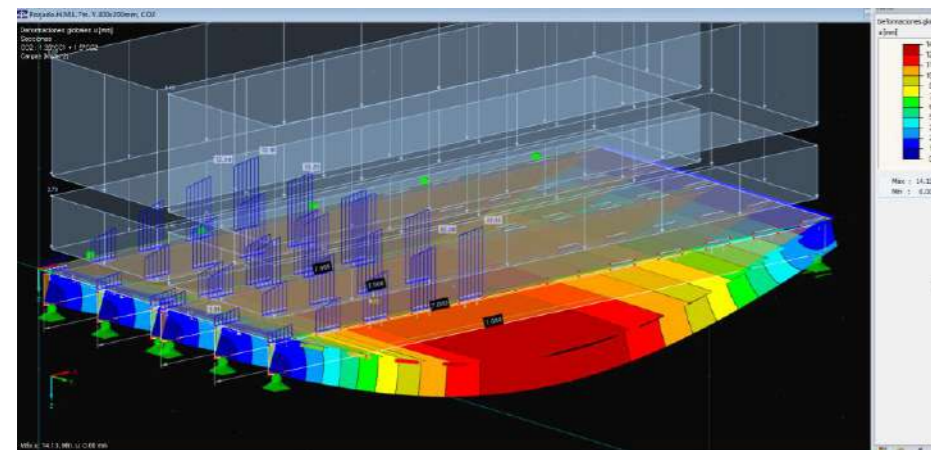
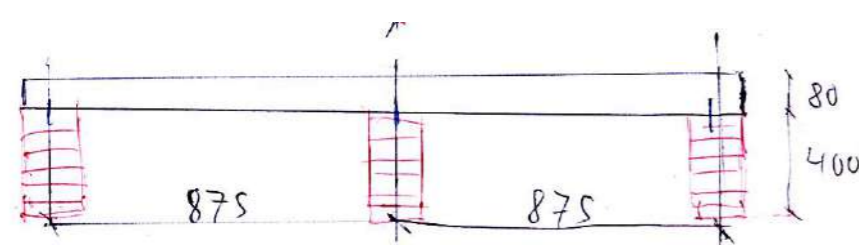
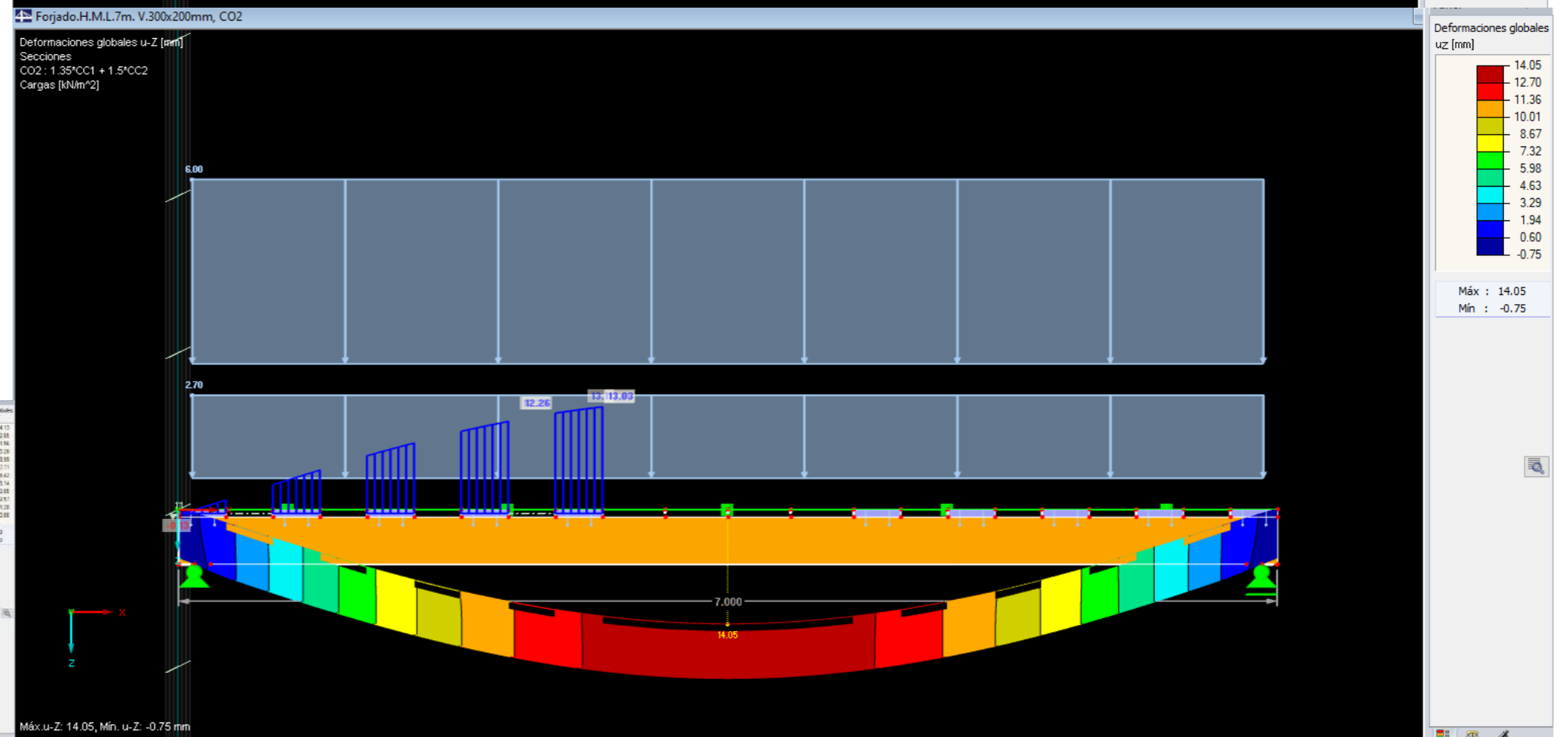
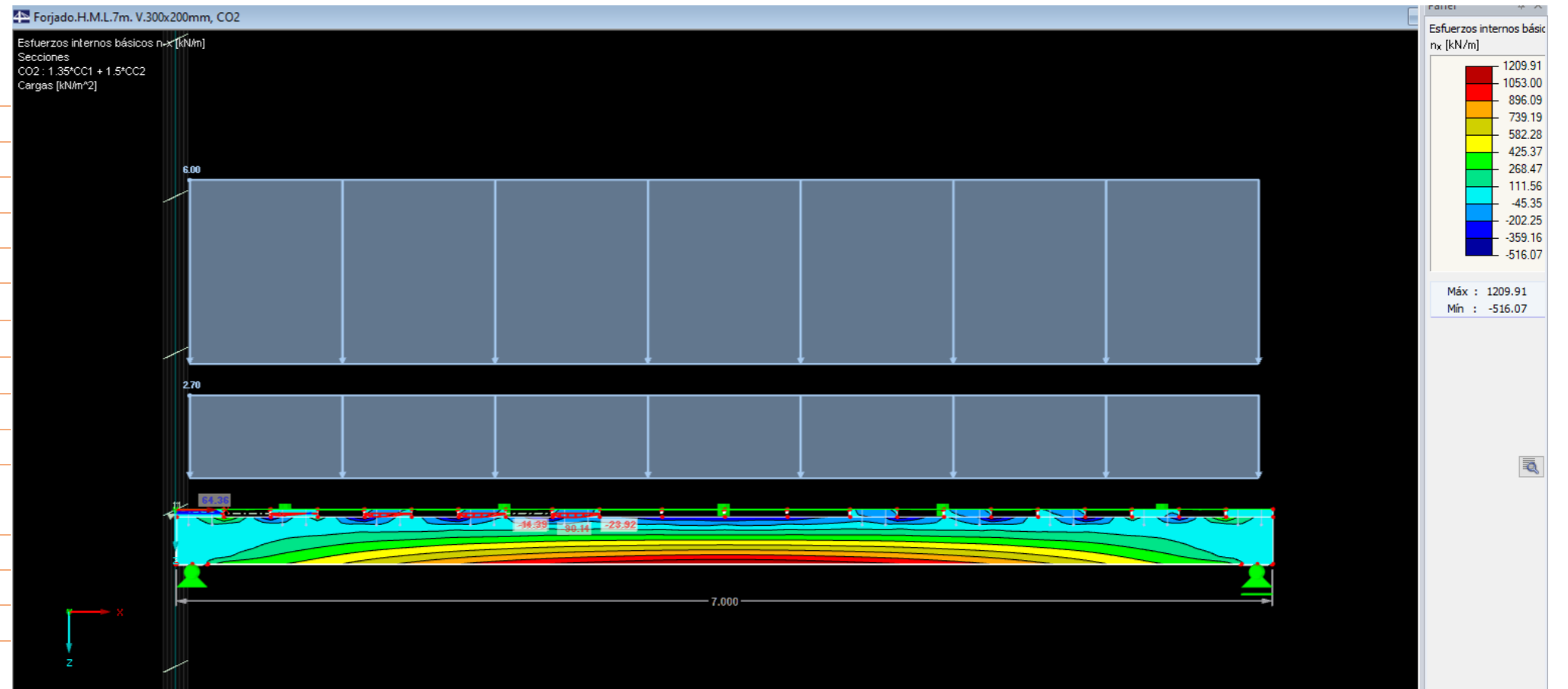
Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	300	50	80
Espesor e (mm)	200	4	1000

Luz total (m)	7.00
Luz entre apoyos(m)	7.00
Distancia entre vigas (m)	0.80
Viguetas intermedias	NO
Vuelos (m)	0.00

Peso propio total por forjado:

Cargas	
Carga Permanente	2 KN/m ²
SobreCarga de uso	4 KN/m ²



Análisis del forjado.

Forjado Hormigón Madera. 7m con viguetas inter.

Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	300	50	80
Espesor e (mm)	200	4	1000

Luz total (m) 7.00

Luz entre apoyos(m) 7.00

Distancia entre vigas (m) 0.65

Viguetas intermedias SI

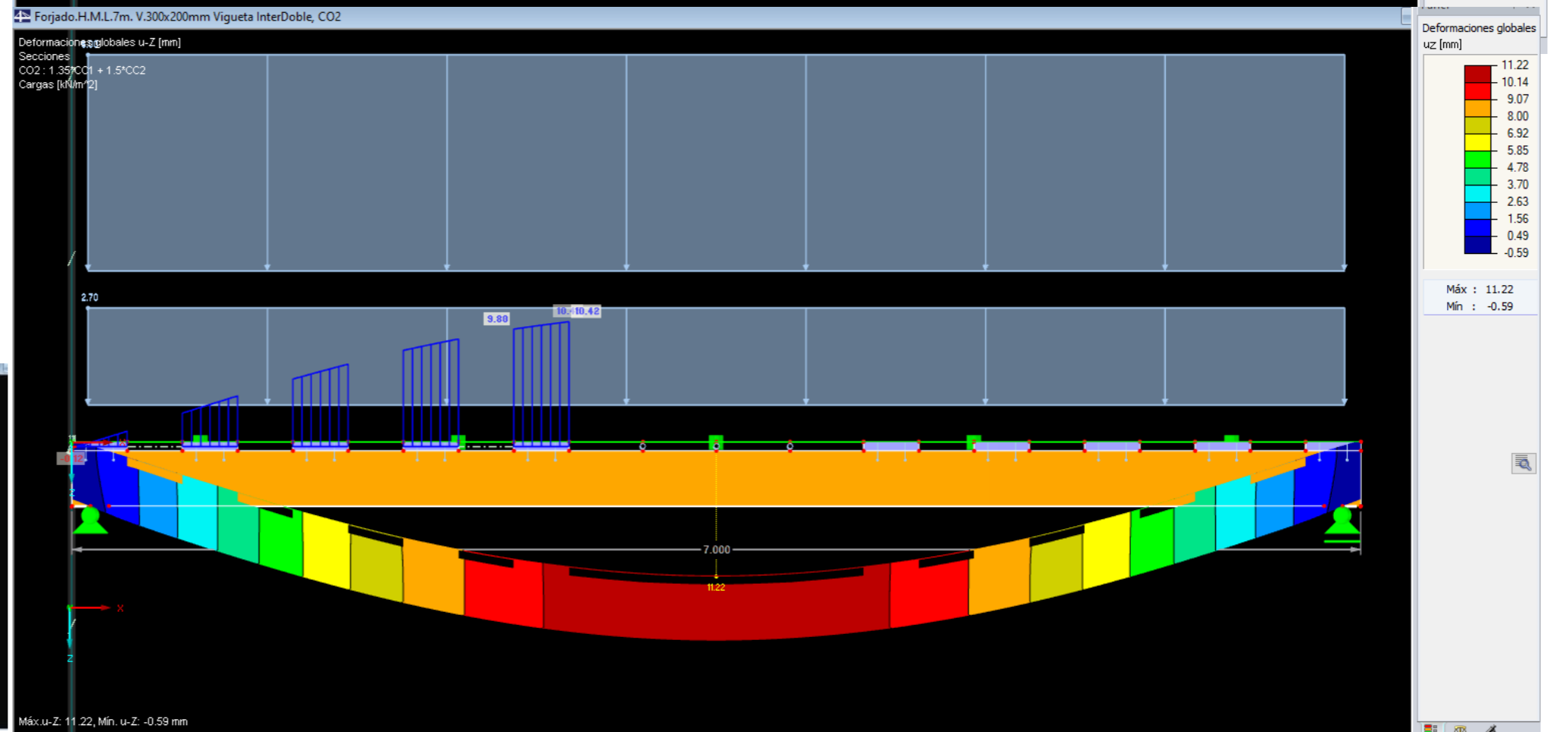
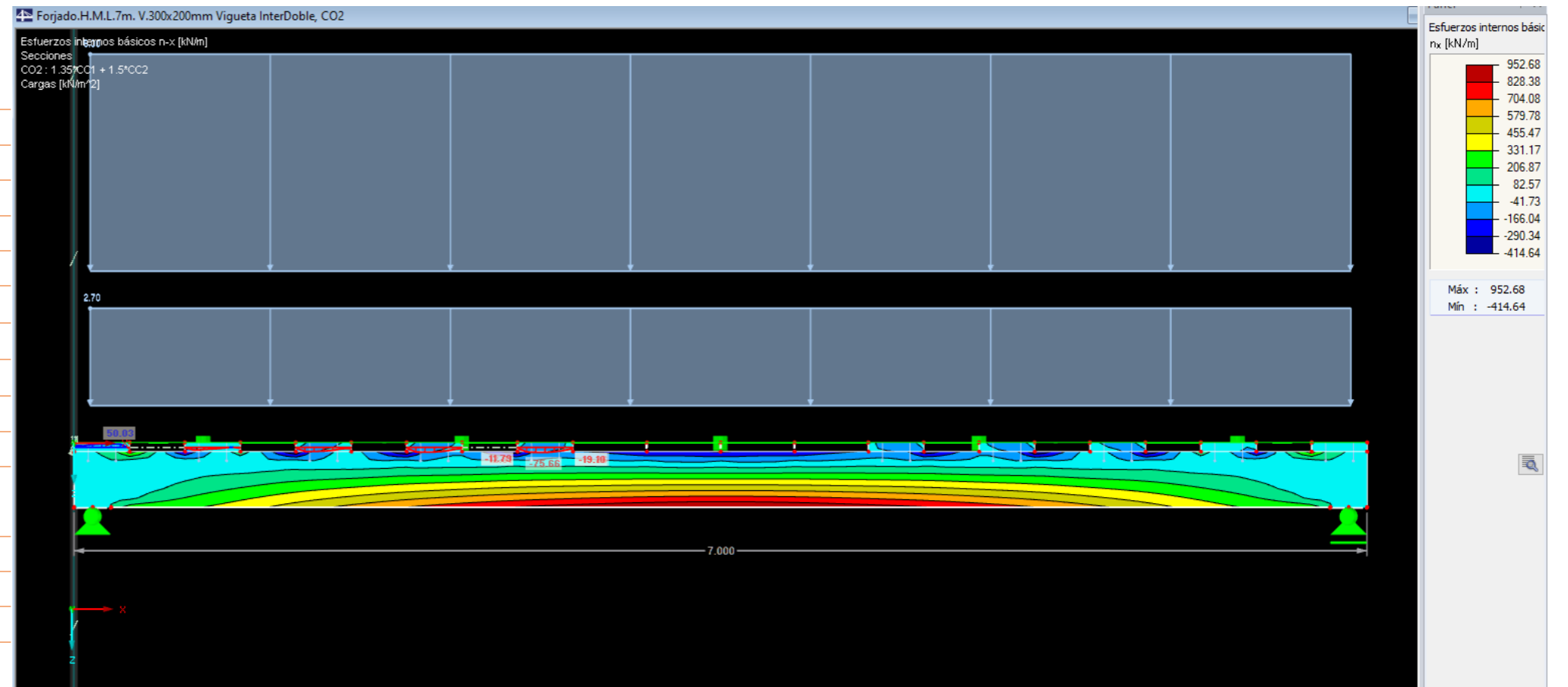
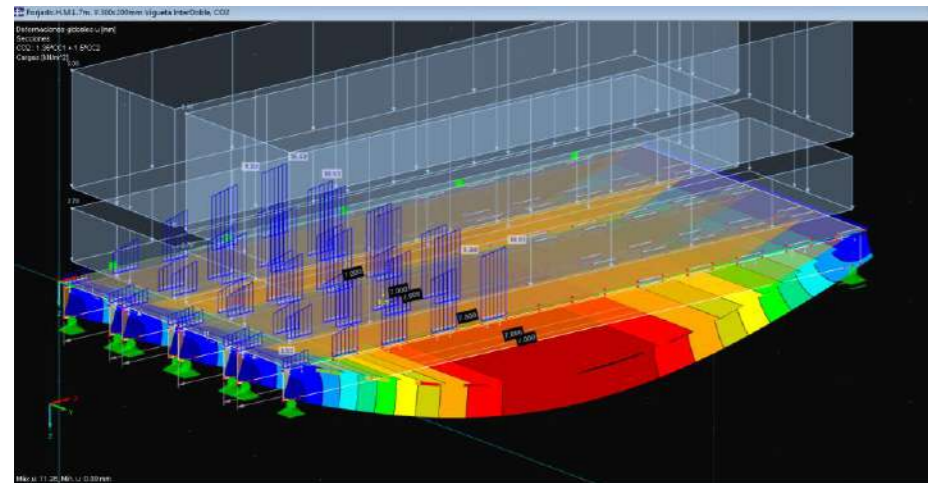
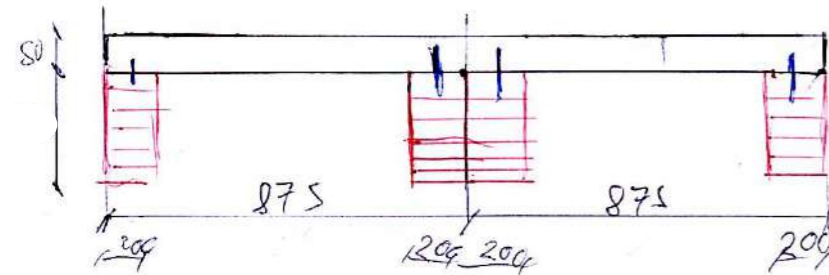
Vuelos (m) 0.00

Peso propio total por forjado:

Cargas

Carga Permanente 2 KN/m²

SobreCarga de uso 4 KN/m²



Análisis del forjado

Forjado Hormigón Madera. 7m 400x200mm

Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	400	50	80
Espesor e (mm)	200	4	1000

Luz total (m) 7.00

Luz entre apoyos(m) 7.00

Distancia entre vigas (m) 0.80

Viguetas intermedias NO

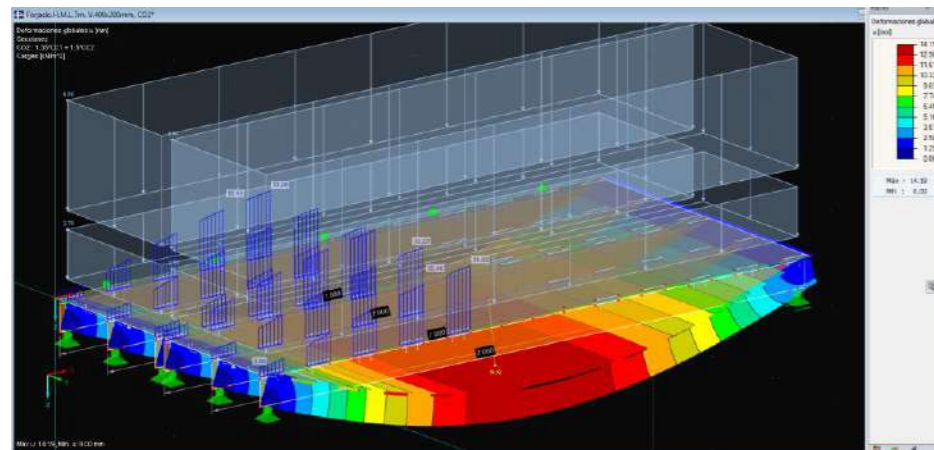
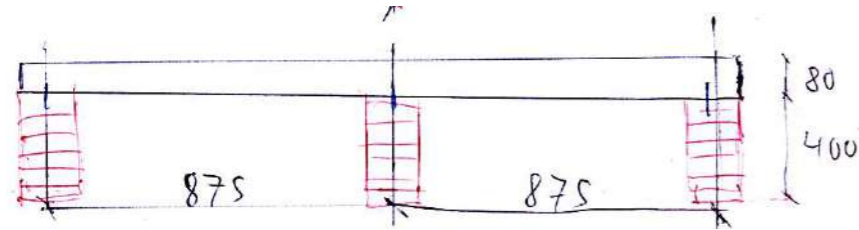
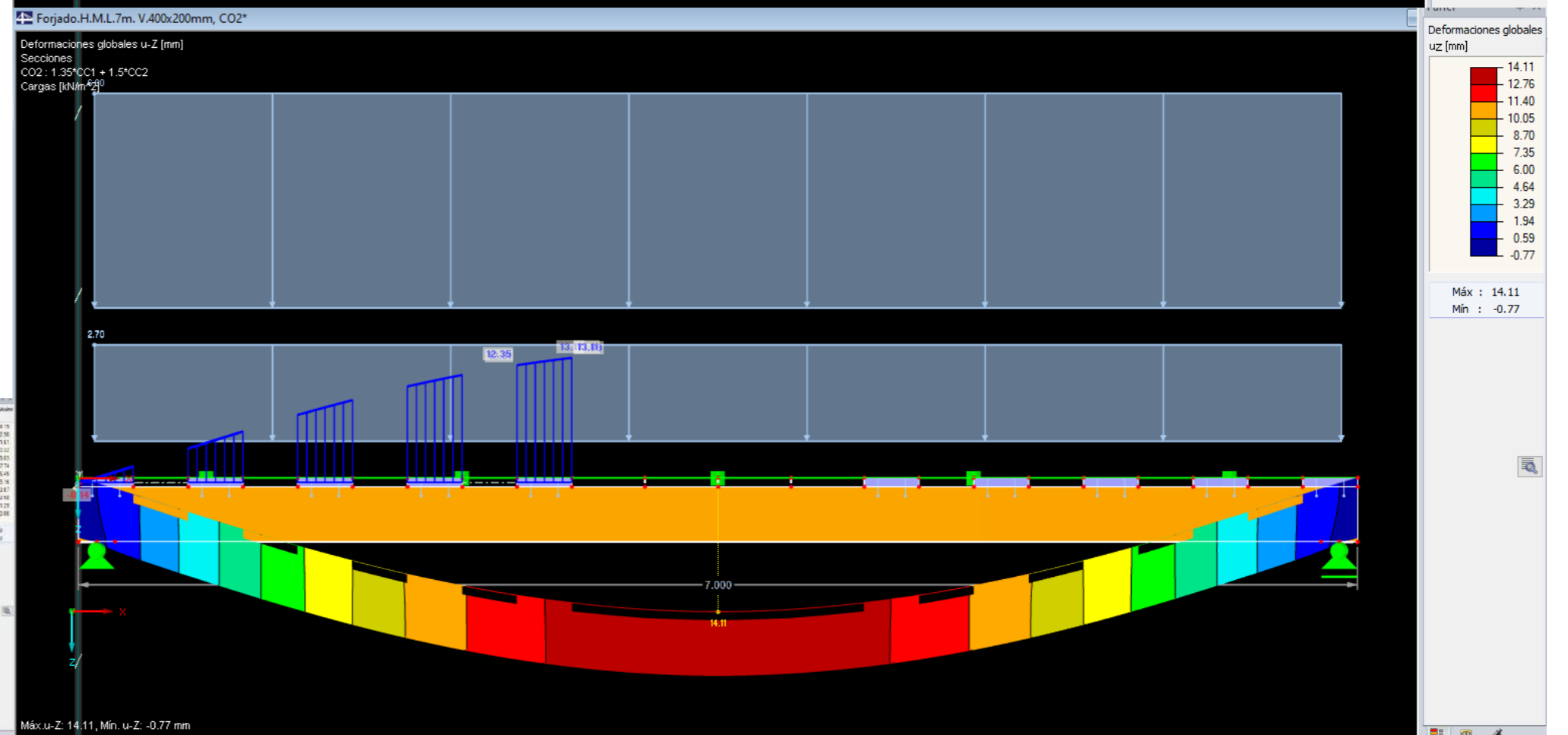
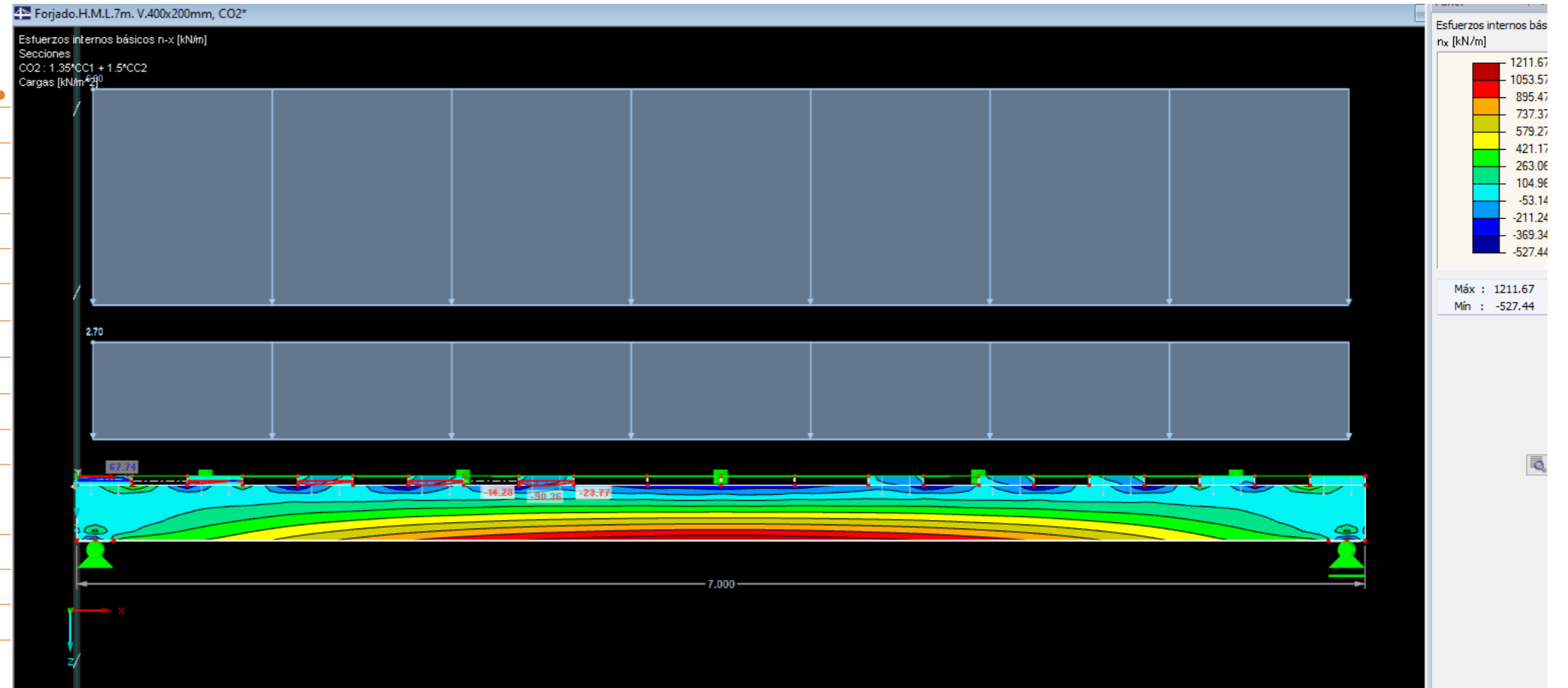
Vuelos (m) 0.00

Peso propio total por forjado:

Cargas

Carga Permanente 2 KN/m²

SobreCarga de uso 4 KN/m²



Análisis del forjado.

Forjado Hormigón Madera. 7m 400x200 vig. inter.

Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	400	50	80
Espesor e (mm)	200	4	1000

Luz total (m) 7.00

Luz entre apoyos(m) 7.0

Distancia entre vigas (m) 0.65

Viguetas intermedias SI

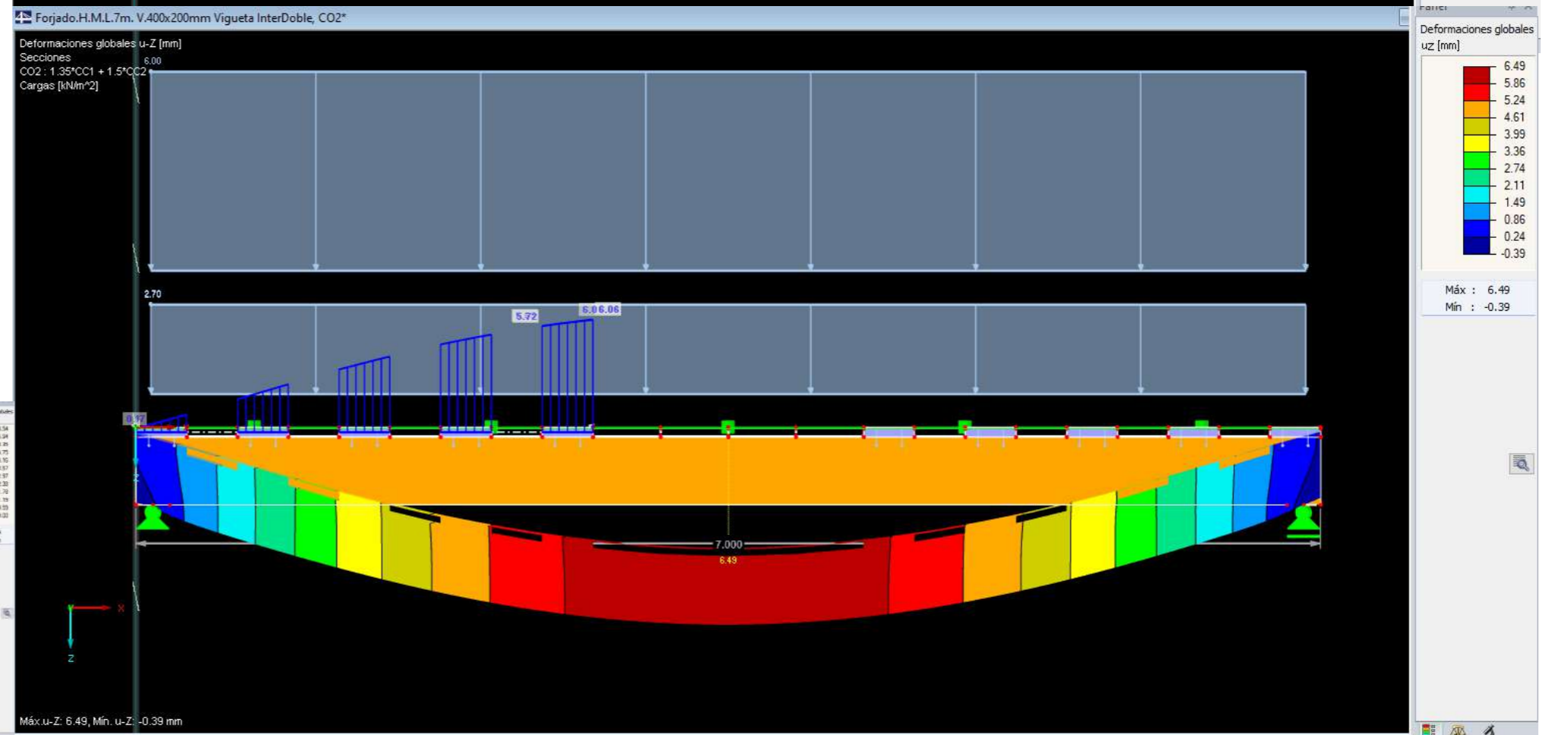
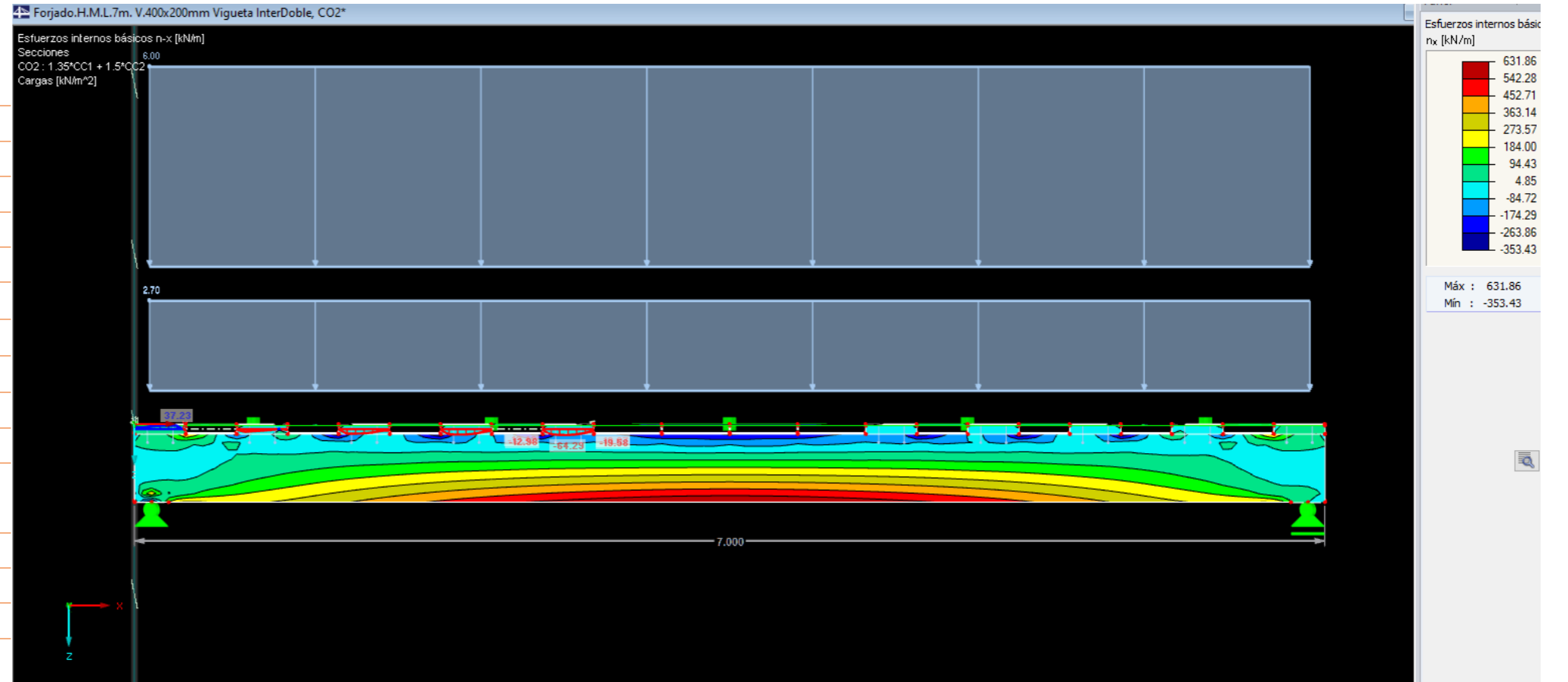
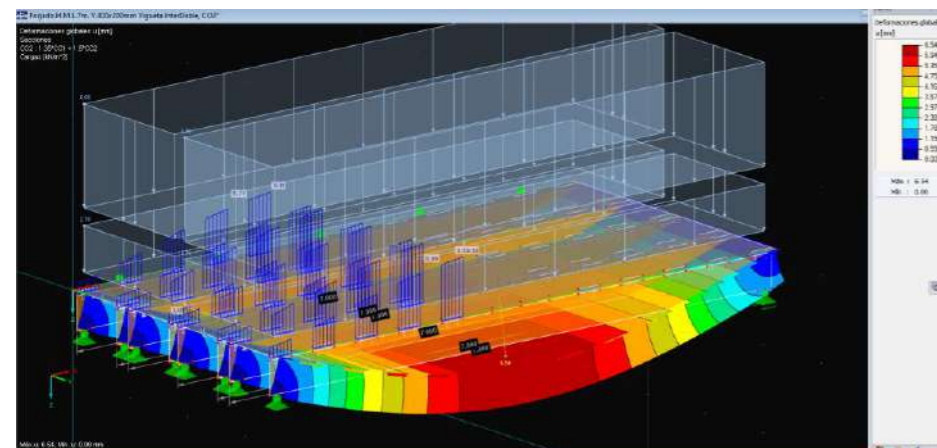
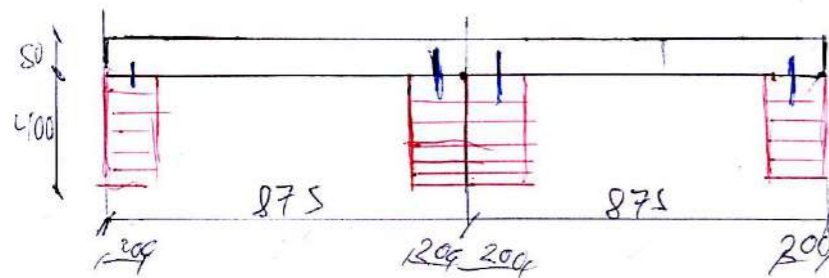
Vuelos (m) 0.00

Peso propio total por forjado:

Cargas

Carga Permanente 2 KN/m²

SobreCarga de uso 4 KN/m²



Análisis del forjado

Forjado Hormigón Madera. 10m

Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	400	50	80
Espesor e (mm)	200	4	1000

Luz total (m) 10.00

Luz entre apoyos(m) 10.00

Distancia entre vigas (m) 0.80

Viguetas intermedias NO

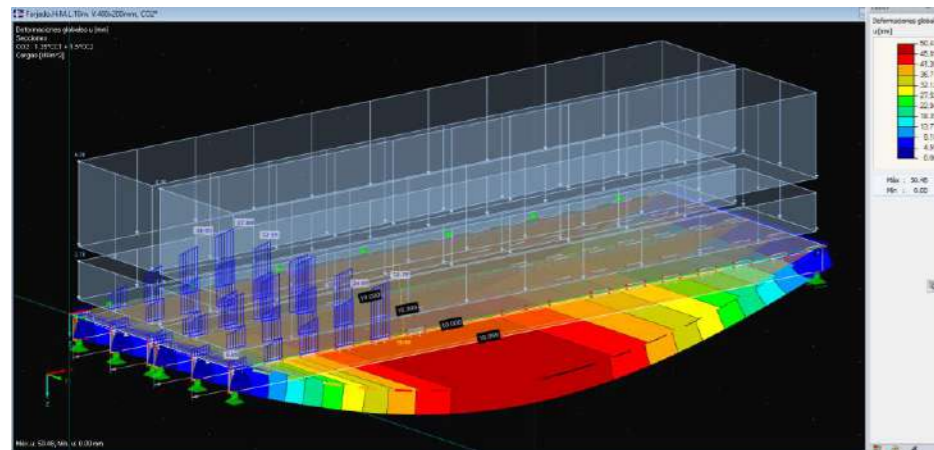
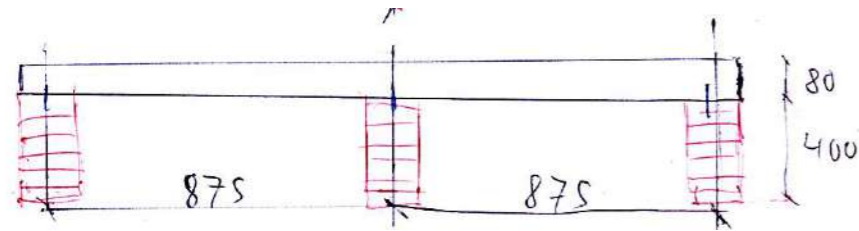
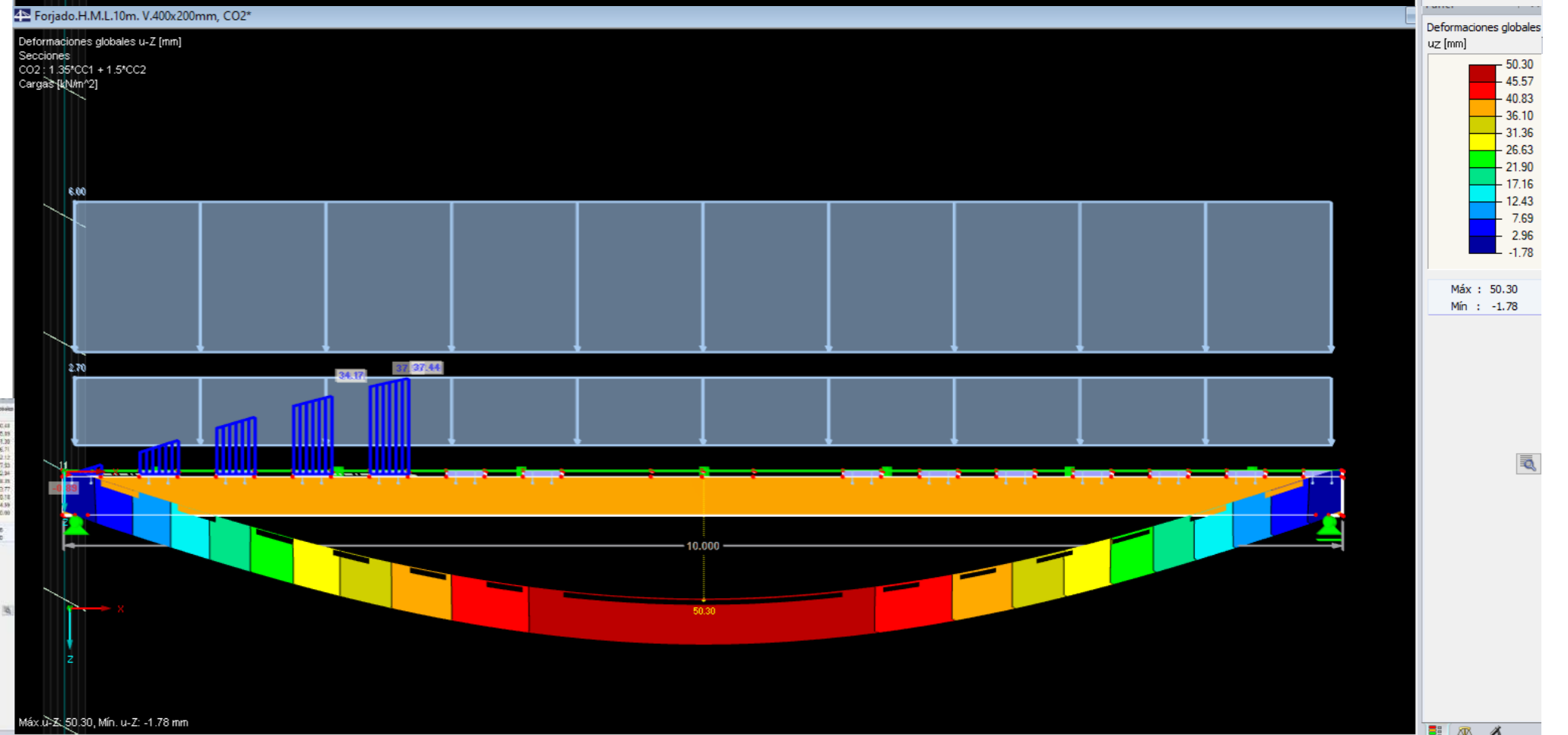
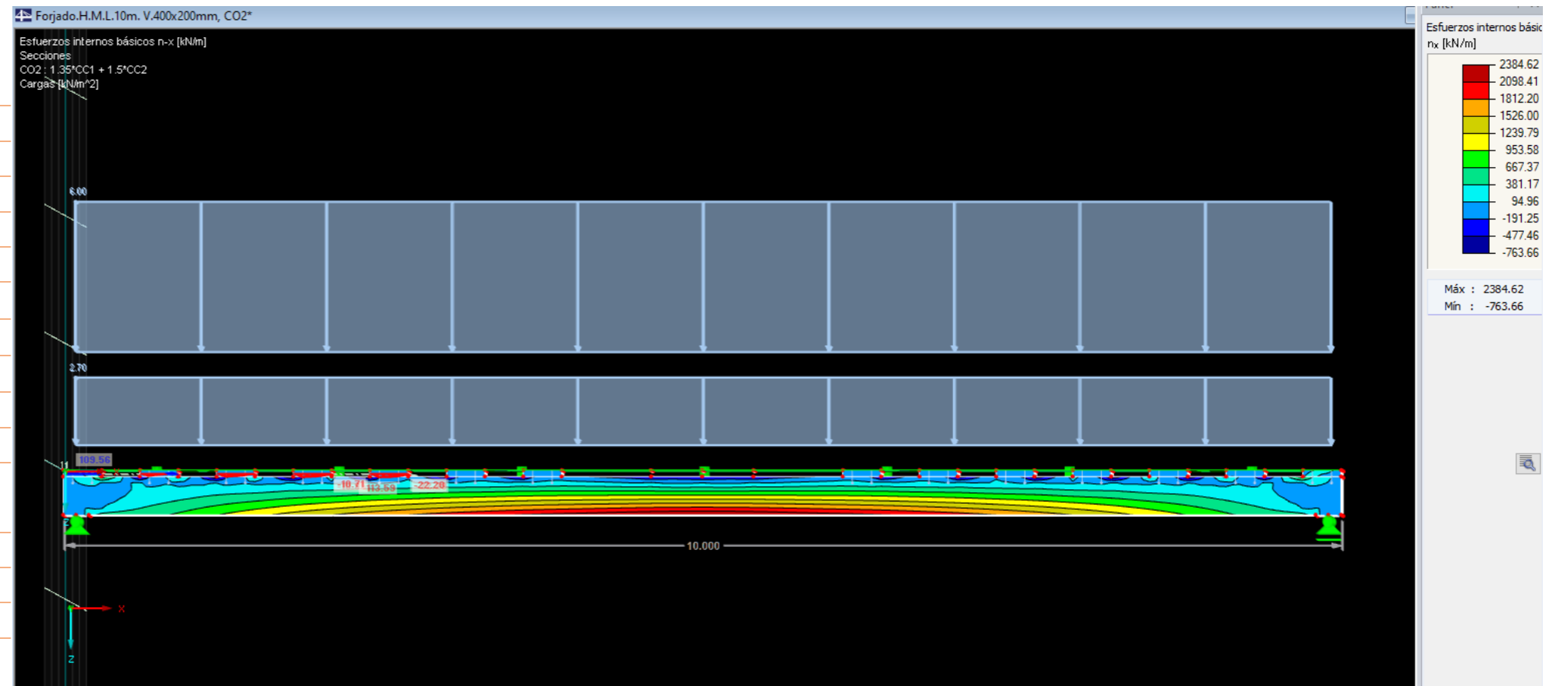
Vuelos (m) 0.00

Peso propio total por forjado:

Cargas

Carga Permanente 2 KN/m²

SobreCarga de uso 4 KN/m²



Análisis del forjado.

