



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO
BILBOKO INGENIEARITZA ESKOLA

Grado en Ingeniería Mecánica

TRABAJO FIN DE GRADO

2016 / 2017



***MESA ROTATIVA PARA ENSAMBLAJE DE PIEZAS DE CARROCERÍA POR
ENGRAPADO***

DOCUMENTO 3 - ANEXOS

TIPO DE DOCUMENTO:

- ORIGINAL
 COPIA

DATOS DEL ALUMNO

NOMBRE: ARATZ

APELLIDOS: FERNÁNDEZ DÍAZ

FDO.:

FECHA:

DATOS DEL DIRECTOR

NOMBRE: ANTON

APELLIDOS: GORRIÑO VICANDI

DEPARTAMENTO: INGENIERÍA MECÁNICA

FDO.:

FECHA:

ÍNDICE

Índice	1
1. Análisis elástico lineal	2
1. Definición.....	2
1.1. Objeto del cálculo.....	2
1.2. Descripción general.....	2
1.3. Modelo de elementos finitos	4
1.4. Materiales	5
1.5. Estados límite	5
1.6. Condiciones de contorno	6
2. Resultados de análisis elástico lineal.....	9
2.1. Perfil IPE120	10
2.2. Perfil IPE140	11
2.3. Perfil IPE160	12
2.4. Perfil IPE180	13
2.5. Resumen de resultados.....	14
2.6. Conclusiones.....	15
2. Análisis de comportamiento a fatiga.....	16
1. Definición.....	16
1.1. Objeto del cálculo.....	16
1.2. Descripción general.....	16
1.3. Modelo de elementos finitos	17
1.4. Materiales	18
1.5. Condiciones de contorno	19
1.6. Criterio de comprobación frente a fatiga	24
1.7. Cálculo de carrera de tensión admisible.....	25
2. Resultados de análisis de los casos de carga estáticos	26
2.1. Cálculo de carrera de tensión máxima.....	29
3. Modificación propuesta.....	30
4. Resultados de análisis de los casos de carga estáticos II	31
4.1. Cálculo de carrera de tensión máxima II.....	33

1. ANÁLISIS ELÁSTICO LINEAL

1. Definición

1.1. Objeto del cálculo

El presente trabajo desarrolla la simulación del comportamiento en tensión-deformación del bastidor mecano-soldado de la mesa giratoria.

El análisis estructural se realizará utilizando técnicas de cálculo basadas en métodos numéricos.

El objetivo del presente apartado será, la validación del bastidor desde el punto de vista de la seguridad estructural (resistencia) y de funcionalidad (Deformaciones en operación y en rotación por cambio de pieza).

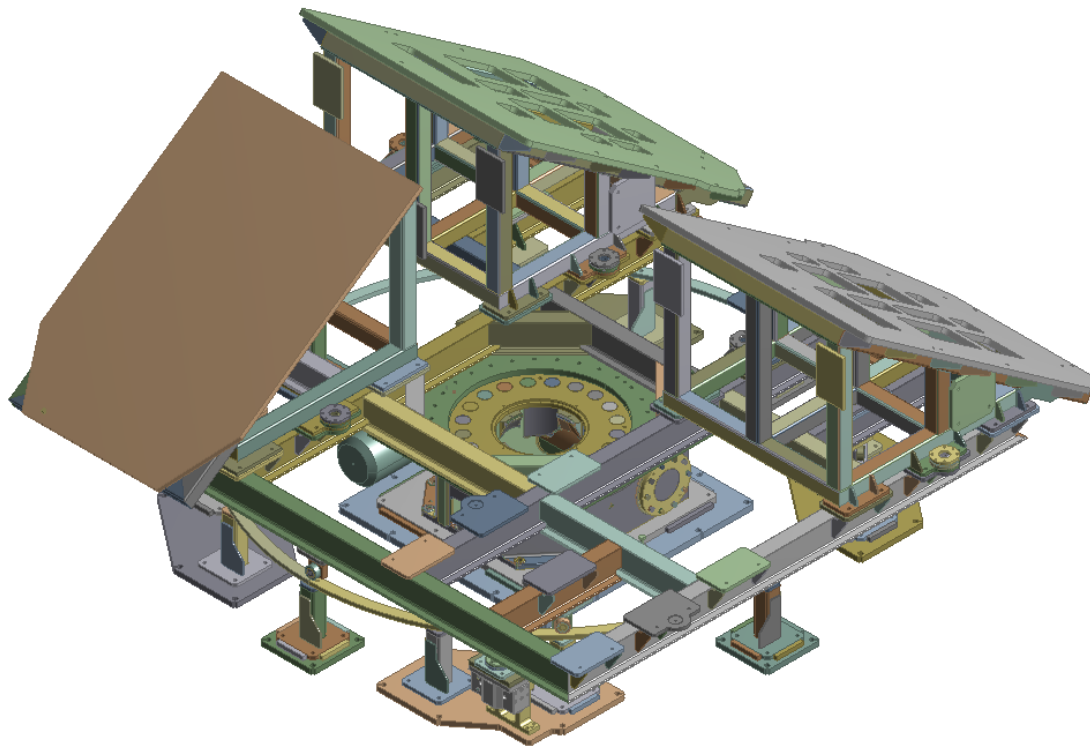


Imagen 1.1 – Conjunto de la mesa rotativa

1.2. Descripción general

El bastidor consta de una estructura plana formada con perfiles tipo IPE.

En la parte central inferior de la estructura se suelda una placa de espesor 25 mm que permite la unión atornillada de la estructura con la corona del sistema de giro.

Sobre la parte superior de la estructura se soldarán placas taladradas que permitirán la conexión atornillada de los conjuntos de bancada, cuna y pisadores.

En la parte inferior de la estructura se soldarán placas taladradas que permitirán la conexión atornillada de seis ruedas que apoyarán sobre un carril circular fijo a la

cimentación, permitiendo de este modo reducir los desplazamientos verticales del bastidor.

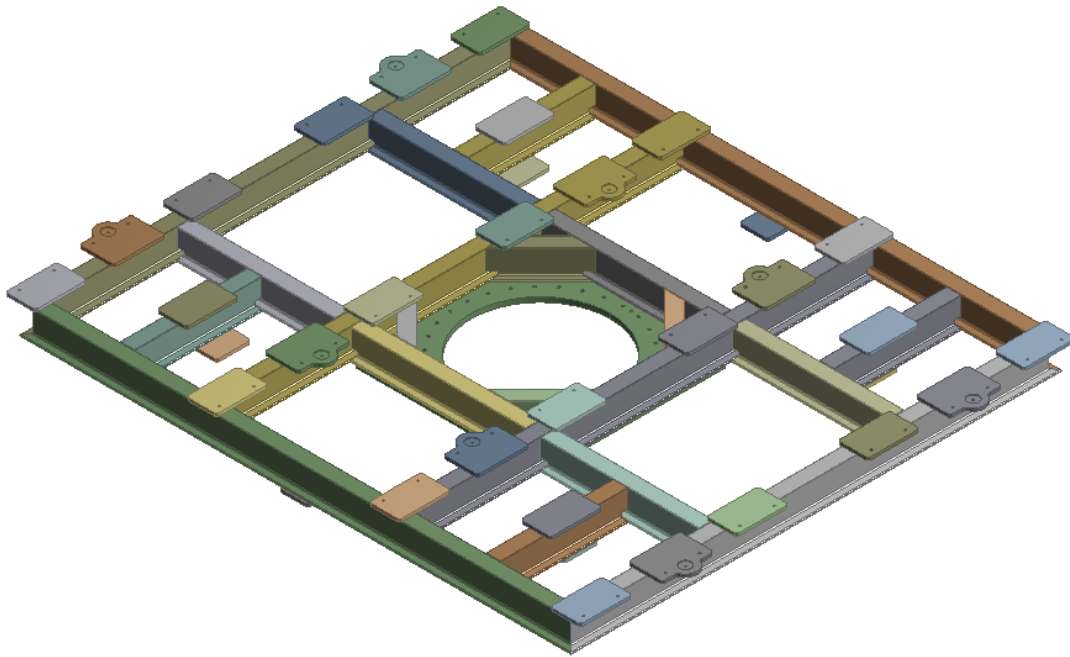


Imagen 1.2 – Bastidor de la mesa rotativa (diseño de partida)

En la imagen 1.3 se muestra la geometría y las dimensiones del modelo de estructura empleado para el cálculo.

Se han prolongado los perfiles (marcado en verde en la figura) sobre los que se fijan las ruedas de apoyo interiores para transmitir de forma eficaz las cargas a dichos apoyos.

Los perfiles empleados en la simulación son IPE 160, IPE 180 e IPE 200 (Se presentan resultados para todos ellos).

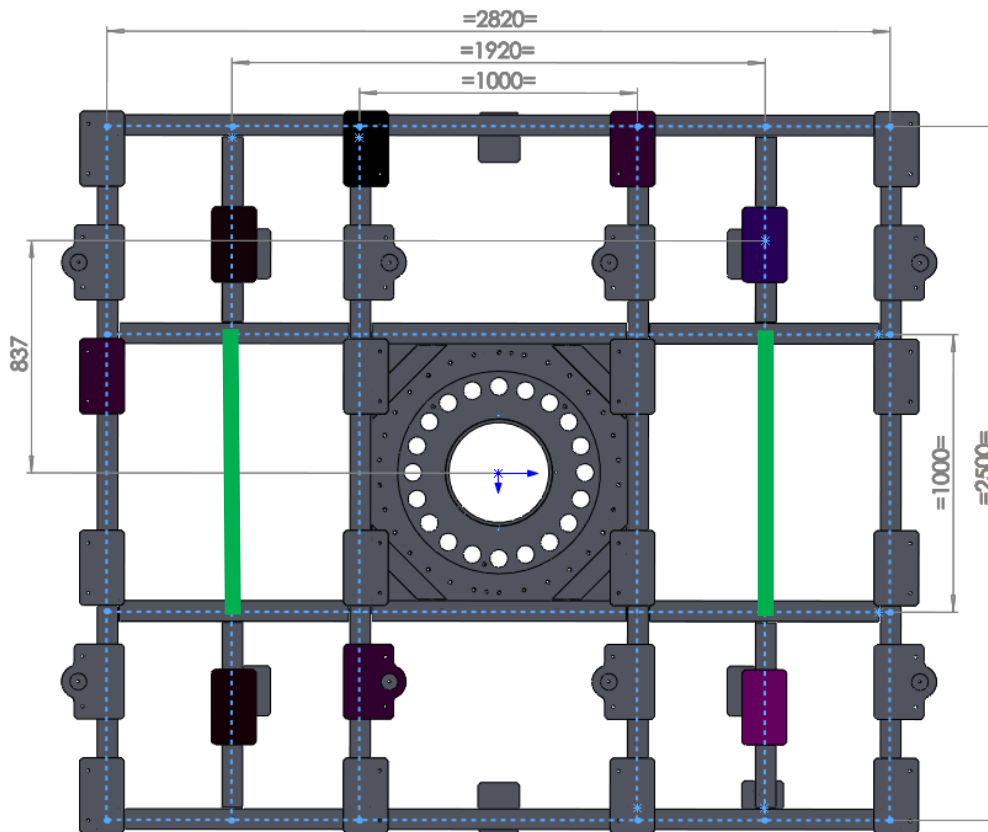


Imagen 1.3 – Detalle dimensional del bastidor

1.3. Modelo de elementos finitos

Los perfiles estructurales que forman el bastidor se modelan empleando elementos tipo viga BEAM189.