Forjado Hormigón Madera. 10m con vuelos.

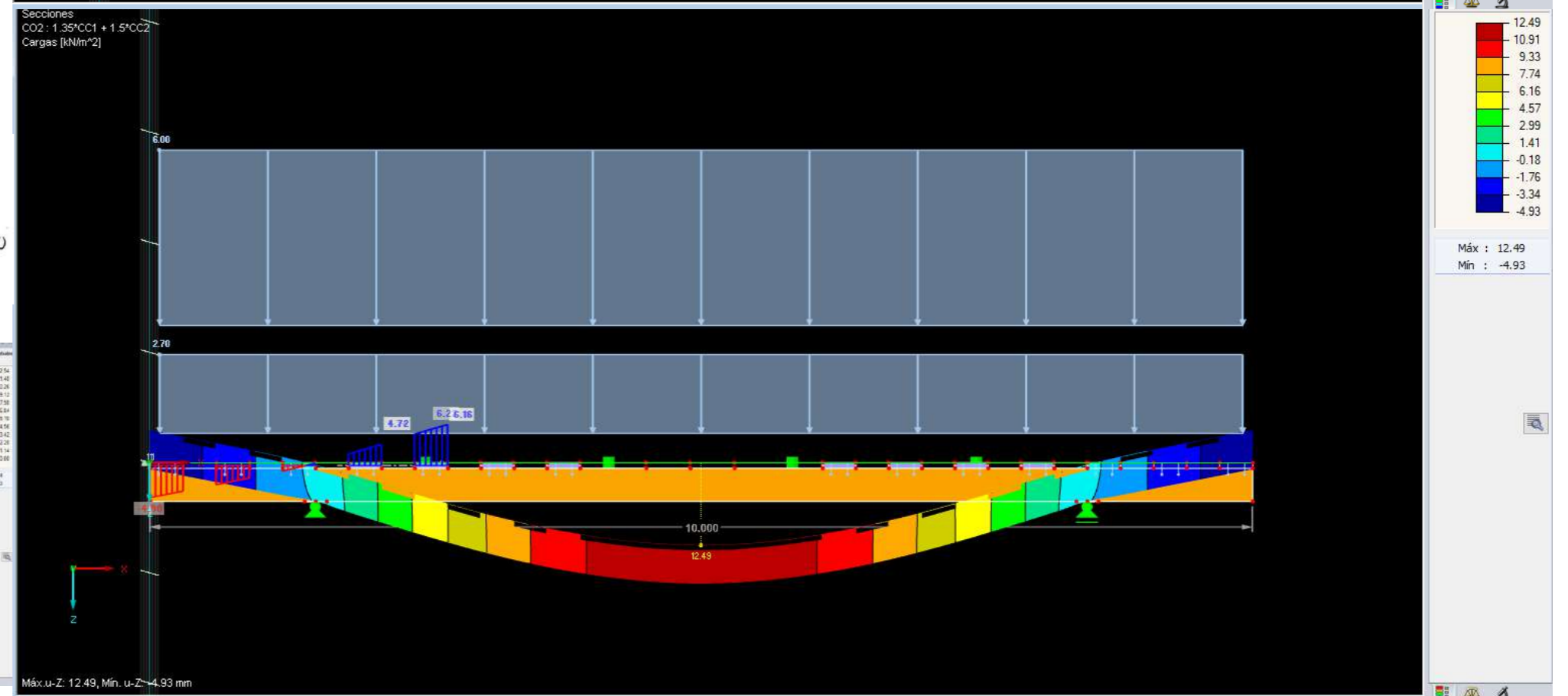
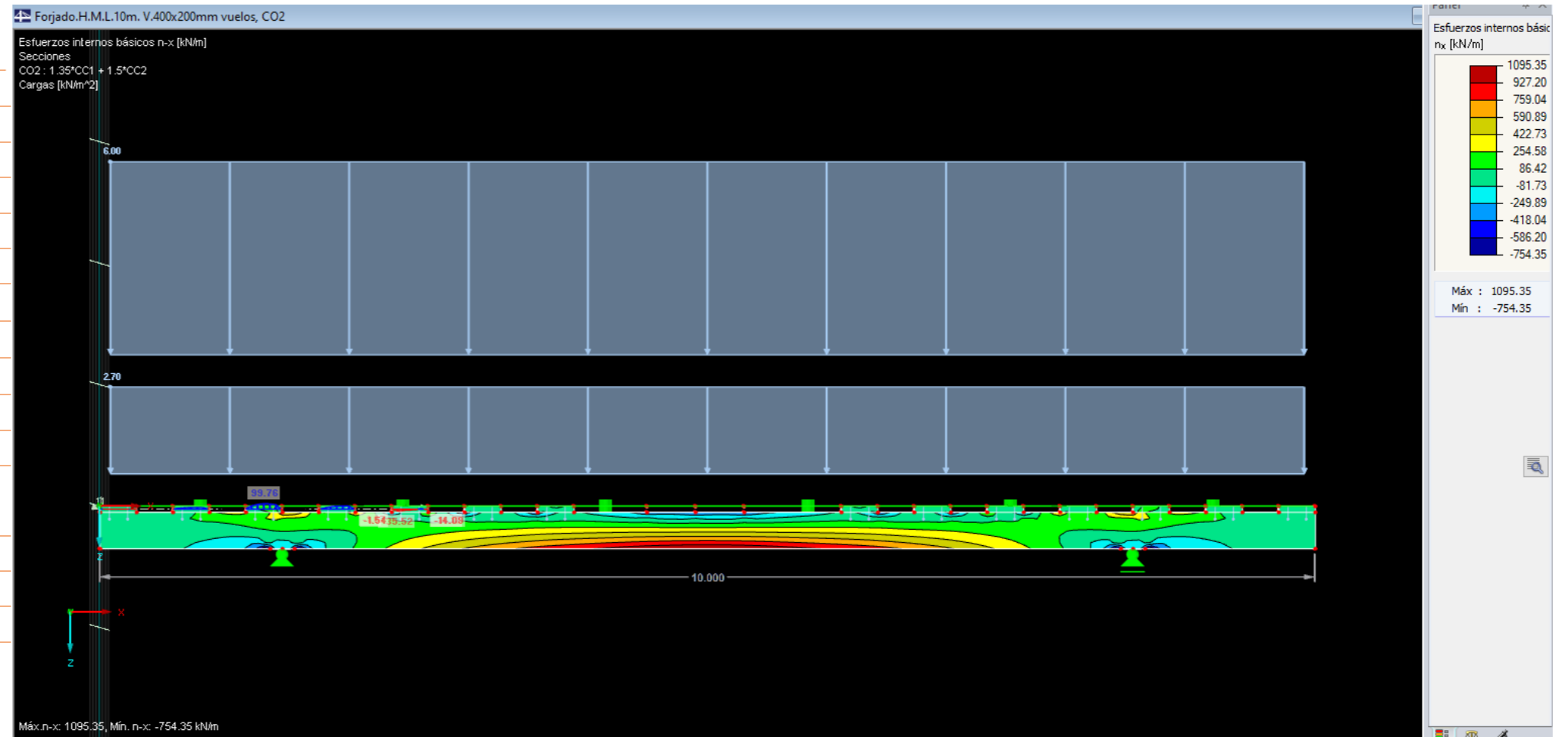
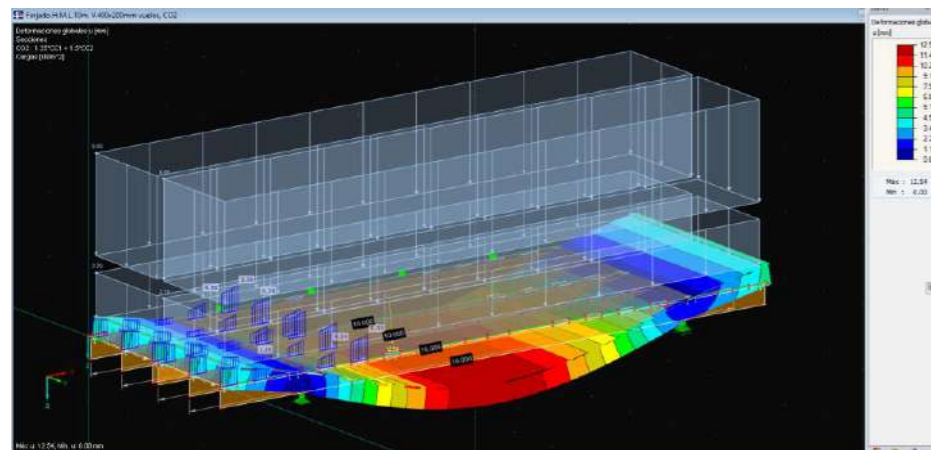
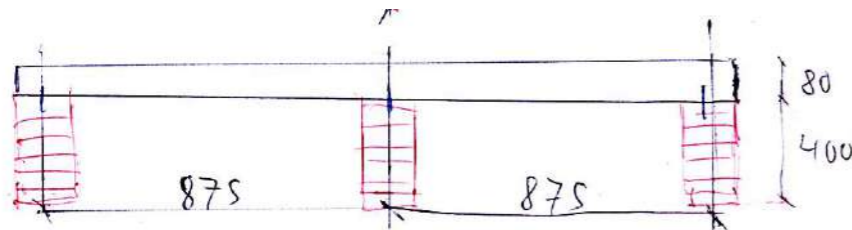
Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	400	50	80
Espesor e (mm)	200	4	1000

Luz total (m)	10.00
Luz entre apoyos(m)	10.00
Distancia entre vigas (m)	0.80
Viguetas intermedias	NO
Vuelos (m)	1.5
Peso propio total por forjado:	

Cargas

Carga Permanente	2 KN/m ²
SobreCarga de uso	4 KN/m ²



Análisis del forjado.

Forjado Hormigón Madera. 10m con viguetas inter.

Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	400	50	80
Espesor e (mm)	200	4	1000

Luz total (m) 10.00

Luz entre apoyos(m) 10.00

Distancia entre vigas (m) 0.65

Viguetas intermedias SI

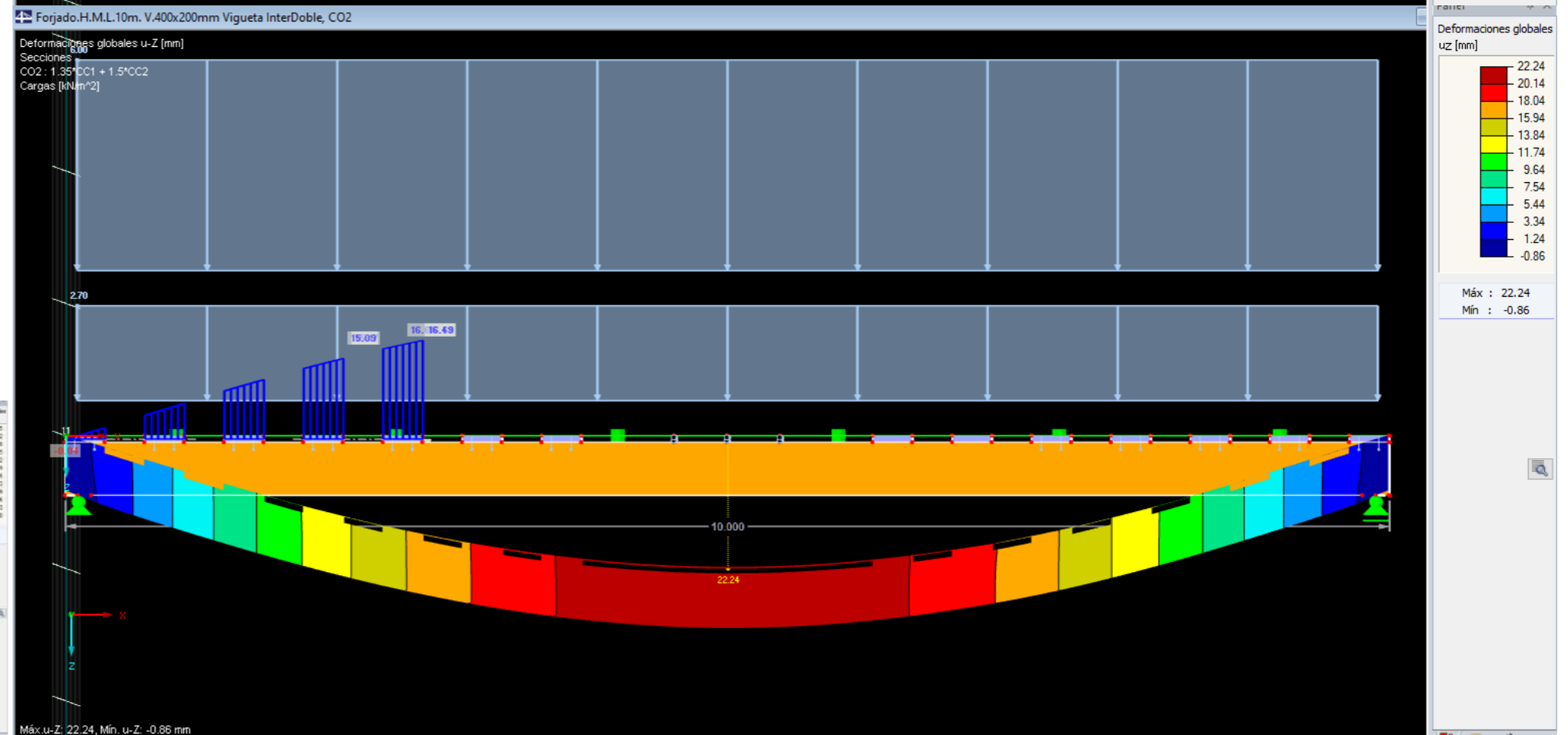
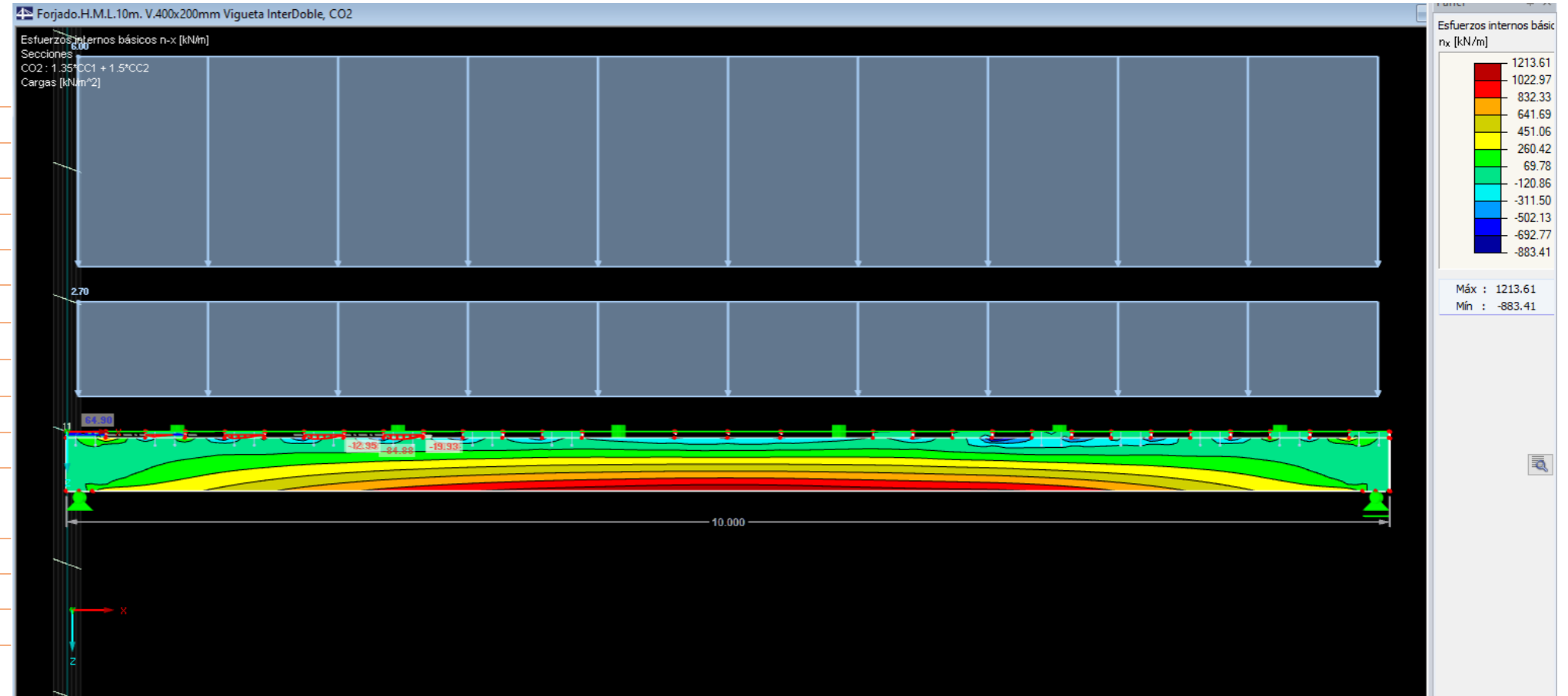
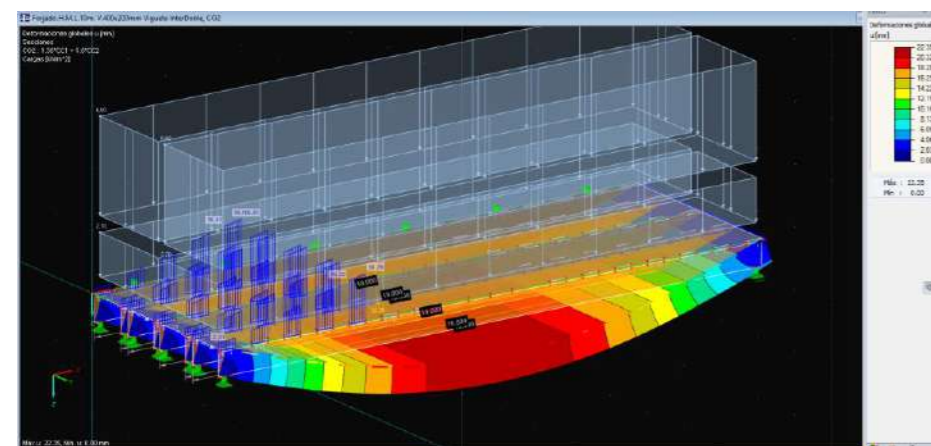
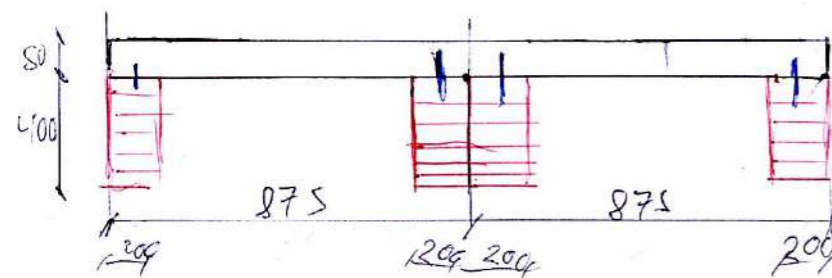
Vuelos (m) 0.00

Peso propio total por forjado:

Cargas

Carga Permanente 2 KN/m²

SobreCarga de uso 4 KN/m²



Análisis del forjado

Forjado Hormigón Madera. 10m con vig. inter. vuelo

Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	400	50	80
Espesor e (mm)	200	4	1000

Luz total (m) 10.00

Luz entre apoyos(m) 10.00

Distancia entre vigas (m) 0.80

Viguetas intermedias SI

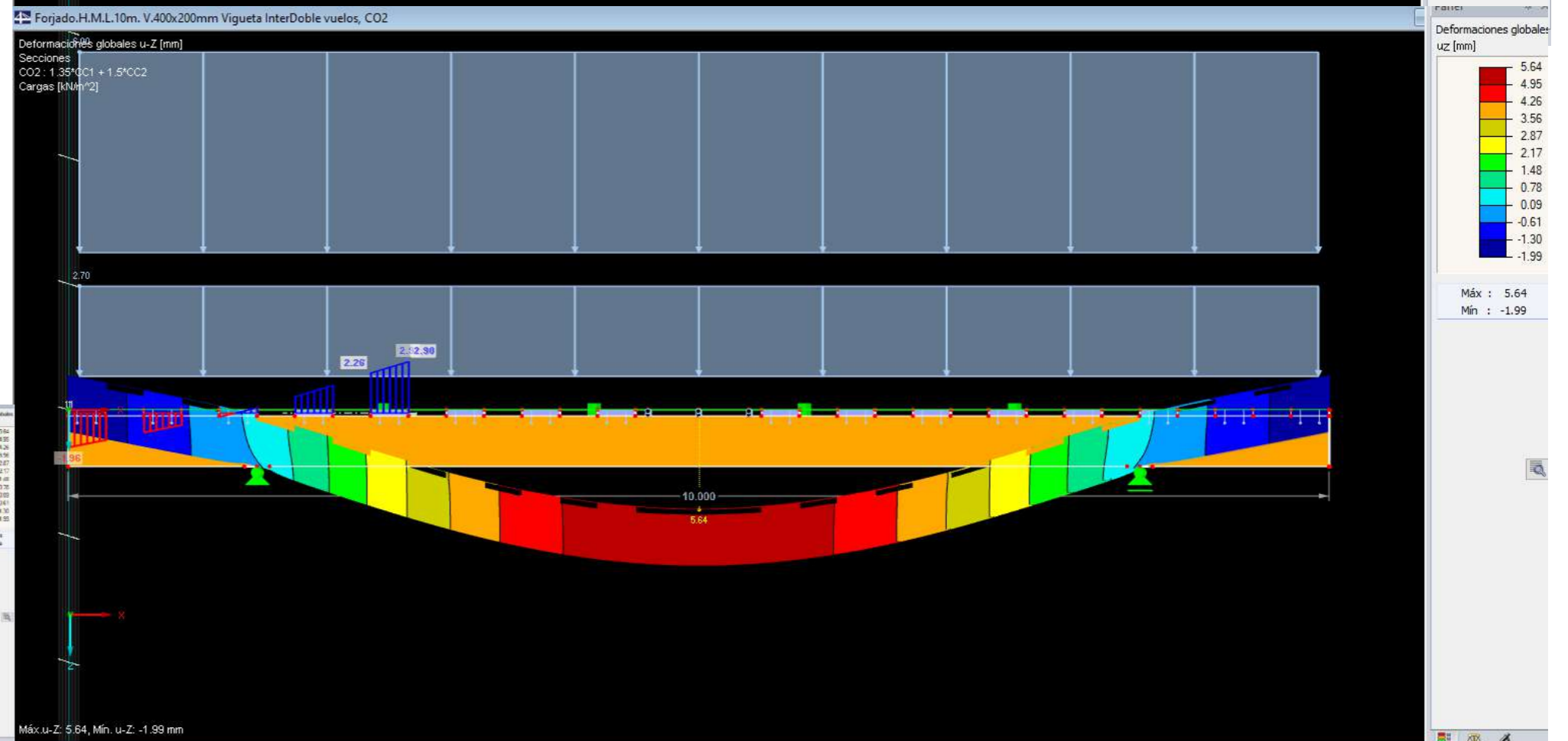
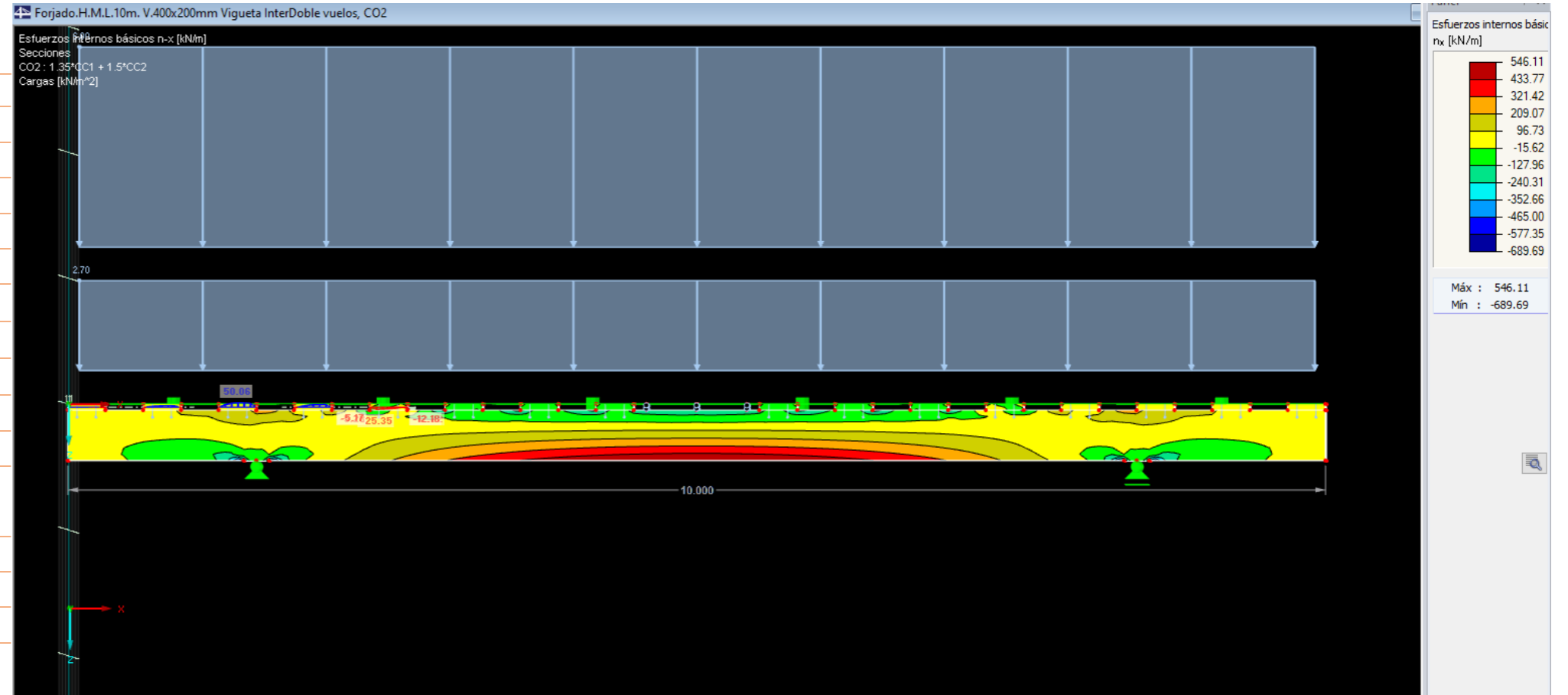
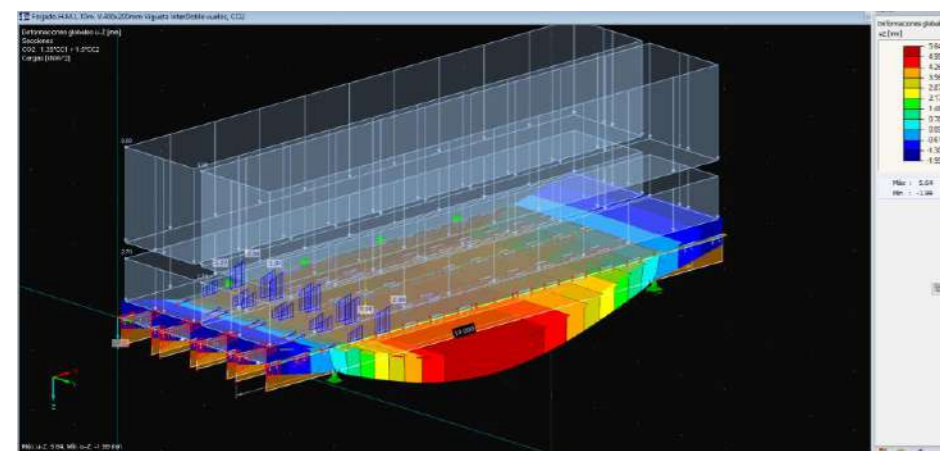
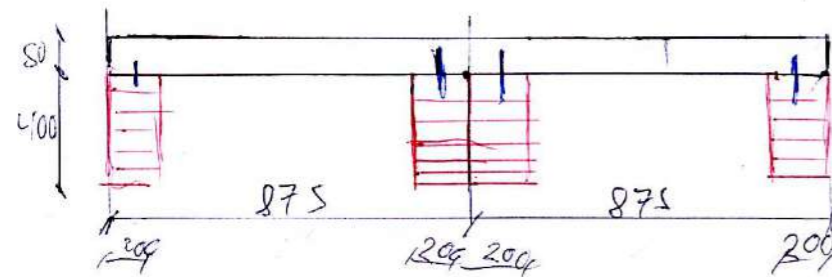
Vuelos (m) 1.50

Peso propio total por forjado:

Cargas

Carga Permanente 2 KN/m²

SobreCarga de uso 4 KN/m²



Análisis del forjado

Forjado Hormigón Madera. 12m vuelo.

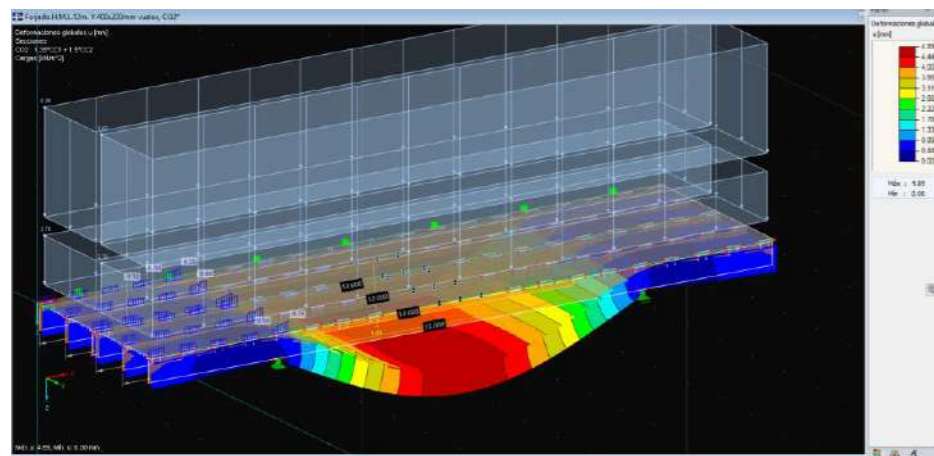
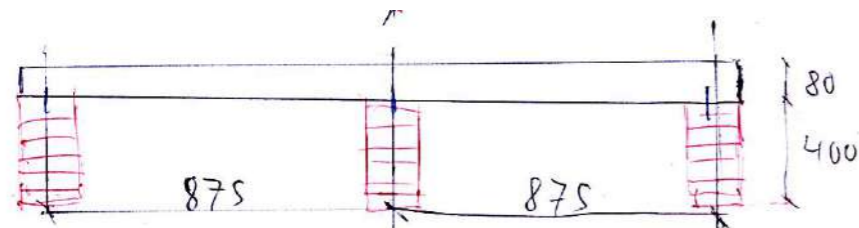
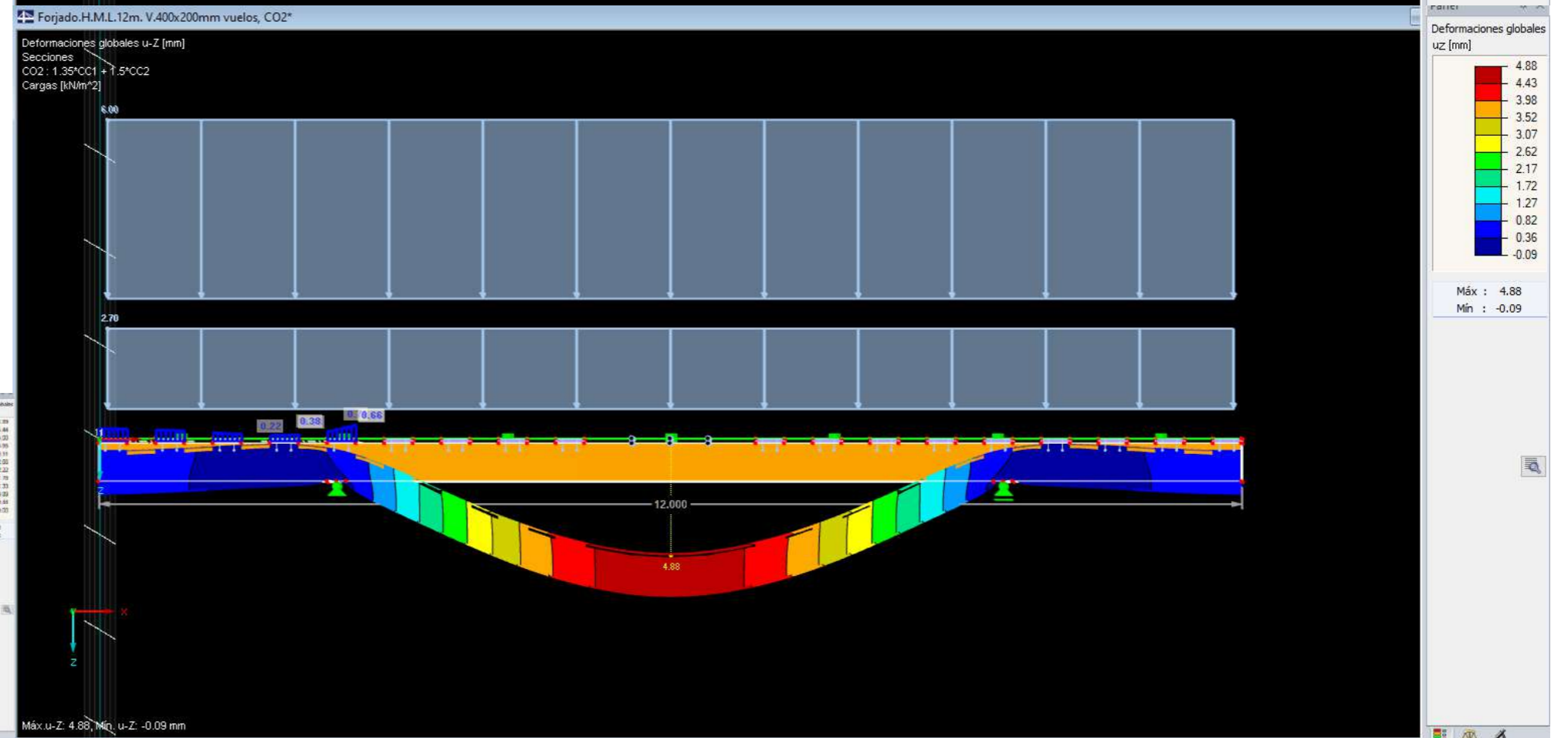
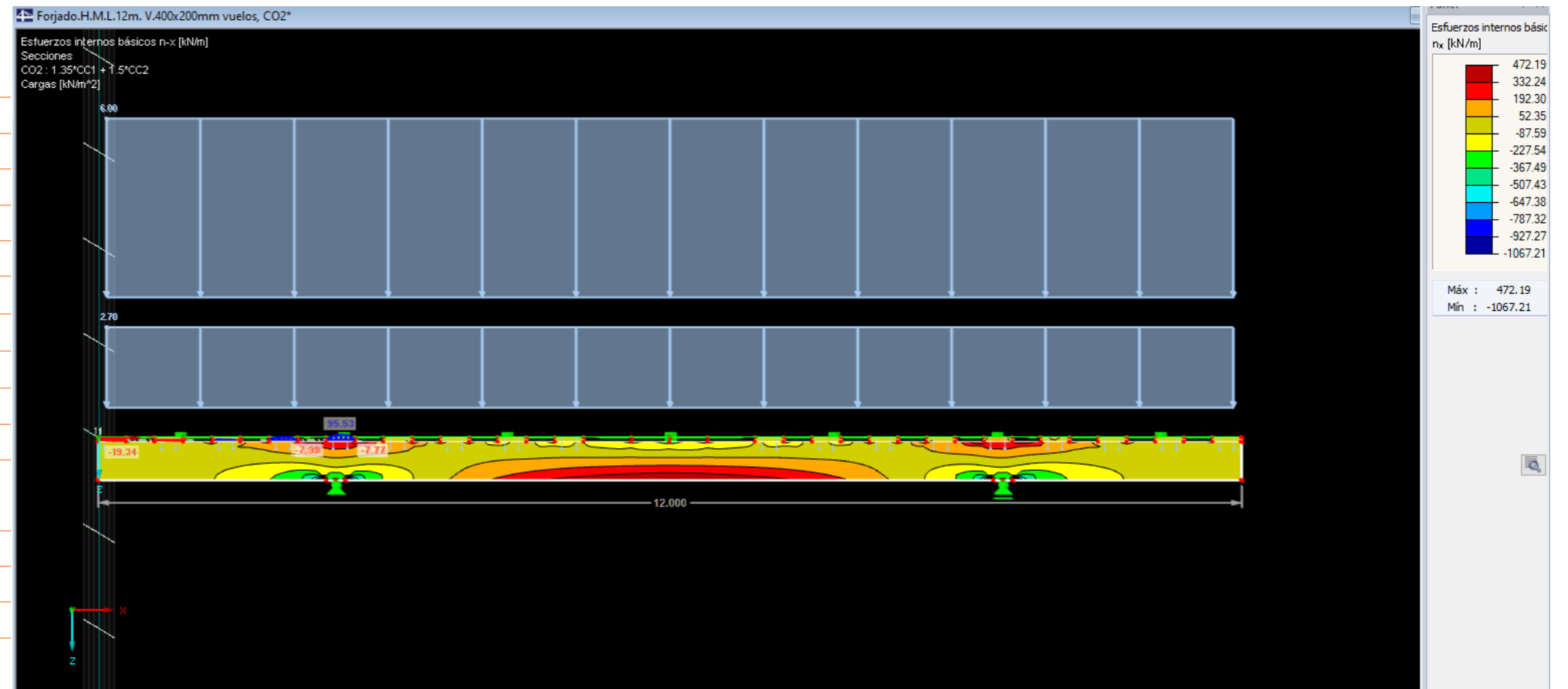
Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	400	50	80
Espesor e (mm)	200	4	1000

Luz total (m)	10.00
Luz entre apoyos(m)	10.00
Distancia entre vigas (m)	0.65
Viguetas intermedias	SI
Vuelos (m)	2.50

Peso propio total por forjado:

Cargas	
Carga Permanente	2 KN/m ²
SobreCarga de uso	4 KN/m ²



Análisis del forjado.

Forjado Hormigón Madera. 12m con vig. inter.

Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	400	50	80
Espesor e (mm)	200	4	1000

Luz total (m) 10.00

Luz entre apoyos(m) 10.00

Distancia entre vigas (m) 0.65

Viguetas intermedias SI

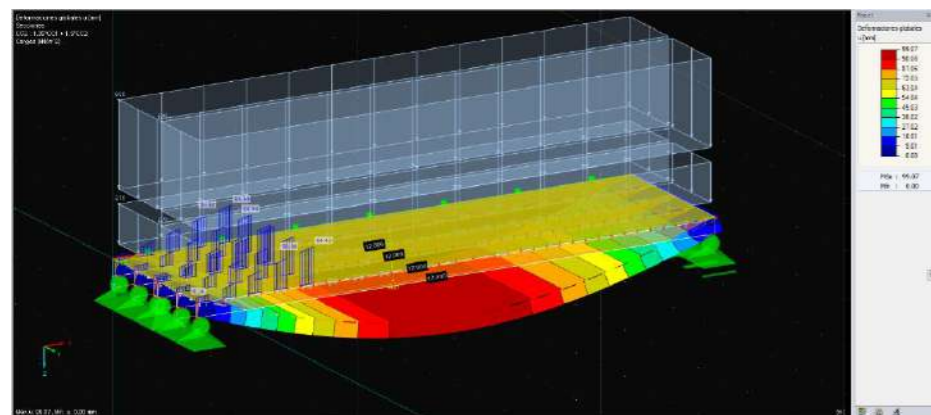
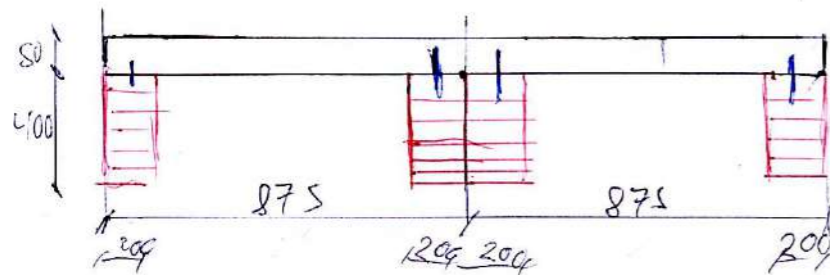
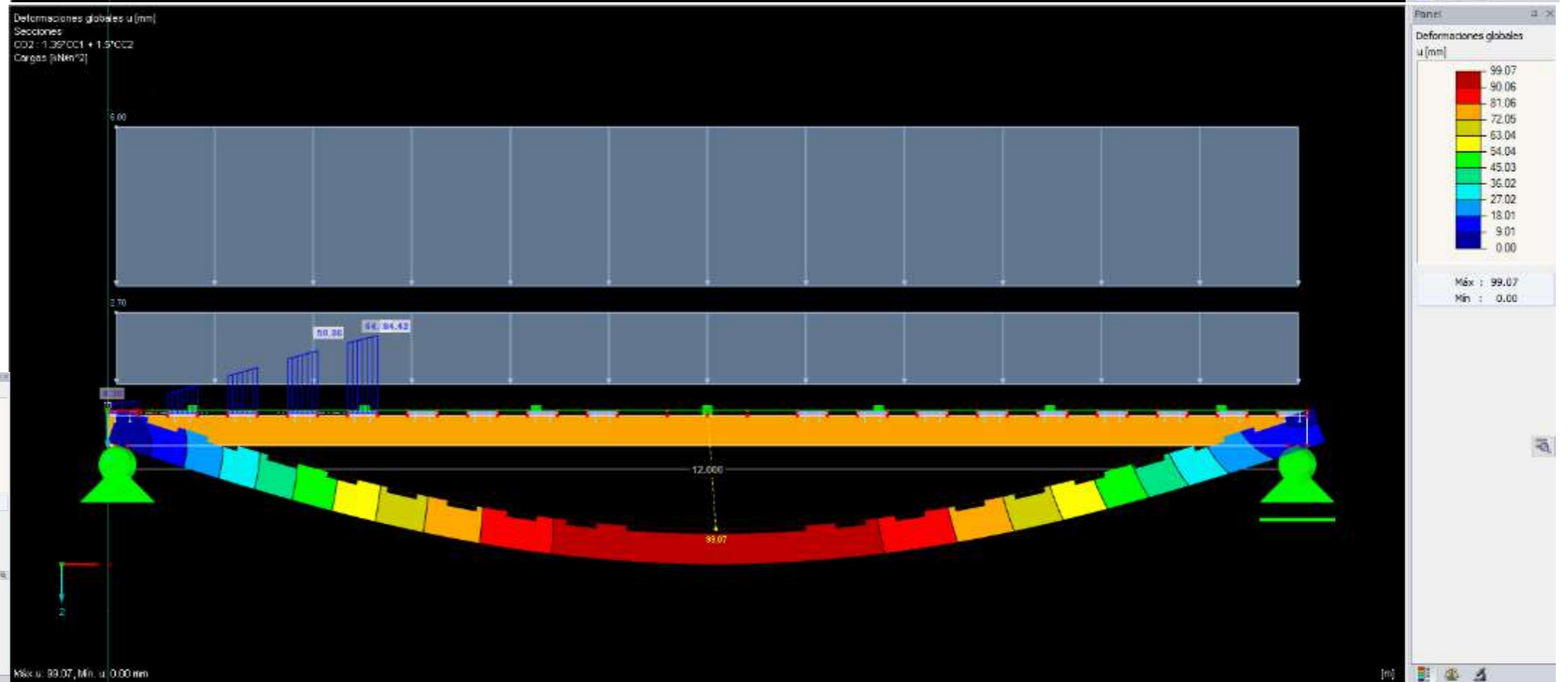
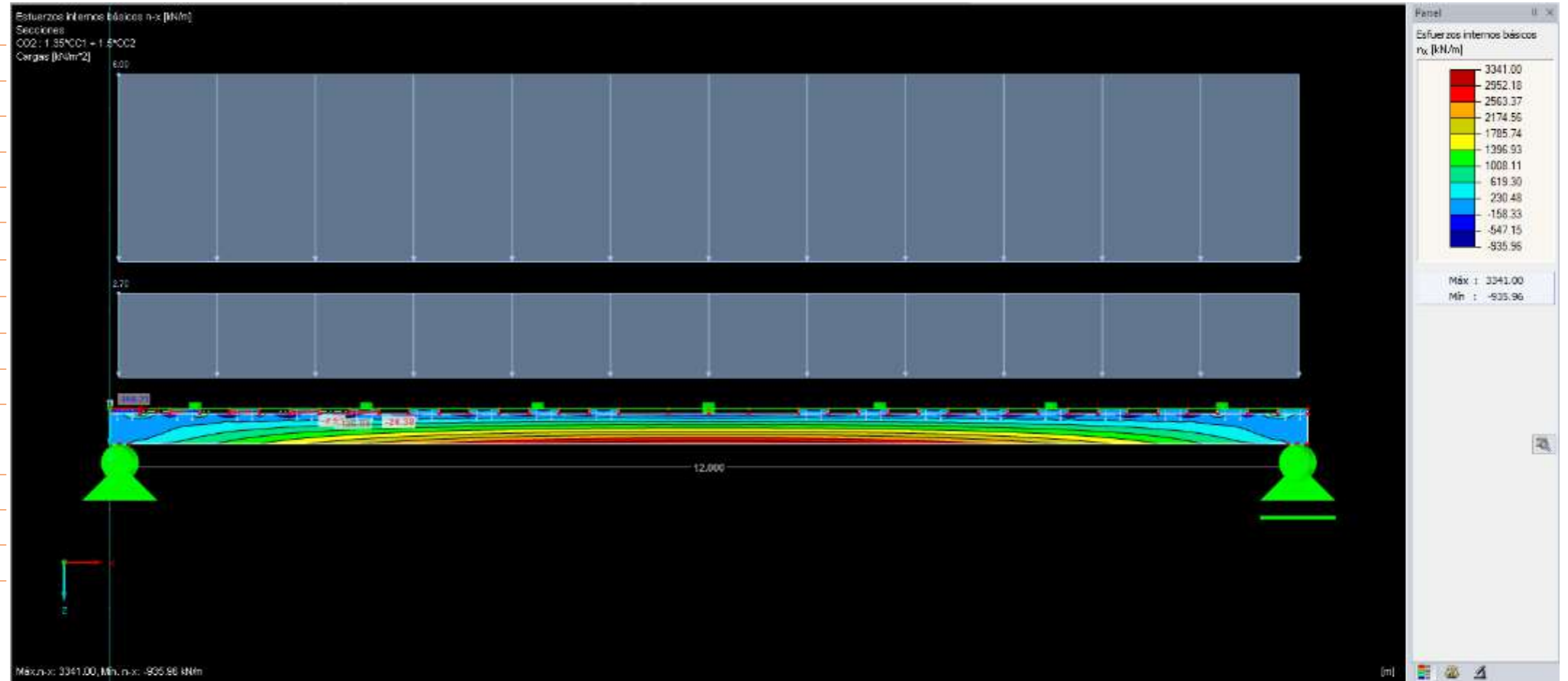
Vuelos (m) 2.50

Peso propio total por forjado:

Cargas

Carga Permanente 2 KN/m²

SobreCarga de uso 4 KN/m²



Análisis del forjado .

Forjado Hormigón Madera. 12m con vig. inter. vuelo

Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	400	50	80
Espesor e (mm)	200	4	1000

Luz total (m) 10.00

Luz entre apoyos(m) 10.00

Distancia entre vigas (m) 0.65

Viguetas intermedias SI

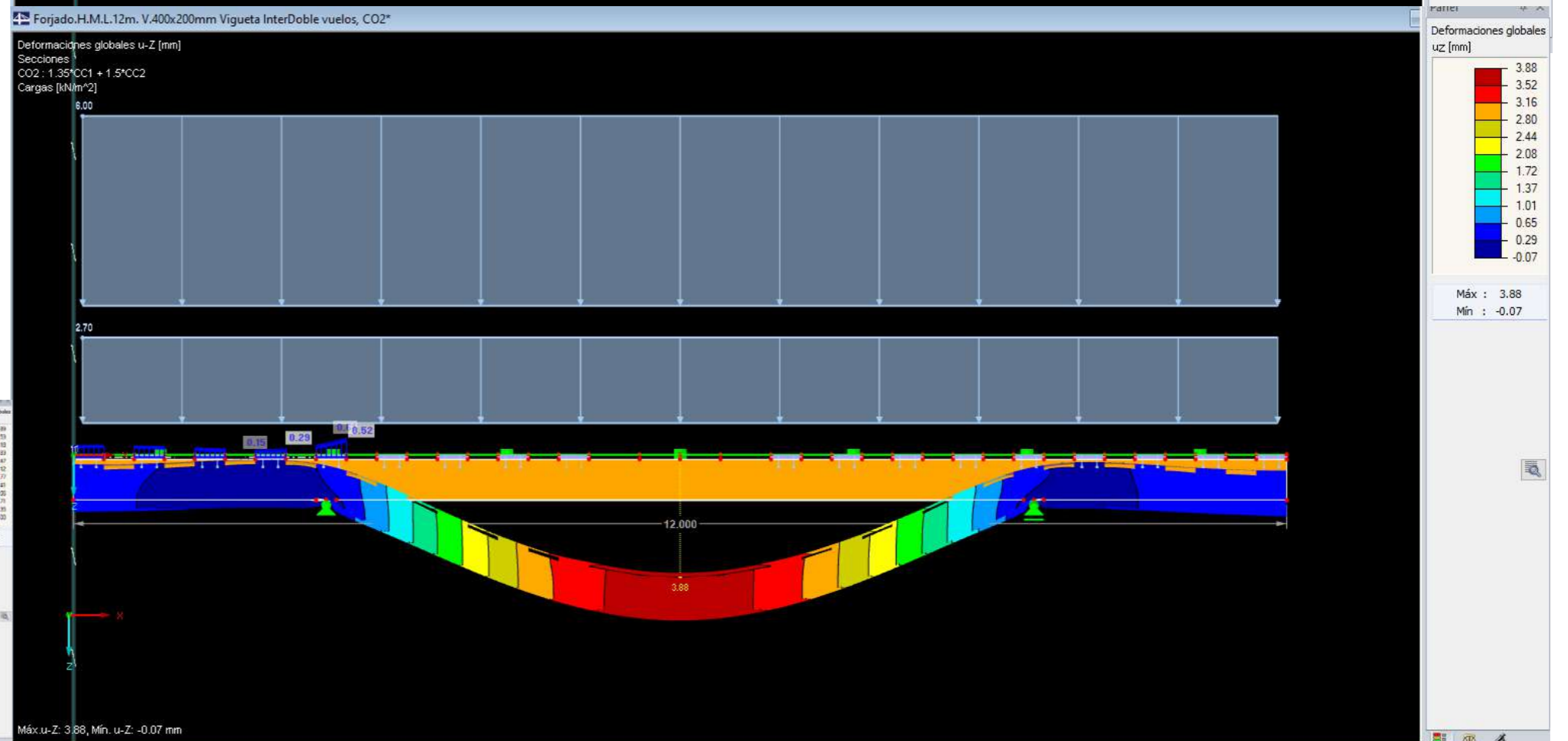
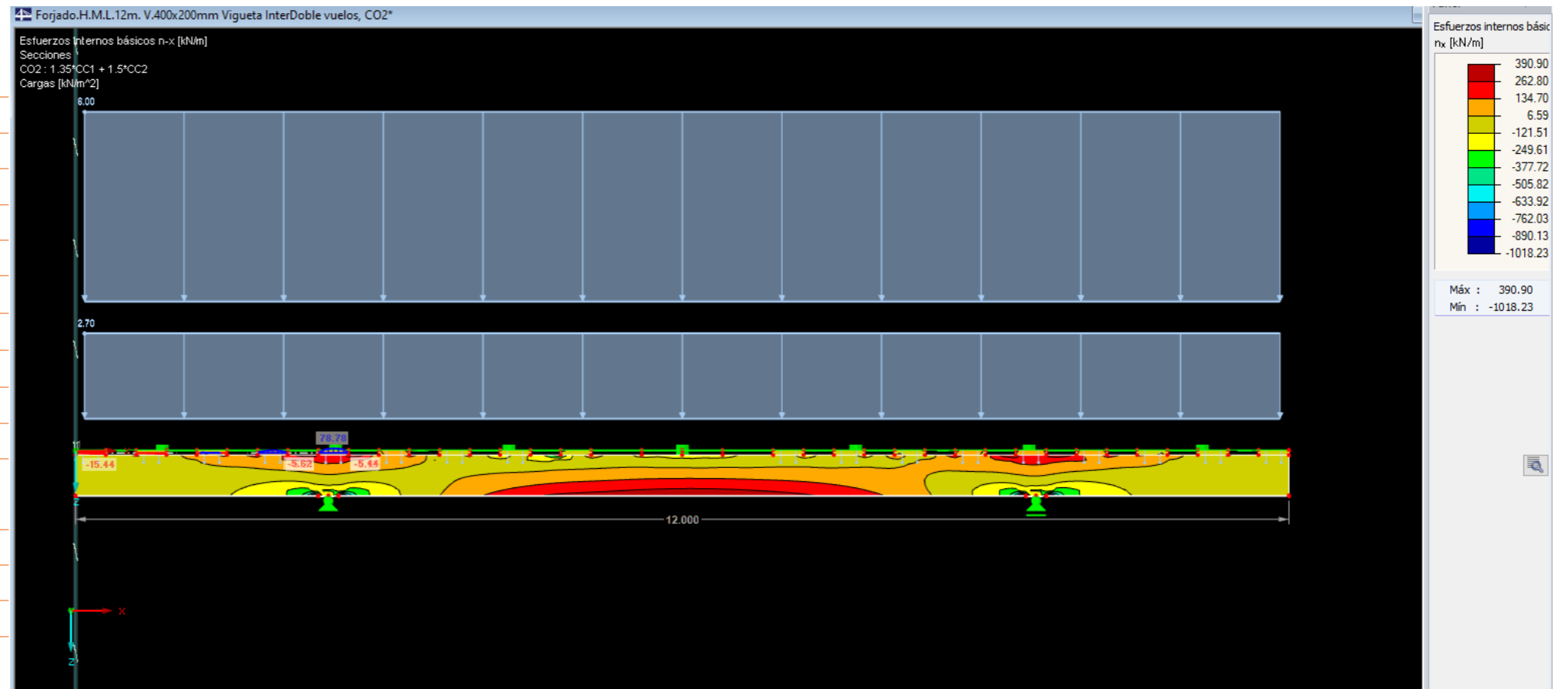
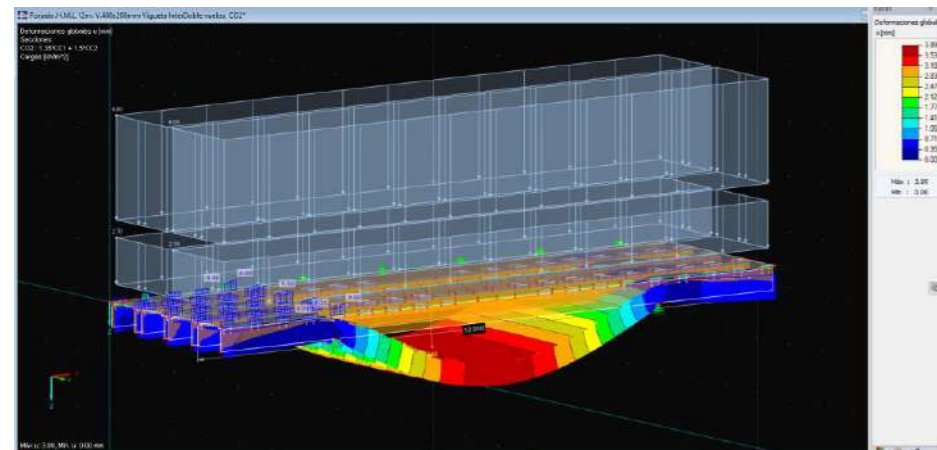
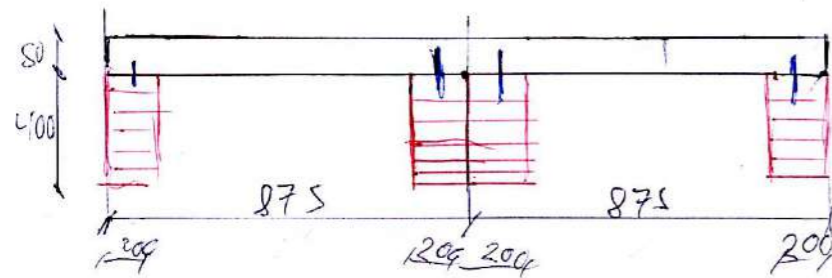
Vuelos (m) 2.50

Peso propio total por forjado:

Cargas

Carga Permanente 2 KN/m²

SobreCarga de uso 4 KN/m²

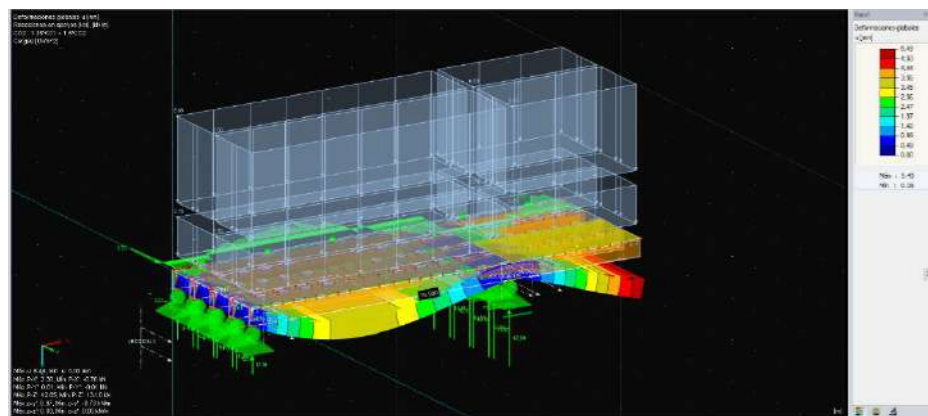
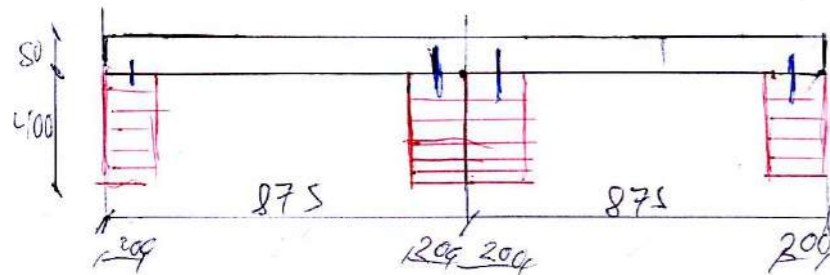
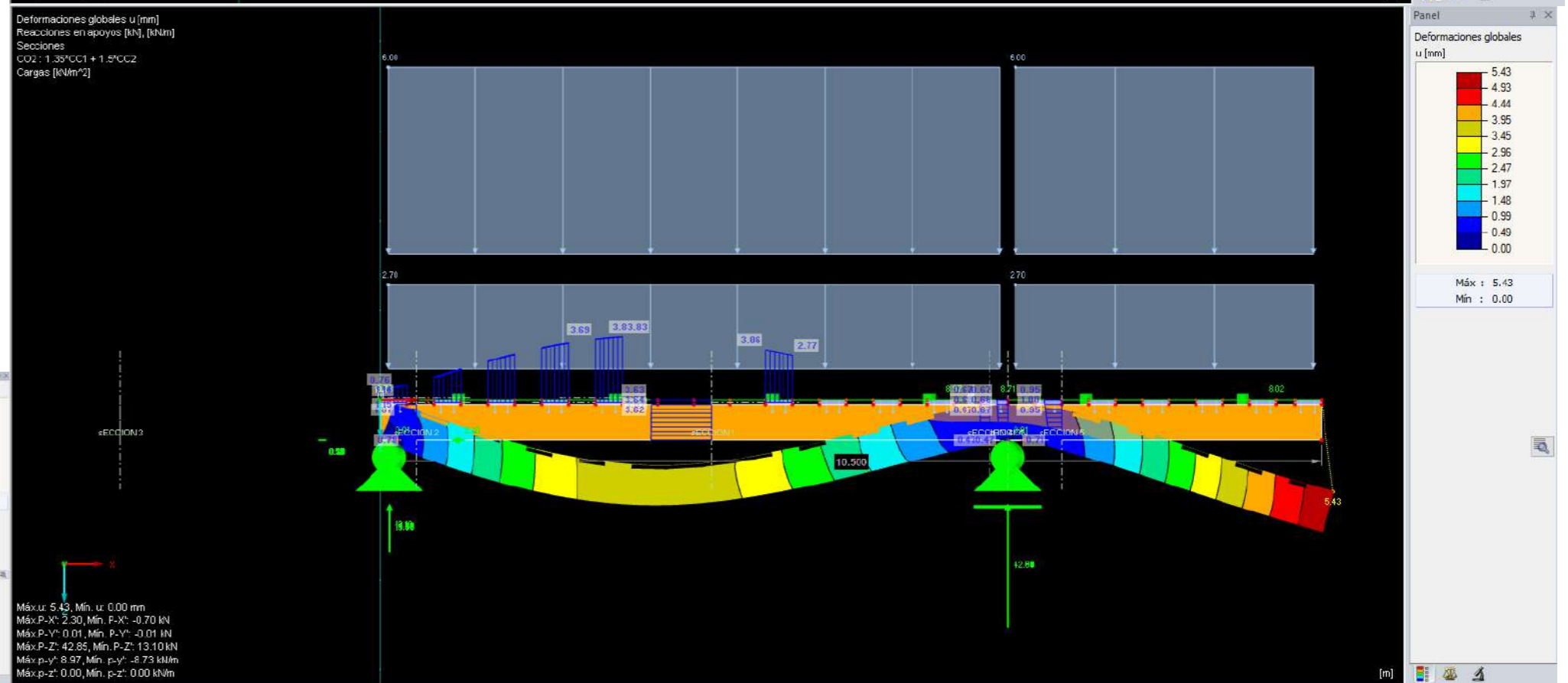
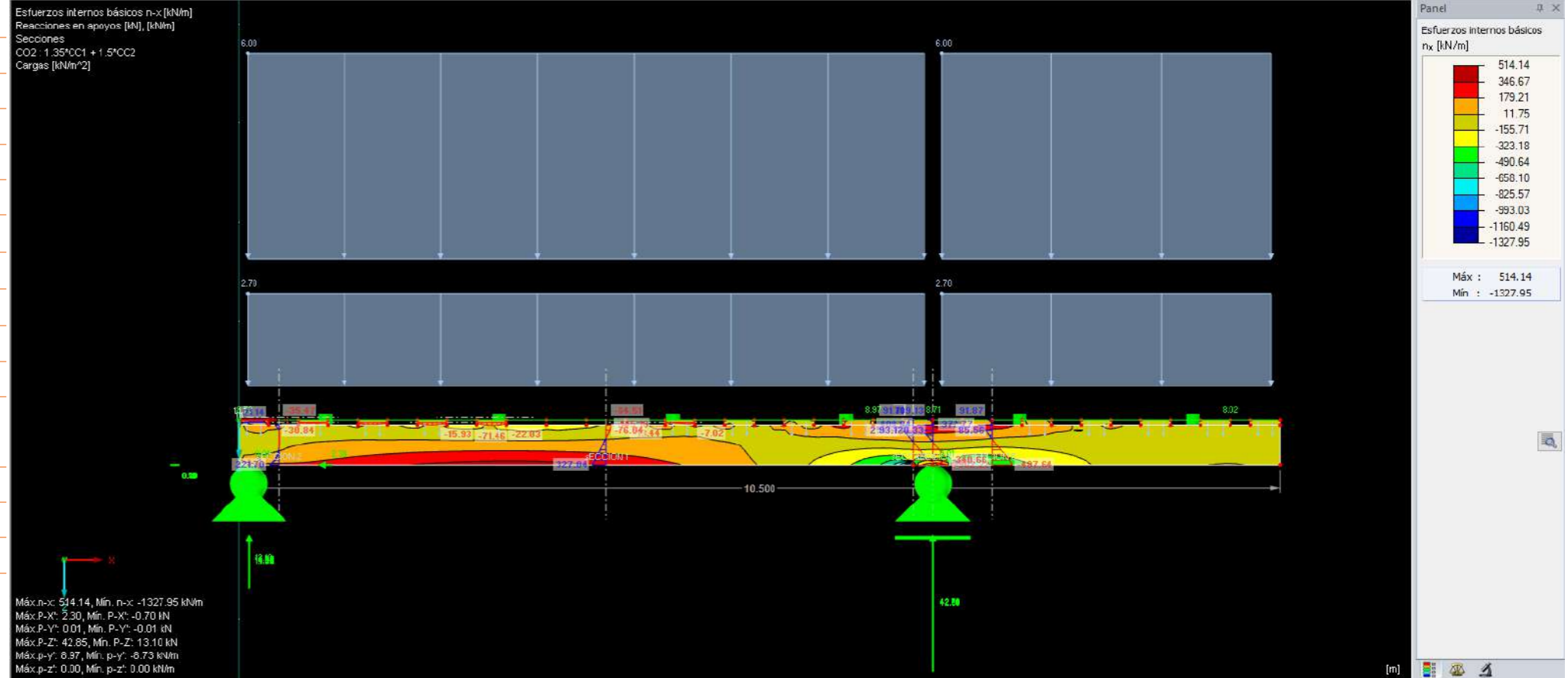


Propuesta del forjado

Forjado Hormigón Madera. 7 + 3.5 m

Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	400	50	80
Espesor e (mm)	200	4	1000
Luz total (m)		10.50	
Luz entre apoyos(m)		7.00	
Distancia entre vigas (m)		0.65	
Viguetas intermedias		SI	
Vuelos (m)		3.50	
Peso propio total por forjado:		$(4 \cdot 3.528) + 36.75$	
		50.86	
Cargas			
Carga Permanente		2 KN/m ²	
SobreCarga de uso		4 KN/m ²	



Propuesta del forjado

Forjado Hormigón Madera. 7 + 3.5 m

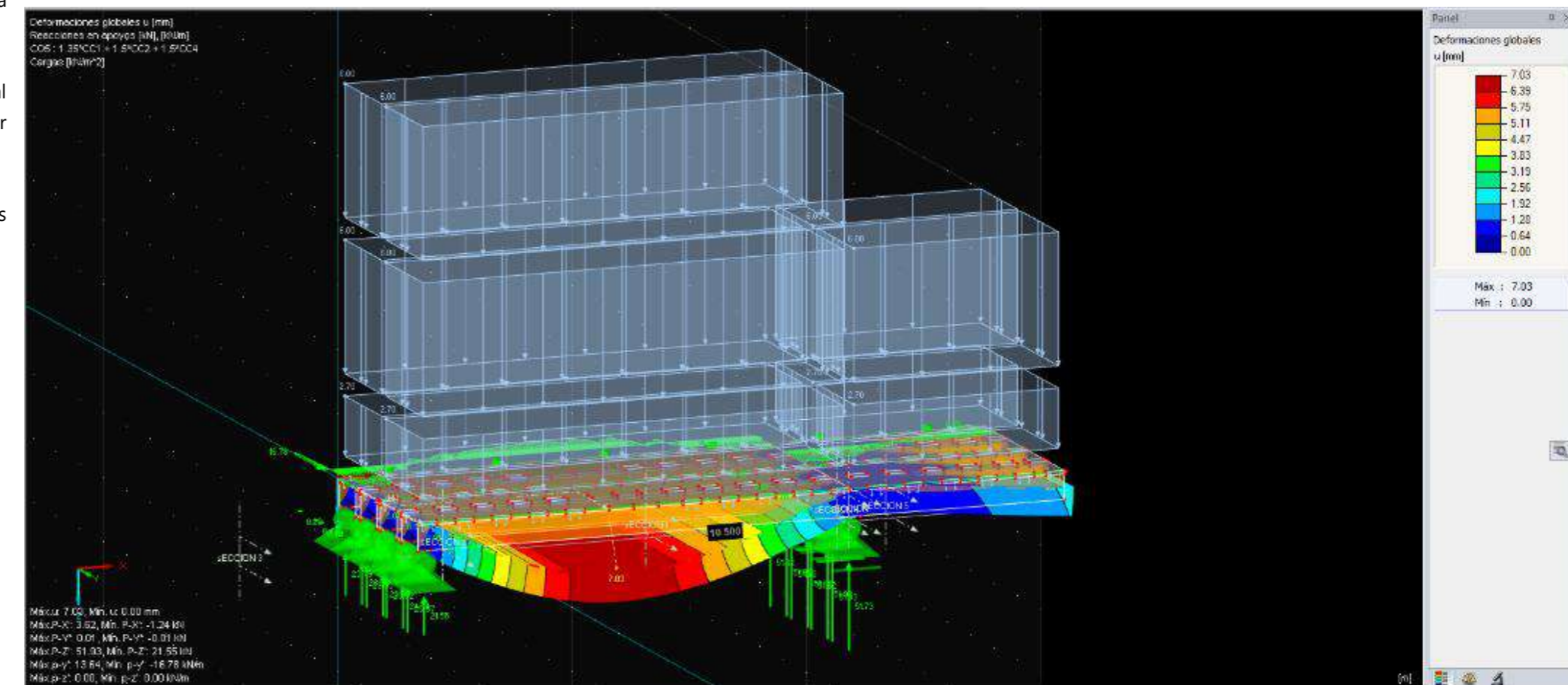
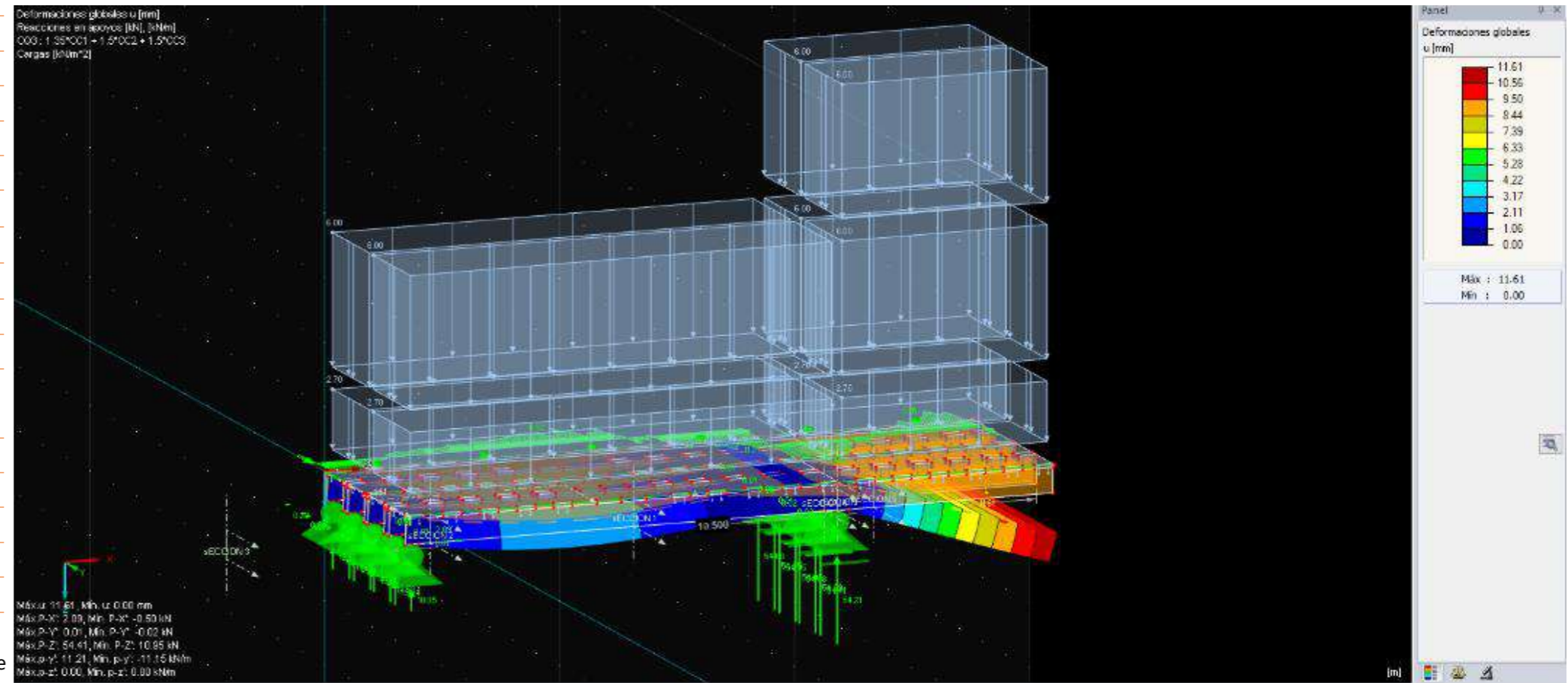
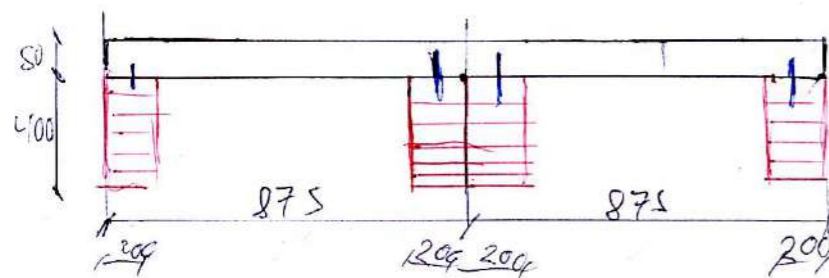
Datos de inicio:

Elemento	Viga/vigueta	Conector	Forjado
Material	GL24H	Acero S235	Hormigón C30
Altura h (mm)	400	50	80
Espesor e (mm)	200	4	1000
Luz total (m)			10.50
Luz entre apoyos(m)			7.00
Distancia entre vigas (m)			0.65
Viguetas intermedias			SI
Vuelos (m)			3.50
Peso propio total por forjado(KN):			$(4 \cdot 3.528) + 36.75$ 50.86
Cargas			
Carga Permanente			2 KN/m ²
Sobrecarga de uso			4 KN/m ²
Sobrecarga de uso Alterna en Vano			4 KN/m ²
Sobrecarga de uso Alterna en Vuelo			4 KN/m ²

Tras todos los análisis de varias tipologías se decide utilizar la combinación de forjado de 7 m más vuelo. De esta manera el forjado se adecuaría a la geometría planteada en el edificio del caso de estudio

Tras el primer modelado debido a las solicitaciones a las que se le plantea al forjado hacer frente debido a que será de uso terciario se decide implementar en el análisis y calculo las cargas alternas tanto en el vano como en el vuelo.

En esta solución se observa una reducción considerable de las tensiones respecto a otras soluciones para llegar a cubrir una misma luz.



Propuesta del forjado

Forjado Hormigón Madera. 7 + 3.5 m

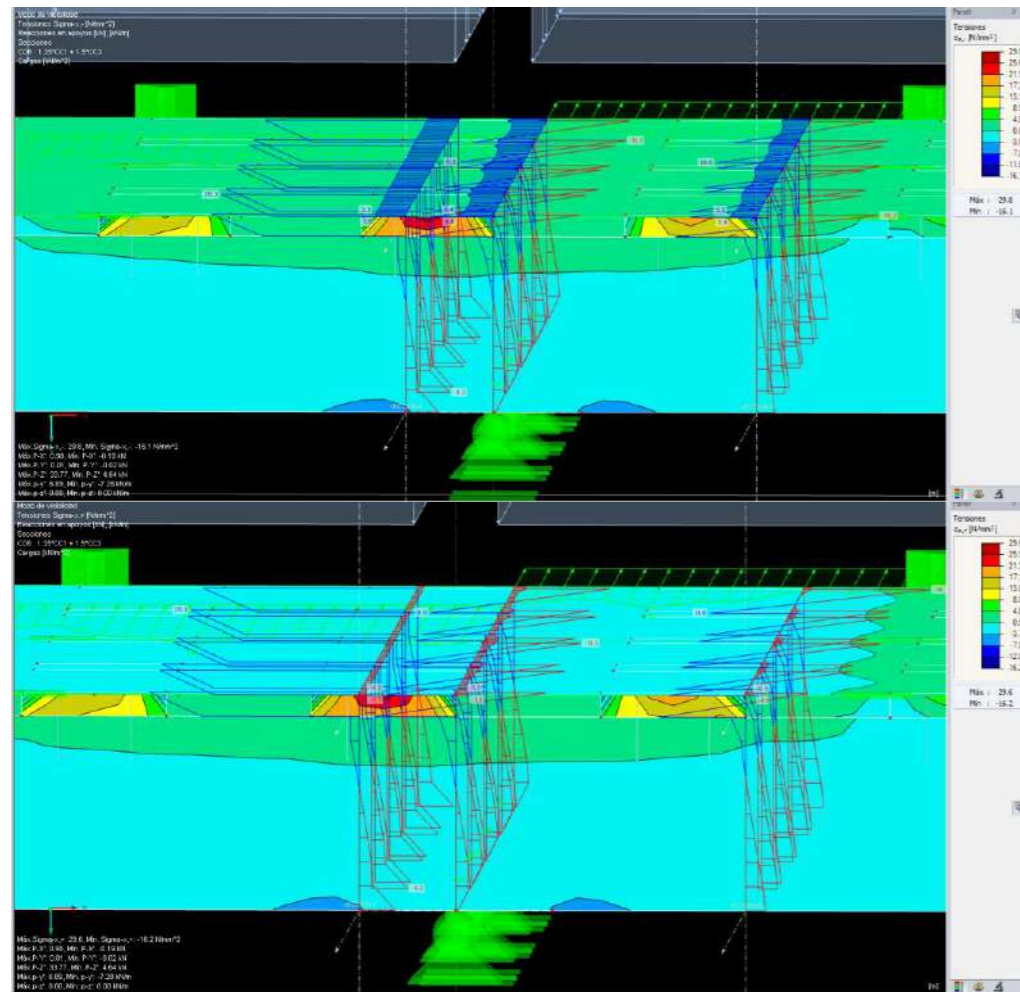
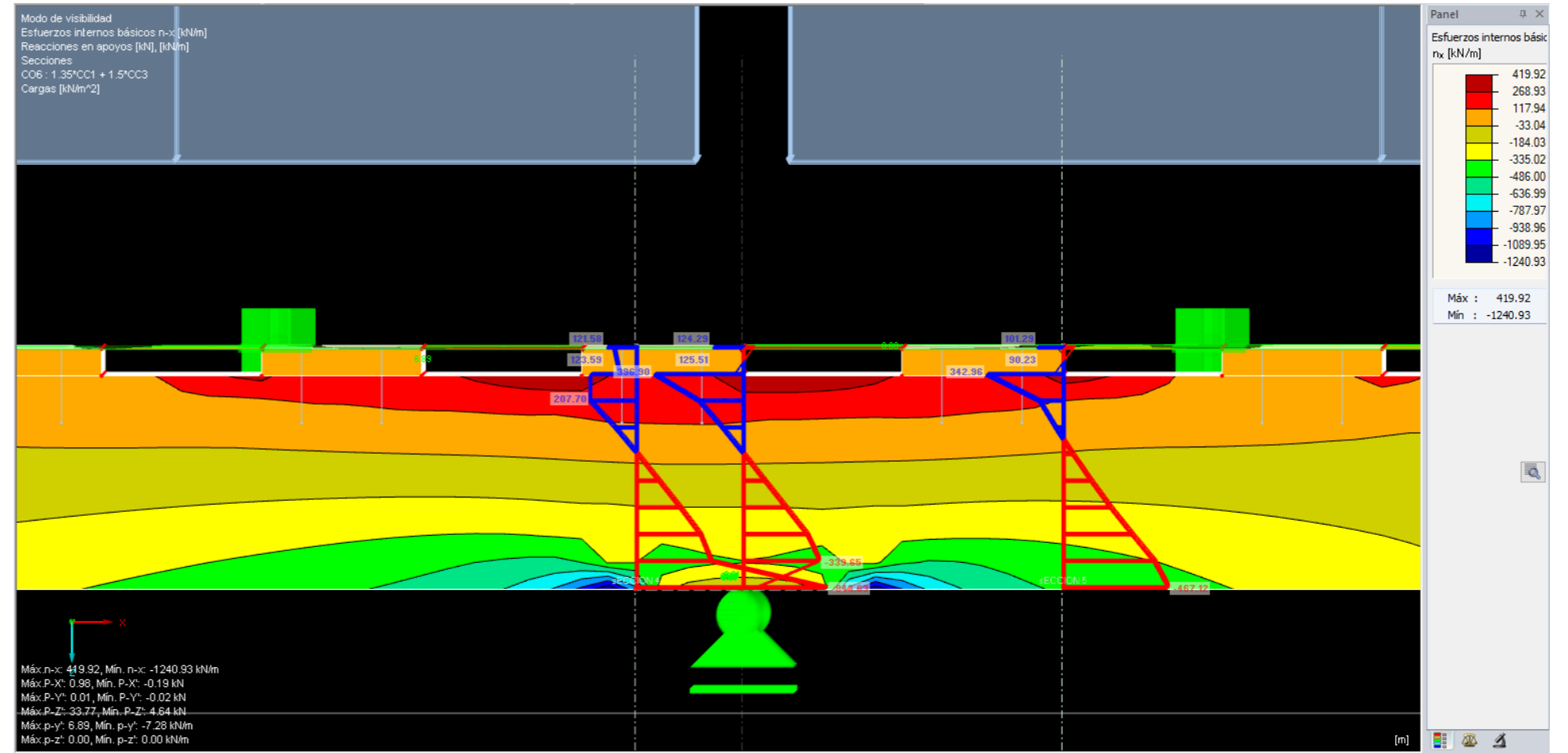
Los apoyos como se muestra en los diagramas son los puntos débiles debido a la compresión de la fibra y la poca superficie de apoyo.