La chapa de conexión al sistema de giro se modela empleando elementos tipo placa SHELL281.

El peso de los conjuntos bancada-cuna-pisadores se modela con elementos de masa MASS21 situados en la posición del centro de masa de los mismos.

Para conectar las masas de los conjuntos bancada-cuna-pisador al bastidor de giro, se emplean elementos de contacto tipo CONTA175 y TARGE170.

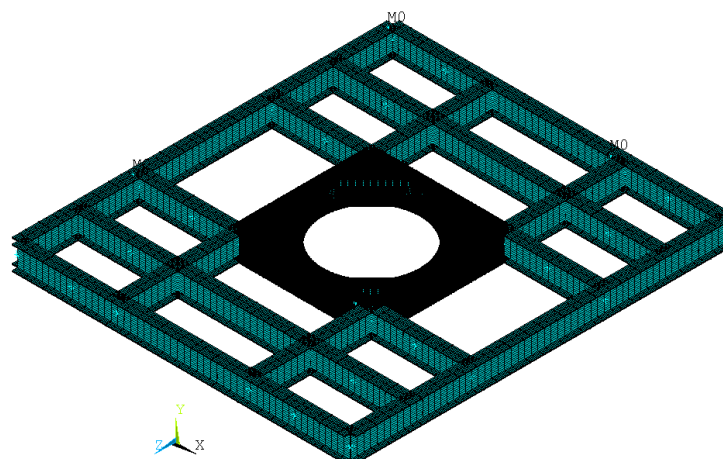


Imagen 1.4 – Modelo de elementos finitos

Elementos BEAM189	1656
Nodos	4950
Elementos SHELL281	20880
Nodos	64184
Elementos TARGE170	4
Elementos MASS21	4
Elementos CONTA175	28

1.4. Materiales

A continuación se recogen los valores de las propiedades mecánicas de los aceros a emplear, según *UNE-EN 10025-2:2005*, necesarias para simular el comportamiento estructural del bastidor.

En todo caso se presupone un comportamiento elástico-lineal de los materiales.

Propiedad	Magnitud	
Módulo Elástico (Pa)	2,1x10 ¹¹	
Coefficiente de Poisson	0,3	
Densidad (kg/m ³)	7850	
Límite elástico (MPa)	e ≤ 16 mm	275
	16 mm < e ≤ 40 mm	265
	40 mm < e ≤ 63 mm	255
Tensión de rotura (MPa)	3 mm < e ≤ 100 mm	410

1.5. Estados límite

En el método de los estados límite, se definen estos como aquellas situaciones para las que, de ser superadas, puede considerarse que la estructura (o elemento estructural) no cumple alguna de las funciones para las que ha sido proyectada.

Generalmente los estados límites se clasifican en:

Estados límite último (ELU):

- Se relacionan con la seguridad del conjunto, siendo todos aquellos modos de fallo que pueden producir una puesta fuera de servicio de aquél, por colapso o por rotura del conjunto, o una parte del mismo. Se consideran como significativos los siguientes modos de fallo:
 - Resistencia, sin superar el valor de agotamiento de tensiones en ninguno de sus puntos.

Estados límite de servicio (ELS):

- Se consideran como estados límite de servicio o de utilización, todas aquellas situaciones a las que se pueda ver sometido el conjunto y que motiven que no se cumplan los requisitos de funcionalidad, de durabilidad o de aspecto requeridos.
 - En este caso se considera el estado límite de deformación excesiva. En el informe se indicarán los desplazamientos máximos para cada

configuración de diseño, pero se dejará a criterio del cliente la validación de dichos resultados.

1.6. Condiciones de contorno

1.6.1. Apoyos

Dado que todas las cargas que aplican sobre la estructura son debidas al peso de los distintos componentes, la placa de conexión apoyará transmitiendo las cargas sobre la arista exterior de la corona del sistema de giro y será mantenida en su posición respecto al plano horizontal gracias a los pernos de fijación que la unen a la corona.

En la posición de trabajo los extremos de la estructura se fijarán con un enclavamiento en el centro de los perfiles exteriores.

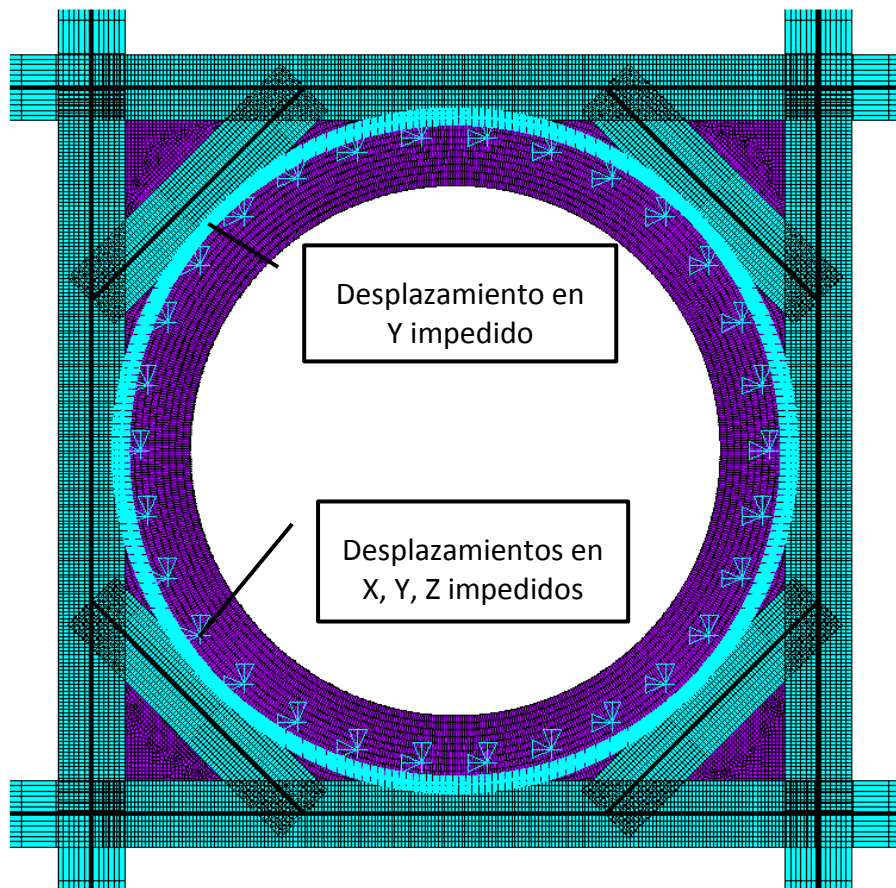


Imagen 1.5 – Superficie de apoyo del bastidor sobre el sistema de giro

Para simular el comportamiento de estos apoyos se aplican las siguientes condiciones de contorno:

- Se impiden los desplazamientos verticales en la arista de contacto entre la placa y el diámetro exterior de la corona.
- Se impiden los desplazamientos en X, Y, Z de los nodos ubicados en las posiciones de los tornillos de unión de la placa con la corona (30 pernos a 12°).
- Se impide el desplazamiento vertical en los puntos de conexión del bastidor con las ruedas de apoyo.

- No se considera el efecto del enclavamiento ya que solo se instala en un vértice y no modifica los desplazamientos y tensiones máximas obtenidas en el análisis.
- No se considera en el cálculo el efecto de la deformación de los carriles circulares sobre los que apoyan las ruedas.

1.6.2. Acciones

Las acciones que se tendrán en cuenta son:

- Peso propio de la estructura
- Peso propio de los conjuntos Bancada-Cuna-Pisador

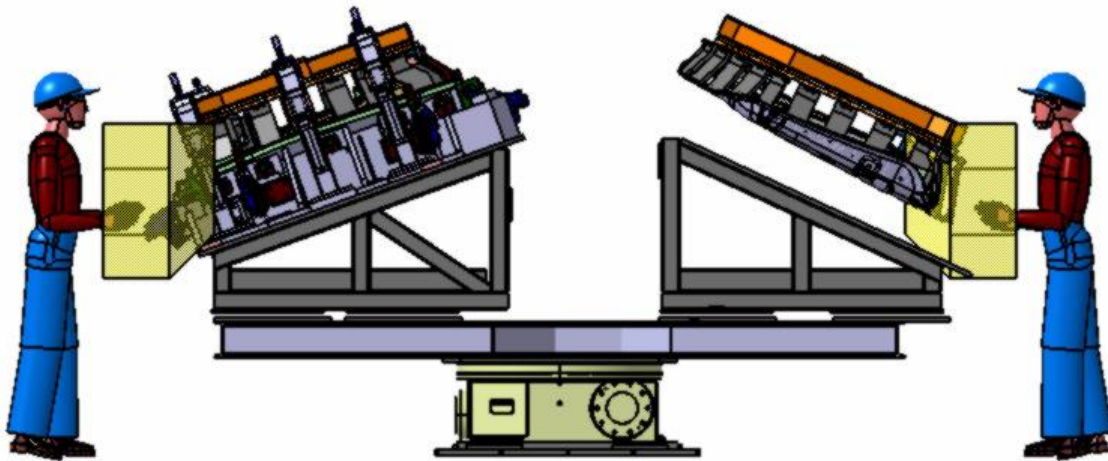


Imagen 1.6 – Esquema elemental de la mesa

El peso del conjunto Bancada-Cuna-Pisador será (en kg):