Sin embargo esto se pretende resolver mediante un rediseño del apoyo de las viguetas en la viga principal.

Por otro lado debido a la existencia del vuelo aparecen tracciones importantes en la capa de hormigón.

Por esta razón se decide hacer un análisis más pormenorizado de los elementos en dicho punto.

Esto indica que de alguna manera o se introduce un armado superior a la capa de compresión para que sea el acero el que trabaje a tracción si el hormigón fisuraría.

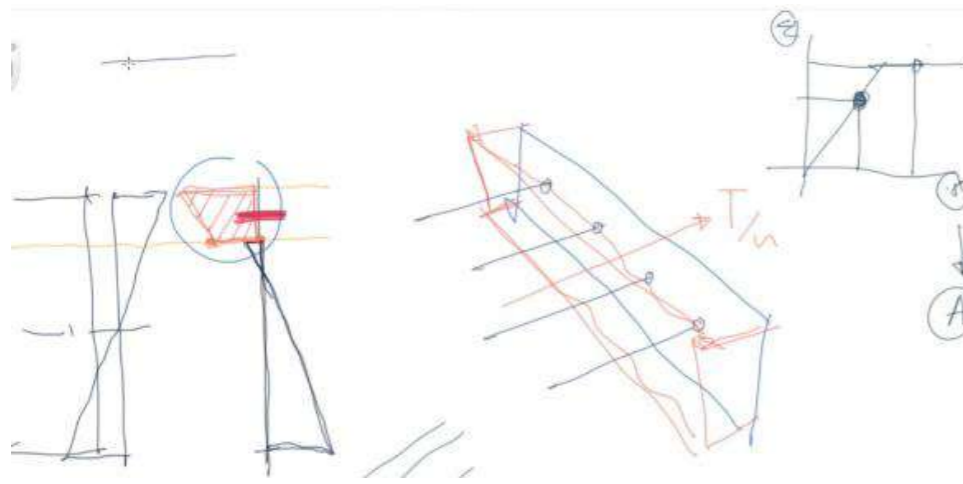
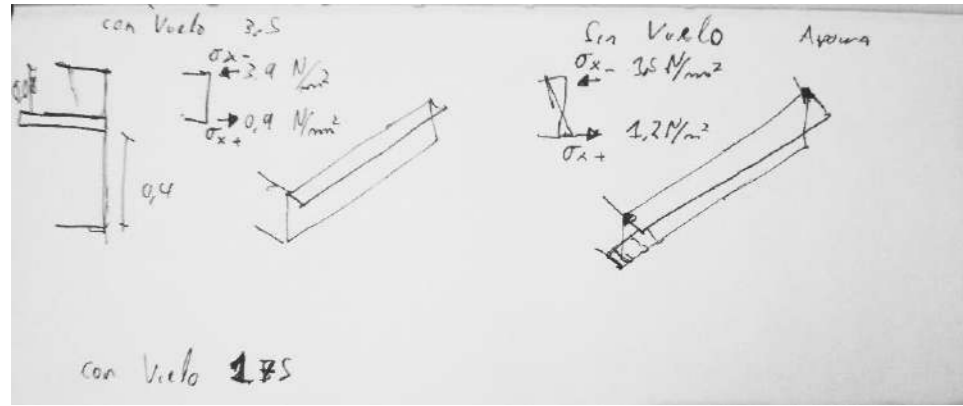


Propuesta del forjado

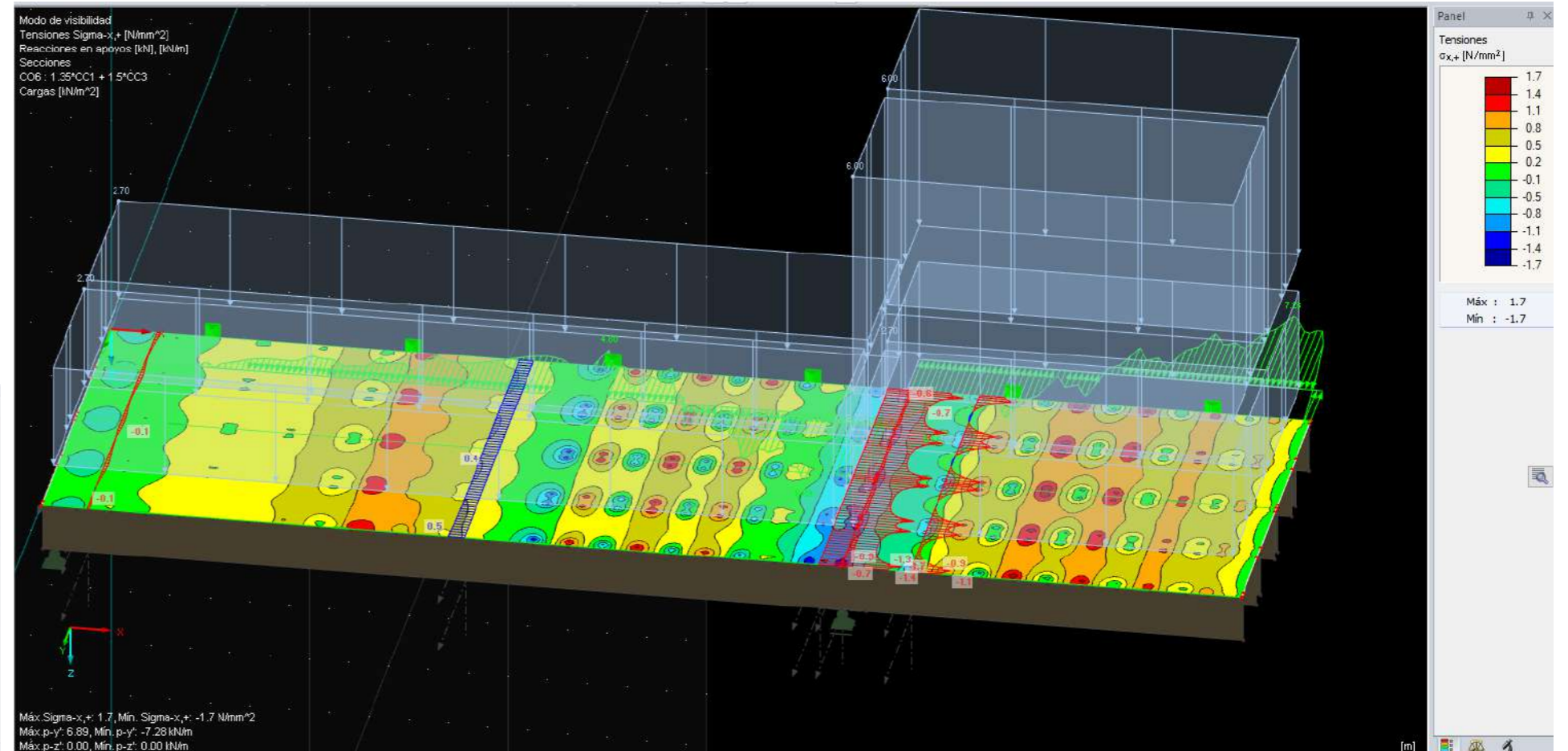
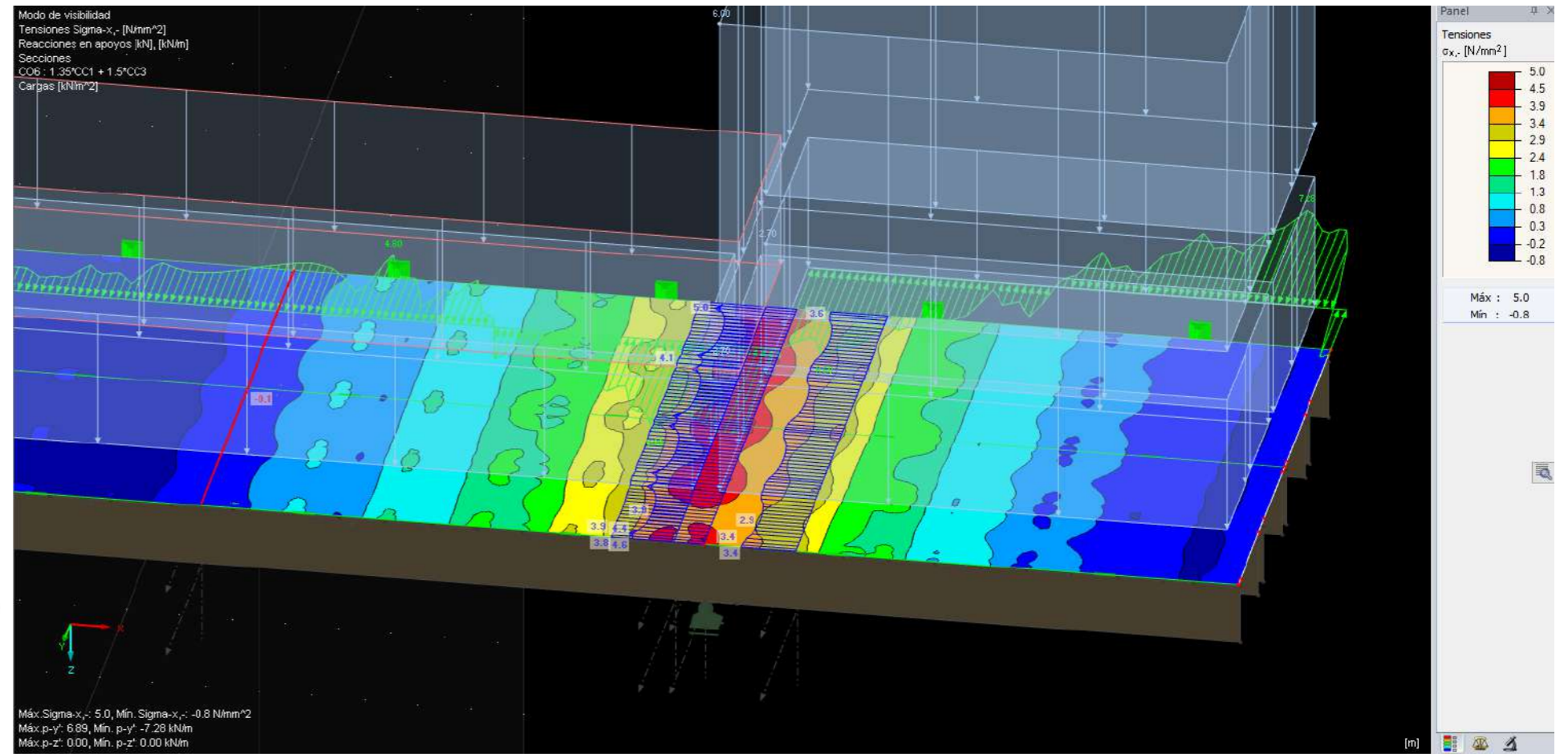
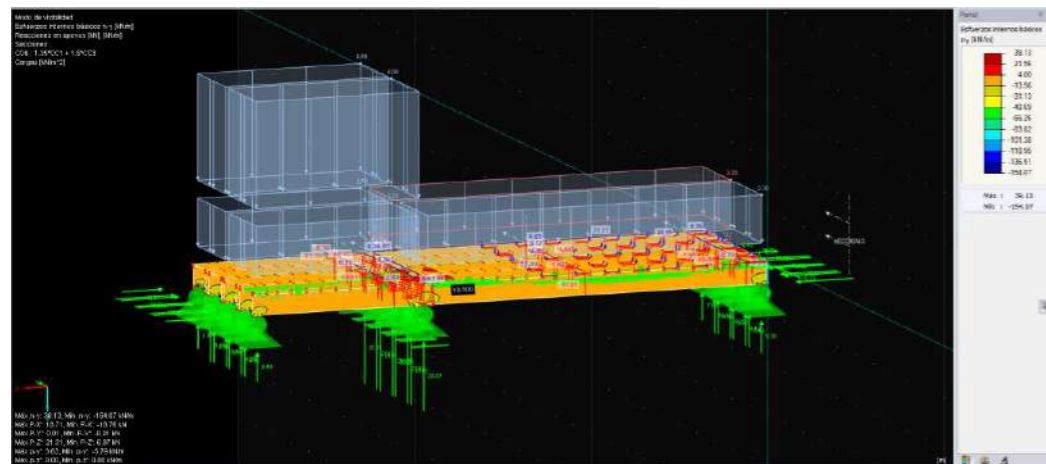
Forjado Hormigón Madera. 7 + 3.5 m

Calculo de Armado del Hormigón.

Tras los análisis previos de diferentes losas se observa que al elegir este diseño estructural provoca que el hormigón tenga que trabajar con unos esfuerzos de tracción. Debido a ello se decide introducir un armado de acero para hacer frente a este esfuerzo a tracción el cual está descompuesto en la siguiente imagen.



Tras todo esto se decide plantear una variante al modelo del forjado. Introduciendo un apoyo en el vuelo. Obteniendo unos esfuerzos bastante menos y evitando que el hormigón trabaje a tracción.

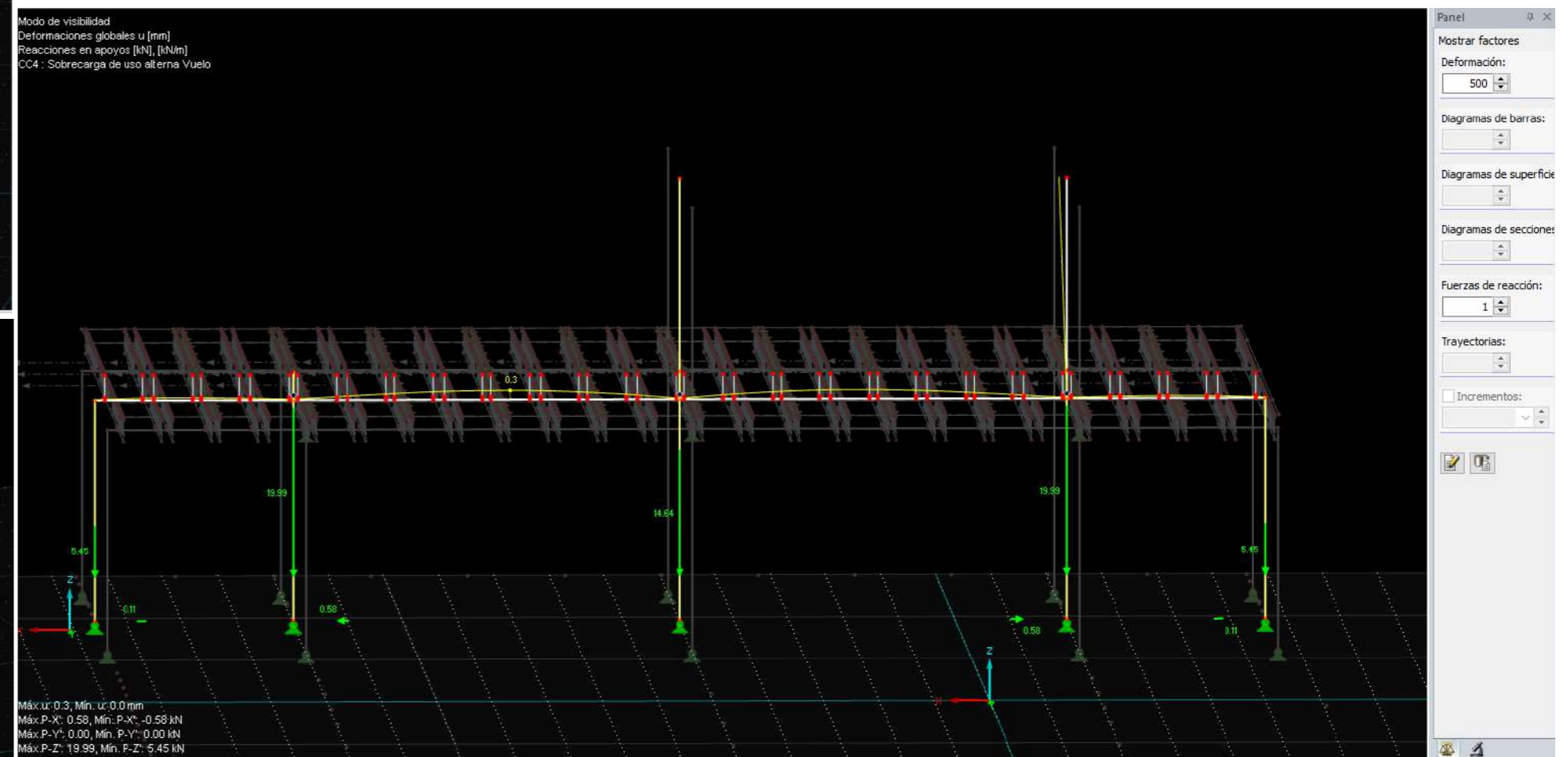
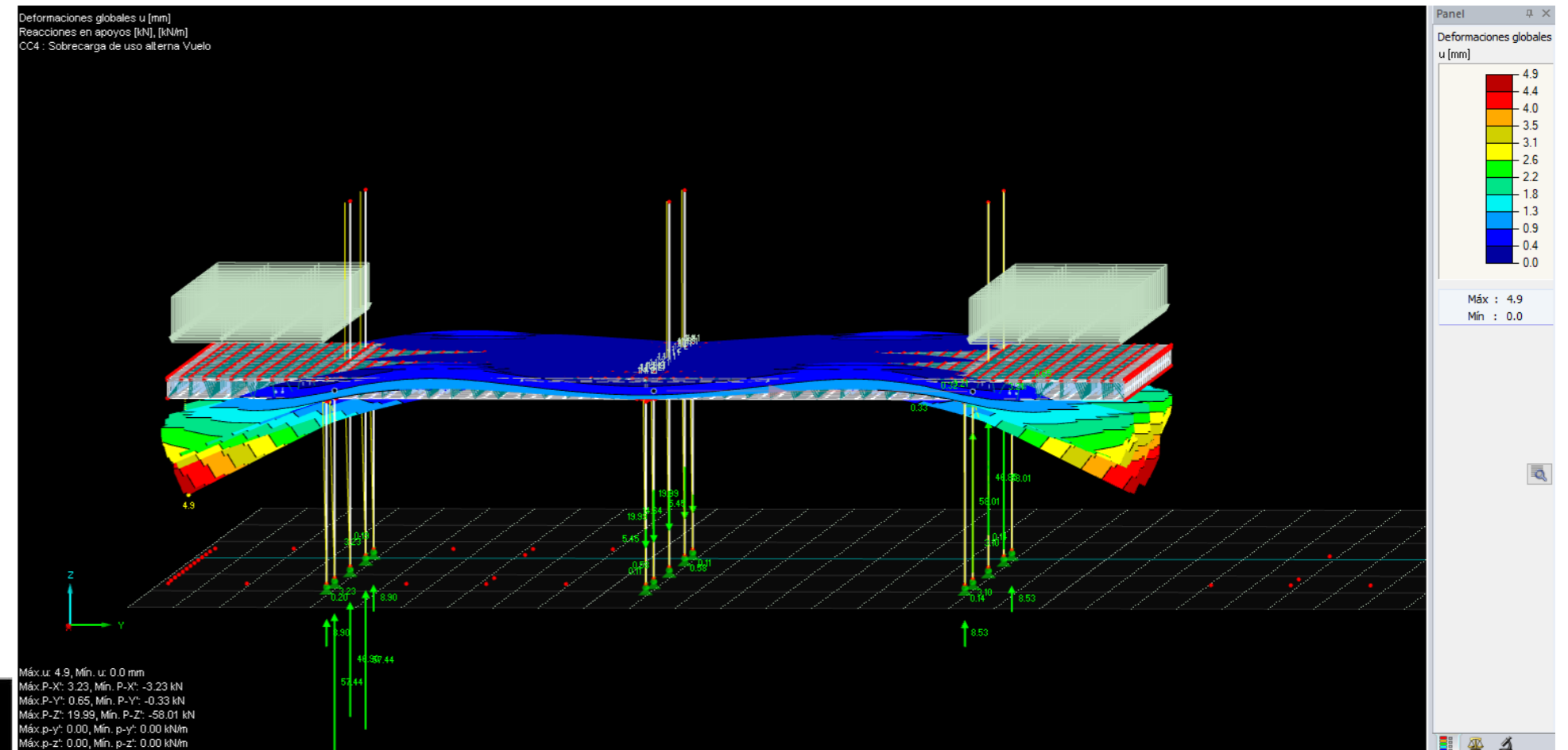
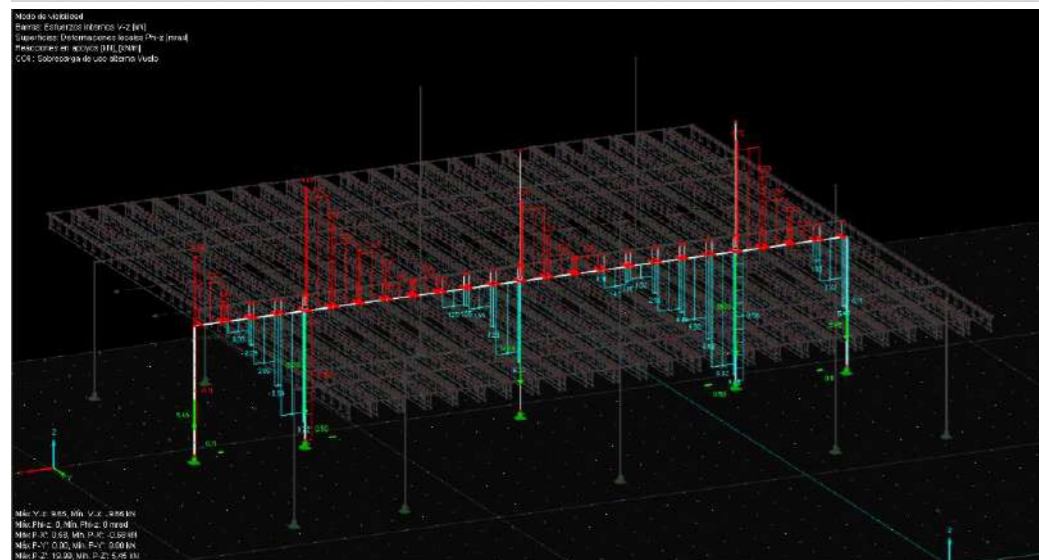
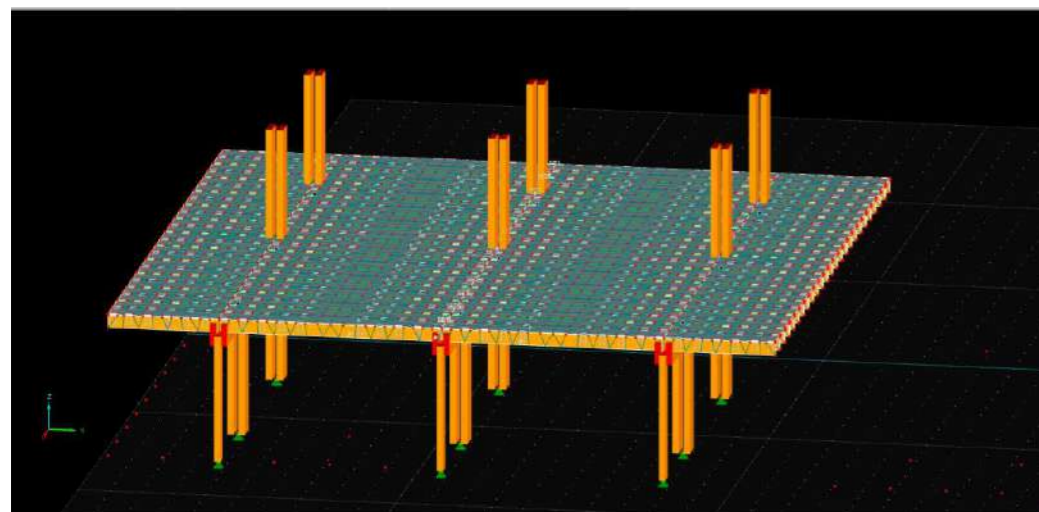
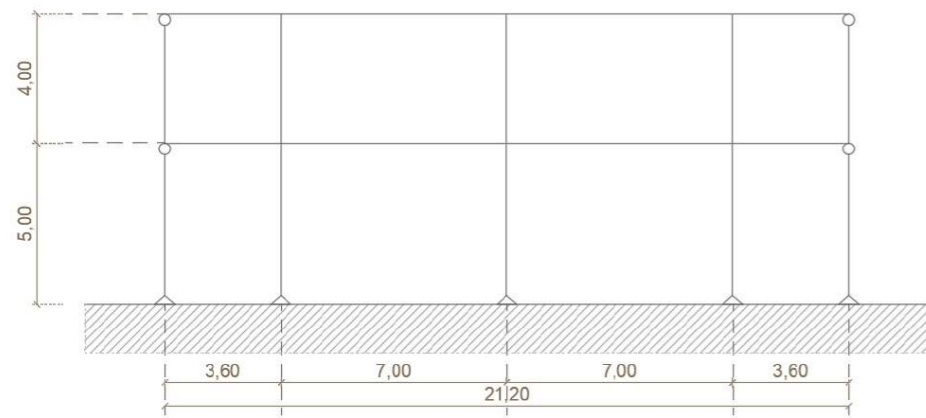


Modelado

Diseño estructural

Partiendo del elemento del forjado se modela la estructura planteada en la que se apoyara.

En este primer modelo se iran introduciendo las articulaciones en plirares de manera paulatina para evitar inestabilidades globales que el programa da sin explicacion aparente.

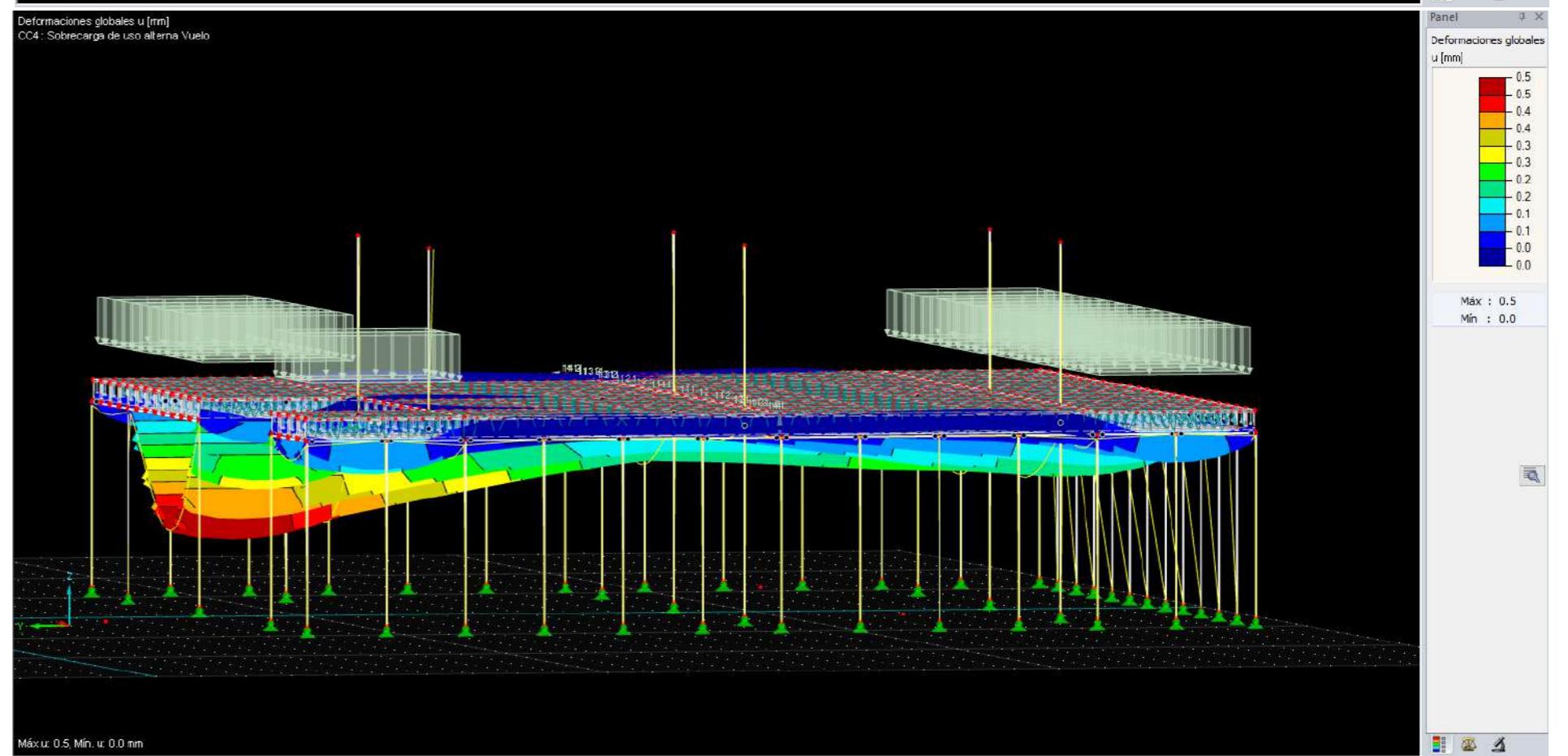
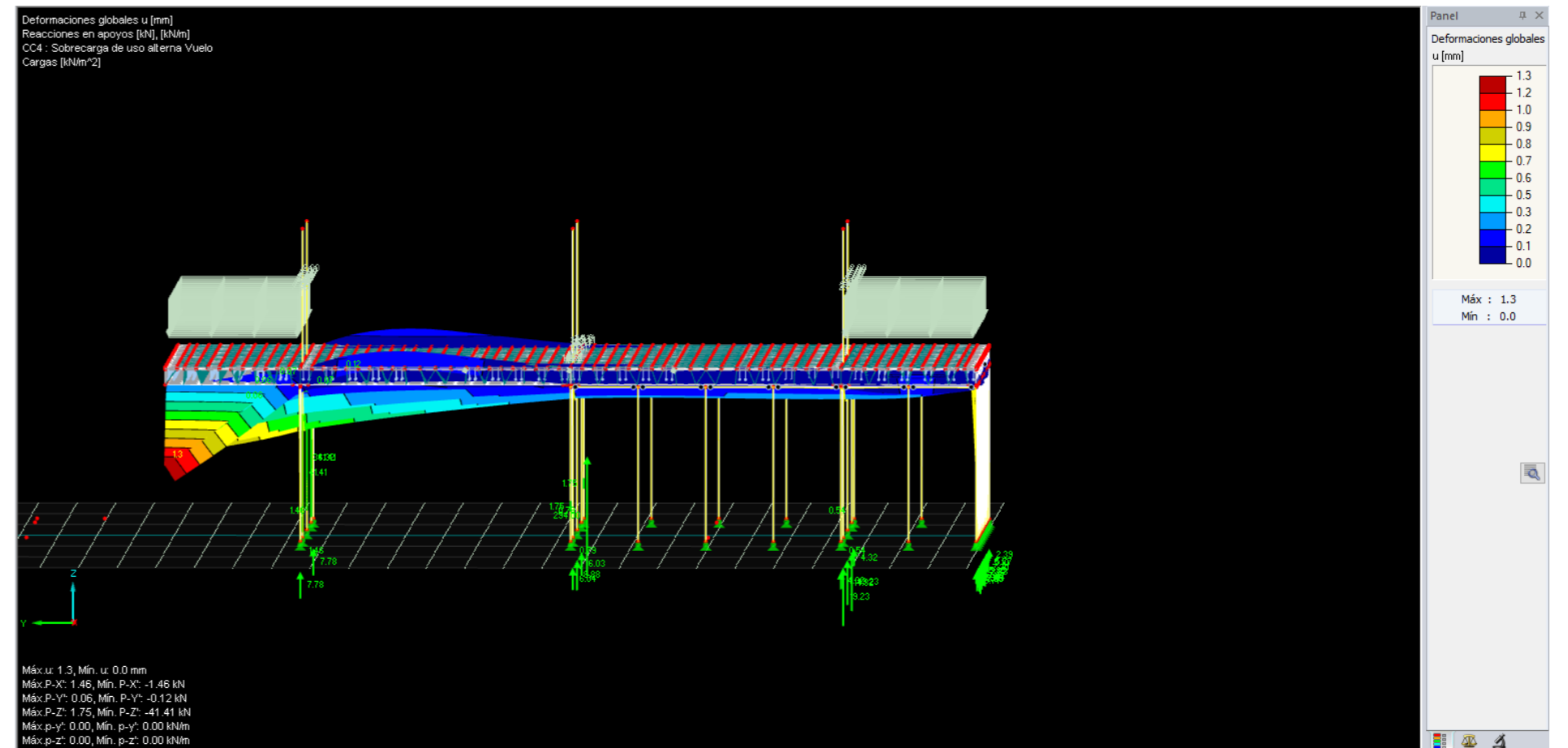
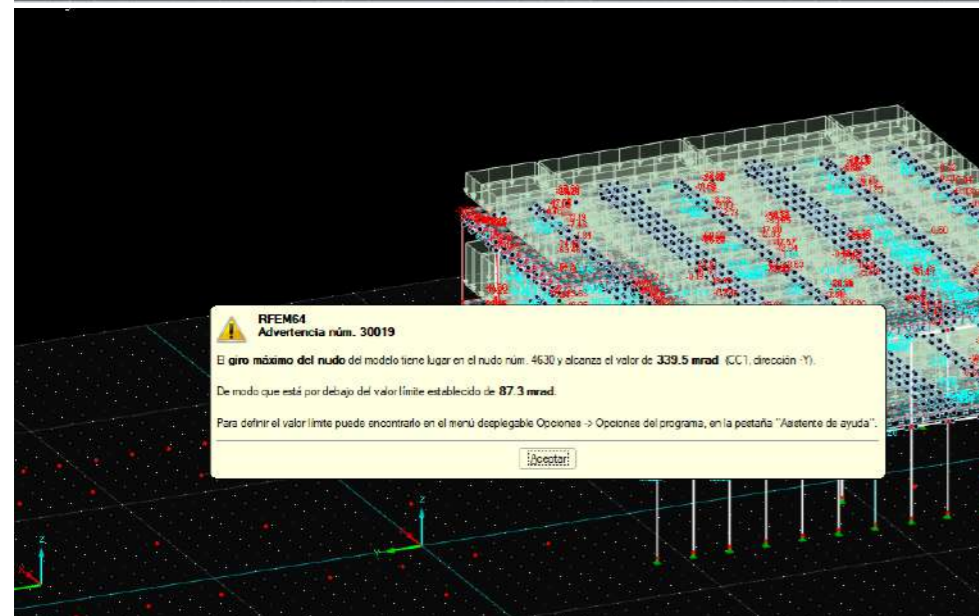
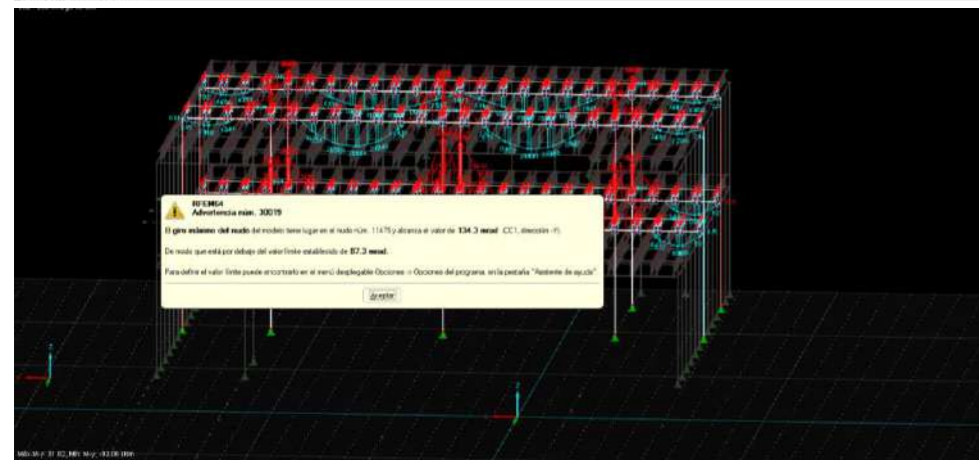
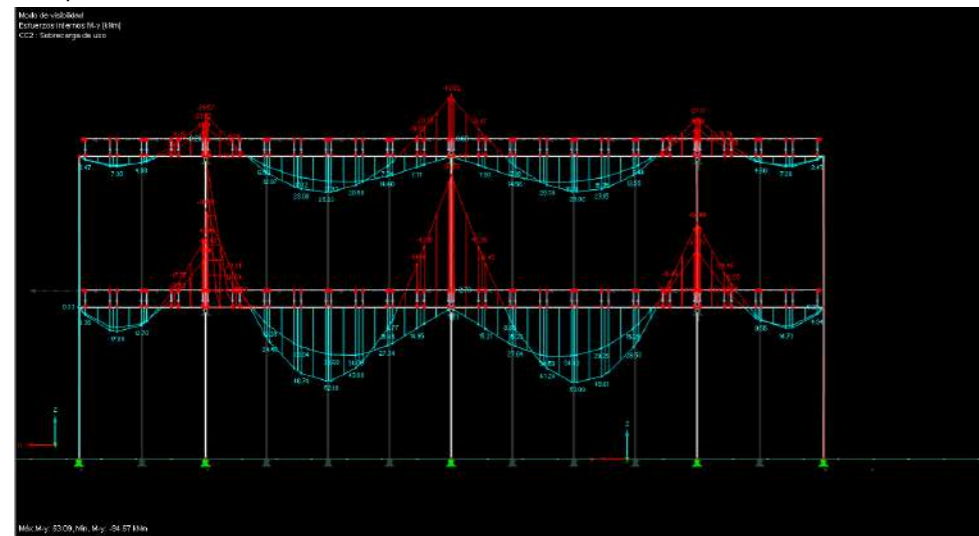


Cálculo

El modelo estructural vs el diseño estructural.