Bancada	550
Cuna	1100
Pisador	200
Peso conjunto unitario	1850
Peso conjunto global (x4)	7400

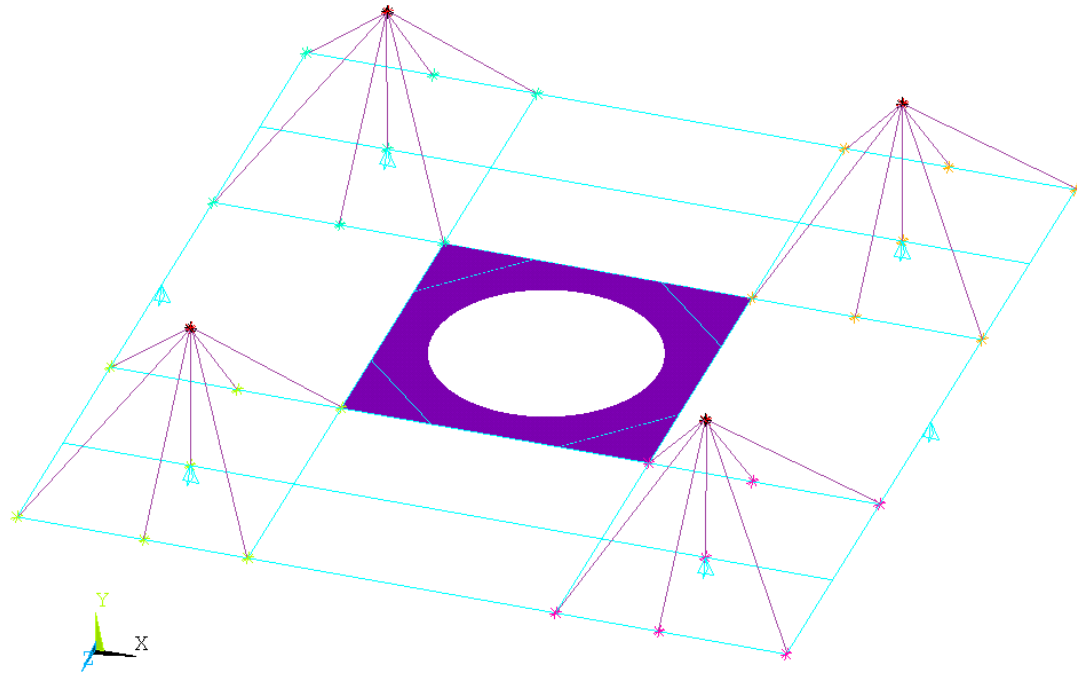


Imagen 1.7 – Esquema básico del bastidor con los centros de masa de los conjuntos bancada-cuna-pisadores

1.6.3. Casos de carga

- **Caso de Carga 1 (ELU):** $1,35 \times$ Peso Propio Bastidor + $1,50 \times$ Peso Propio Conjuntos Bancada-Cuna-Pisadores.
 - Que se empleará para la comprobación de los estados límite último.
- **Caso de Carga 2 (ELS):** $1,00 \times$ Peso Propio Bastidor + $1,00 \times$ Peso Propio Conjuntos Bancada-Cuna-Pisadores.
 - Que se empleará para la comprobación de los estados límite de servicio.

2. Resultados de análisis elástico lineal

Dado que se deja a criterio del cliente la validación de los desplazamientos máximos admisibles de la estructura, se muestran en el informe los resultados de tensiones y desplazamientos obtenidos para los tres tamaños de perfil estructural analizados:

- Perfil IPE120
- Perfil IPE140
- Perfil IPE160
- Perfil IPE180

Nota: En todos los casos se considera un espesor de placa de anclaje al pivote central de 25 mm.

2.1. Perfil IPE120

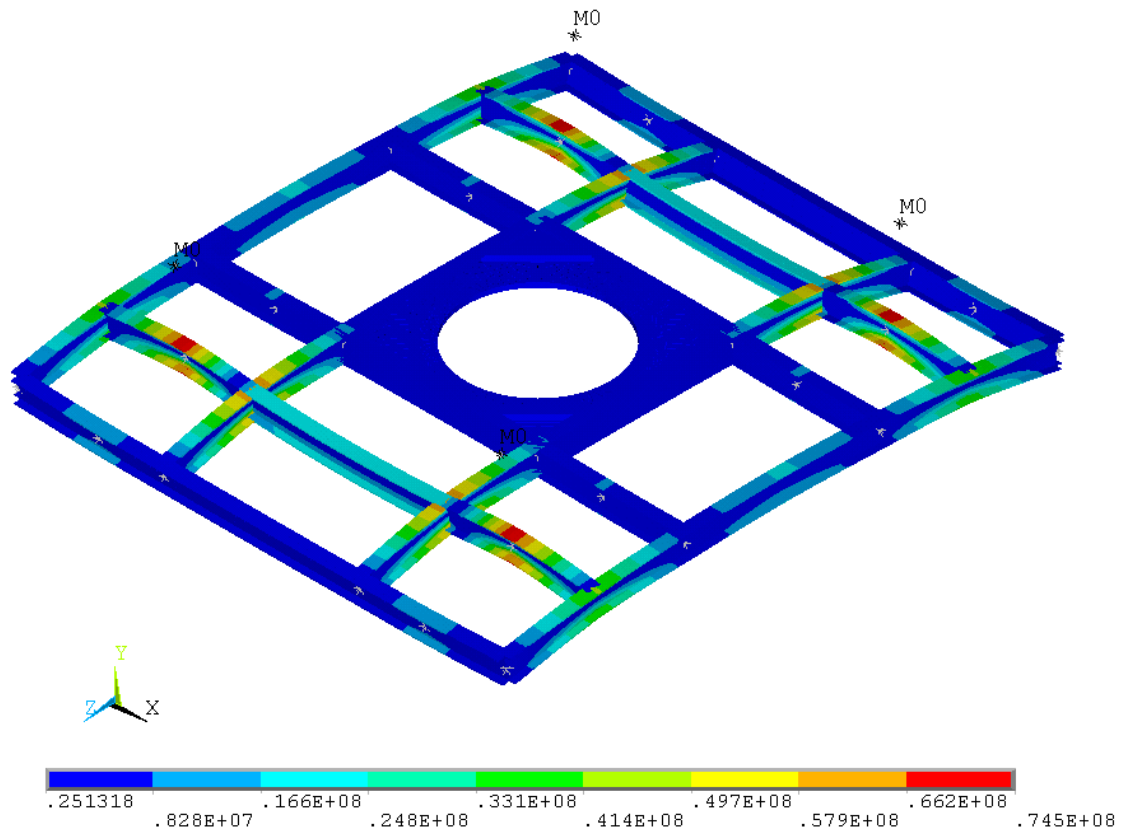


Imagen 1.8 – Caso de Carga 1: Perfiles IPE120 -Tensión Equivalente de Von Mises [Pa]

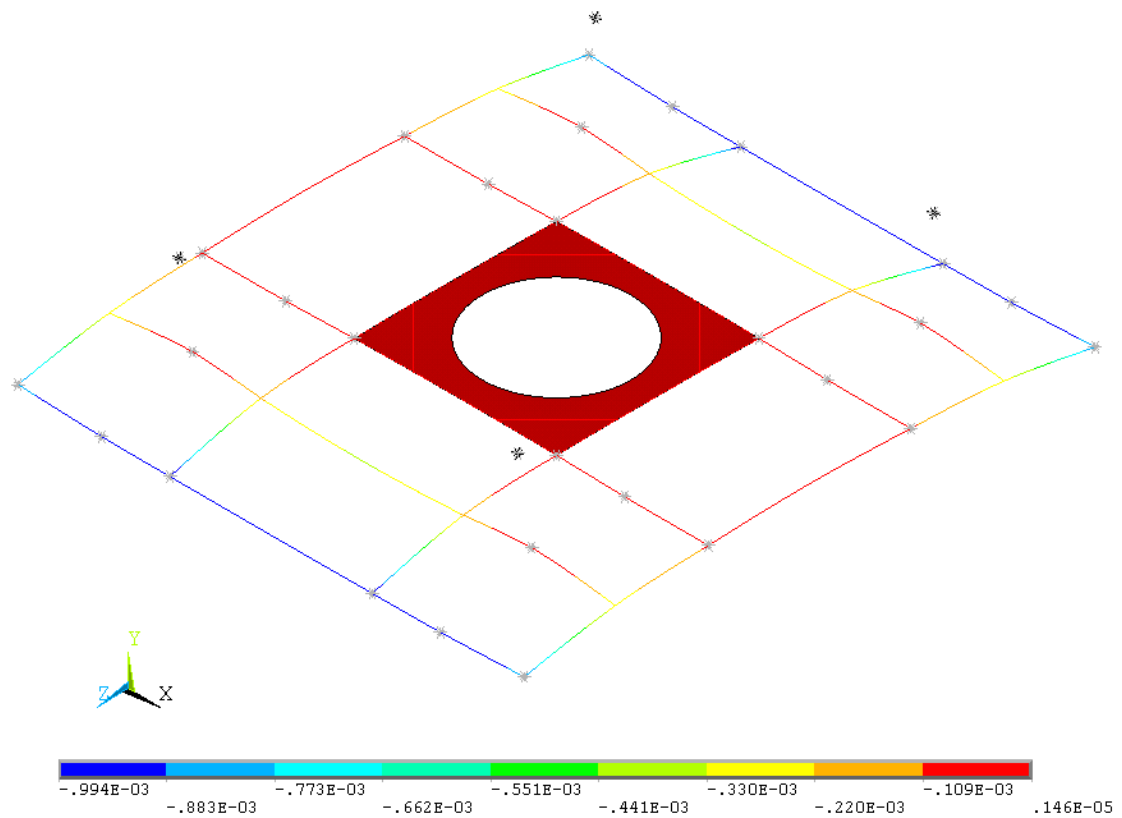


Imagen 1.9 – Caso de Carga 2: Perfiles IPE120 - Módulo de desplazamientos verticales [m]

2.2. Perfil IPE140

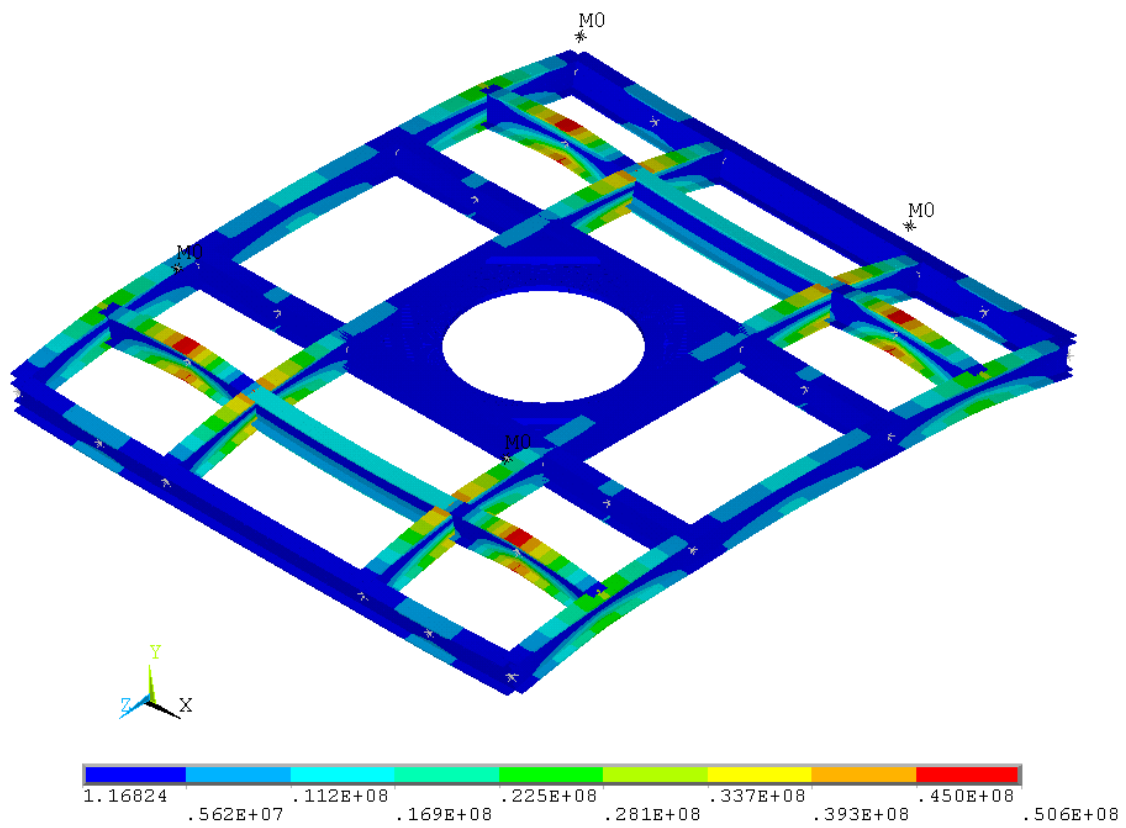


Imagen 1.10 – Caso de Carga 1: Perfiles IPE140 -Tensión Equivalente de Von Mises [Pa]

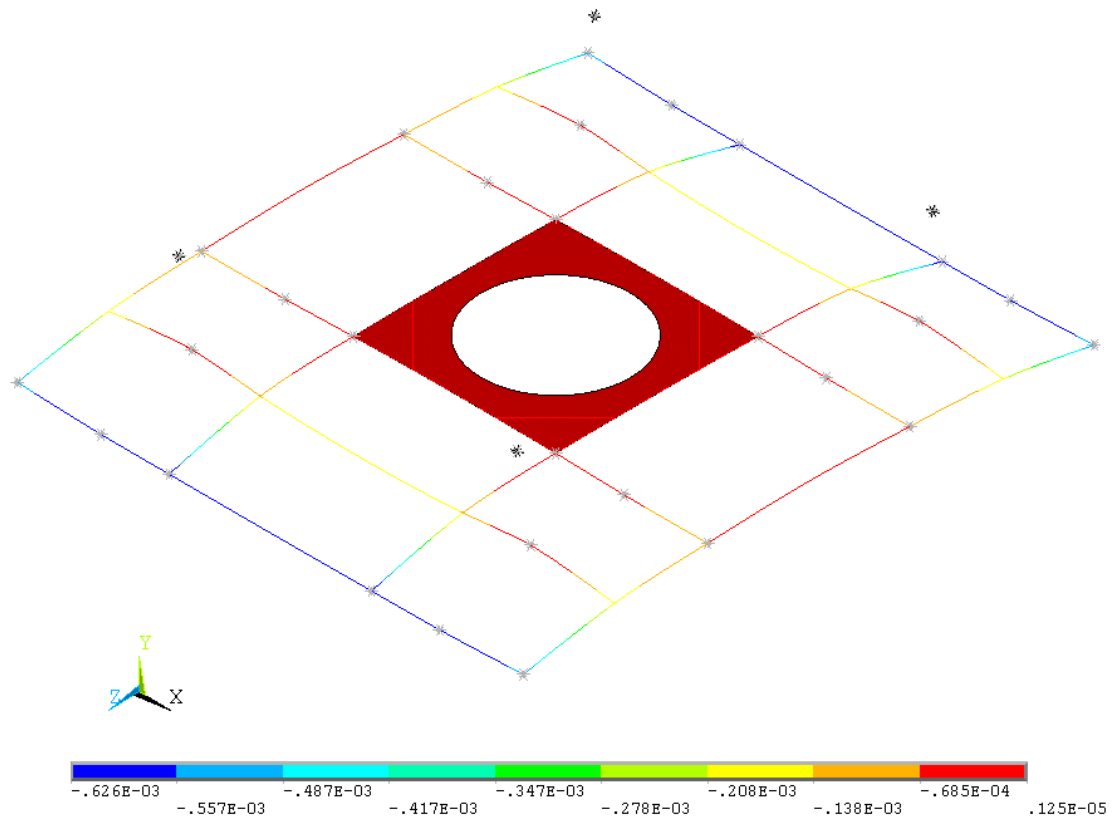


Imagen 1.11 – Caso de Carga 2: Perfiles IPE140 - Módulo de desplazamientos verticales [m]

2.3. Perfil IPE160

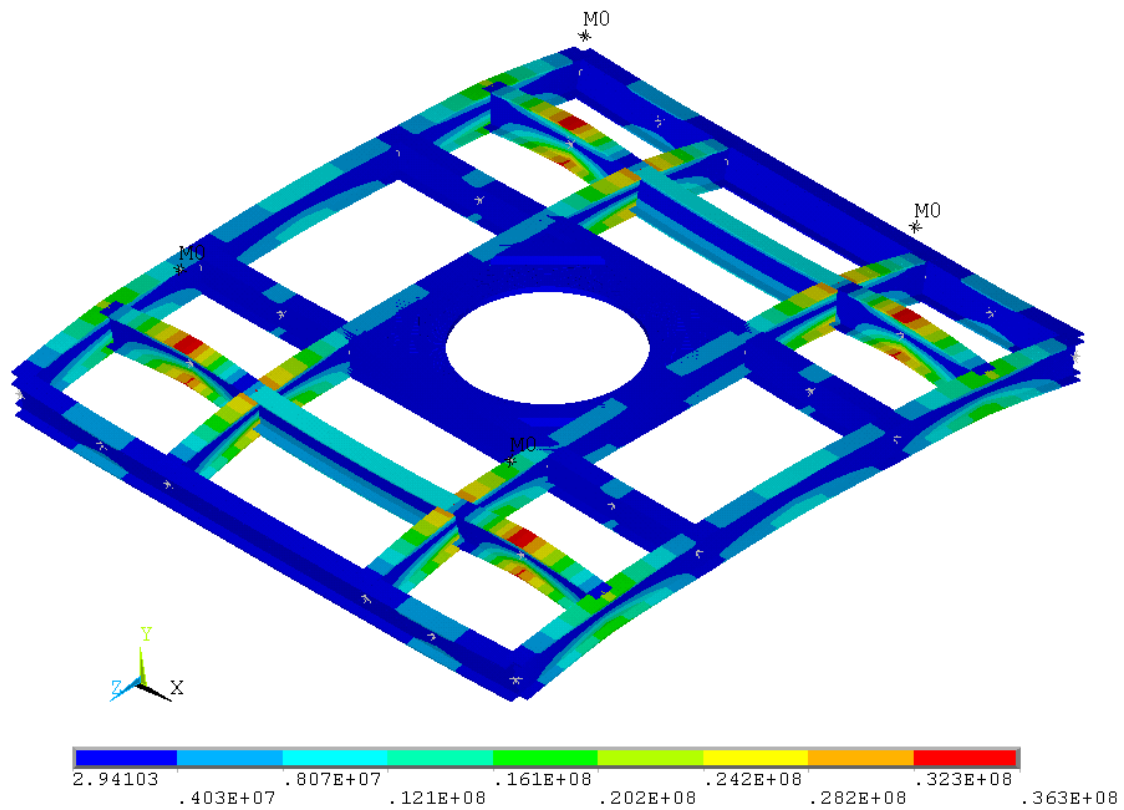


Imagen 1.12 – Caso de Carga 1: Perfiles IPE160 - Tensión Equivalente de Von Mises [Pa]