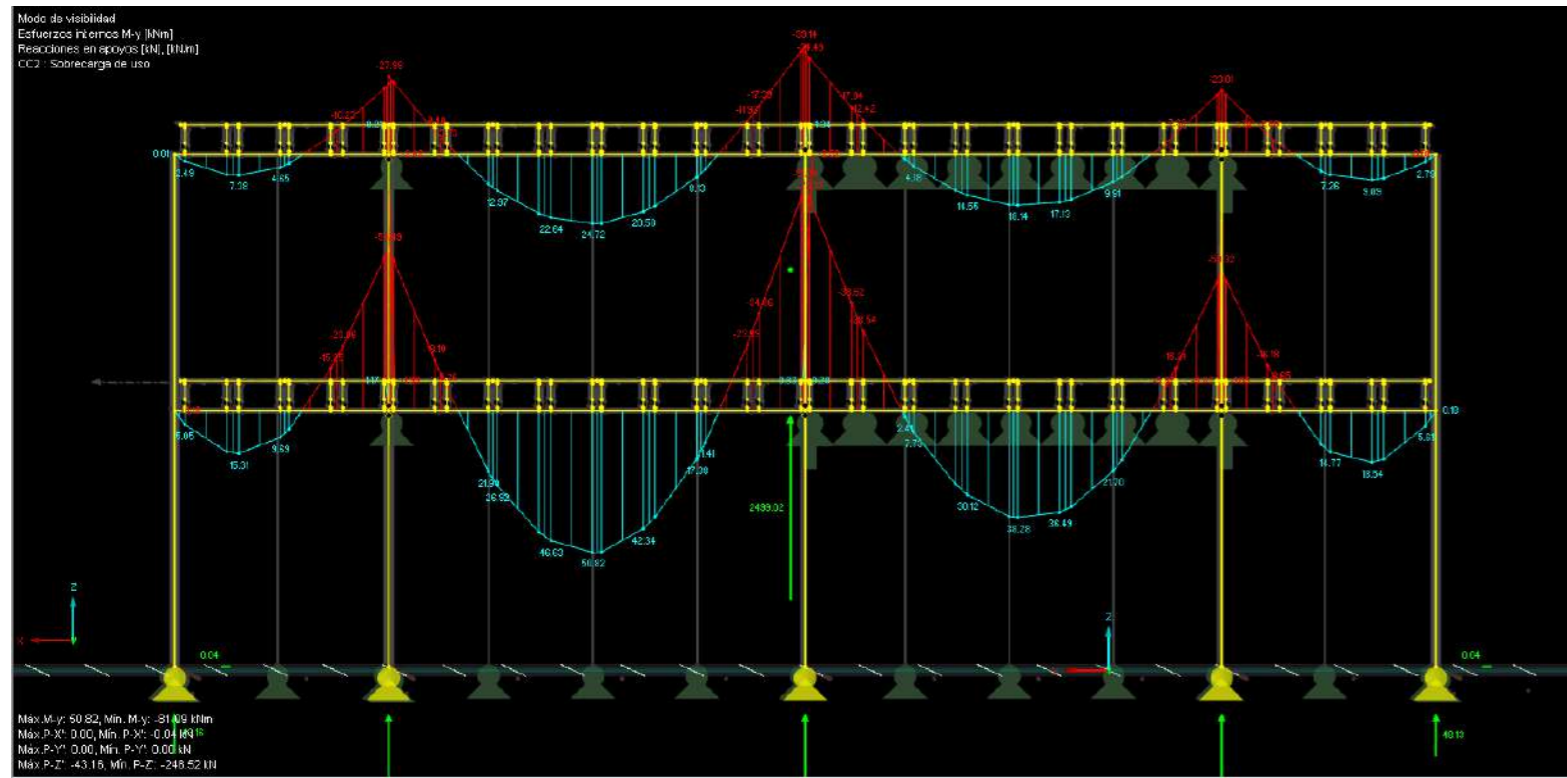
Tras el análisis anterior donde el hormigón trabajaba a compresión se decide hacer una comparativa de la estructura sin esos apoyos y otra parte teniendo en cuenta el diseño estructural original con la estructural de fachada.

Con los diagramas superpuestos se observa la diferencia de momentos que se generan en la estructura y además se visualiza las deformaciones comparando una parte con otra

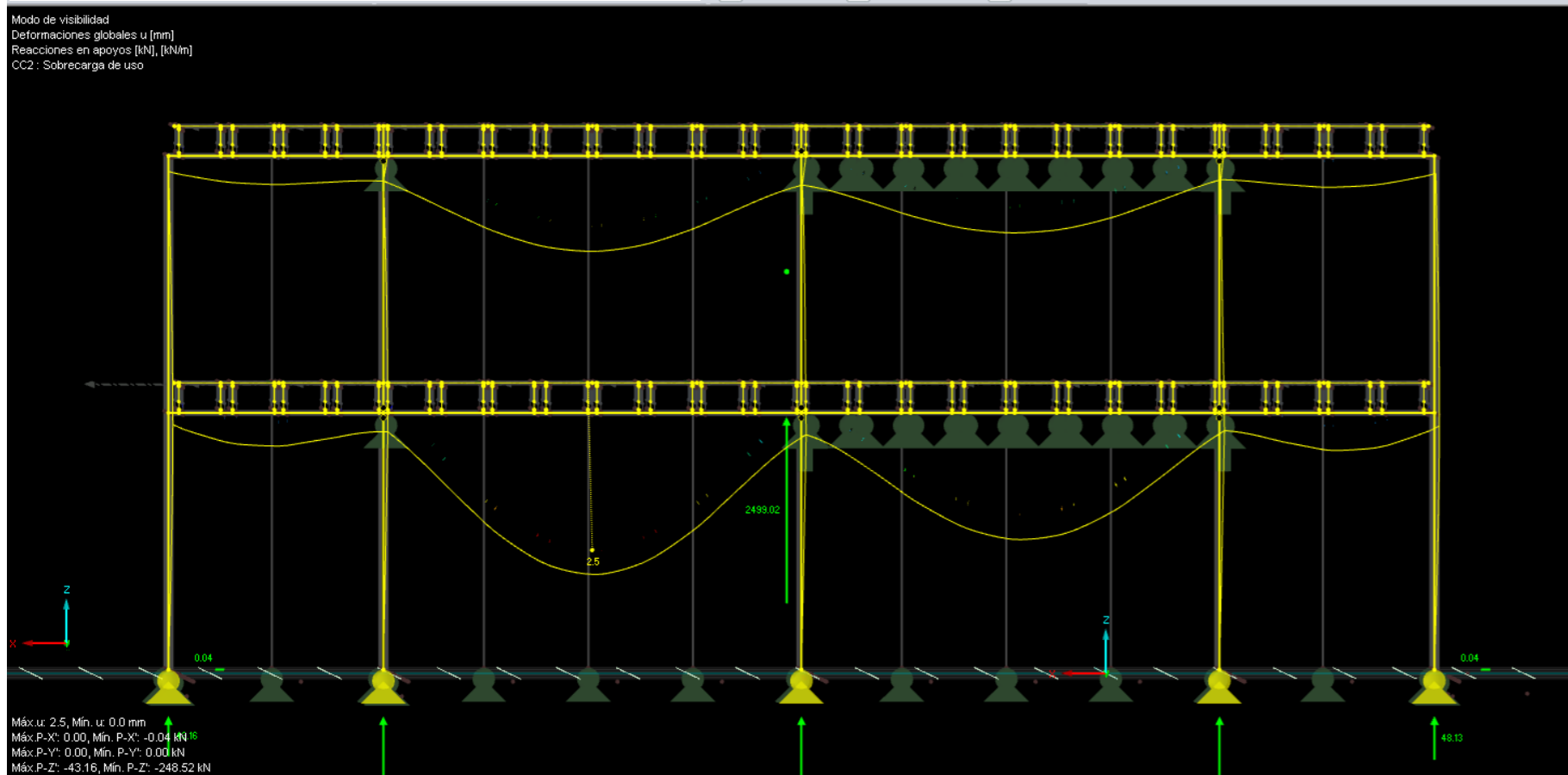


Diagramas de modelo completo

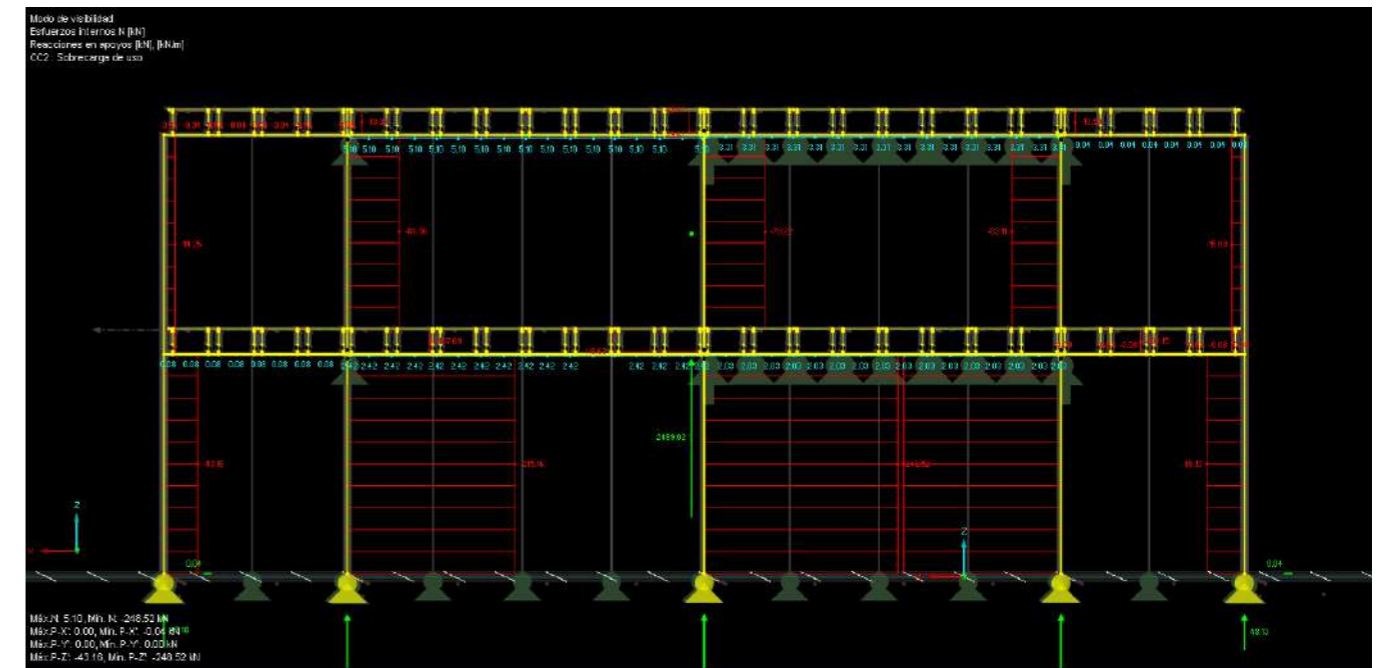
Diagramas de caso de carga C2. Sobrecarga de Uso



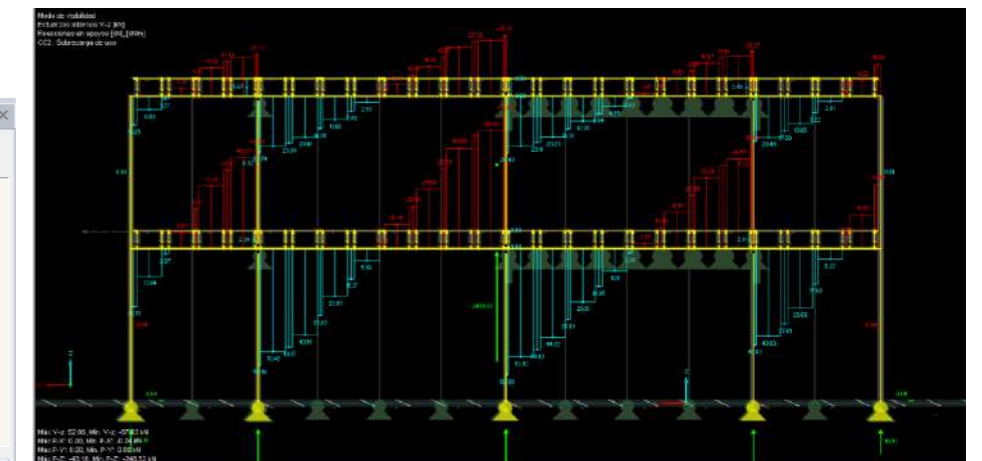
Momentos



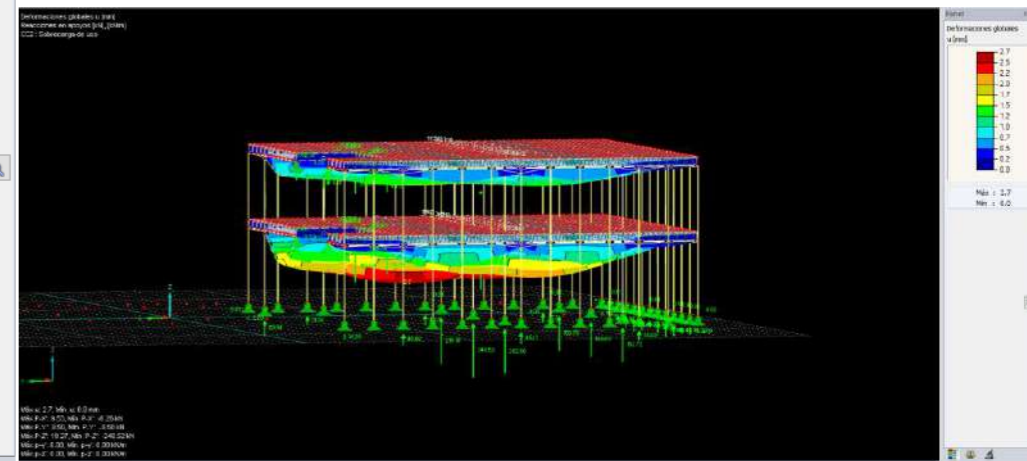
Deformaciones



Axiles



Cortantes



Modelado de Estructura externa de fachada.

Como se ha explicado desde el inicio la estructura externa de fachada debido a que se encuentra en contacto con la humedad exterior estará en una clase de servicio 3. Por lo tanto el k_{mod} será de 2.

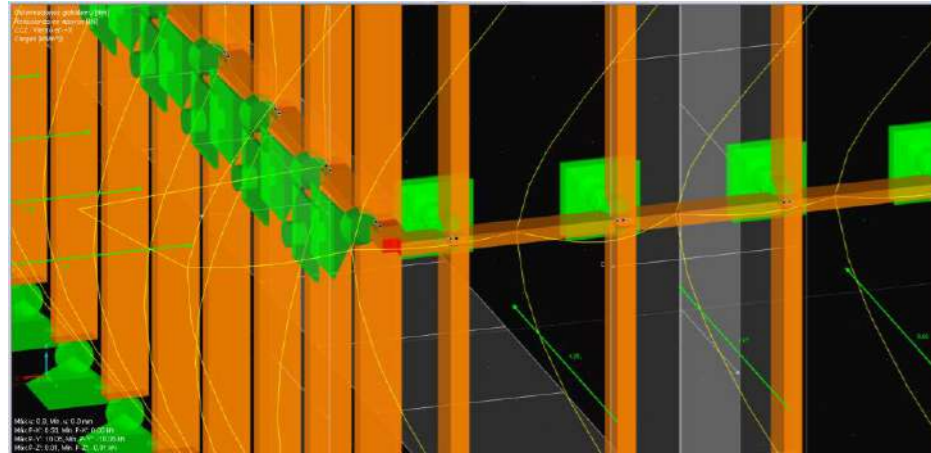
Consideraciones previas al modelado.

En el programa usado para el análisis y cálculo RFEM5, DLUBAL no se pueden introducir elementos que se encuentren en clases de servicio diferente. Por eso se hace un modelo paralelo para el cálculo de la estructura de fachada externa. Por otro lado la estructura solo estará sometida a cargas de viento y su propio peso por lo que no se le añadirán sobrecargas de uso ni pesos propios aparte de la propia materialidad de la estructura.

Modelado

Debido al análisis de los trabajos anteriores en los que se planteaba la estructura muy esbelta se introducirán apoyos en cada planta.

Además entendiendo que los montantes horizontales no son continuos se articulan al llegar a cada pilar.

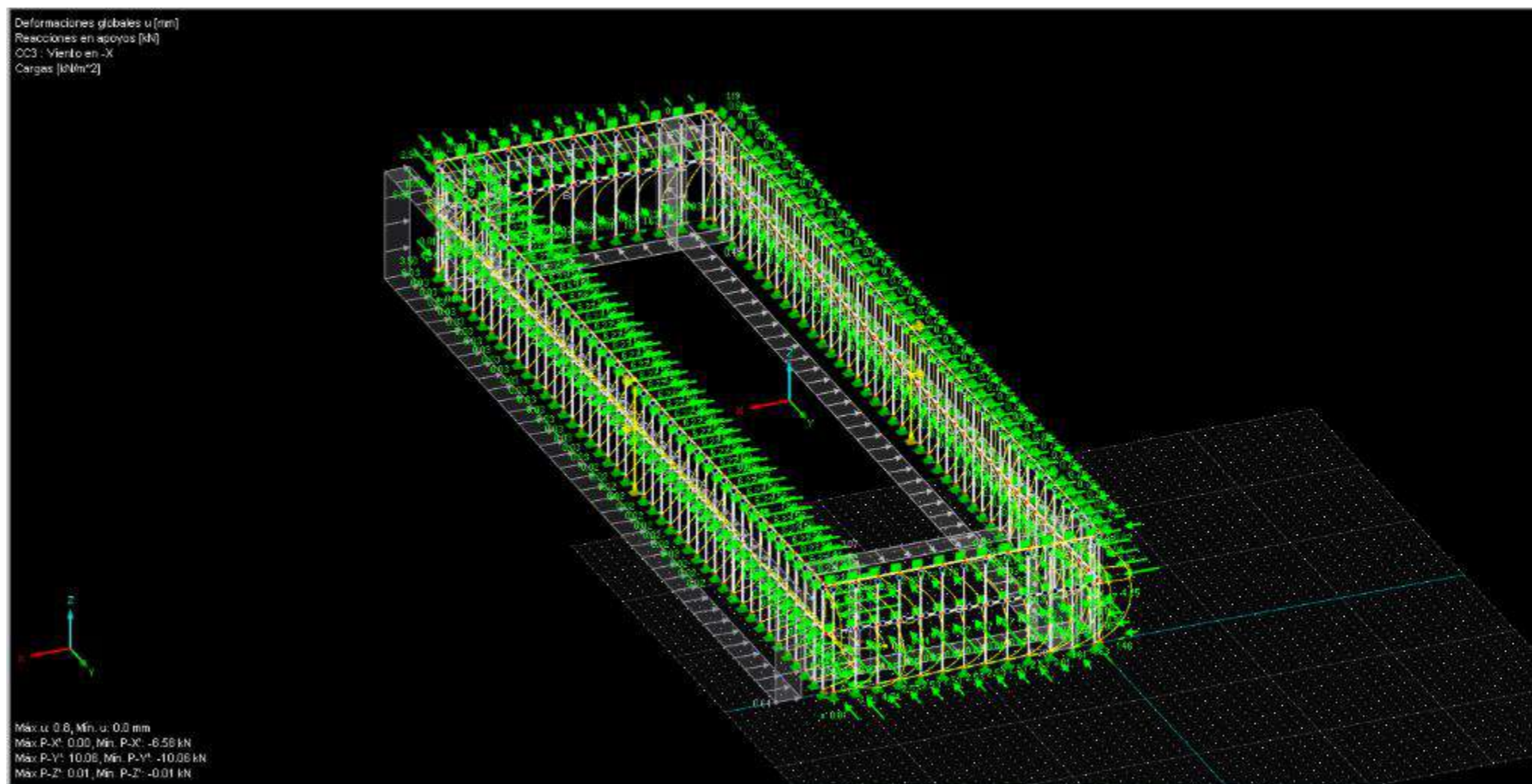
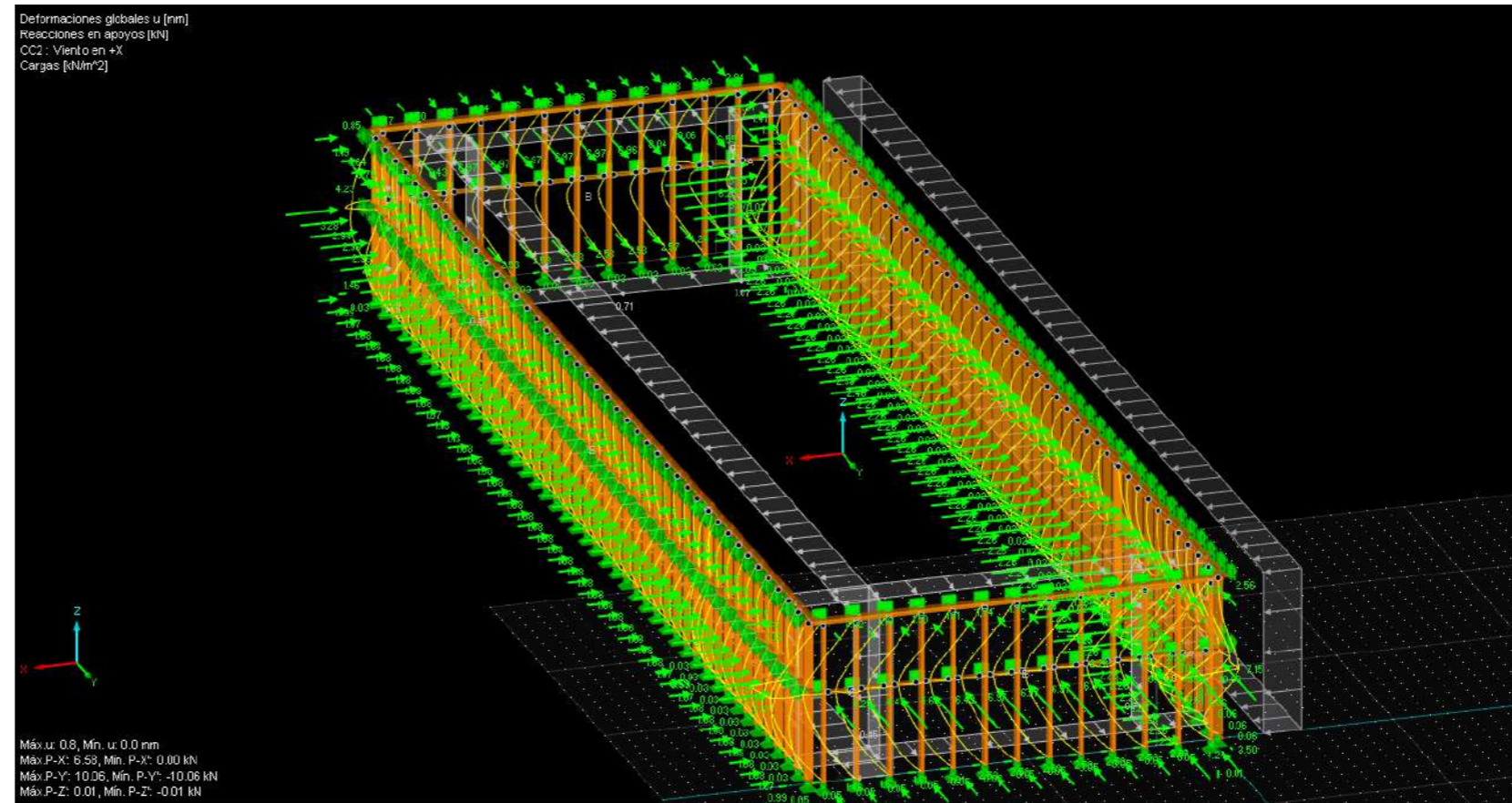
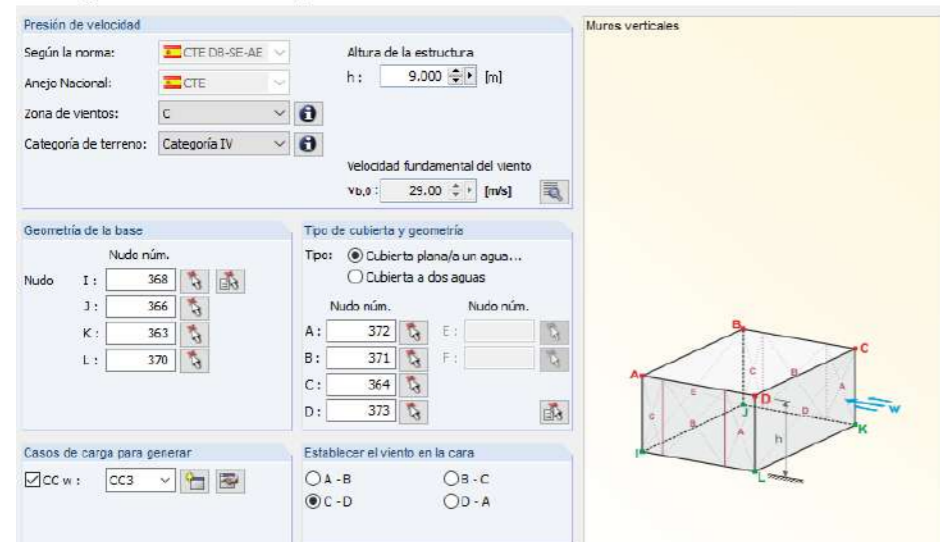


Las cargas de viento se generaron mediante la herramienta del programa, generar cargas de viento a muros perimetrales.

En esta herramienta se meten la zona de viento C ya que el proyecto se emplaza en Vitoria-Gasteiz. Y una categoría IV de terreno.

Por otro lado la altura contemplada son 9 m

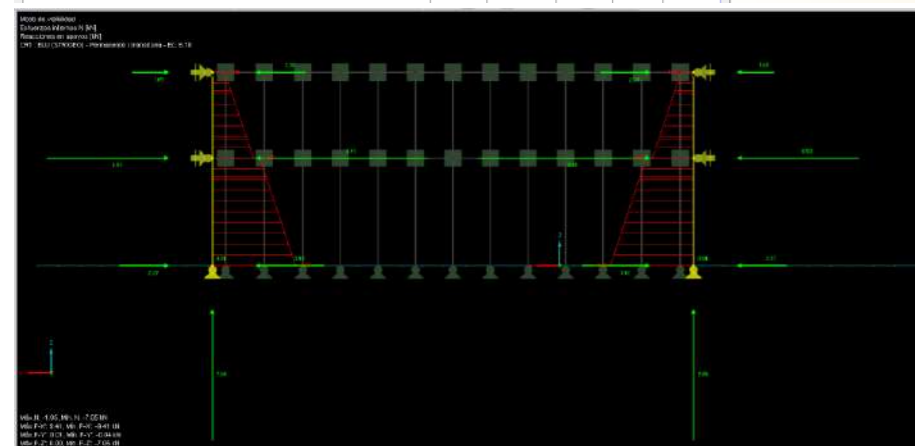
Generar cargas de viento - Muros verticales (2)



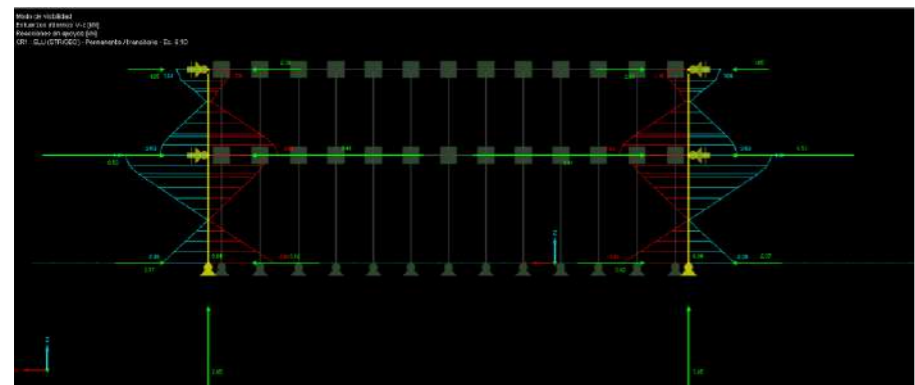
Comprobaciones de las barras mediante timberPRO

ELU

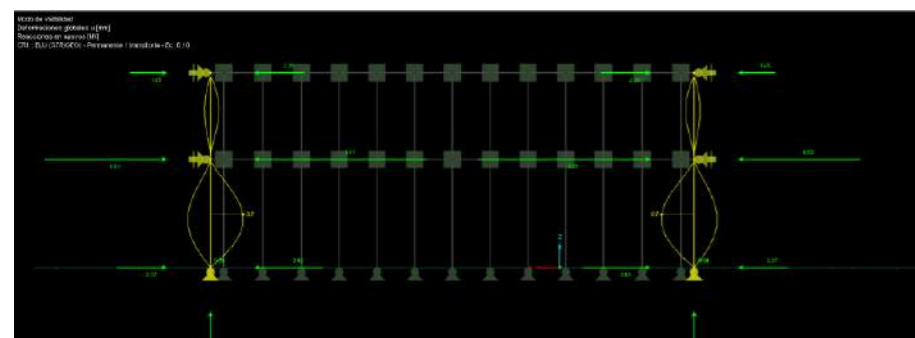
Carga	A	B	C	D	E	F	G	H
	Descripción	Barra num.	Posición x [m]	Razón		Cálculo según fórmula	Situa de pr	Clase de dura de carga
Cálculo del estado límite último								
CO1	1.35 ^{CC1}	242	0.000	0.03 ≤ 1	121)	Resistencia de la sección - Cortante debido a torsión según 6.1.8	PT	Permanente
CO2	1.35 ^{CC1} + 1.5 ^{CC2}	252	0.640	0.10 ≤ 1	111)	Resistencia de la sección - Cortante debido al esfuerzo cortante Vz según 6	PT	Corta
CO3	1.35 ^{CC1} + 1.5 ^{CC3}	242	0.640	0.10 ≤ 1	111)	Resistencia de la sección - Cortante debido al esfuerzo cortante Vz según 6	PT	Corta
CO4	1.35 ^{CC1} + 1.5 ^{CC4}	242	0.640	0.14 ≤ 1	111)	Resistencia de la sección - Cortante debido al esfuerzo cortante Vz según 6	PT	Corta
CO5	1.35 ^{CC1} + 1.5 ^{CC5}	168	0.640	0.13 ≤ 1	111)	Resistencia de la sección - Cortante debido al esfuerzo cortante Vz según 6	PT	Corta
Cálculo del estado límite de servicio								
CR4	ELS - Cuasipermanente - Ap	155	0.962	0.02 ≤ 1	408)	Comportamiento en servicio - Situación de proyecto cuasipermanente según	SQ	Permanente
CO6	2 ^{CC1}	155	0.962	0.01 ≤ 1	406)	Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 1 según	SC1	Permanente



Axiles



Cortantes



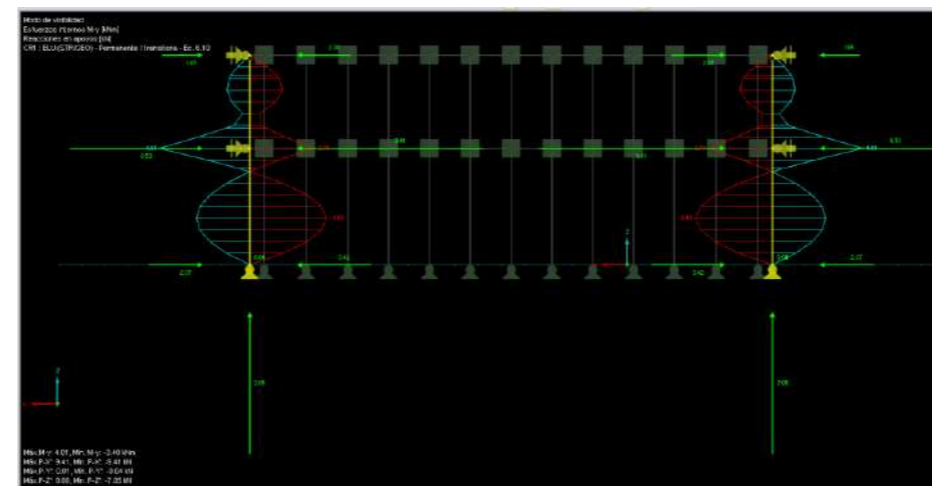
Deformaciones



Fuego

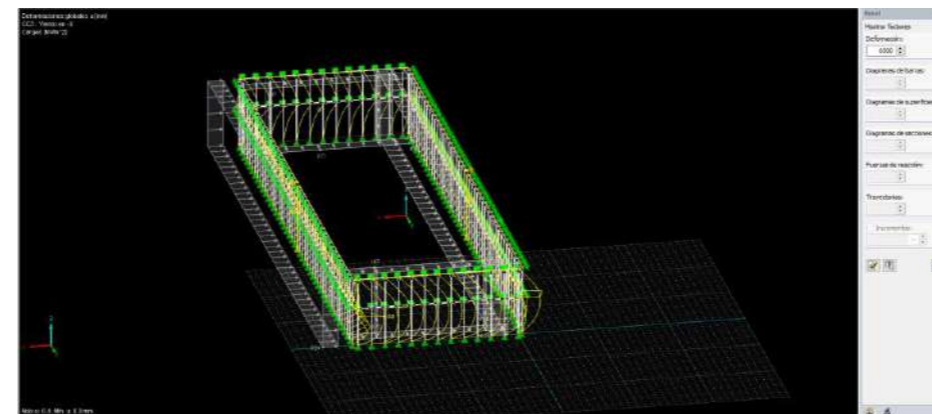
Carga	A	B	C	D	E	F	G	H
	Descripción	Barra num.	Posición x [m]	Razón		Cálculo según fórmula	Situa de pr	Clase de dura de carga
CO12	CC3	26	2.000	0.04 ≤ 1	402)	Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 2 según	SC2	Corta
CO13	CC4	217	2.000	0.04 ≤ 1	402)	Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 2 según	SC2	Corta
CO14	CC5	161	2.000	0.04 ≤ 1	402)	Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 2 según	SC2	Corta

Carga	A	B	C	D	E	F	G	H
	Descripción	Barra num.	Posición x [m]	Razón		Cálculo según fórmula	Situa de pr	Clase de dura de carga
CO1	1.35 ^{CC1}	242	0.000	0.03 ≤ 1	621)	Resistencia al fuego - Resistencia de la sección - Cortante debido a torsión		Permanente
CO2	1.35 ^{CC1} + 1.5 ^{CC2}	252	0.640	0.11 ≤ 1	611)	Resistencia al fuego - Resistencia de la sección - Cortante debido al esfuerzo		Corta
CO3	1.35 ^{CC1} + 1.5 ^{CC3}	242	0.640	0.11 ≤ 1	611)	Resistencia al fuego - Resistencia de la sección - Cortante debido al esfuerzo		Corta
CO4	1.35 ^{CC1} + 1.5 ^{CC4}	242	0.640	0.15 ≤ 1	611)	Resistencia al fuego - Resistencia de la sección - Cortante debido al esfuerzo		Corta
CO5	1.35 ^{CC1} + 1.5 ^{CC5}	168	0.640	0.14 ≤ 1	611)	Resistencia al fuego - Resistencia de la sección - Cortante debido al esfuerzo		Corta



Momentos ELU

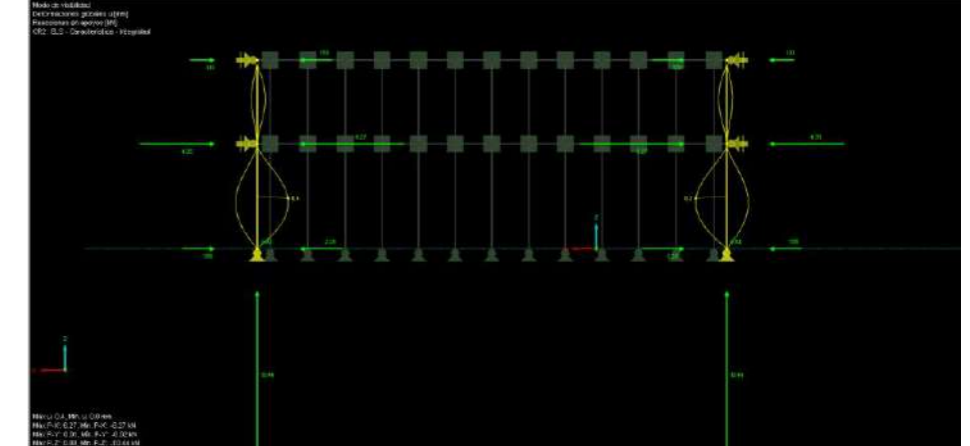
Deformaciones máximas 0.8 mm



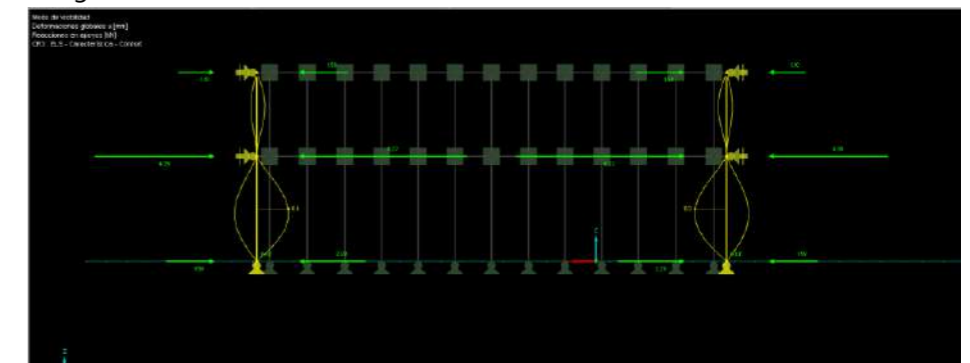
ELS

Carga	A	B	C	D	E	F	G	H
	Descripción	Barra num.	Posición x [m]	Razón		Cálculo según fórmula	Situa de pr	Clase de dura de carga
CR4	ELS - Cuasipermanente - Ap	155	0.962	0.02 ≤ 1	408)	Comportamiento en servicio - Situación de proyecto cuasipermanente según	SQ	Permanente
CO6	2 ^{CC1}	155	0.962	0.01 ≤ 1	406)	Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 1 según	SC1	Permanente
CO7	2 ^{CC1} + CC2	18	2.000	0.03 ≤ 1	401)	Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 1 según	SC1	Corta
CO8	2 ^{CC1} + CC3	26	2.000	0.03 ≤ 1	401)	Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 1 según	SC1	Corta
CO9	2 ^{CC1} + CC4	217	2.000	0.03 ≤ 1	401)	Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 1 según	SC1	Corta
CO10	2 ^{CC1} + CC5	161	2.000	0.03 ≤ 1	401)	Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 1 según	SC1	Corta
CO11	CC2	18	2.000	0.04 ≤ 1	402)	Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 2 según	SC2	Corta
CO12	CC3	26	2.000	0.04 ≤ 1	402)	Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 2 según	SC2	Corta
CO13	CC4	217	2.000	0.04 ≤ 1	402)	Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 2 según	SC2	Corta
CO14	CC5	161	2.000	0.04 ≤ 1	402)	Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 2 según	SC2	Corta

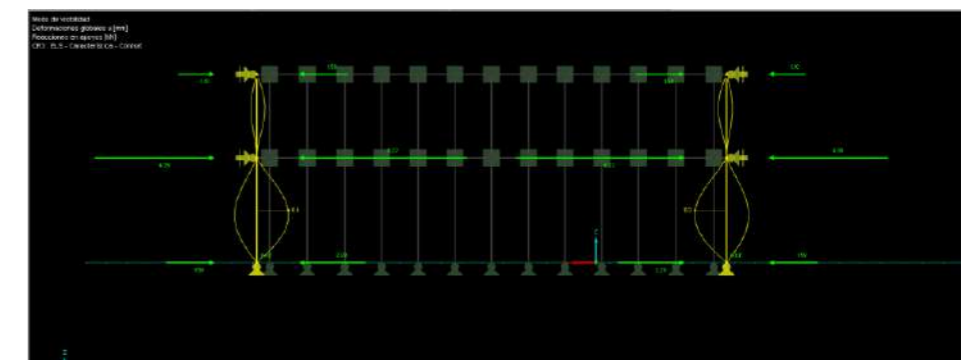
Carga	A	B	C	D	E	F	G	H
	Descripción	Barra num.	Posición x [m]	Razón		Cálculo según fórmula	Situa de pr	Clase de dura de carga
CO12	CC3	26	2.000	0.04 ≤ 1	402)	Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 2 según	SC2	Corta
CO13	CC4	217	2.000	0.04 ≤ 1	402)	Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 2 según	SC2	Corta
CO14	CC5	161	2.000	0.04 ≤ 1	402)	Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 2 según	SC2	Corta