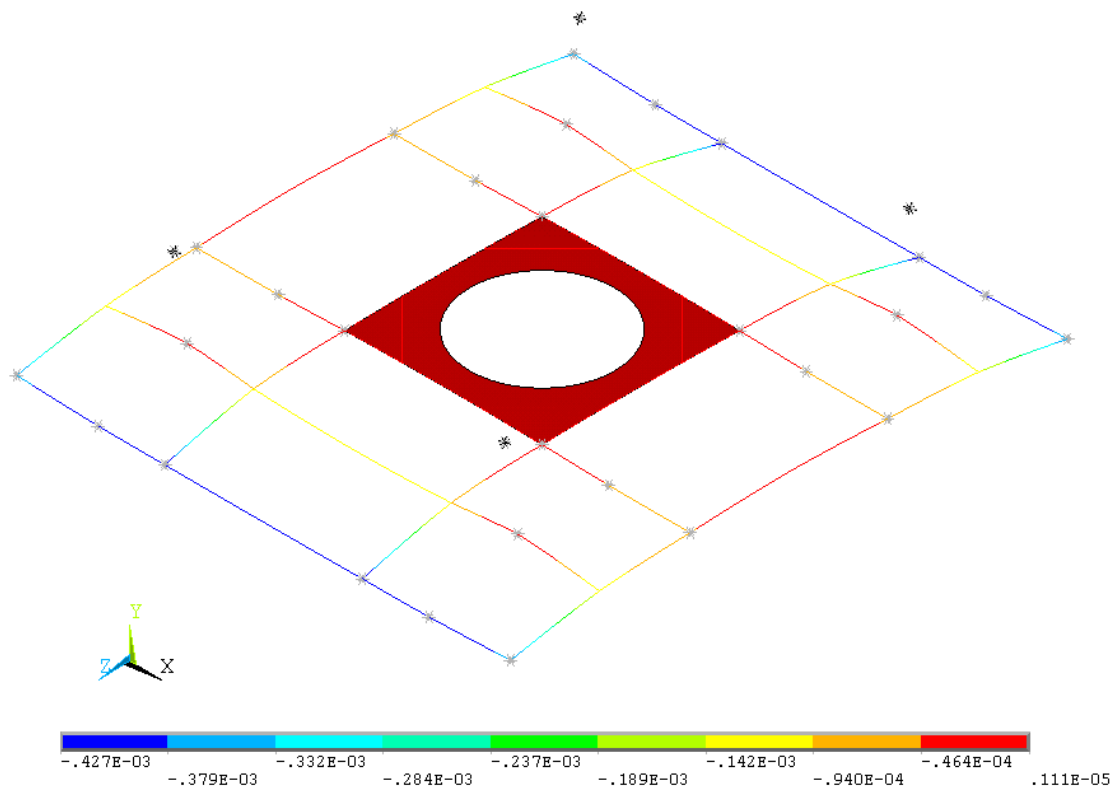


Imagen 1.13 – Caso de Carga 2: Perfiles IPE160 - Módulo de desplazamientos verticales [m]

2.4. Perfil IPE180

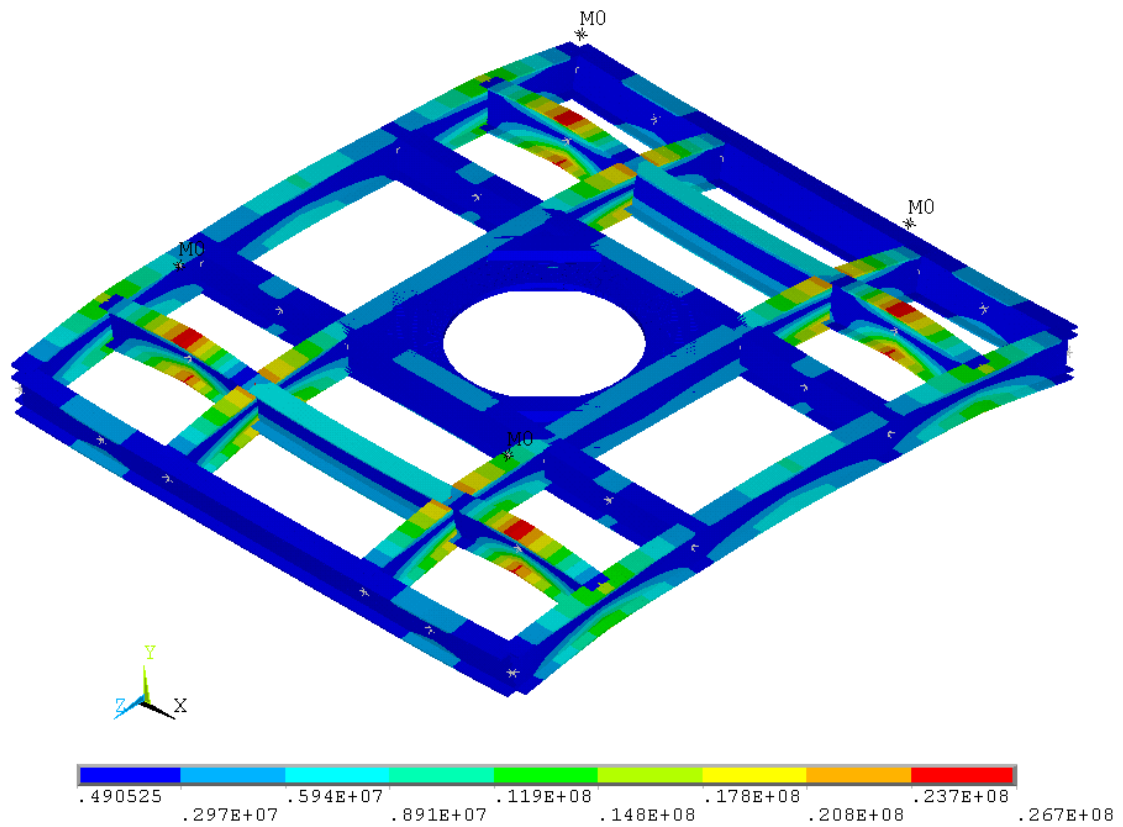


Imagen 1.14 – Caso de Carga 1: Perfiles IPE180 - Tensión Equivalente de Von Mises [Pa]

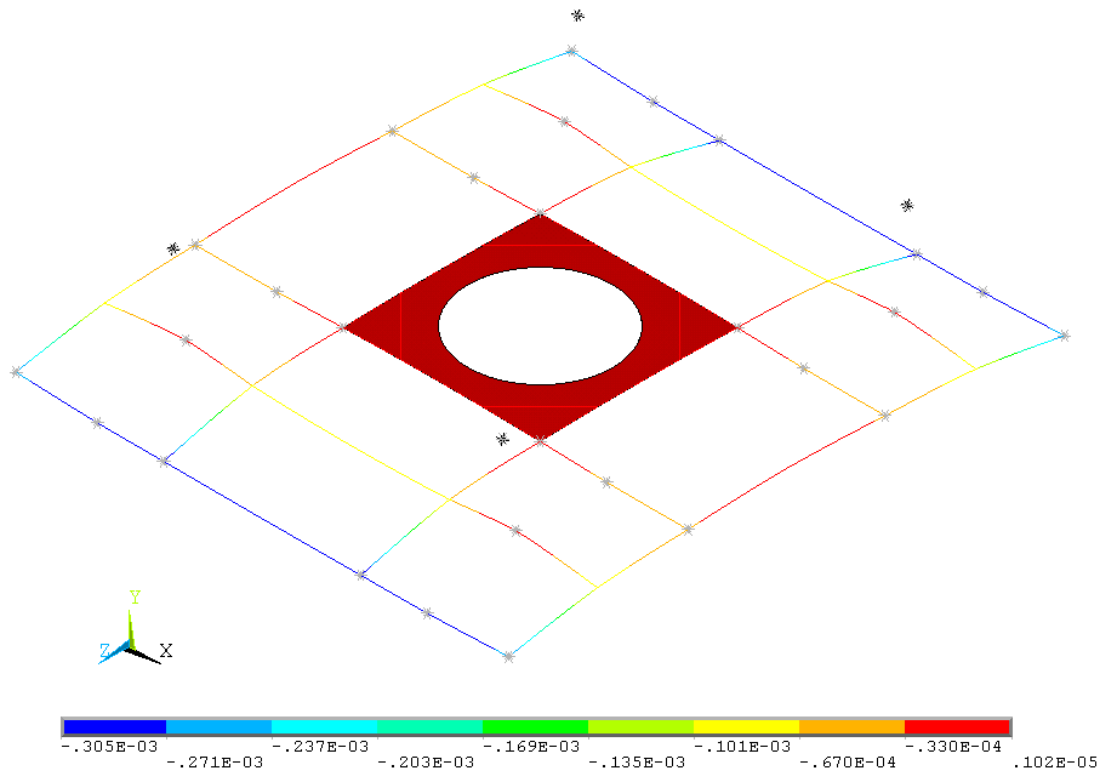


Imagen 1.15 – Caso de Carga 2: Perfiles IPE180 - Módulo de desplazamientos verticales [m]

2.5. Resumen de resultados

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos de los análisis realizados sobre los distintos diseños.

No se ha considerado en el análisis la rigidez de las bancadas de montaje de las cunas y pisadores, por lo que los resultados obtenidos se encuentran del lado de la seguridad.

	Tensión Máxima (MPa)	Desplazamiento Máximo (mm)
Perfiles IPE120	75	1
Perfiles IPE140	50	0,63
Perfiles IPE160	36	0,43
Perfiles IPE180	27	0,31

En la siguiente tabla se resumen las reacciones verticales obtenidas en las ruedas de apoyo. Dado que tanto la estructura como la posición de las ruedas son simétricas respecto a los dos planos ortogonales, las reacciones en las ruedas serán iguales para todas las ruedas interiores entre sí y lo mismo ocurrirá con las exteriores.