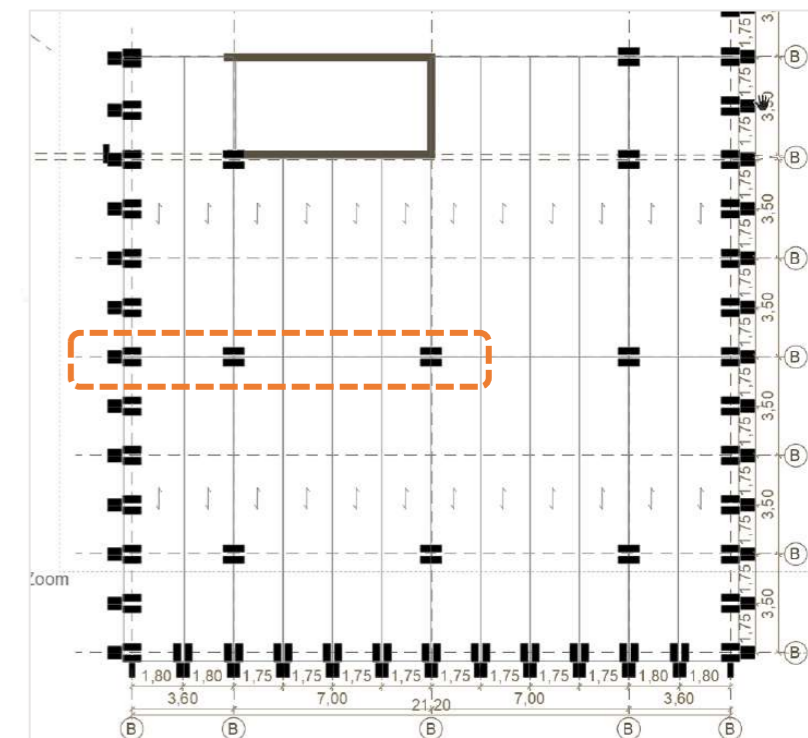
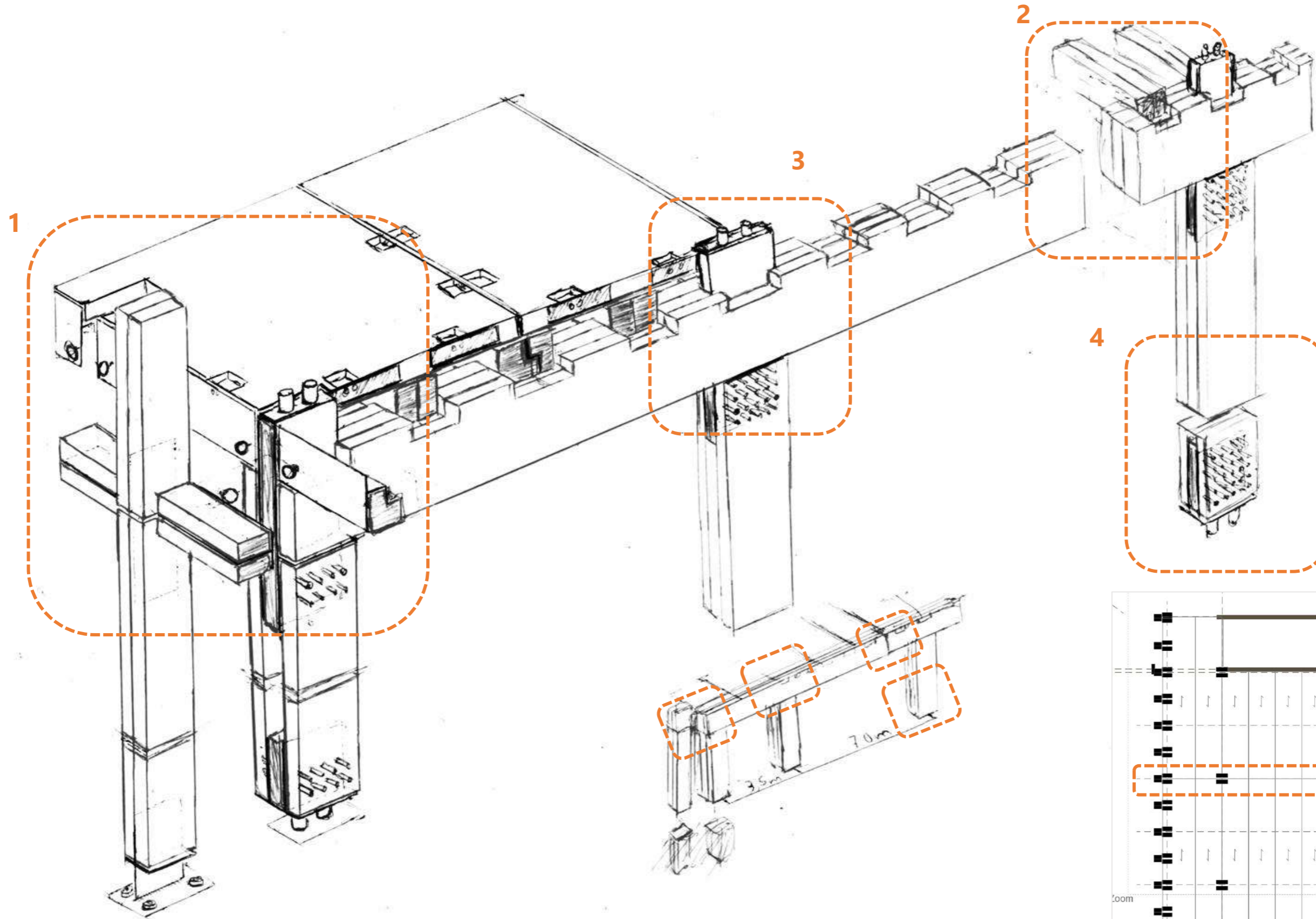
Integridad



Confort

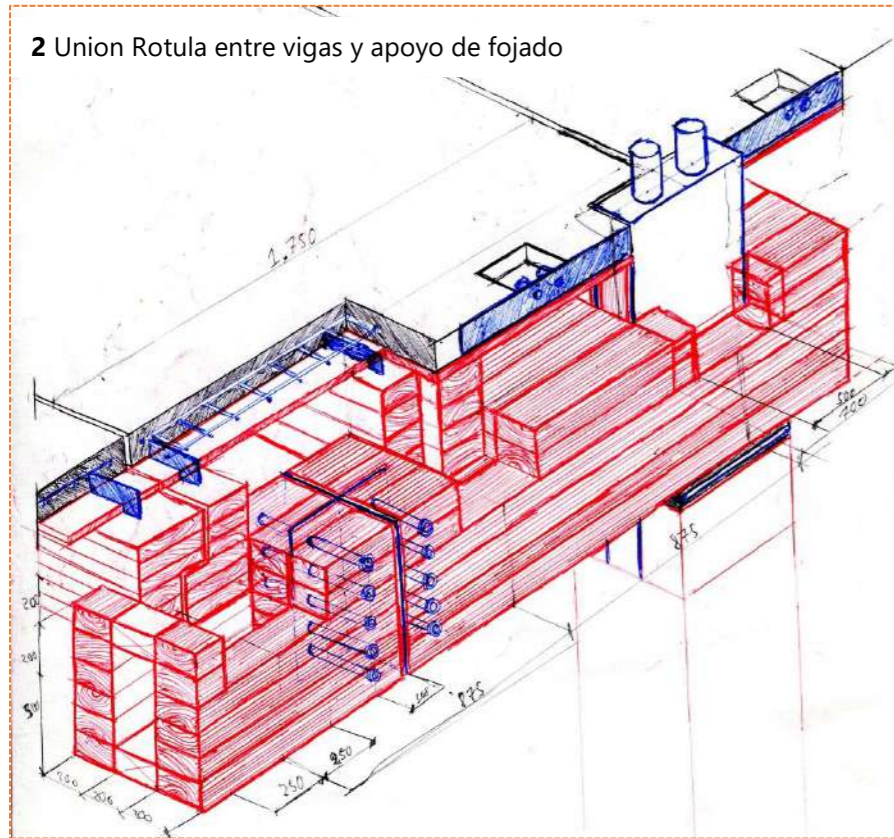


Apariencia

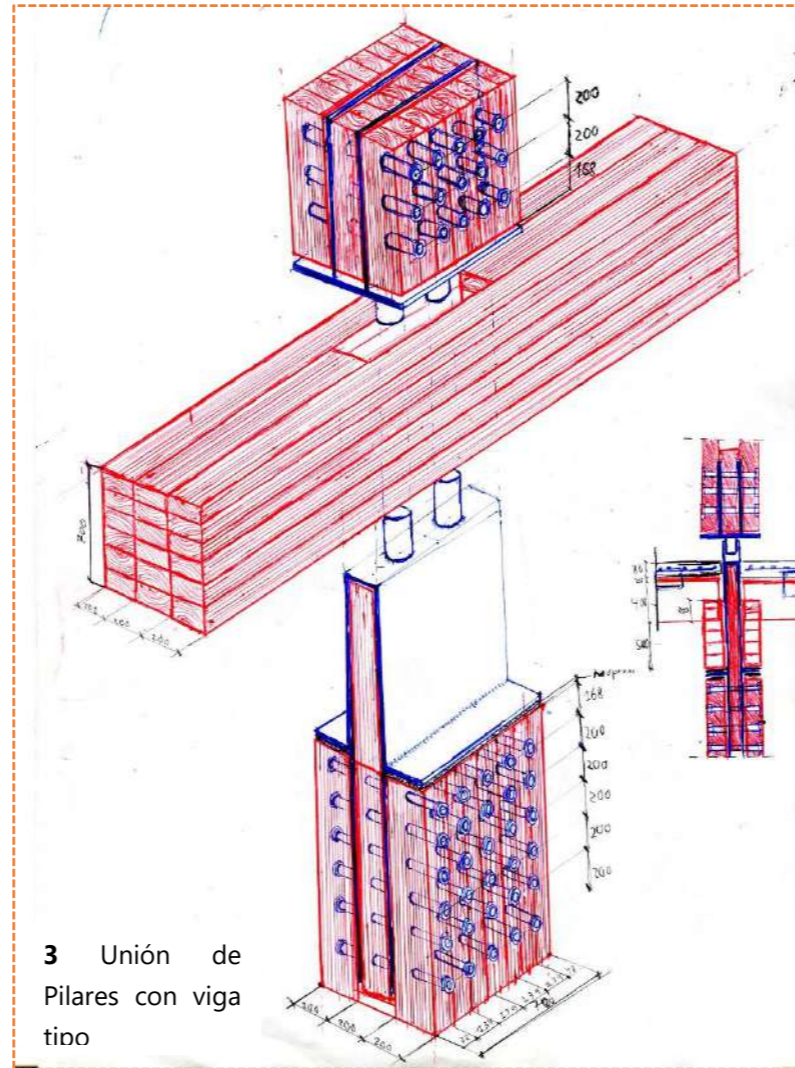


Detalles constructivos.

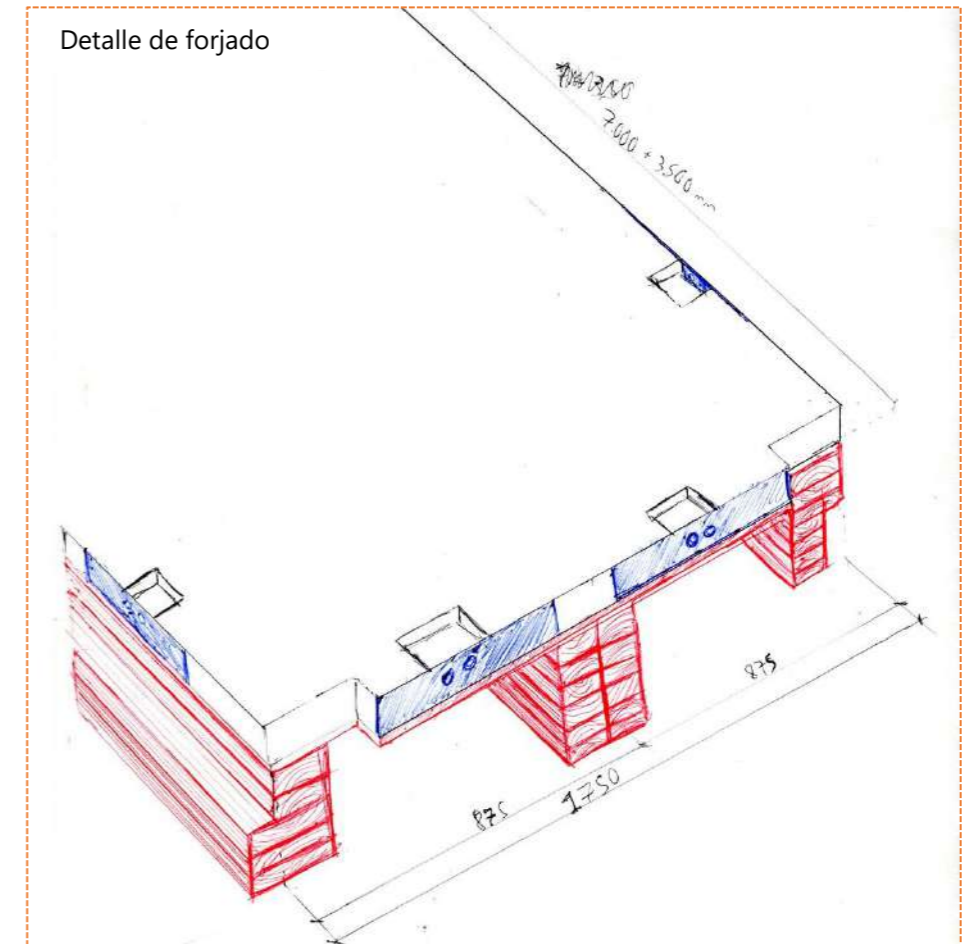
2 Union Rotula entre vigas y apoyo de forjado



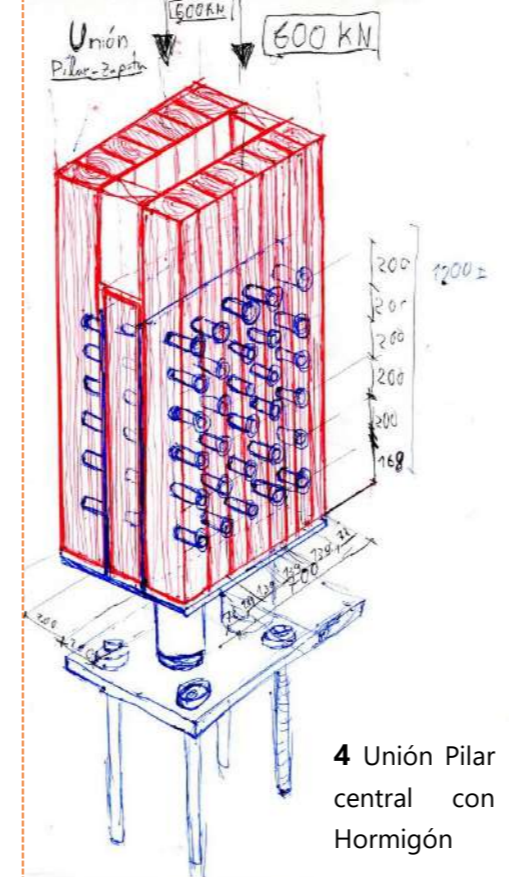
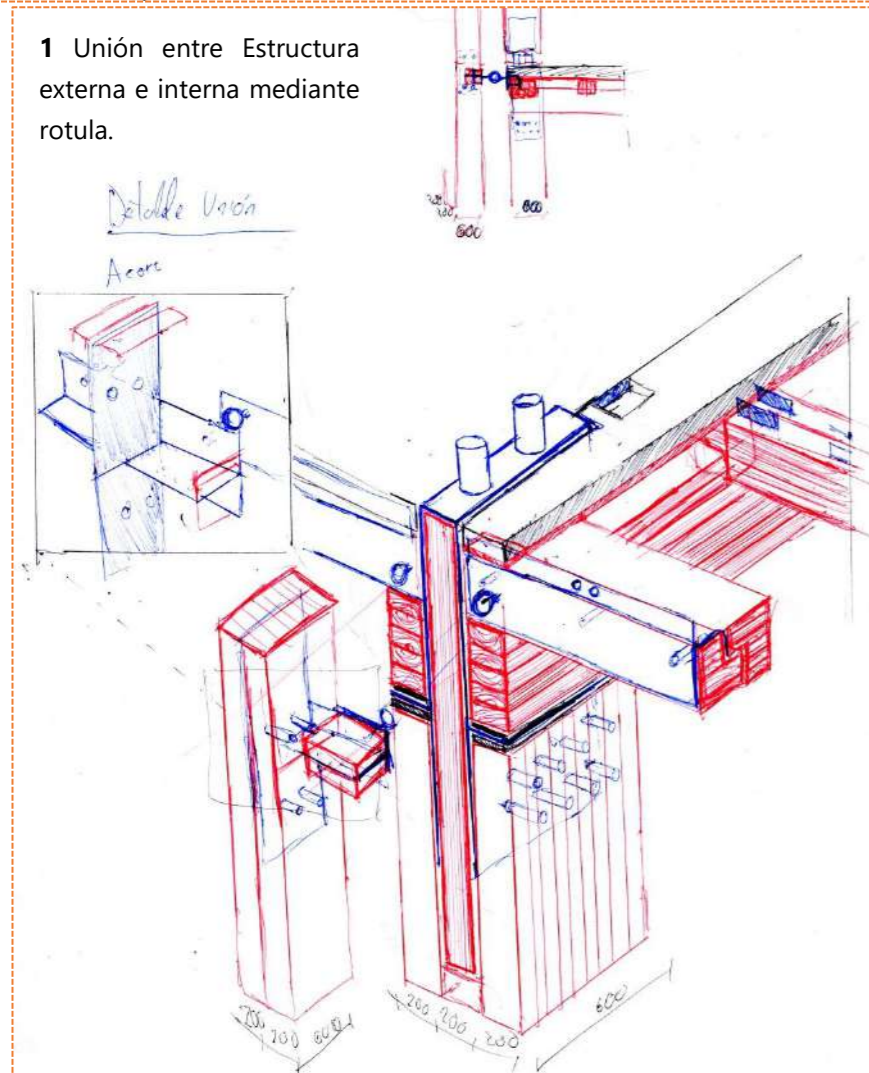
3 Unión de Pilares con viga tipo



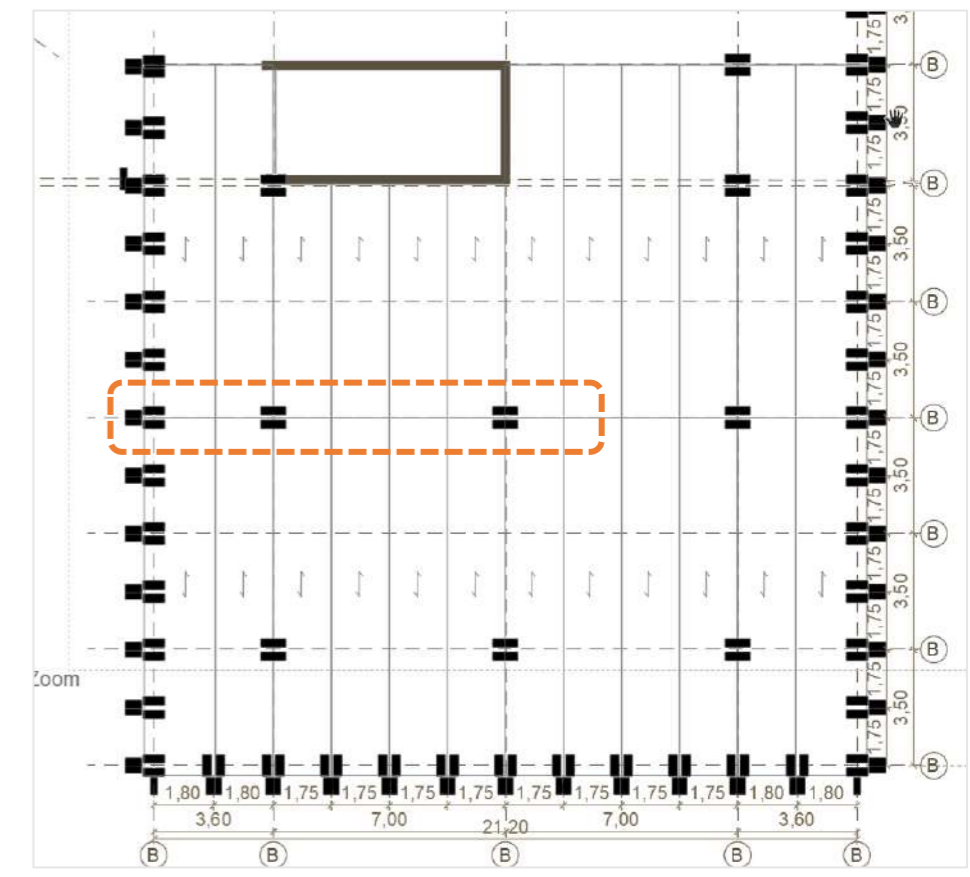
Detalle de forjado



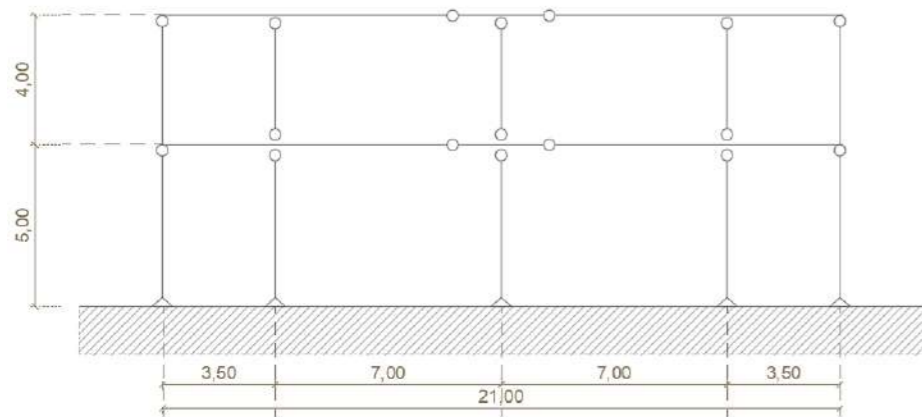
1 Unión entre Estructura externa e interna mediante rotula.



4 Unión Pilar central con Hormigón



Modelado de modelo simplificado de cálculo final



Tras diseñar la estructura final en base a las conclusiones de los cálculos anteriores se decide en primer lugar simplificar el modelo para agilizar la herramienta de cálculo. La razón de ello es porque los anteriores modelos se modelizaron muchas barras de unión, superficies como los conectores, las viguetas y cada forjado. Todo este tipo de elementos al ser un programa por elementos finitos los tiene en cuenta y de esta manera el cálculo pese a hacerse muy preciso requiere un procesador muy potente.

Por esta razón se decide hacer un ejercicio de simplificación del modelo más ligero con el que poder calcular toda la envolvente y ejecutar las combinaciones de carga necesarias. Además de las comprobaciones de secciones mediante el módulo de timber Pro

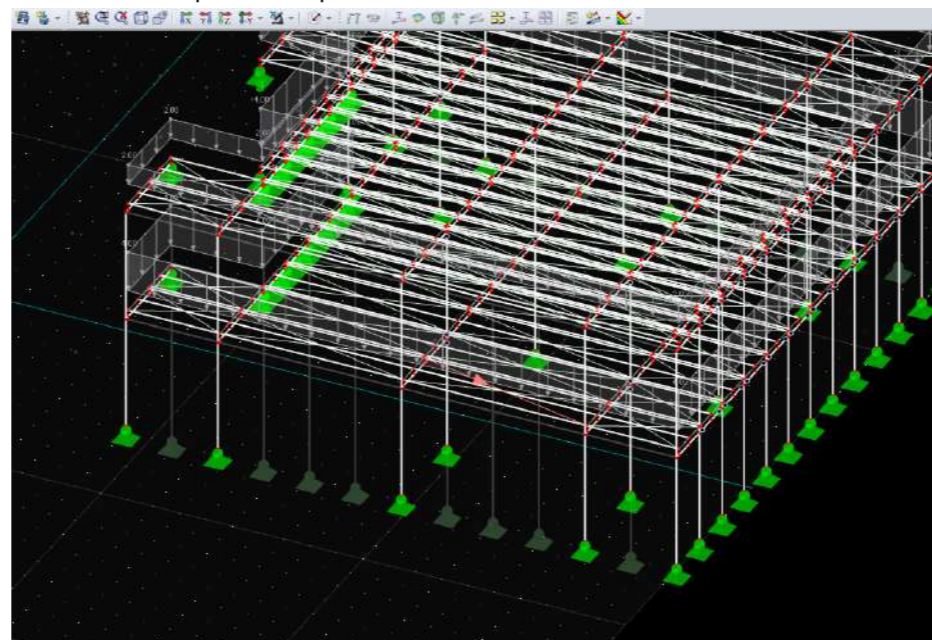
Modelo completo

Partiendo del modelo más detallado. Se decide en primer lugar eliminar los conectores de acero. Y cambiar las superficies de viguetas por barras.



Modelo con barras rígidas.

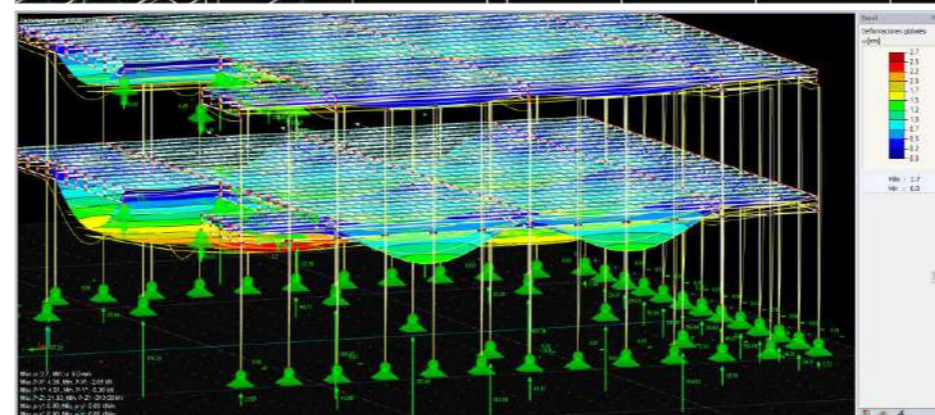
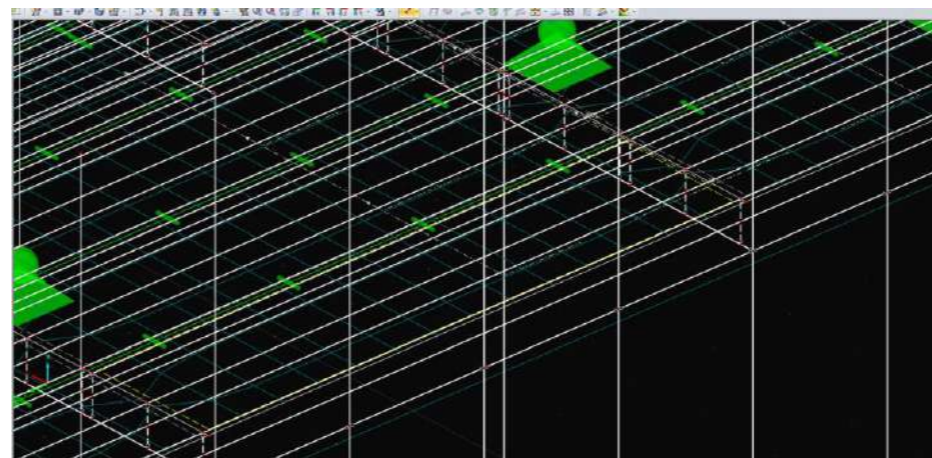
También se decide hacer una prueba simulando la capa de hormigón con barras rígidas. Sin embargo tras un análisis previo se visualiza que al ser tan rígido deja de simular la capa de compresión



Modelo con superficies conectadas en las esquinas.

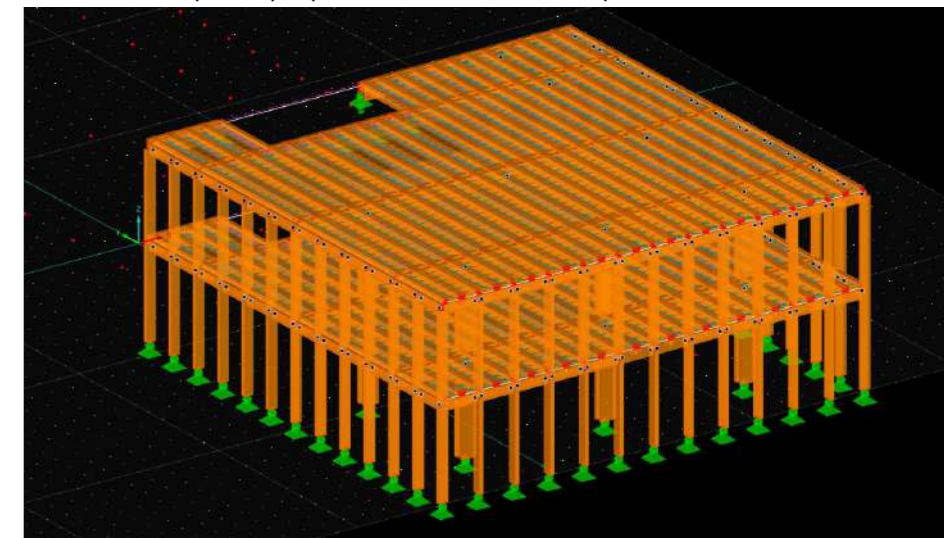
Se modelan las superficies del hormigón pero sin embargo la unión con las viguetas se simplifica utilizando barras rígidas en las cuatro esquinas.

Con este modelo ya se empiezan a intuir que se aligera bastante reduciendo en número de conexiones.



Modelo final.

Tras entender que finalmente se puede decir que la capa de compresión podría ser un elemento continuo se modela toda una superficie. Eliminando de esta manera la cantidad importante de superficies de cada forjado. Las uniones se mantienen entre las viguetas y los apoyos a vigas. Sin embargo para reducir conexiones se decide colocar la nueva superficie en el mismo plano que las viguetas. Pese a no ser constructivamente veraz se puede razonar ver en los resultados finales que se consigue un comportamiento estructural bastante acertado a lo que se proponía desde el inicio del planteamiento.

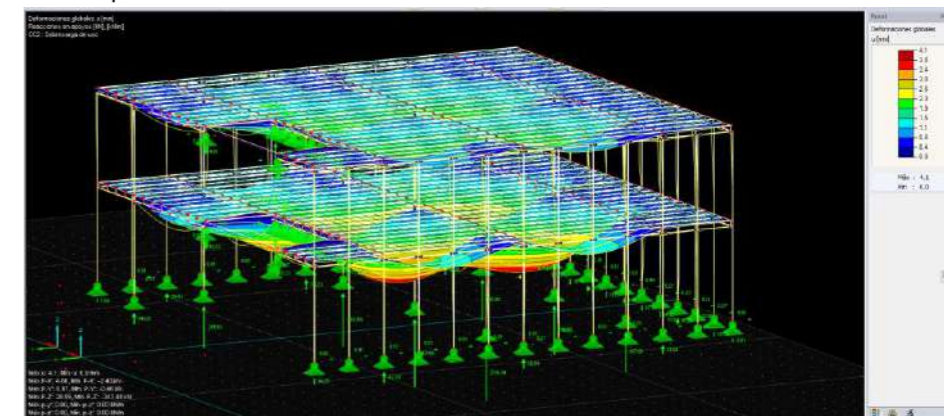


Comparativa de resultados frente a los otros modelos.

Tras ver los diferentes modelos en un caso de carga expeditivo finalmente se puede concluir que las deformaciones y esfuerzos obtenidos pese a que en algunos casos como por ejemplo algunas deformaciones aumentan hasta 1.4 mm.

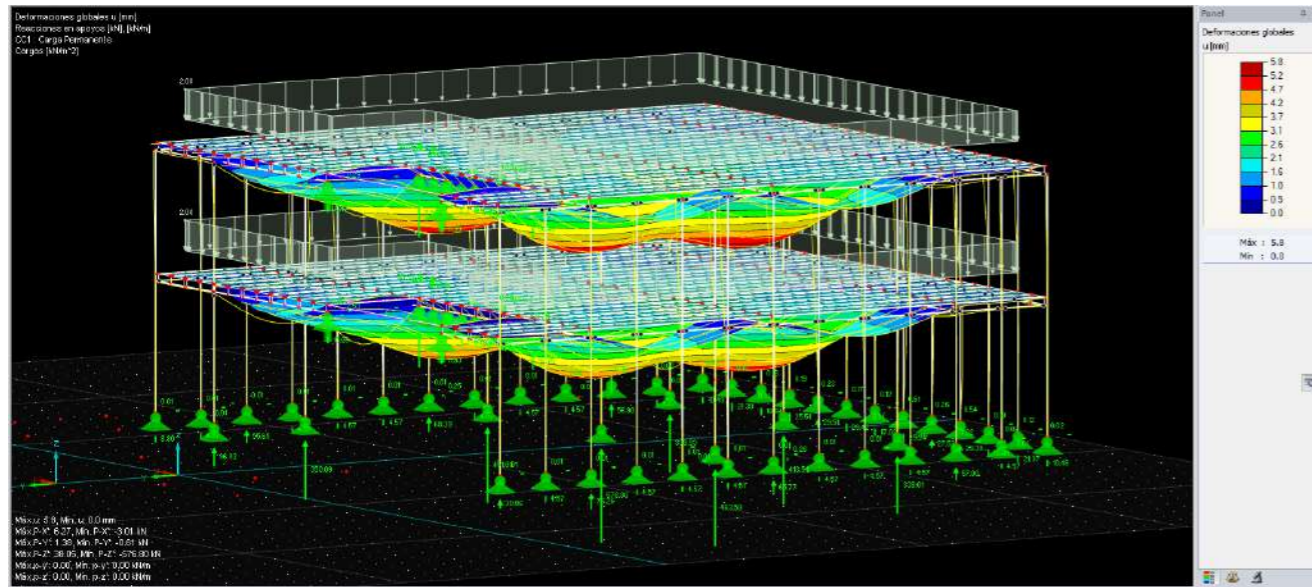
De esta manera se asume que en caso que con este modelo final cumplan todos los elementos por sección y pese a tener unas tensiones internas mayores que el modelo completo podremos concluir que la estructura es estable y en el mejor de los casos se comportara incluso mejor que los valores obtenidos mediante este modelo.

De esta manera se resume que el modelo final tienen un coeficiente de mayoración en todos los resultados debido a la necesidad de tener un modelo menos pesado

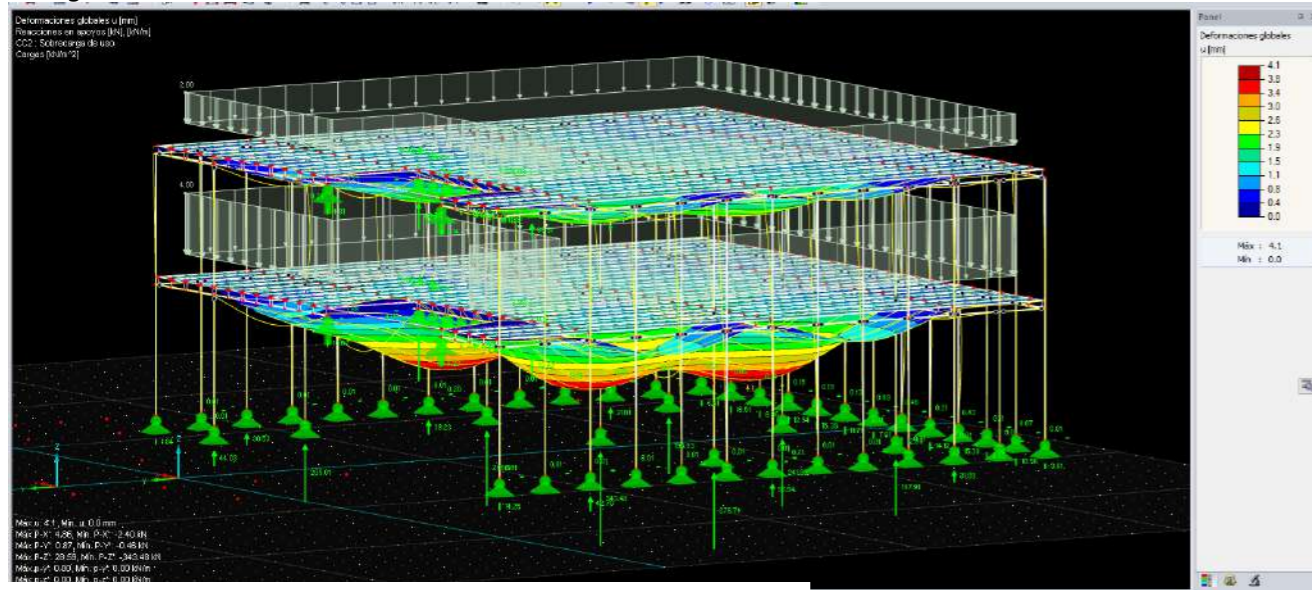


Calculo de modelo simplificado de cálculo final.

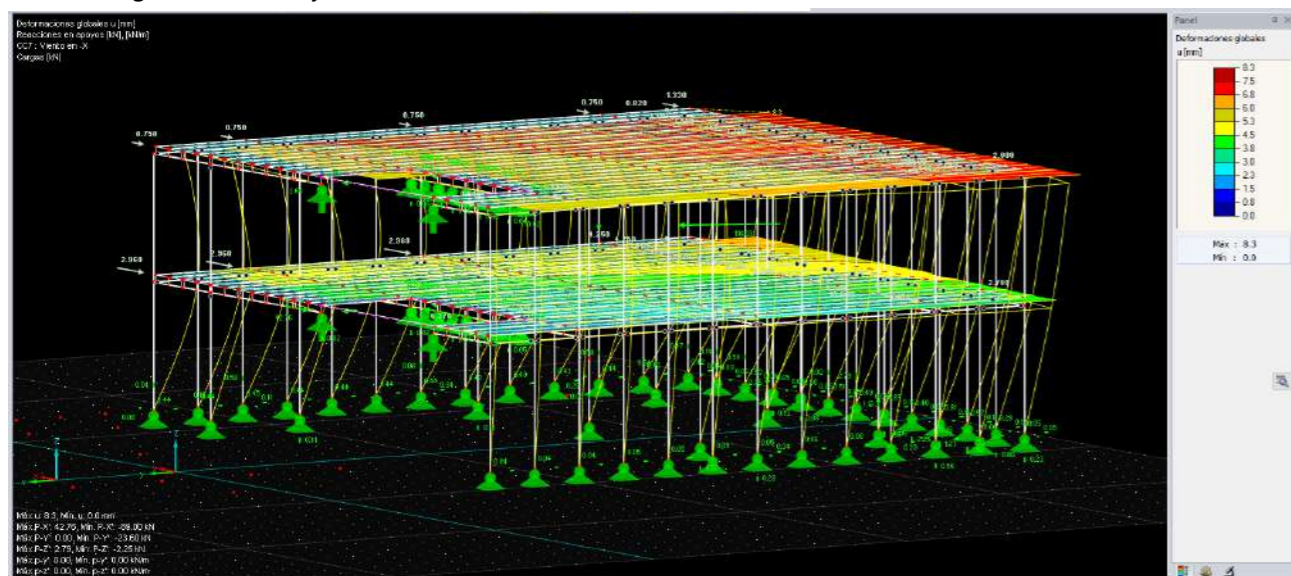
Casos de carga (Nieve según programa)



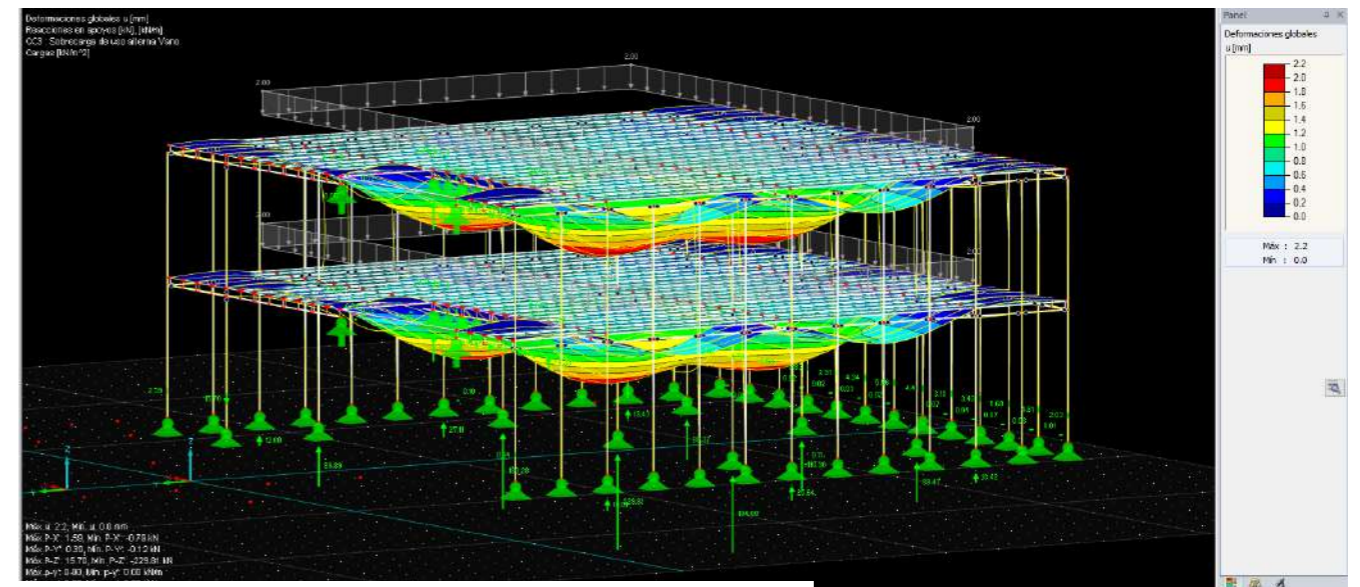
Carga Permanente 2 KN



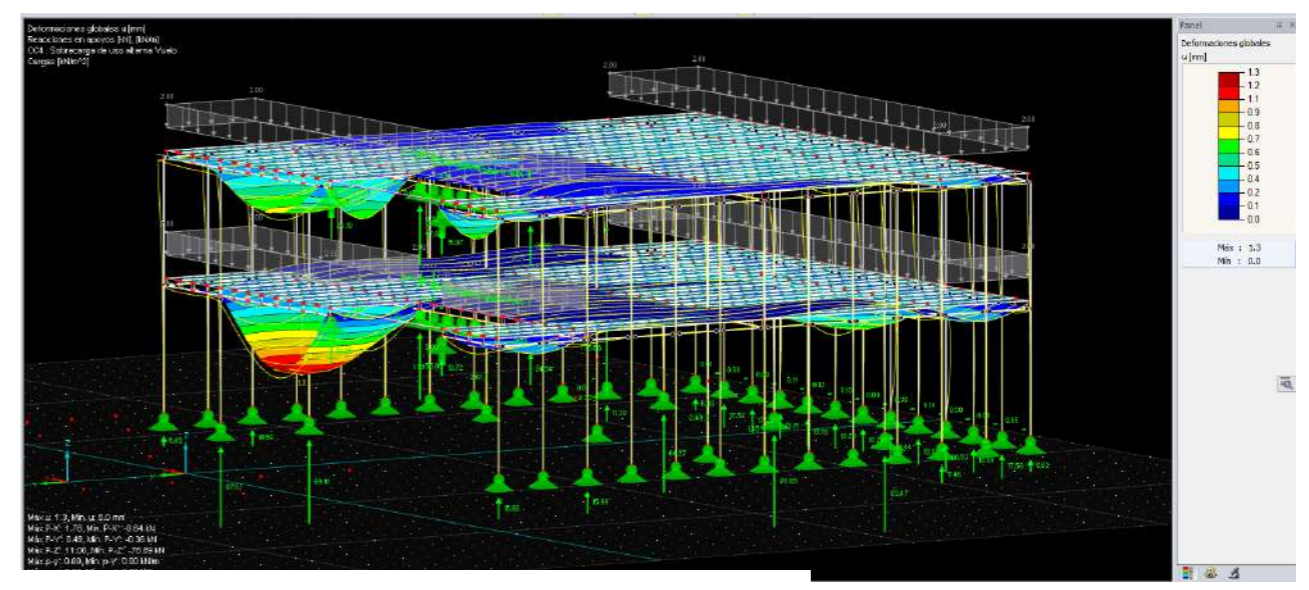
Sobrecarga de uso 4KN y 2 KN



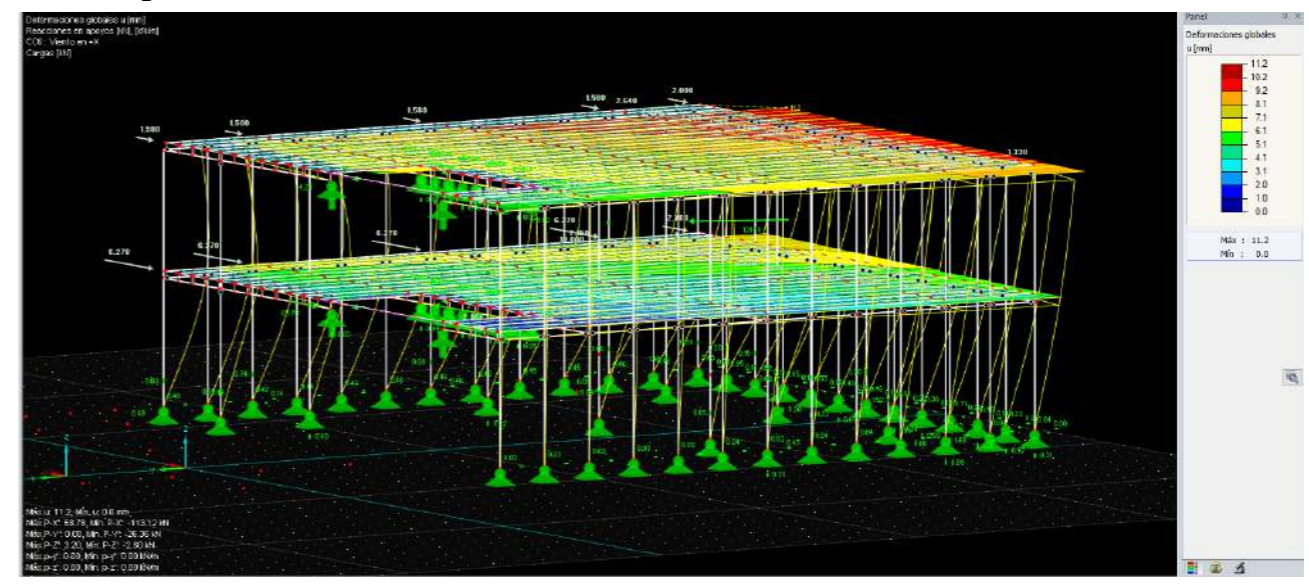
Viento X según cargas de modelo de fachada



Sobre carga de uso alterna 2 KN



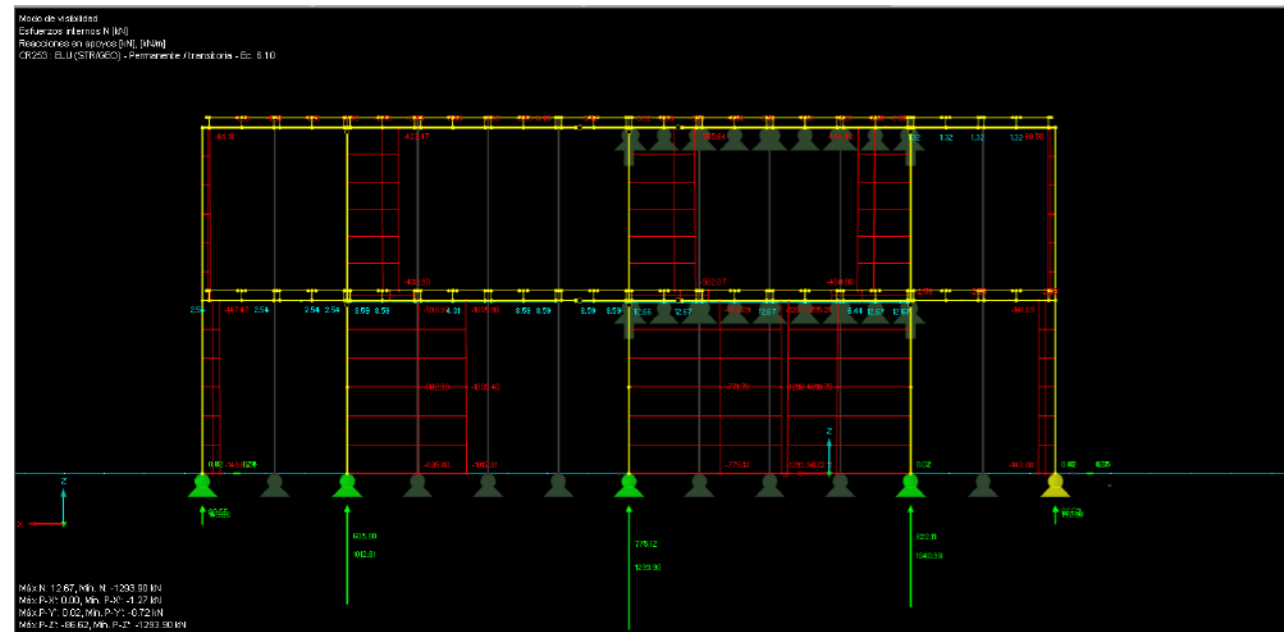
Sobre carga de uso alterna 2 KN



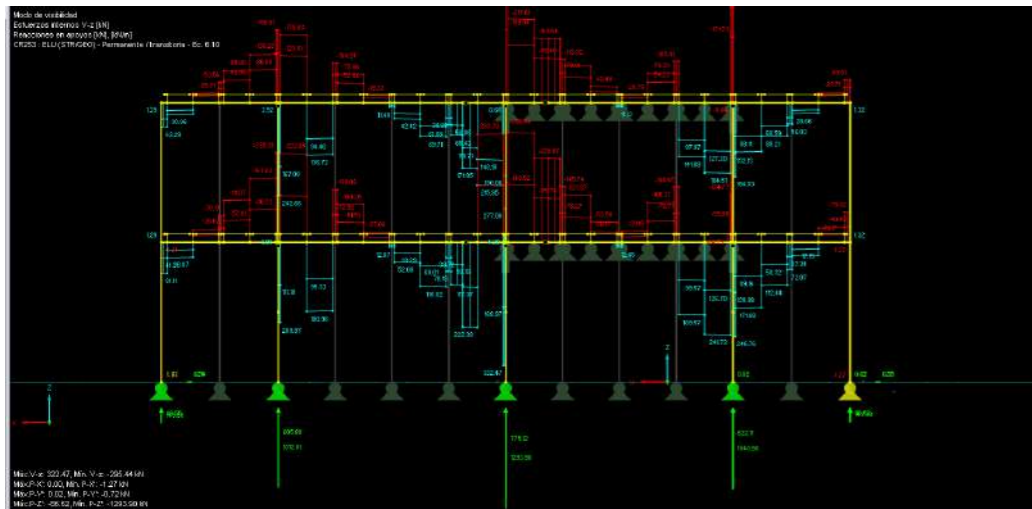
Viento -X según cargas de modelo de fachada



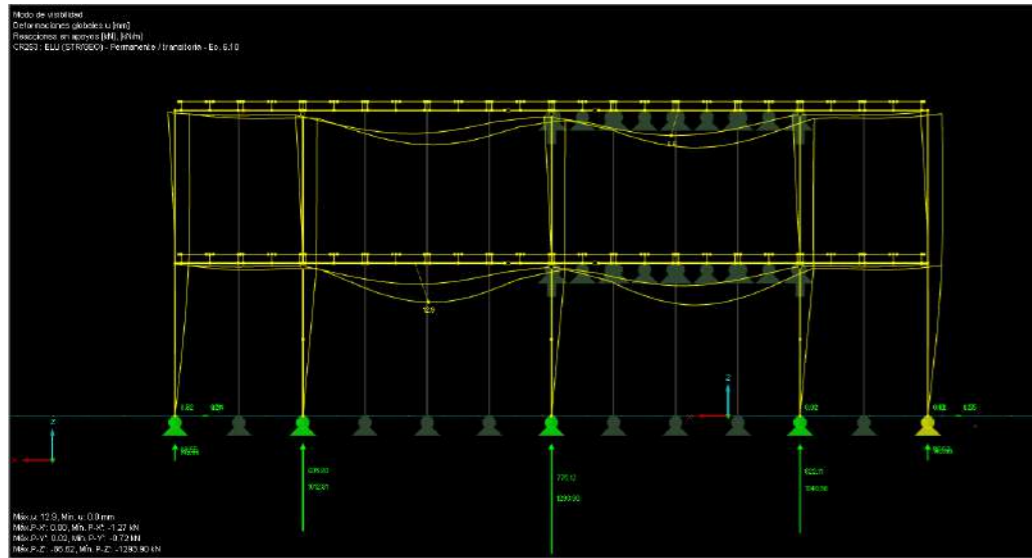
ELU.



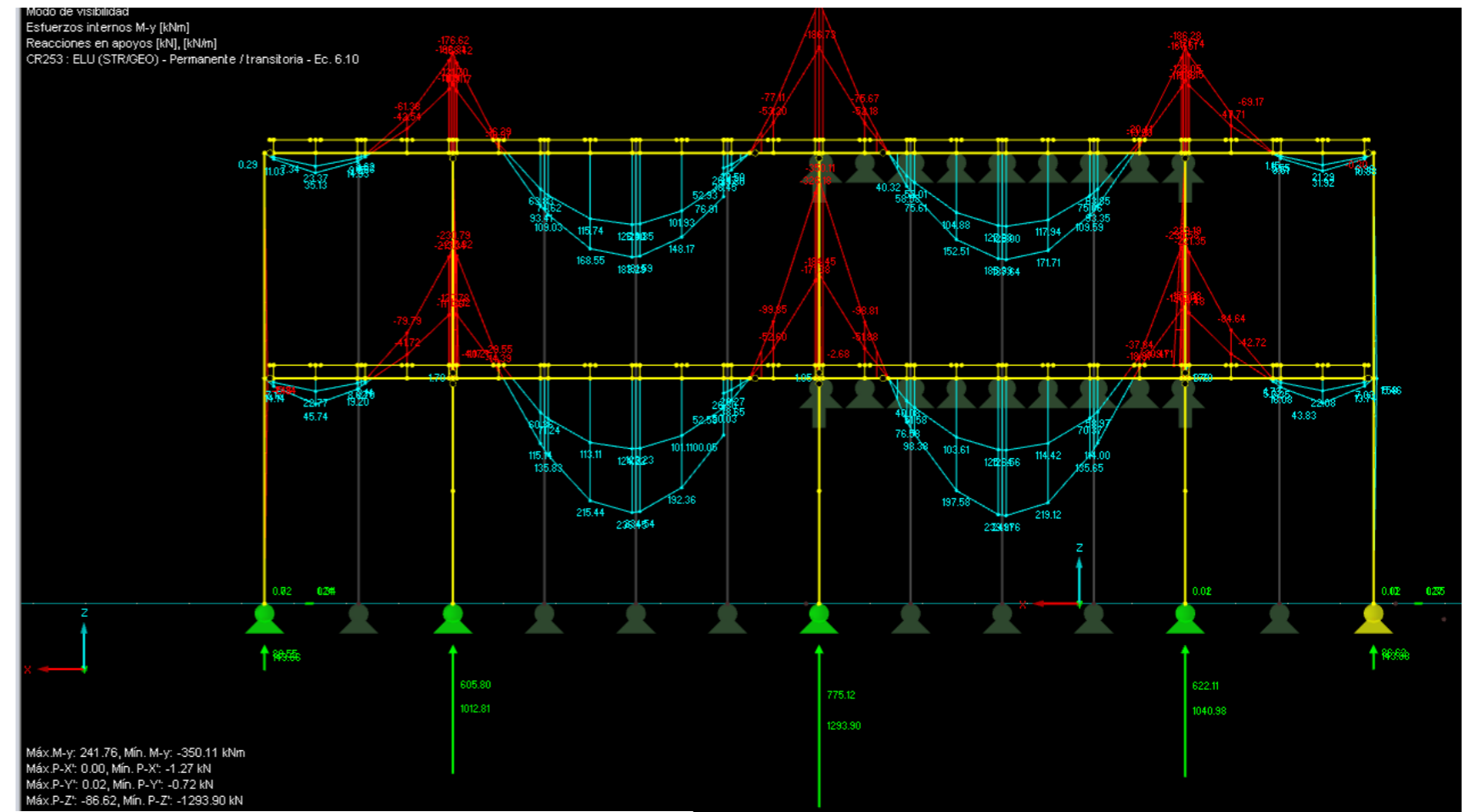
Axiles



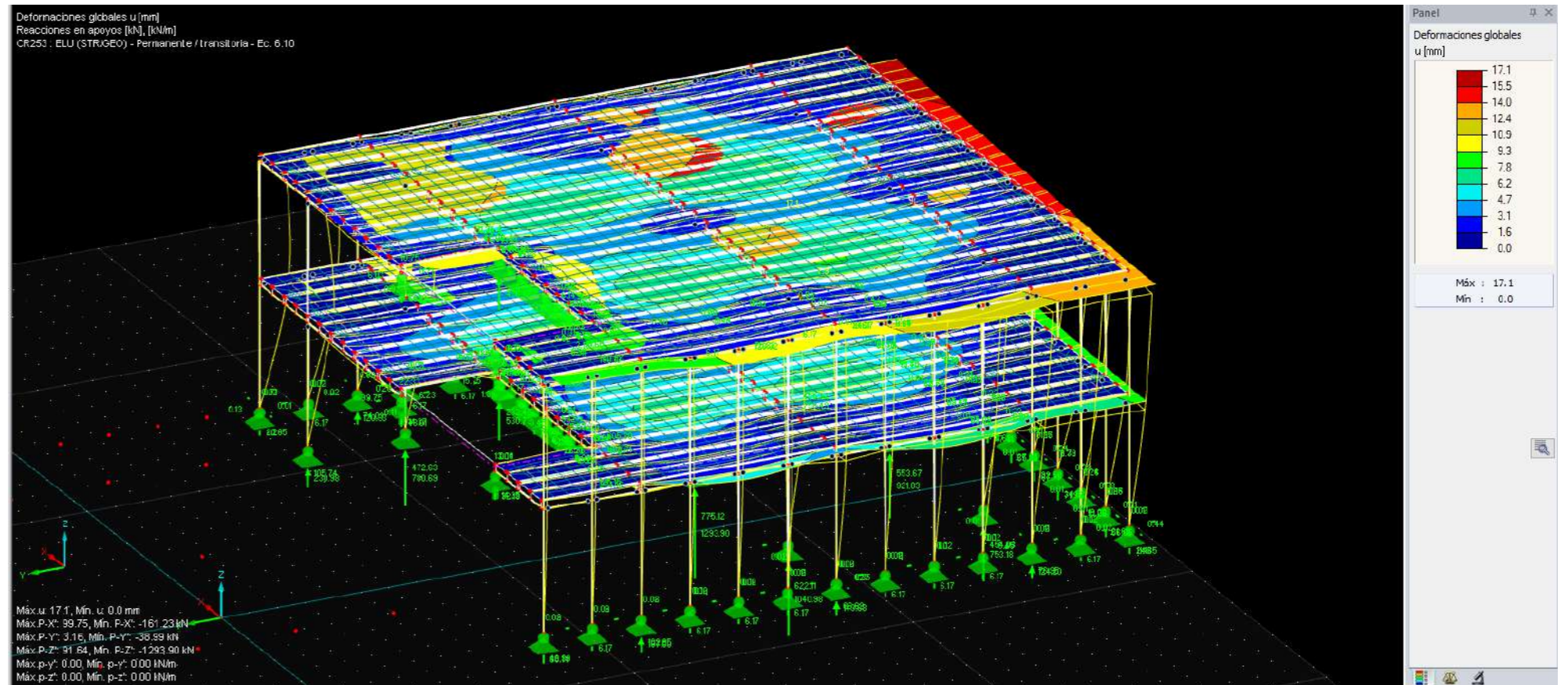
Cortantes



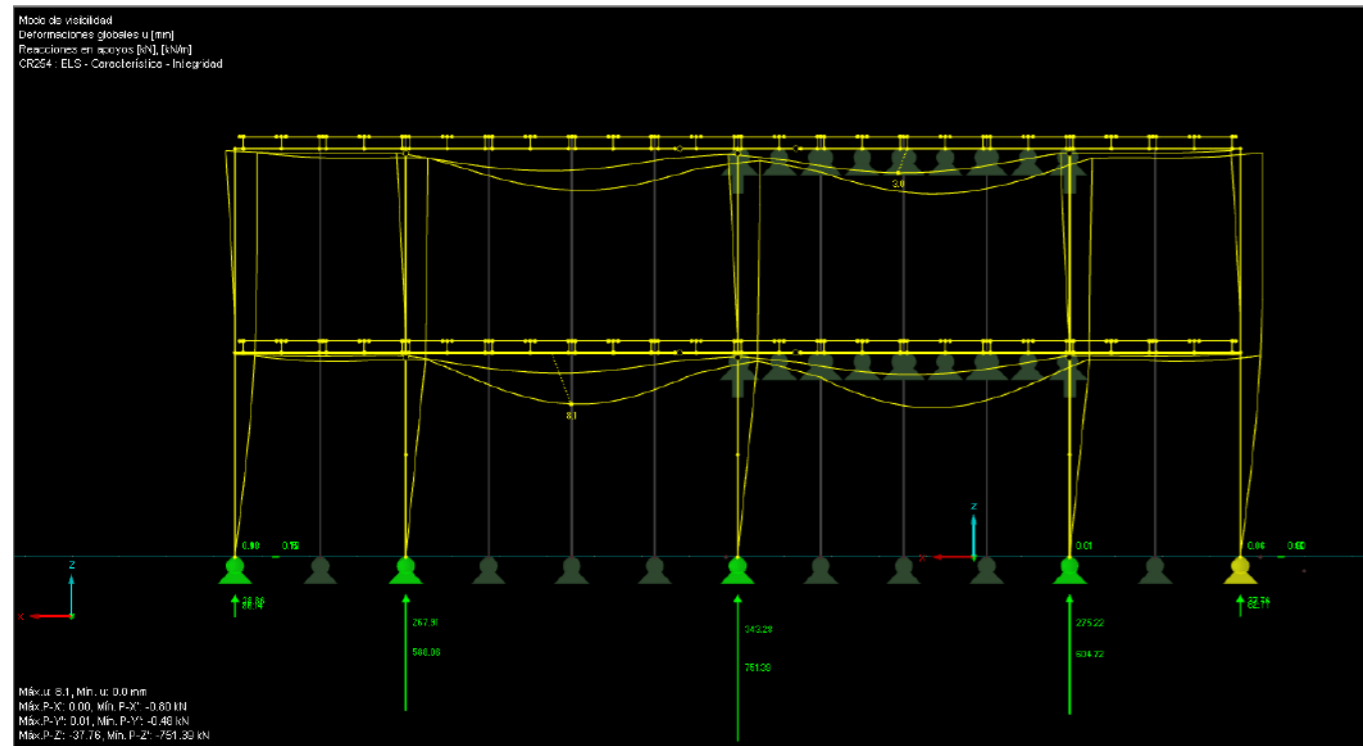
Deformaciones



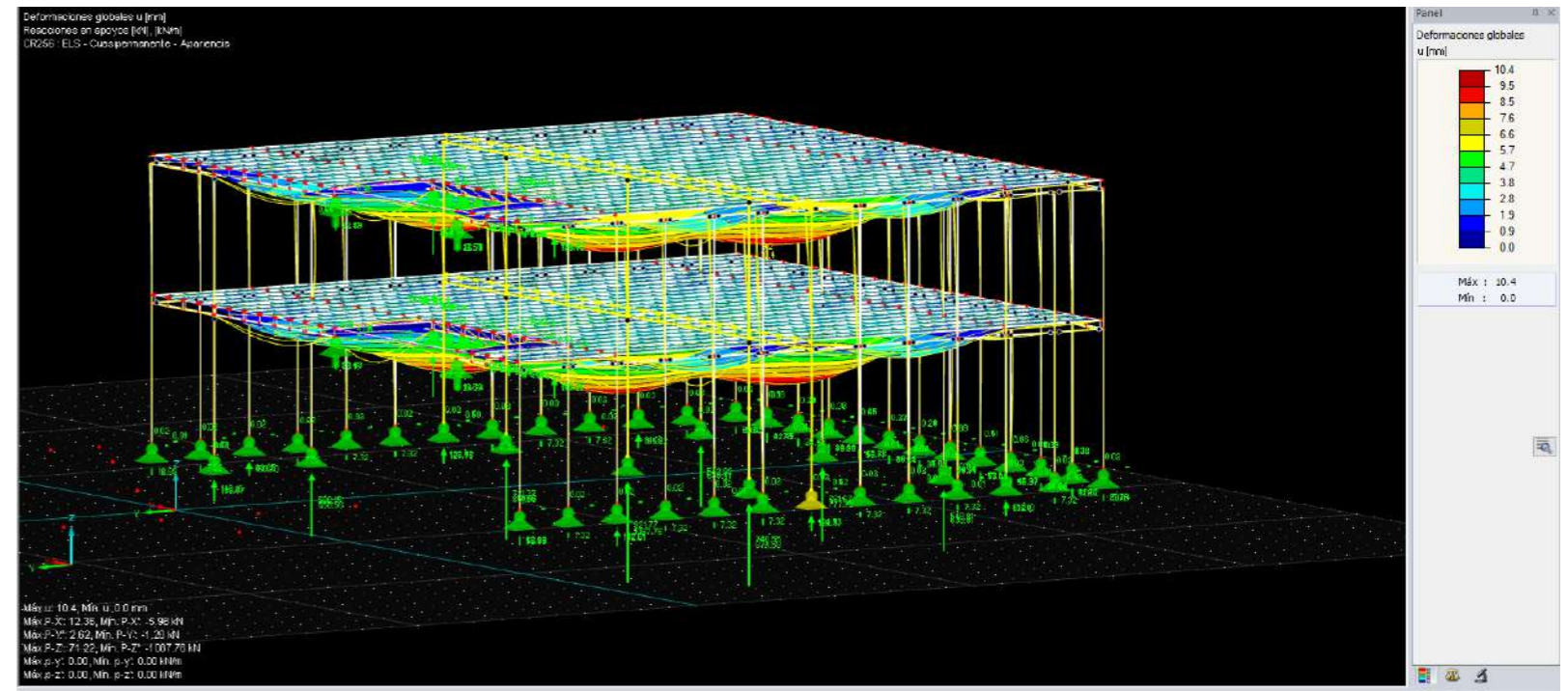
Momentos



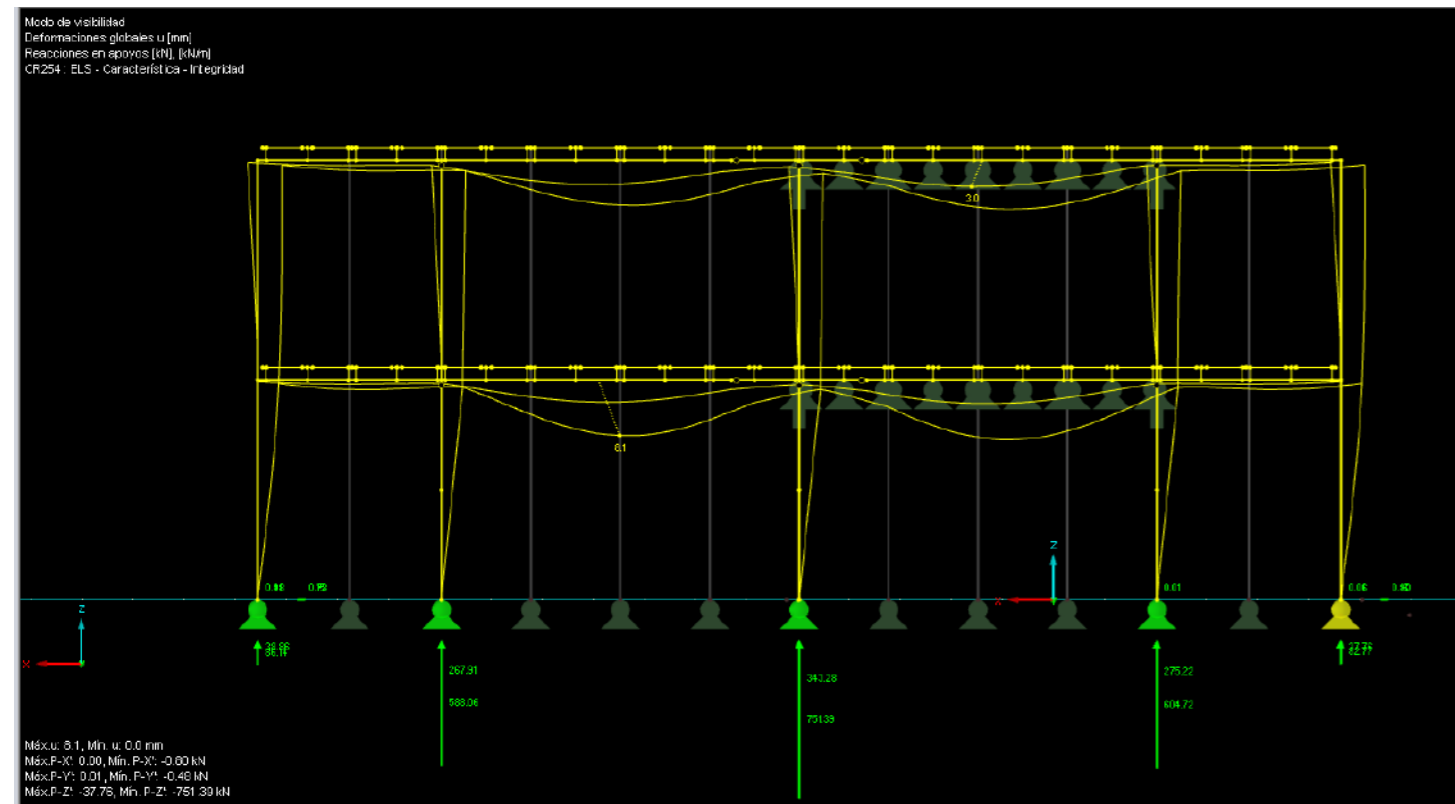
ELS



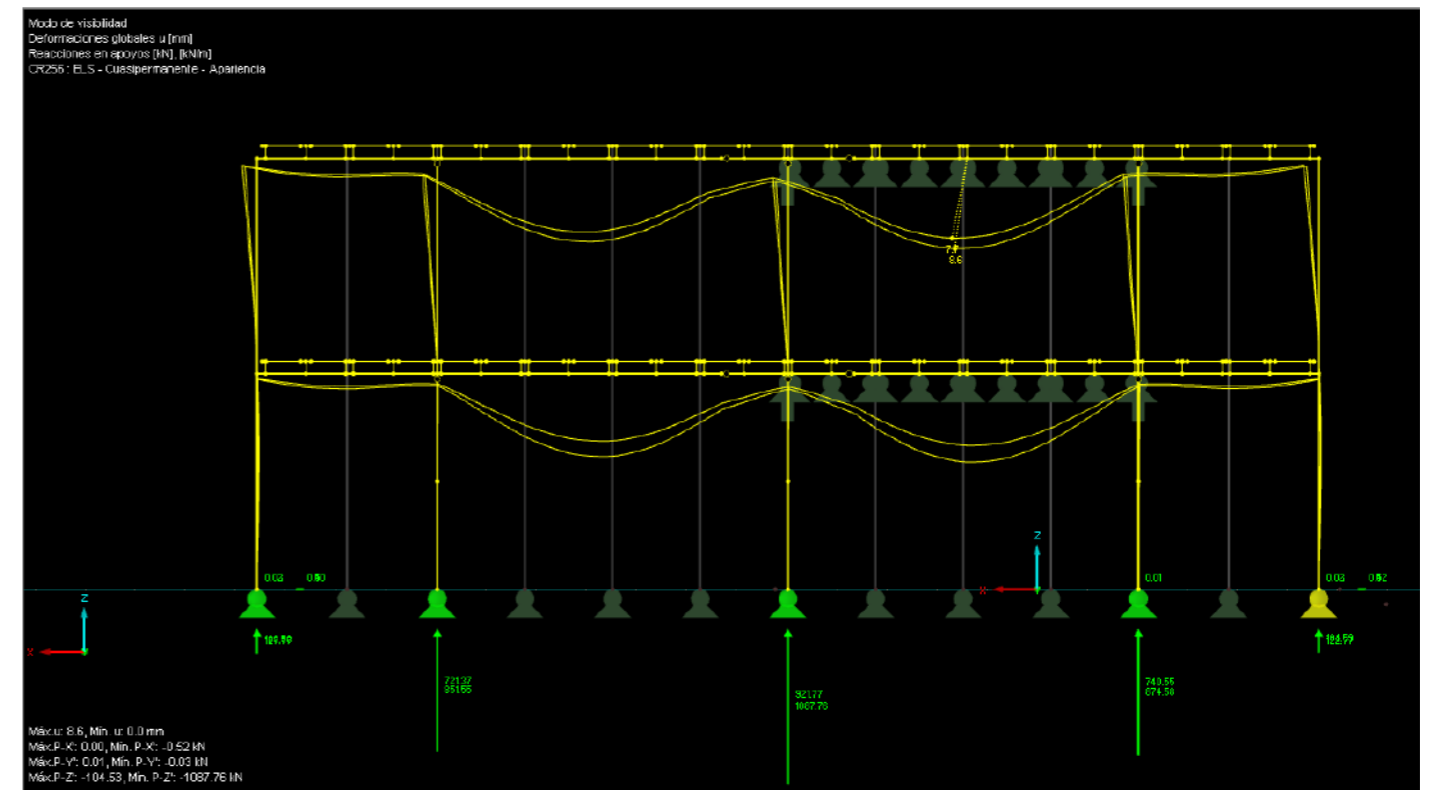
Integridad



Apariencia



Confort



Apariencia



Comprobaciones Timber Pro

2.2 Cálculo por sección

Sección núm.	A	B	C	D	E	F
Barra núm.	Posición x [m]	Carga	Razón	Cálculo según fórmula		
3274	1.675	CR36	0.04 ≤ 1	163) Resistencia de la sección - Flexión biaxial y tracción según 6.2.3		
1122	0.000	CR4	0.07 ≤ 1	171) Resistencia de la sección - Flexión simple respecto al eje y y compresión según 6.2.4		
32	0.125	CR2	0.16 ≤ 1	172) Resistencia de la sección - Flexión simple respecto al eje z y compresión según 6.2.4		
32	0.000	CR36	0.29 ≤ 1	173) Resistencia de la sección - Flexión biaxial y compresión según 6.2.4		
438	4.300	CR2	0.51 ≤ 1	303) Barra comprimida con compresión axial según 6.3.2 - Pandeo respecto a ambos ejes		
63	0.000	CR4	0.05 ≤ 1	311) Barra de flexión sin esfuerzo de compresión según 6.3.3 - Flexión respecto al eje y		
367	2.867	CR2	0.47 ≤ 1	323) Barra con flexión y compresión según 6.3.2 - Pandeo respecto a ambos ejes		
438	0.717	CR2	0.51 ≤ 1	328) Barra con flexión respecto al eje z y compresión según 6.3.2 - Pandeo respecto a ambos ejes		
367	4.300	CR2	0.47 ≤ 1	333) Barra con flexión biaxial y compresión según 6.3.2 - Pandeo respecto a ambos ejes		
367	0.717	CR2	0.46 ≤ 1	341) Barra de flexión con esfuerzo de compresión según 6.3.3 - Flexión respecto al eje y		

Max: 0.91 ≤ 1

Detalles - Barra 438 - x: 4.300 m - CR2

Datos de material - Madera laminada encolada GL24h

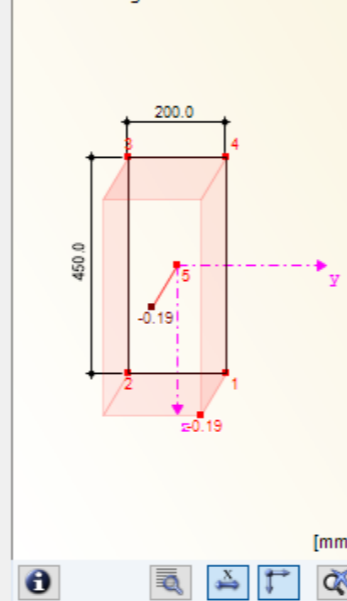
Datos de la sección - M-Rectángulo 200/450

Esfuerzos internos de cálculo

Razón de tensiones

Esfuerzo axial (compresión)	N_d	167.00	kN		
Área de la sección	A	900.00	cm ²		
Tensión de compresión	$\sigma_{c,0,d}$	0.19	kN/cm ²		
Longitud de barra equivalente	$L_{cr,y}$	14.566	m		
Longitud de barra equivalente	$L_{cr,z}$	7.280	m		
Radio de inercia	i_y	129.9	mm		
Radio de inercia	i_z	57.7	mm		
Grado de esbeltez	λ_y	112.131			
Grado de esbeltez	λ_z	126.092			
Resistencia a compresión	$f_{c,0,k}$	2.40	kN/cm ²	[3], Tabla	
Módulo de elasticidad	$E_{0,05}$	960.00	kN/cm ²	[3], Tabla	
Relación de esbeltez relativa	$\lambda_{rel,y}$	1.785	> 0.30	Ec. (6.21)	
Relación de esbeltez relativa	$\lambda_{rel,z}$	2.007	> 0.30	Ec. (6.22)	
Factor	β_c	0.100		Ec. (6.29)	
Coefficiente de inestabilidad	k_y	2.167		Ec. (6.27)	
Coefficiente de inestabilidad	k_z	2.599		Ec. (6.28)	
Factor de inestabilidad	$k_{c,y}$	0.295		Ec. (6.25)	
Factor de inestabilidad	$k_{c,z}$	0.235		Ec. (6.26)	

1 - M-Rectángulo 200/450



2.2 Cálculo por sección

Sección núm.	A	B	C	D	E	F
Barra núm.	Posición x [m]	Carga	Razón	Cálculo según fórmula		
3263	0.075	CR6	0.43 ≤ 1	3206) Resistencia de la sección - Tensión de borde en el cordón traccionado $N_t + My + Mz$ según 6.2.3		
522	0.075	CR5	0.32 ≤ 1	3211) Resistencia de la sección - Tensión de borde en el cordón comprimido $N_c + My$ según 6.2.4		
16	0.125	CR2	0.16 ≤ 1	3212) Resistencia de la sección - Tensión en el centro de gravedad del cordón comprimido $N_c + My$ según 6.1.4		
522	0.075	CR5	0.32 ≤ 1	3216) Resistencia de la sección - Tensión de borde en el cordón traccionado $N_c + My$ según 6.2.4		
24	0.000	CR2	0.03 ≤ 1	3221) Resistencia de la sección - Tensión de borde en el cordón comprimido $N_c + Mz$ según 6.2.4		
437	0.125	CR5	0.12 ≤ 1	3222) Resistencia de la sección - Tensión en el centro de gravedad del cordón comprimido $N_c + Mz$ según 6.1.4		
559	1.600	CR5	0.38 ≤ 1	3231) Resistencia de la sección - Tensión de borde en el cordón comprimido $N_c + My + Mz$ según 6.2.4		
468	0.125	CR2	0.14 ≤ 1	3232) Resistencia de la sección - Tensión en el centro de gravedad del cordón comprimido $N_c + My + Mz$ según 6.1.4		
559	1.600	CR5	0.38 ≤ 1	3236) Resistencia de la sección - Tensión de borde en el cordón traccionado $N_c + My + Mz$ según 6.2.4		
803	0.000	CR2	0.91 ≤ 1	3303) Barra comprimida con compresión axial - Pandeo respecto a ambos ejes según 6.3.2		

Max: 0.91 ≤ 1

Detalles - Barra 803 - x: 0.000 m - CR2

Datos de material - Madera laminada encolada GL24h

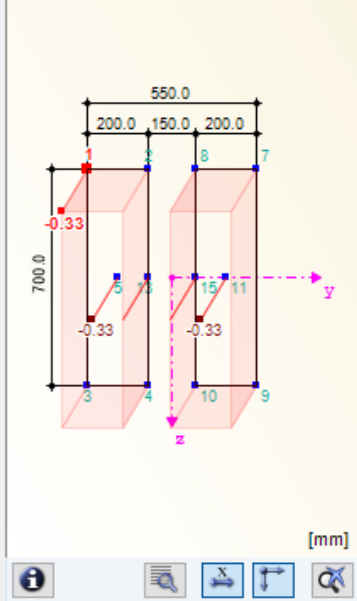
Datos de la sección - T-2B 700/150/200

Esfuerzos internos de cálculo

Razón de tensiones

Punto de tensión núm.		1			
Esfuerzo axial (compresión)	N_d	-921.02	kN		
Área de la sección	A	2800.00	cm ²		
Tensión de compresión	$\sigma_{c,0,d}$	-0.33	kN/cm ²		
Resistencia a compresión	$f_{c,0,k}$	2.40	kN/cm ²	[3], Tabla	
Factor de modificación	k_{mod}	0.800		Tabla 3.1	
Coefficiente parcial	γ_M	1.250		Tabla 2.3	
Resistencia a compresión	$f_{c,0,d}$	1.54	kN/cm ²	Ec. (2.14)	
Módulo de elasticidad	$E_{0,05}$	960.00	kN/cm ²	[3], Tabla	
Longitud de barra equivalente	$L_{cr,y}$	14.566	m		
Radio de inercia	i_y	202.1	mm		
Grado de esbeltez	λ_y	72.084			
Relación de esbeltez relativa	$\lambda_{rel,y}$	1.147	> 0.30	Ec. (6.21)	
Factor	β_c	0.100		Ec. (6.29)	
Coefficiente de inestabilidad	k_y	1.200		Ec. (6.27)	
Factor de inestabilidad	$k_{c,y}$	0.644		Ec. (6.25)	
Longitud de barra equivalente	$L_{cr,z}$	7.280	m		
Radio de inercia	i_z	57.7	mm		

13 - T-2B 700/150/200



Comprobación de ELU. Sección de vigas de borde mas desfavorable trabaja a un 51% de su capacidad

Comprobación de ELU. Sección Pilar interior mas desfavorable trabaja a un 91% de su capacidad Para la combinación de Carga Permanente+Sobrecarga de uso + viento

Conclusiones de cálculo.

Tras los análisis, cálculos y comprobaciones se han sacado una serie de conclusiones en cuanto a la herramienta de cálculo utilizada.

- Para lanzar un cálculo con todos los casos de carga y sus combinaciones de carga es necesario hacer un ejercicio de simplificación de los elementos modelados entendiendo como funcionan todos y cada uno de los elementos y razonando su simplificación para poder obtener un comportamiento de la estructura frente a los esfuerzos tal y como se planteaban en un inicio.
- Conocer las virtudes y limitaciones del propio programa. Separar los elementos que trabajen en clases de uso diferentes y aplicar las reacciones como cargas puntuales o repartidas según los apoyos planteados en el primer modelo (Estructura externa- Interna).

Conclusiones del funcionamiento estructural global planteado.

- Como se había previsto desde un inicio, las cargas aplicadas a la superficie de hormigón con conexiones a las viguetas consigue un reparto homogéneo de los esfuerzos horizontales en toda la estructura. Por ello el edificio resulta estable pudiendo gracias a los núcleos de hormigón y el plano del forjado.
- Necesidad real de la repetición de los elementos en la estructura para obtener secciones que no trabajan al límite de su resistencia mecánica.
- Obtención de resultados y secciones aceptables para su fabricación sin ir a secciones atípicas ni materiales excesivamente caros.
- Optimización del módulo del forjado para cubrir las luces solicitadas desde un inicio 7+3.5 .10.5 m
- Funcionamiento de la estructura externa como planteamiento inicial a modos de pantallas y absorción de parte de los esfuerzos horizontales.
- Viabilidad del esquema estructural para su repetición en el sentido longitudinal. Con posibilidad de aumentar las plantas.



Diseño y cálculo de uniones.