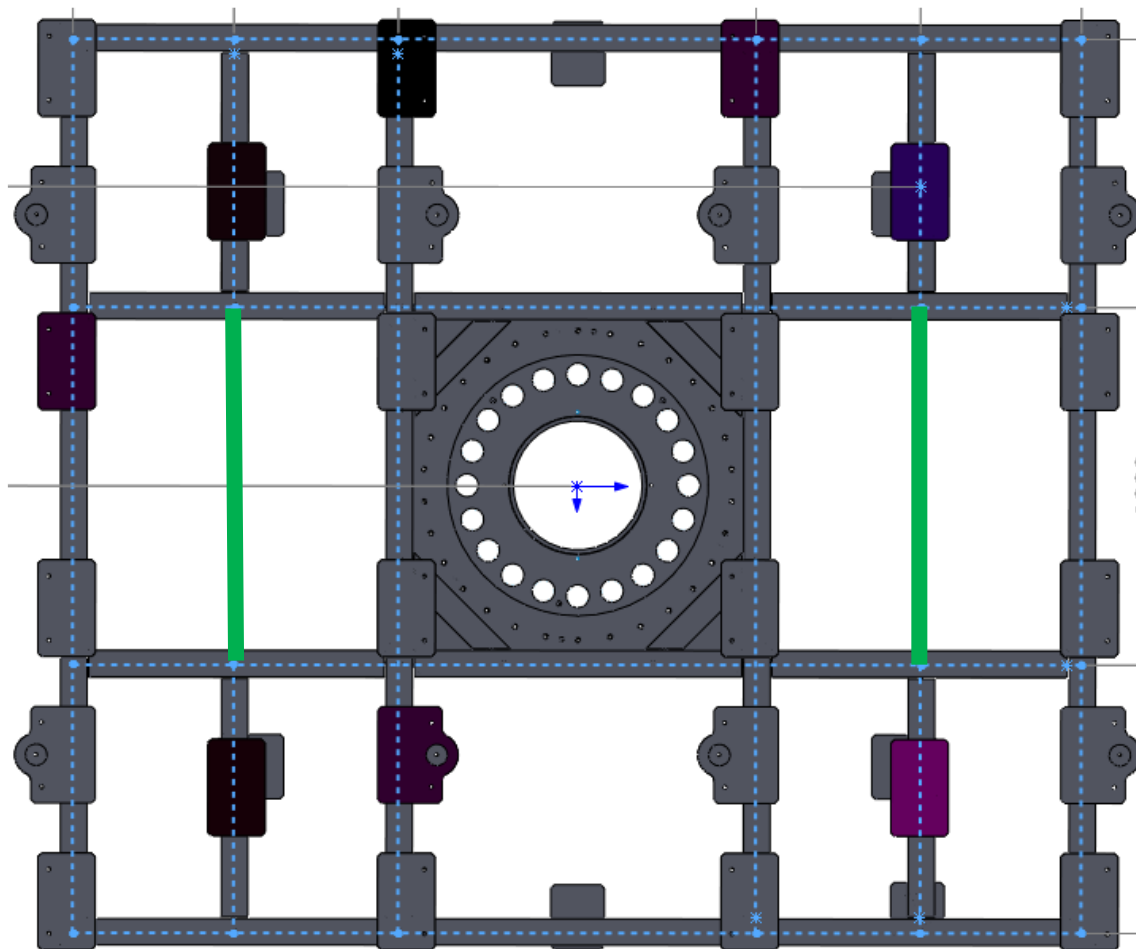


Imagen 1.16 – Posición de las deformaciones críticas, en apoyos de ruedas interiores y exteriores

Las reacciones corresponden al caso de carga 2 (coeficientes de mayoración de carga = 1) y se detallan para caso de estructura (en función del tamaño del perfil IPE).

Ruedas	Fy (N)			
	IPE120	IPE140	IPE160	IPE180
Interiores (x4)	17788	17715	17638	17553
Exteriores (x2)	2053	2263	2473	2697

2.6. Conclusiones

La seguridad del bastidor se garantiza con la revisión de los resultados de los análisis y comparación de los esfuerzos y desplazamientos resultantes con los estados límites previamente definidos.

Estados límite último (ELU):

- La estructura resistente del bastidor presenta una seguridad suficiente, frente al estado límite de agotamiento resistente, según las hipótesis de carga estudiadas para los cuatro tamaños de perfil analizados

Estados límite de servicio (ELS):

- Los desplazamientos obtenidos están dentro de los rangos esperados, si bien el cliente debe seleccionar el más adecuado para el uso previsto, según se muestra en la tabla de la página 18 del presente informe.

A la vista de los resultados, se decide fabricar el bastidor con perfiles IPN160 y eliminar las ruedas exteriores dado que apenas trabajan.

2. ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO A FATIGA

1. Definición

1.1. Objeto del cálculo

El presente trabajo desarrolla la simulación del comportamiento de tensión-deformación del bastidor mecano-soldado de una mesa giratoria bajo cargas dinámicas, una vez realizado un análisis estático lineal previo del mismo.

El análisis estructural se realizará utilizando técnicas de cálculo basadas en métodos numéricos.

El objetivo del presente estudio será la validación del bastidor bajo cargas dinámicas para un número de número de ciclos de carga determinados.

1.2. Descripción general

En la imagen 2.1 se muestra el bastidor de la mesa, fabricado con perfiles IPN160. Marcadas en rojo en la imagen, se muestra la posición de las cuatro ruedas que apoyan sobre un carril de rodadura que limita los desplazamientos verticales del bastidor.

La geometría del bastidor se corresponde con la definida previamente en este mismo informe.

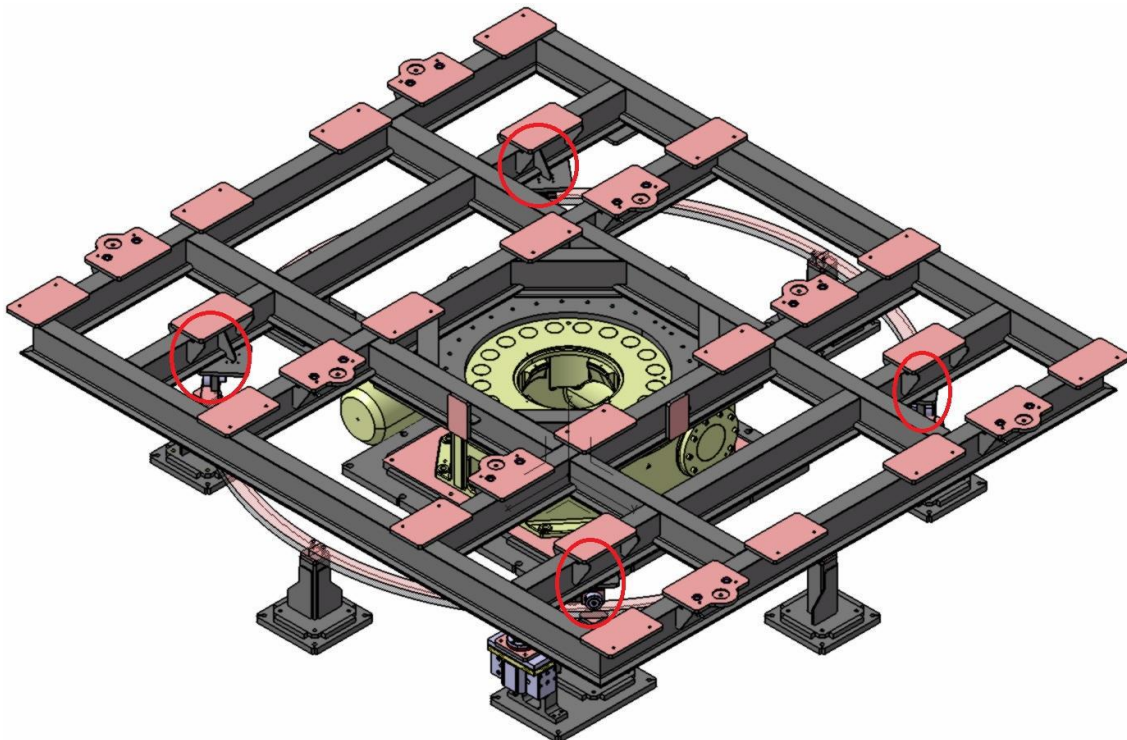


Imagen 2.1 – Posición de las ruedas de apoyo del bastidor

1.3. Modelo de elementos finitos

Los perfiles estructurales que forman el bastidor se modelan empleando elementos tipo viga BEAM189.

La chapa de conexión al sistema de giro se modela empleando elementos tipo placa SHELL281.

El peso de los conjuntos bancada-cuna-pisadores se modela con elementos de masa MASS21 situados en la posición del centro de masa de los mismos.

Para conectar las masas de los conjuntos bancada-cuna-pisador al bastidor de giro, se emplean elementos de contacto tipo CONTA175 y TARGE170.

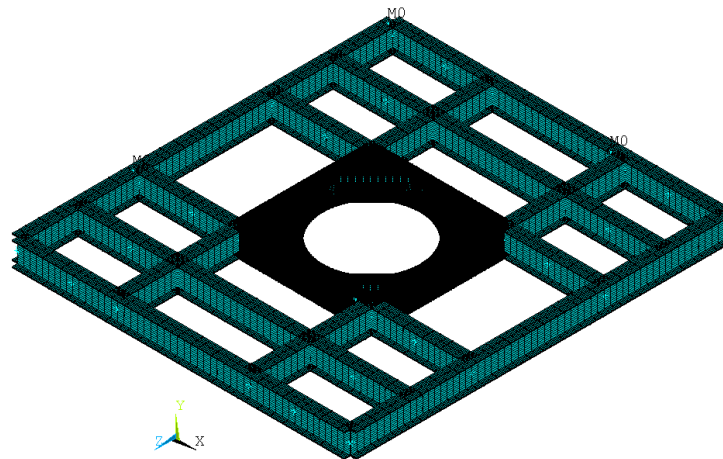


Imagen 2.2 – Modelo de elementos finitos

Elementos BEAM189		1656
	Nodos	4950
Elementos SHELL281		20880
	Nodos	64184
Elementos TARGE170		4
Elementos MASS21		4
Elementos CONTA175		28

1.4. Materiales

A continuación se recogen los valores de las propiedades mecánicas de los aceros a emplear, según *UNE-EN 10025-2:2005*, necesarias para simular el comportamiento estructural del bastidor.

En todo caso se presupone un comportamiento elástico-lineal de los materiales.