Johansen

Calculo de Pernos para union Madera-Acero-Madera Doble cortadura

Pieza de madera		
Densidad ρ_k (kg/m ³) =	380	
Ángulo ($^\circ$ sex) =		
Espesor (mm) t_1 =	200	
Espesor (mm) t_2 =	200	
Conif. = 1 Froid. = 2	1	

Chapa de acero
Espesor

Pernos		
Diametro (mm) =	24	
k_{mod} =		
Acero (kg (N/mm ²)) =	8,8	800
$M_{y,Rk}$	930594,476	

Sen	0
Cos	1
Angulo	0

w_0	23,6816
k_{90}	1,71
$f_{h,0}$	23,6816

Capacidad de carga por plano de corte	Modo de fallo	
$F_{v,Rk}$	8.22	113671,68
	8.23	53535,217
Pieza central Acero	8.24	52895,592
	8.27	56835,84
	8.28	52895,592
Pieza Laterales acero		

Capacidad de carga para calculo	2 planos de corte	105791,118
		113671,68

Carga		
Duración	Permanente	0,8
Coefficiente seguridad	Madera lamin	1,25
$F_{v,Rk}$ un perno		67706,3158
Numero de pernos alineados		6
Numero eficaz Pernos	n	4,01581619
Distancia Mínima		96
Distancia propuesta		200
		0
Capacidad Total Pernos		1359480,59
Filas		5
		1200000
		0,88269005
		700
		580

a) pieza central de acero de cualquier espesor:

$$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{aligned} & f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d \quad (8.22) \\ & f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1k} \cdot d \cdot t_1^2} - 1} \quad (8.23) \\ & 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1k} \cdot d} \quad (8.24) \end{aligned} \right]$$

b) pieza central de madera:

i) placa delgada ($t \leq 0,5 \cdot d$):

$$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{aligned} & 0,5 \cdot f_{h,2k} \cdot t_2 \cdot d \quad (8.25) \\ & 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2k} \cdot d} \quad (8.26) \end{aligned} \right]$$

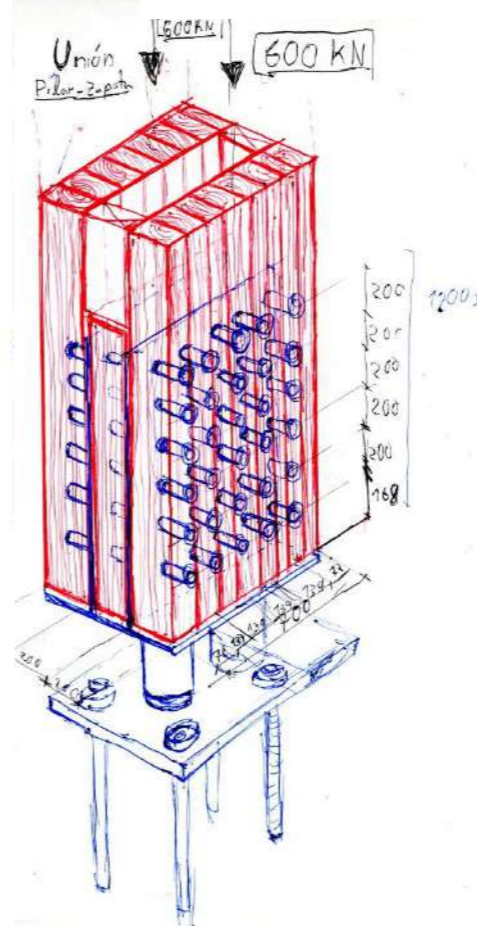
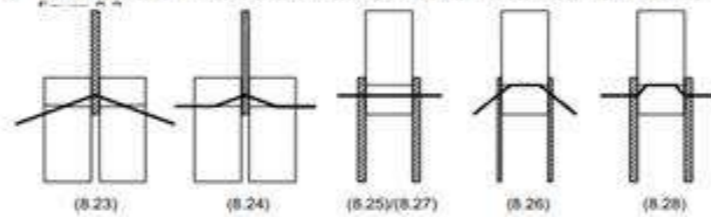
ii) placa gruesa ($t \geq d$):

$$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{aligned} & 0,5 \cdot f_{h,2k} \cdot t_2 \cdot d \quad (8.27) \\ & 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,2k} \cdot d} \quad (8.28) \end{aligned} \right]$$

siendo:

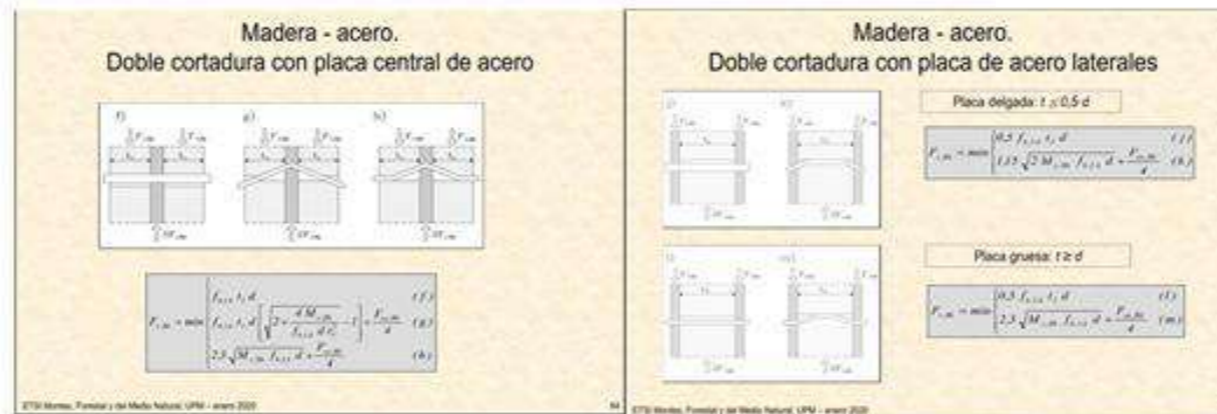
- $F_{v,Rk}$ capacidad de carga por plano de corte y elemento de fijación
- d diámetro del elemento de fijación;
- t_i espesor del tablero o de la pieza o profundidad de penetración, referida a la pieza 1 ó 2, véanse apartados 8.3.2 a 8.3.6;
- $f_{h,i,k}$ resistencia característica al aplastamiento en la pieza i ;
- $M_{y,Rk}$ momento plástico característico, véanse apartados 8.3.2 a 8.3.6.
- $F_{h,Rk}$ capacidad de carga a la extracción del elemento de fijación;

5 Los diferentes modos de fallo, correspondientes a cada expresión, se representan gráficamente en la



Teniendo eso en cuenta miramos las distancias minimas a cumplir a testa cargada, testa no carga y entre pernos y se diseña una union de pernos con una distancia de 200 entre ellos

$F_{v,Rk}$ de un perno
67706,3158 kN
5 Filas / 30
6 Pernos / 180
1200 kN \Rightarrow 0,88% ✓



Debido a la complejidad de la unión planteada respecto a las opciones planteadas en el CTE- DBSE-M se decide calcular la unión tipo clavija de Madera-Acero-Madera a doble cortadura ya que disponemos de dos planos de corte.

La unión se diseña para ser una transmisión de las dos secciones de madera laminada a las placas de acero. Estas placas mediante soldadura transmitirán los esfuerzos a los perfiles de acero tubular inferiores.

La unión se calcula para el pilar más desfavorable teniendo unos axiles considerables de 1200KN. Partiendo de pernos de 24 mm de diámetro de acero 8.8 y unas seccioes 200 se consiguen finalmente que mediante 5 filas de 6 pernos.

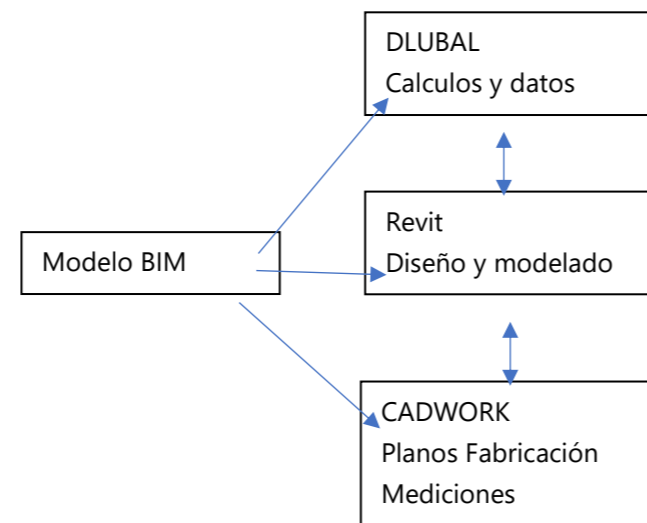
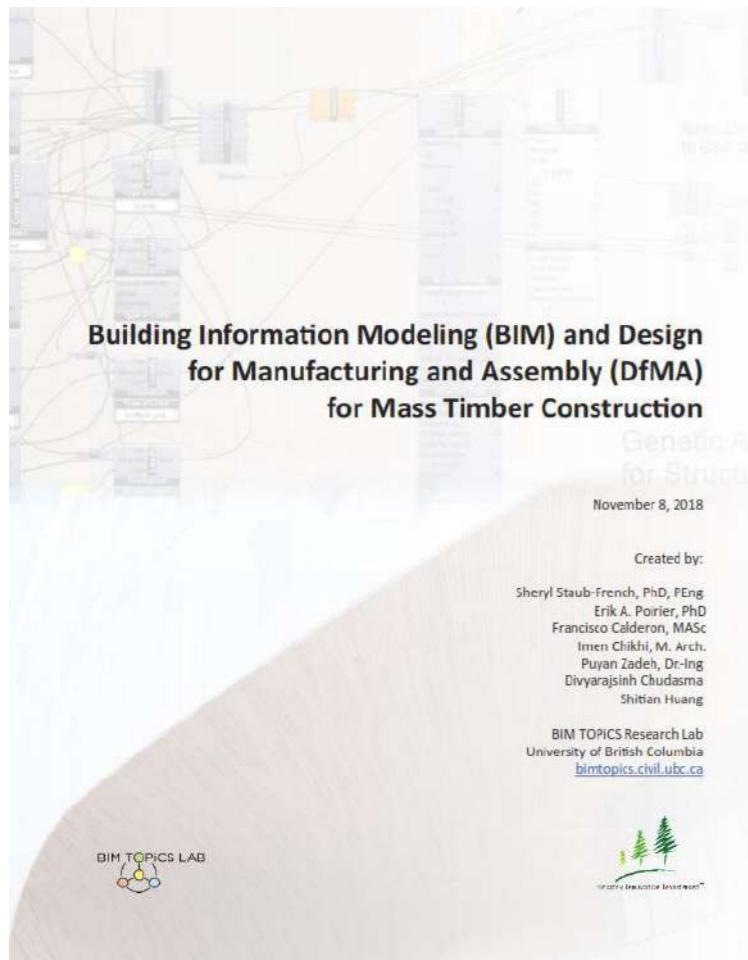
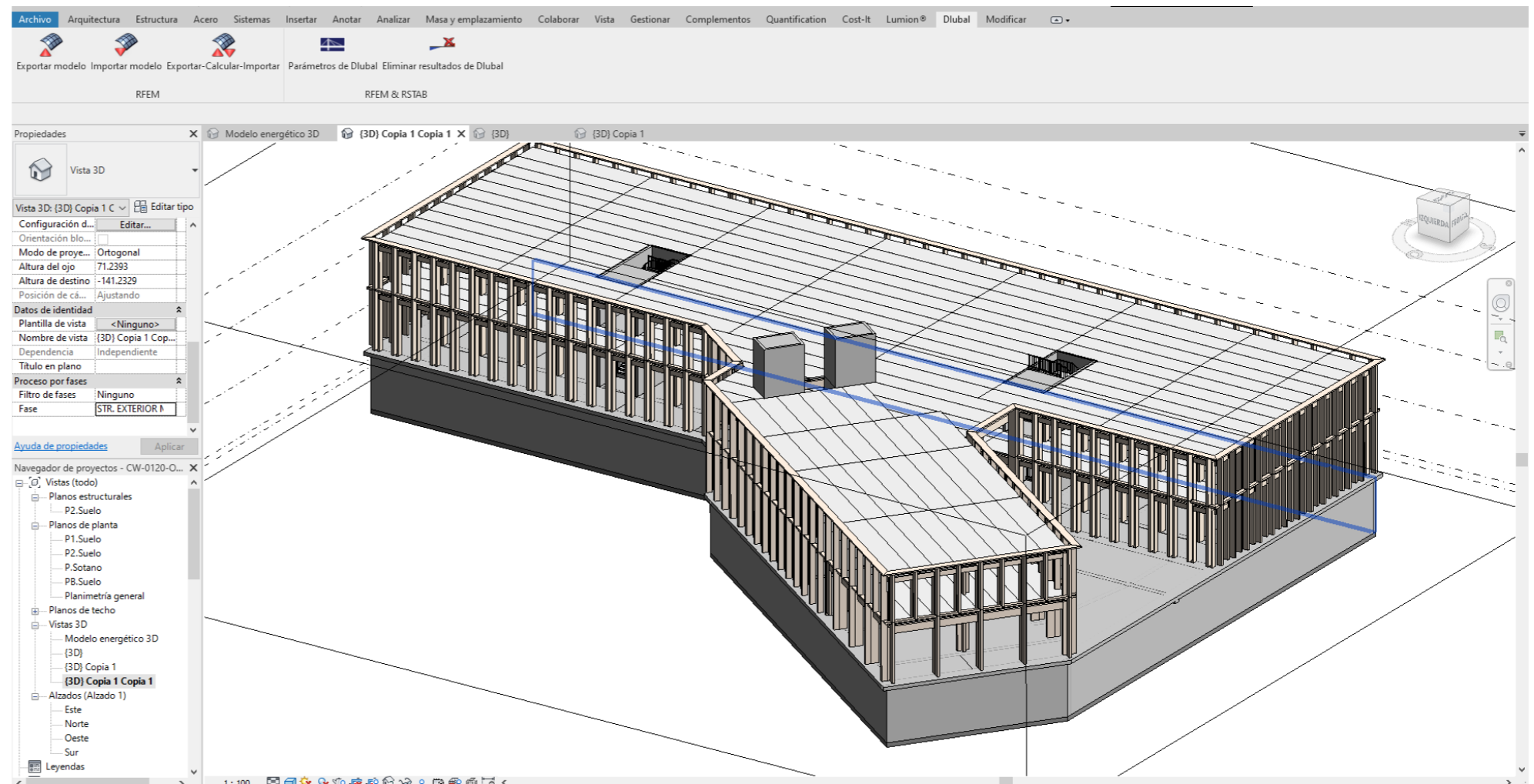


Rediseño de estructura. BIM-Madera

Teniendo en cuenta que la intención de este trabajo es poner en valor las posibilidades de la construcción de proyectos con estructuras de madera singular en busca de elementos prefabricados y optimización del material se ha llevado un trabajo en paralelo realizado con unos programas de estructuras que más adelante se pretenden ver su vinculación con el modelo BIM hecho en Revit. Por ello tras realizar el trabajo de investigación aparte de los contenidos del master se llegó a un documento muy instructivo que se añade a la bibliografía. Sin entrar en detalle en él se explican muchas cosas, lo que si resulta de interés es la manera de modelado de los diferentes programas que se usan en la fabricación y construcción en madera.

Partiendo de estos datos y su utilidad se pretende modelar en Revit esta estructura donde estos análisis se vuelquen para la obtener un modelado constructivo de LOD 400 que se pueda comunicar con otros programas de fabricación en madera como por ejemplo CADWORK.

Todo esto se explica con un esquema más sencillo.

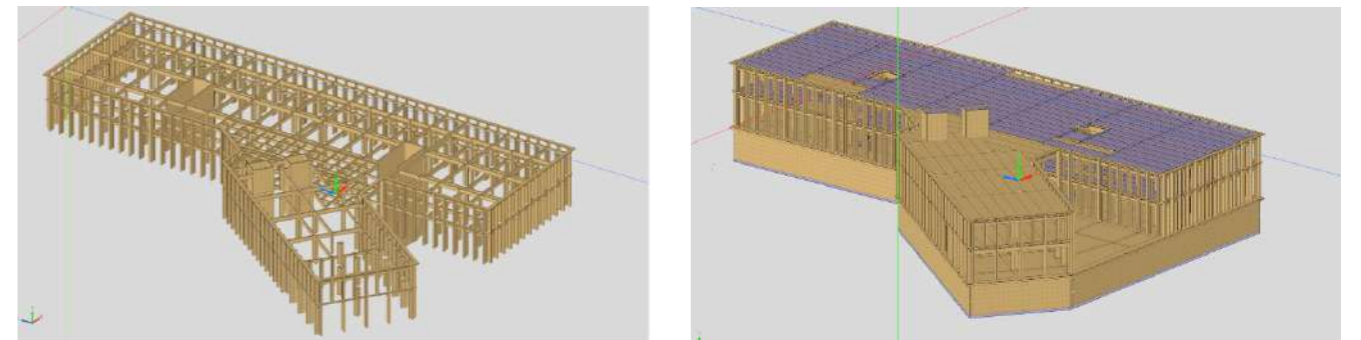


Tras esto se decide hacer un despiece de los elementos más real y por grupos.

Posteriormente se pretende introducir en estos grupos ya modelados en STR los elementos finales que componen la estructura. Llegando a modelar las chapas anclajes apoyos para obtener un nivel de detalle útil de cara a la importación a estos programas de fabricación finales.

La razón de ello es que a día de hoy este modelado se hace directamente en estos programas sin llegar a estudiar estas posibilidades.

Ejemplo de exportación a CADWORK. LOD 100 – 200.



Falta ver como diferenciar la visualización de los materiales.

En relación a la metodología BIM se plantea la relación de fases contempladas en la construcción

Fases del proyecto		
Filtros de fases		
Modificaciones de gráficos		
PASADO		
Nombre	Descripción	
1	Existente	
2	ARQ. EXCAVACIÓN	Movimiento de tierras
3	STR. CIMENTACIÓN	Cimentación de losa de hormigón
4	STR. HORMIGÓN	Estructura vertical de sótano y forjado de planta Baja + Núcleos de hormigón
5	STR. INTERIOR Madera	Estructura portante de madera
6	STR. FORJADOS Prefabricados	Forjados de paneles prefabricados de madera-hormigón
7	STR. EXTERIOR Madera	Estructura Exterior de madera
8	ARQ. FACHADA	Muros de fachada
9	ARQ. CUBIERTA ENVOLVENTE	Envolvente termica e impermeabilización
10	ARQ. CARPINTERIAS EXT	Carpinterías y muros cortina
11	ARQ. TABIQUERIA	Tabiquería ligera estructura autoportante madera
12	MEP. FONTANERIA	
13	MEP. HVAC	
14	MEP. ELECTRICIDAD	
15	ARQ. CUBIERTA ACABADO	Cubierta ajardinada
16	ARQ. ACABADOS SUELOS PARE	Acabados de suelo techos y tabiquería
17	ARQ. CARPINTERIAS INT	
FUTURO		

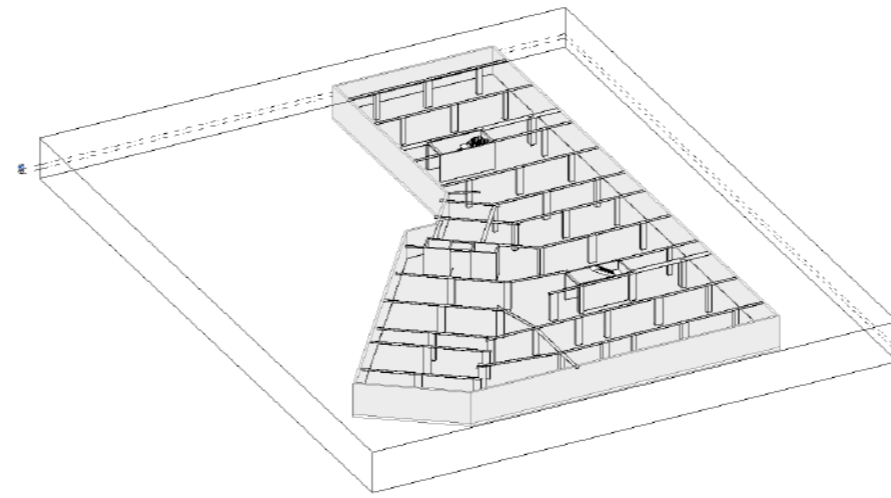
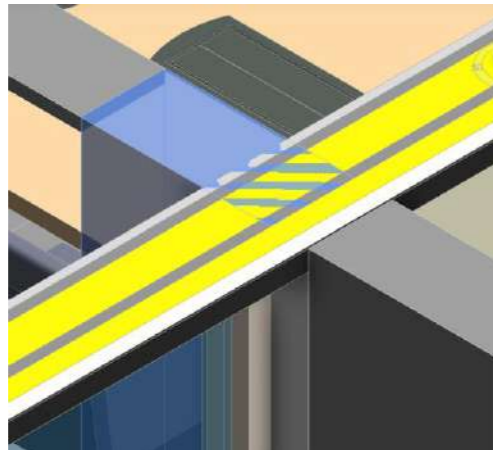
Estructura Interna.

La decisión se ha tomado de cara a la realización de la gestión y planificación para la realización del proyecto ajustándose lo máximo posible a la realidad. Las fases se han nombrado de cara a la disciplina y archivo donde se modelaran los elementos de cada fase. Siendo también los archivos publicación finales donde se obtendrán las tablas y planos finales.

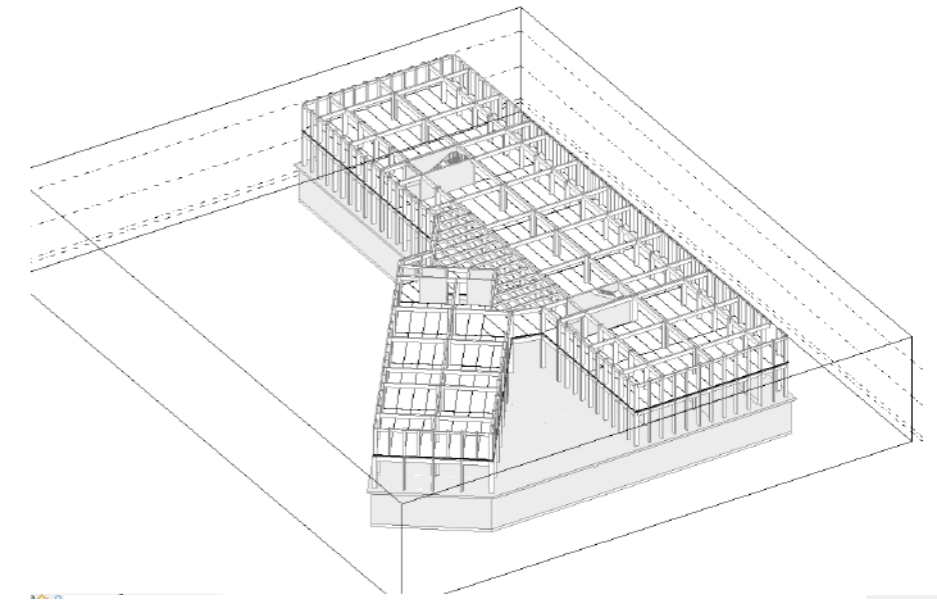
En cuanto al modelado también aclarar que se ha intentado llegar a una definición de los muros acabados y techos de cara a una mayor facilidad de medición.

Ejemplo:

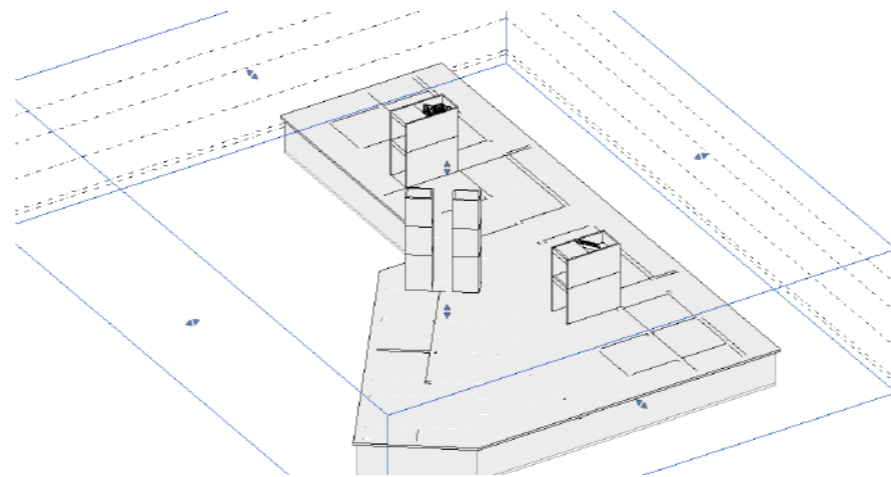
En el caso de la fachada donde el pilar coincide con la fachada en primer lugar se había modelado de esta manera.



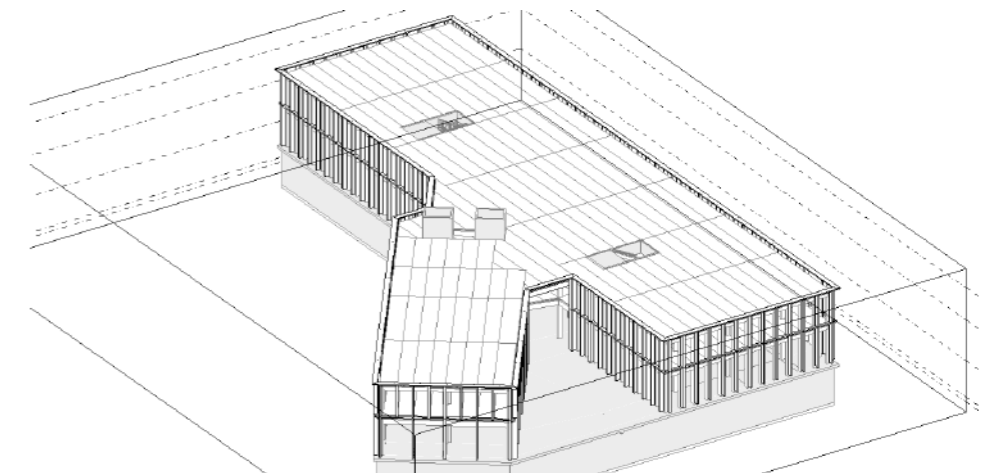
Fase acaba de cimentación. Inicio de STR. Hormigón



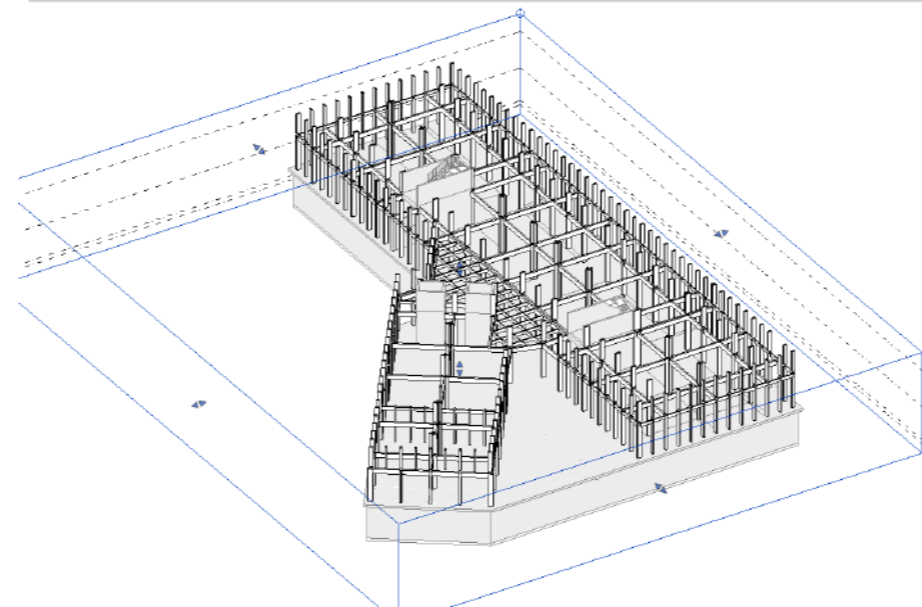
Montaje de forjados prefabricados de Hormigón-Madera



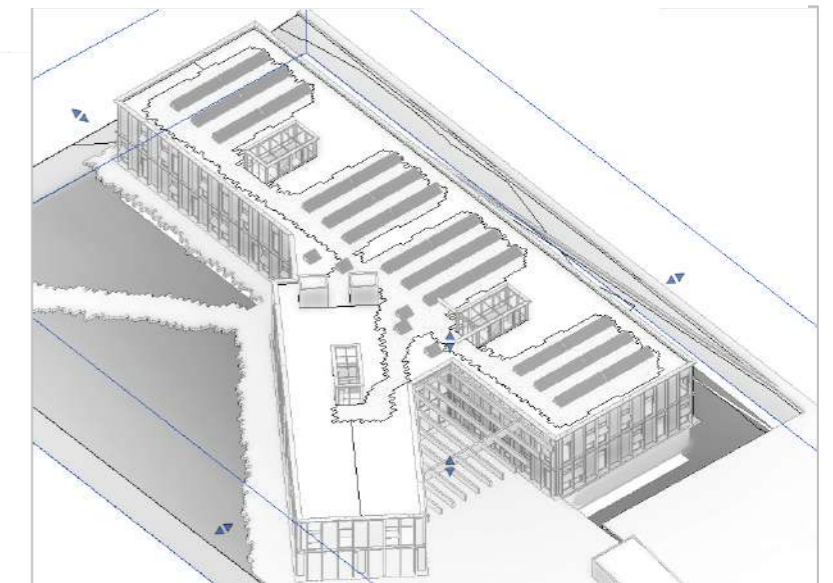
Fase acaba de Estructura de hormigón



Fase estructura acabada. Comienzo de Fachada y cubierta



Fase de estructura de madera



Edificio completo

Conclusiones Finales de Trabajo de Fin de Master

Tras el planteamiento inicial en el que se apostaba por un diseño estructural de un entramado pesado muy repetitivo combinándolo con un forjado de hormigón-madera se ha conseguido verificar en este ejercicio de investigación todos los objetivos planteados.

1. *Diseño del módulo de forjado y la tipología estructural en entramado pesado que permita unas distribuciones variables, altura suficiente para el uso terciario en el caso de estudio.*

Finalmente mediante los modelos analíticos de cálculo empleados se ha verificado que tanto constructivamente como estructuralmente el sistema constructivo cumple con todos los requisitos que se le exigía.

2. *Predimensionado y cálculo en base a una optimización del módulo de forjado, para transporte. (Dluba)*

Se ha explotado al máximo las herramientas del master y el programa para hacer unos planteamientos en base a diferentes diseños y tipologías.

3. *Diseño del sistema constructivo de acorde a una previa prefabricación, fácil transporte y puesta en obra.*

Se ha diseñado una estructura de dimensiones y elementos constructivos reales que permitan su prefabricación de una manera sencilla y estandarizada

4. *Predimensionado, cálculo de la estructura completa y análisis de estabilidad ante la posibilidad de aumentar la altura del edificio. (Dluba)*

Debido a la complejidad de los modelos se ha tenido que buscar la simplificación de los modelos para llegar a un cálculo completo de una parte del caso de estudio. Pudiéndose extrapolar en longitud y en altura en un futuro

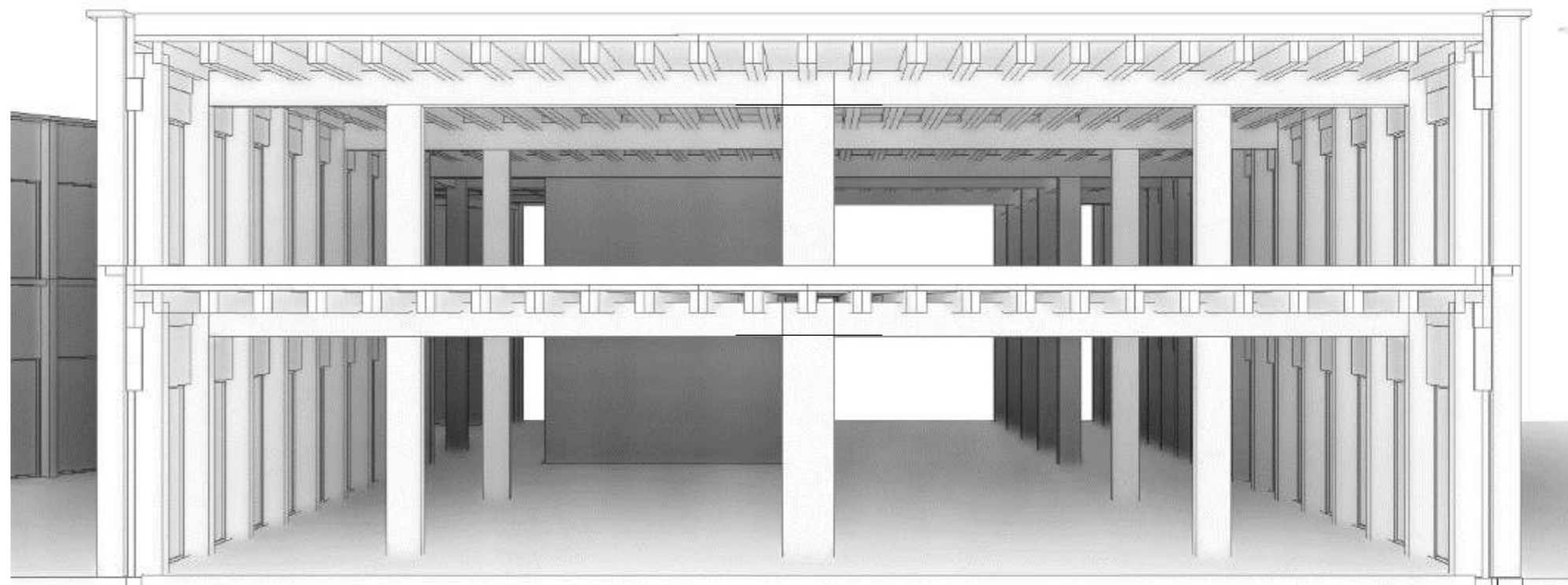
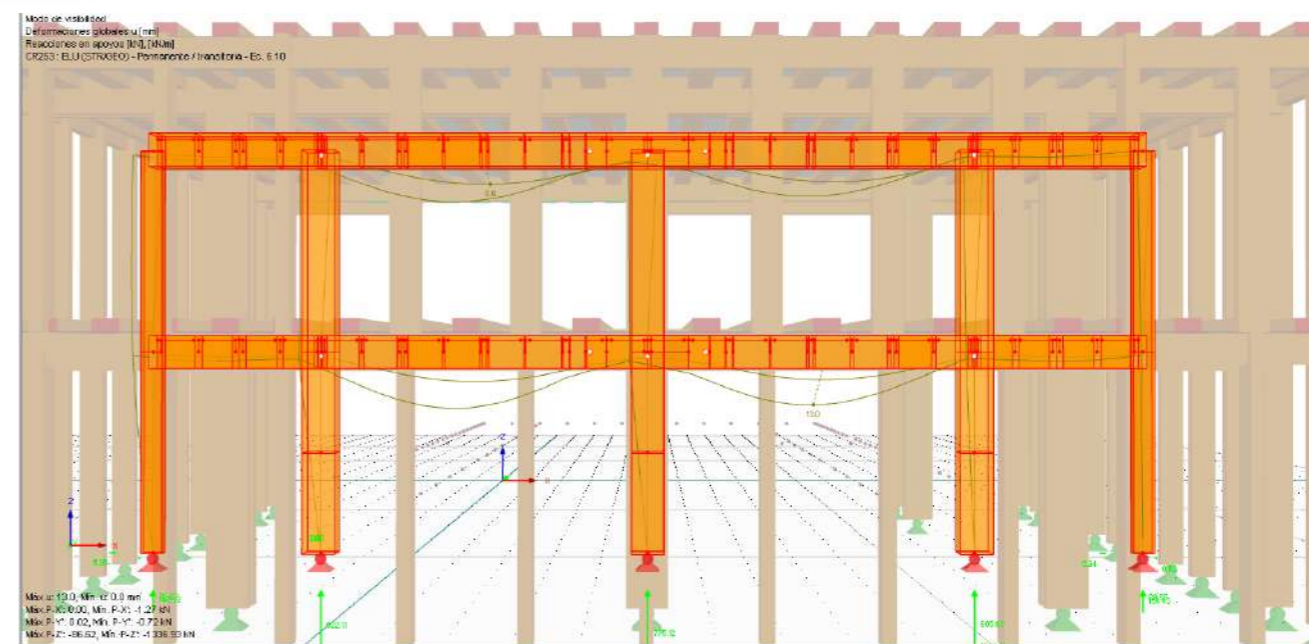
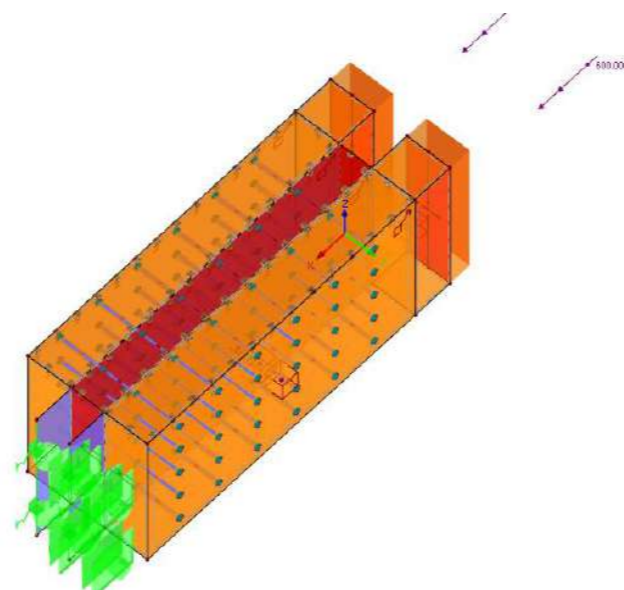
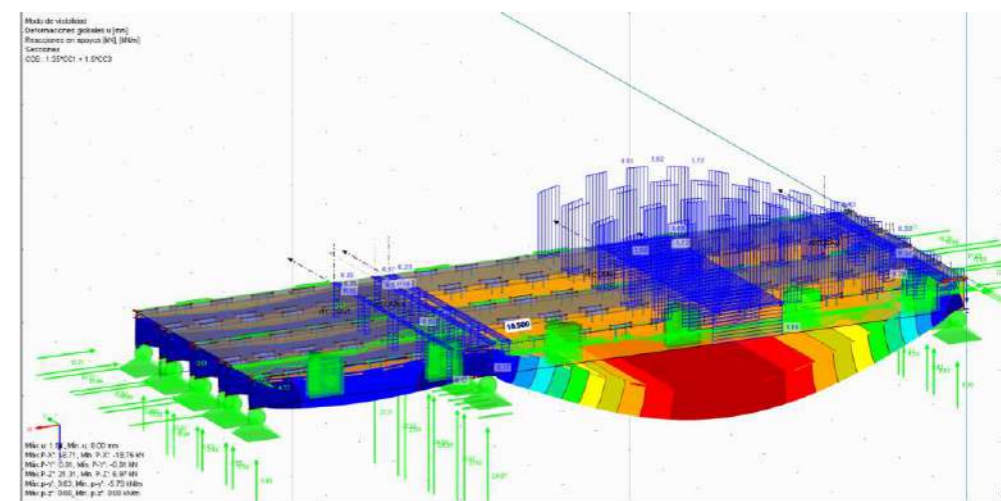
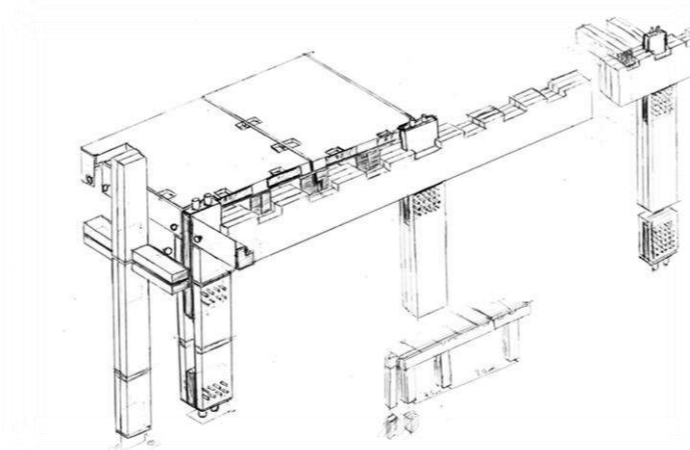
5. *Diseño de la solución constructiva de acorde a la tipología estructural que se base en unos criterios de sostenibilidad, soleamiento, puentes térmicos etc.*

Se ha tenido siempre especial cuidado en todos los diseños. Previendo pasos de conductos de instalaciones, separación entre las diferentes estructuras para el paso de envolvente térmica. Sobre dimensionado de elementos de fachada para reducir el sobsoleamiento en fachadas.

6. *Puesta en valor de la madera como acabado interior y la estructura de madera vista. Durabilidad, fuego y buen diseño constructivo.*

A pesar de no haber realizado un análisis pormenorizado de estos apartados sí que se ha tenido un especial cuidado diseñando todo el sistema.

- Sobredimensionando y duplicando elementos estructurales para la reacción al fuego.
- Utilización de bandas elásticas y acústicas para permitir dilataciones térmicas en las estructura de madera.
- La disposición de elementos metálicos que estarán protegidos por acabados.



Referencias y Bibliografía.

Contexto del Tema:

DE POBLACHON A POSMOCIUDAD. LA VITORIA REVOLUCIONARIA. // Antonio Rivera. // <https://es.slideshare.net/Fundacionsanchoelsabio/de-poblachn-a-posmociudad-la-vitoria-revolucionada>
INFORME DIAGNÓSTICO SOBRE EL ESTADO DE LA SOSTINIBILIDAD Y EL MEDIO AMBIENTE EN EL MUNICIPIO DE VITORIA-GASTEIZ.
PATRIMONIO INDUSTRIAL VASCO, Vol. 1 y 2. Colección de patrimonio cultural vasco

Bibliografía Idea desarrollada TFM:

ESTRUCTURAS DE MADERA, BASE DE *CALCULO. AITIM.* // Ramón Agüelles y F. Arriaga // 2013
PRODUCTOS DE MADERA PARA LA ARQUITECTURA. AITIM. // CSCAE 2005
EN MADERA, OTRA FORMA DE CONSTRUIR. EL MATERIAL CONSTRUCTIVO SOSTENIBLE DEL SIGLO. // Fsc España // Madrid 2018
MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS. // Roger Greeno, Roy Chudley. // Ed. Gustavo Gill

Referencias de construcción con Madera-Hormigón, y prefabricados.

Edificio de oficinas en Dornbirn Hermann Kaufmann ZT GmbH // Norman A. Müller (fot.) // Tectónica: monografías de arquitectura, tecnología y construcción, ISSN 1136-0062, N°. 41, 2013 (Ejemplar dedicado a: Fuego : protección), págs. 70-89 // Tectonica Mar 16 2015

Building Information Modeling (BIM) and Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) for Mass Timber Construction // Sheryl Staub-French, PhD, PEng; Erik A. Poirier, PhD; Francisco Calderon, MASc; Imen Chikhi, M. Arch.; Puyan Zadeh, Dr.-Ing; Divyarajsinh Chudasma; Shitian Huang // noviembre 2018 // BIM TOPiCS Research LabUniversity of British Columbia

Brock Commons Tallwood House

Case Study: An 18-storey tall mass timber hybrid student residence at the University of British Columbia // Paul Fast / Fast + Epp / Vancouver, Canada // 22. Internationales Holzbau-Forum IHF 2016

HORMIGÓN PREFABRICADO Y CONSTRUCCIÓN EN ALTURA. // Ramón Arauja // *TECTÓNICA* Mayo-Agosto 1997, N° 5 Hormigón (II) Prefabricado. // Madrid: ATC Ediciones. 1995

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS PREFABRICADOS APLICABLES A LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES EN PAÍSES EN DESARROLLO, TFM // Ing. Joel Novas Cabrera. // Universidad Politécnica de Madrid

CALCULO DE ESTRUCTURAS; FORJADOS MIXTOS MADERA-HORMIGÓN. MAAB Arquitectura. Pagina Web. <https://maabarquitecturasostenible.com/2014/04/22/calculo-de-estructuras-forjados-mixtos-madera-hormigon/>

Código Técnico de Edificación – Documento Básico - Seguridad Estructural – Madera // diciembre 2019