Propiedad	Magnitud	
Módulo Elástico (Pa)	2,1x10 ¹¹	
Coefficiente de Poisson	0,3	
Densidad (kg/m ³)	7850	
Límite elástico (MPa)	e ≤ 16 mm	275
	16 mm < e ≤ 40 mm	265
	40 mm < e ≤ 63 mm	255
Tensión de rotura (MPa)	3 mm < e ≤ 100 mm	410

1.5. Condiciones de contorno

1.5.1. Apoyos

Al igual que para el análisis estático lineal previamente realizado, se aplicarán las siguientes condiciones de contorno sobre el modelo para simular el comportamiento real del bastidor:

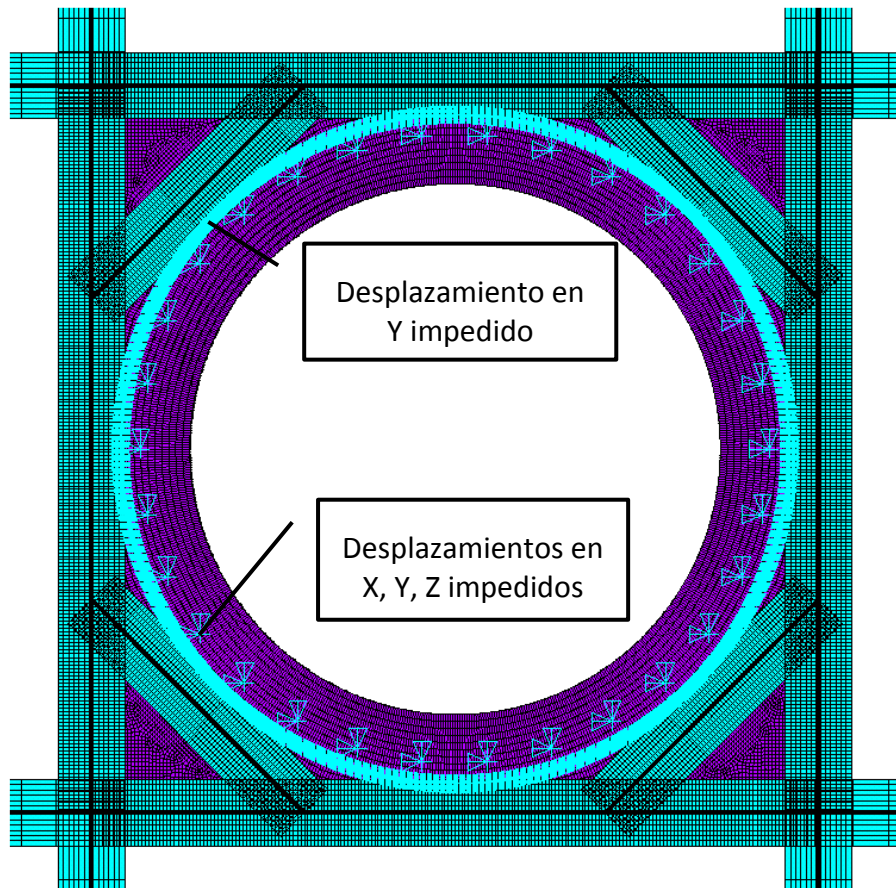


Imagen 2.3 – Superficie de apoyo del bastidor sobre el sistema de giro

- Se impiden los desplazamientos verticales en la arista de contacto entre la placa y el diámetro exterior de la corona.
- Se impiden los desplazamientos en X, Y, Z de los nodos ubicados en las posiciones de los tornillos de unión de la placa con la corona (30 pernos a 12°).
- Se impide el desplazamiento vertical en los puntos de conexión del bastidor con las ruedas de apoyo.
- No se considera el efecto del enclavamiento ya que solo se instala en un vértice y no modifica los desplazamientos y tensiones máximas obtenidas en el análisis.
- No se considera en el cálculo el efecto de la deformación de los carriles circulares sobre los que apoyan las ruedas.

1.5.2. Acciones

Las acciones que se tendrán en cuenta son:

- Peso propio de la estructura
- Peso propio de los conjuntos Bancada-Cuna-Pisador
- Aceleración angular

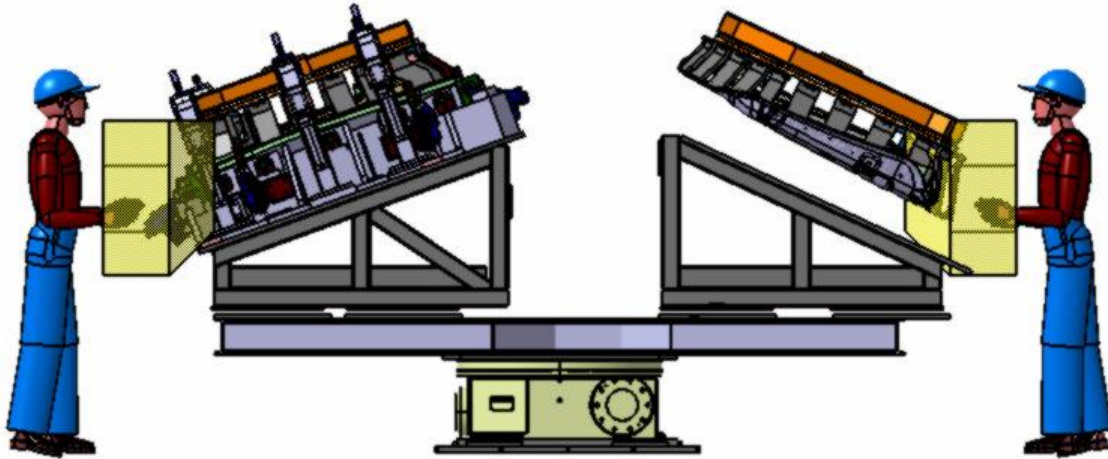


Imagen 2.4 – Esquema elemental de la mesa

El peso del conjunto Bancada-Cuna-Pisador será (en kg):

Bancada	550
Cuna	1100
Pisador	200
Peso conjunto unitario	1850
Peso conjunto global (x4)	7400

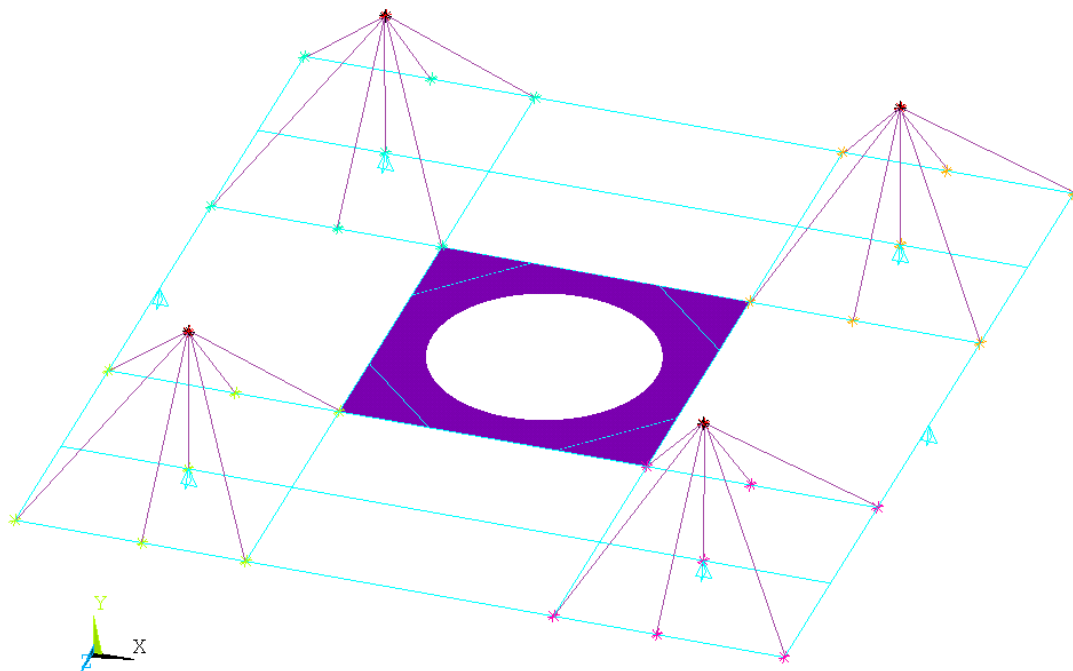


Imagen 2.5 – Esquema básico del bastidor con los centros de masa de los conjuntos bancada-cuna-pisadores

El cálculo de las fuerzas dinámicas debidas al giro de la estructura se realiza a partir de los siguientes datos:

- Aceleración lineal máxima medida en el perfil exterior de la estructura = 5 m/s²
- Velocidad de giro en configuración estándar: 180° en 5 segundos.
- La máquina debe soportar 410.000 ciclos de carga.

Del primer dato se puede obtener un valor máximo de aceleración angular ya que se conoce la distancia del perfil exterior de la estructura al eje de giro (1,25 m):

$$\alpha = \frac{a}{R} = \frac{5 \text{ m/s}^2}{1,25 \text{ m}} = 4 \text{ rad/s}^2$$

1.5.3. Cálculo de aceleración angular máxima

Para contrastar este valor de aceleración con el dato de velocidad también aportado, se estudia la gráfica de velocidad angular- tiempo en un ciclo de trabajo, para comprobar que es factible realizar el giro de 180° en 5 segundos.

Se supone una rampa de aceleración constante, un tramo de velocidad máxima constante y una rampa de deceleración constante simétrica a la de aceleración (-4 rad/s²).

El giro de la estructura, 180°, será igual a la integral de la velocidad de rotación en un tiempo T igual a 5 segundos.

Al resolver la integral y sustituir por los siguientes valores:

- $\alpha = \pm 4 \text{ rad/s}^2$
- $\Theta = \pi \text{ rad (180°)}$
- $T = 5 \text{ s}$

Se obtienen los siguientes resultados:

- $W_{\text{máx}} = 0,649 \text{ rad/s} = 6,2 \text{ revoluciones/minuto}$, velocidad máxima de giro.
- $t_0 = 0,16 \text{ s}$ tiempo hasta alcanzar la velocidad máxima.

Los resultados son compatibles con los datos de partida aportados y, por tanto, se considerará para el análisis la aceleración angular máxima calculada de valor 4 rad/s².

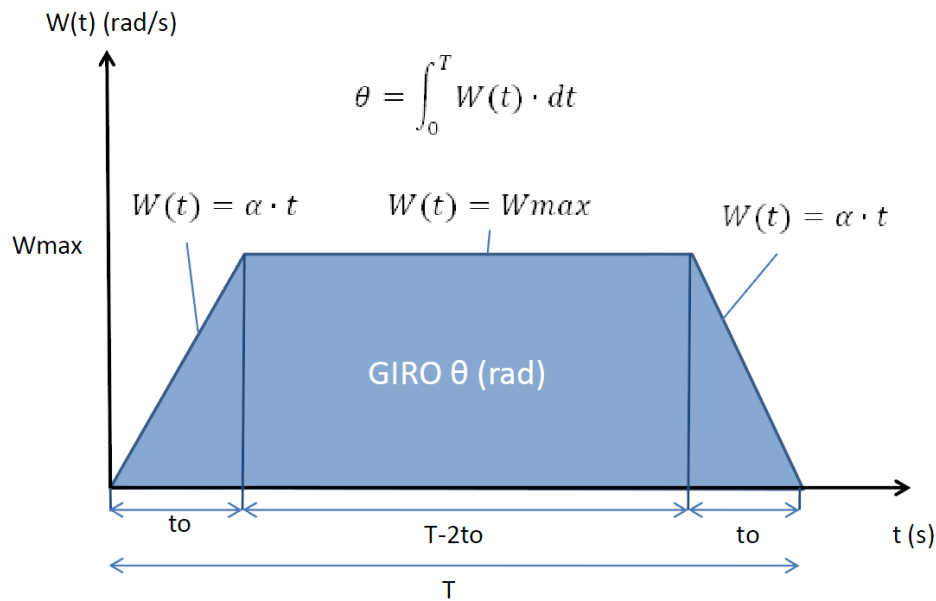


Imagen 2.6 – Diagrama de aceleraciones

1.5.4. Cálculo de las fuerzas dinámicas

Cuando una carga no es aplicada de forma gradual sobre un sistema estructural, ésta producirá un impacto sobre el sistema. Si la aplicación de la carga es muy rápida se producirá sobre la estructura una amplificación de los esfuerzos.

Este efecto se tiene en cuenta por medio del factor de amplificación dinámica de carga, este factor se calcula en base a la relación entre el tiempo de aplicación de la carga y del periodo del modo natural de vibración de la estructura por medio de la gráfica a continuación.

La mesa varía su velocidad de giro con una aceleración constante durante un tiempo $t_d = 0.16$ s, el periodo del modo de vibración de la estructura correspondiente a la rotación de la misma es de 0.091 s ($f = 11$ Hz), por tanto la relación t_d/T toma un valor de 1,76 y el factor de amplificación dinámica (DLF) es 2, por lo que la aceleración angular empleada en el cálculo es de 8 rad/s².

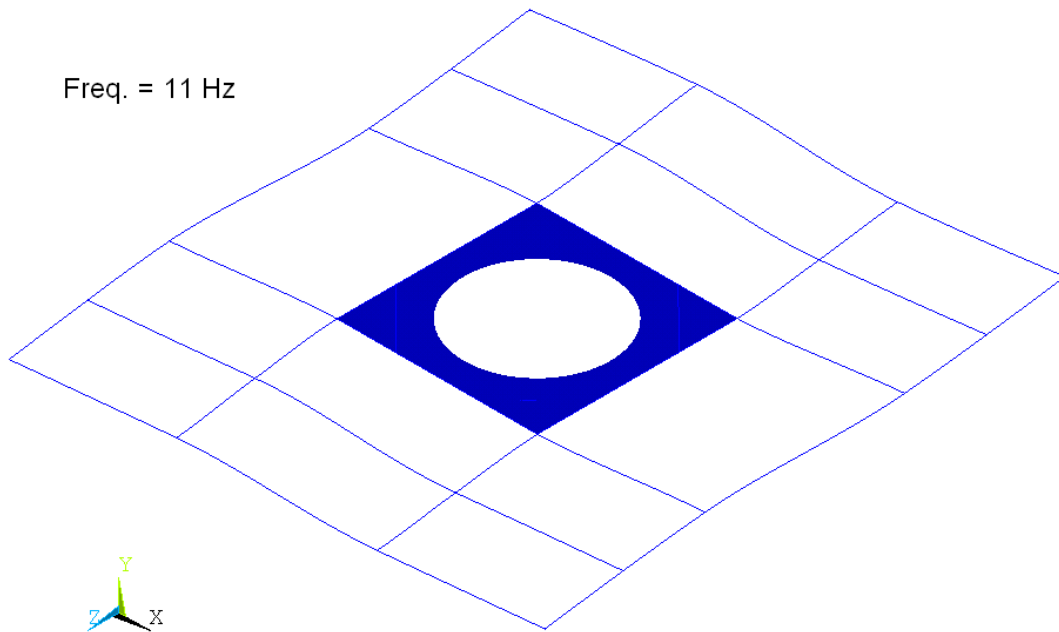


Imagen 2.7 – Modo natural de vibración de la estructura

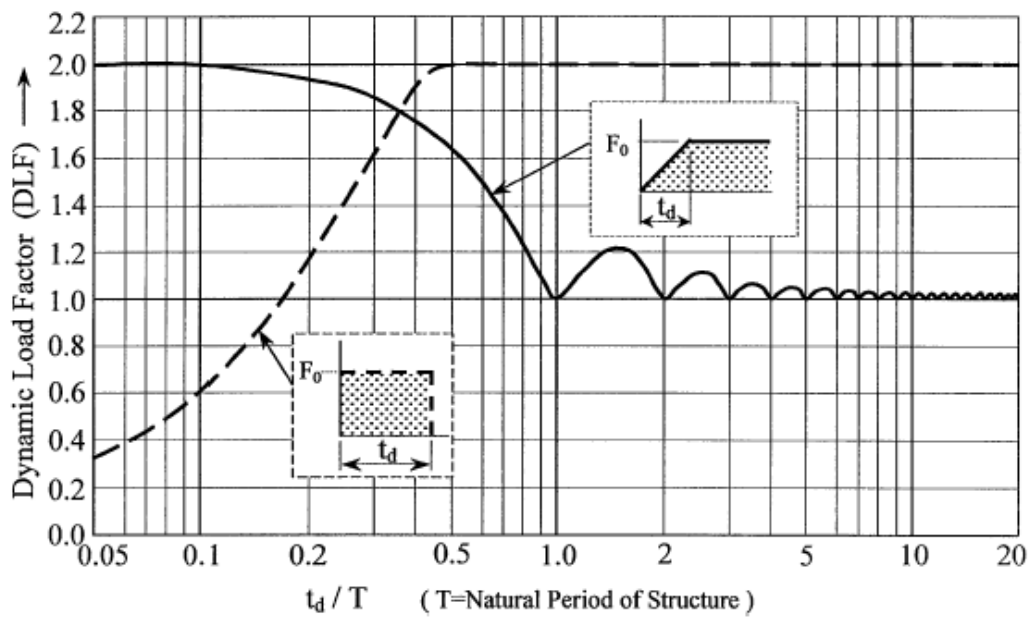


Imagen 2.8 – Gráfica del DLF frente al período natural de la estructura.

1.6. Criterio de comprobación frente a fatiga

La verificación del estado límite de fatiga se realizará en base a los principios generales recogidos en el Eurocódigo UNE EN 1993-1-9.

De acuerdo a esta norma, para validar la supervivencia de una estructura tras un número de ciclos de carga determinado, se comparan las carreras de tensiones en todos los puntos de la misma con las curvas S-N del acero para cada detalle constructivo de la estructura.

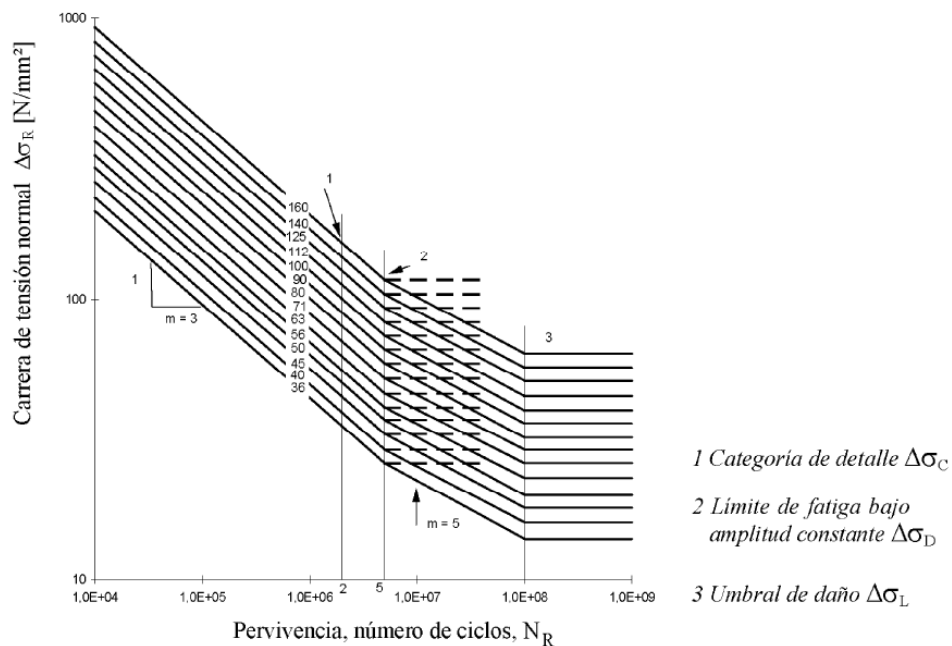


Imagen 2.9 – Carrera de tensión normal frente a número de ciclos

Para ello se analizarán los estados tensionales de la estructura para los siguientes casos de carga estática (LC):

- LC1 (Giro en dirección y+): Peso Propio de la estructura + Aceleración angular en Y positivo (+ 8 rad/s²).
- LC2 (Giro en dirección y-): Peso Propio de la estructura + Deceleración angular en Y negativo (- 8 rad/s²).

1.7. Cálculo de carrera de tensión admisible

Se selecciona el detalle tipo (18) de la Tabla 8.3. que indica que se compruebe con la categoría de detalle 40 MPa.

Tabla 8.3 – Empalmes soldados

Categoría de detalle	Detalle constructivo	Descripción	Requisitos
Como el detalle 1 de la tabla 8.5		18) Empalmes en prolongación a través de ala interpuesta.	Detalles 18) y 19): La comprobación a fatiga del elemento interpuesto debe efectuarse como detalle 4 ó 5 de la tabla 8.4.
Como el detalle 4 de la tabla 8.4		19) Para transiciones con acuerdo conforme al detalle 4 de la tabla 8.4.	

Tabla 8.4 – Cartelas y rigidizadores soldados

Categoría de detalle	Detalle constructivo	Descripción	Requisitos
40		5) Unión soldada sin acuerdo de transición	

Imagen 2.10 – Tipos de empalmes soldados para cálculo de carrera de tensión

La gráfica de la imagen 2.9 relaciona la carrera de tensiones admisible para cada categoría de detalle en función del número de ciclos de vida del componente. Los puntos de las curvas se calculan a través de la siguiente expresión:

$$\Delta\sigma_R^m = N_R = \Delta\sigma_C^m \cdot 2 \cdot 10^6 \rightarrow \text{siendo } m = 3 \text{ para } N_R \leq 5 \cdot 10^6$$

Siendo:

- N_R el número de ciclos de vida: 410.000
- $\Delta\sigma_R^m$ la carrera de tensiones admisible para N_R
- $\Delta\sigma_C^m$ la categoría de detalle (40 MPa)

Método de evaluación	Consecuencias del fallo	
	Leves	Graves
Tolerancia al daño	1,00	1,15
Integridad asegurada	1,15	1,35

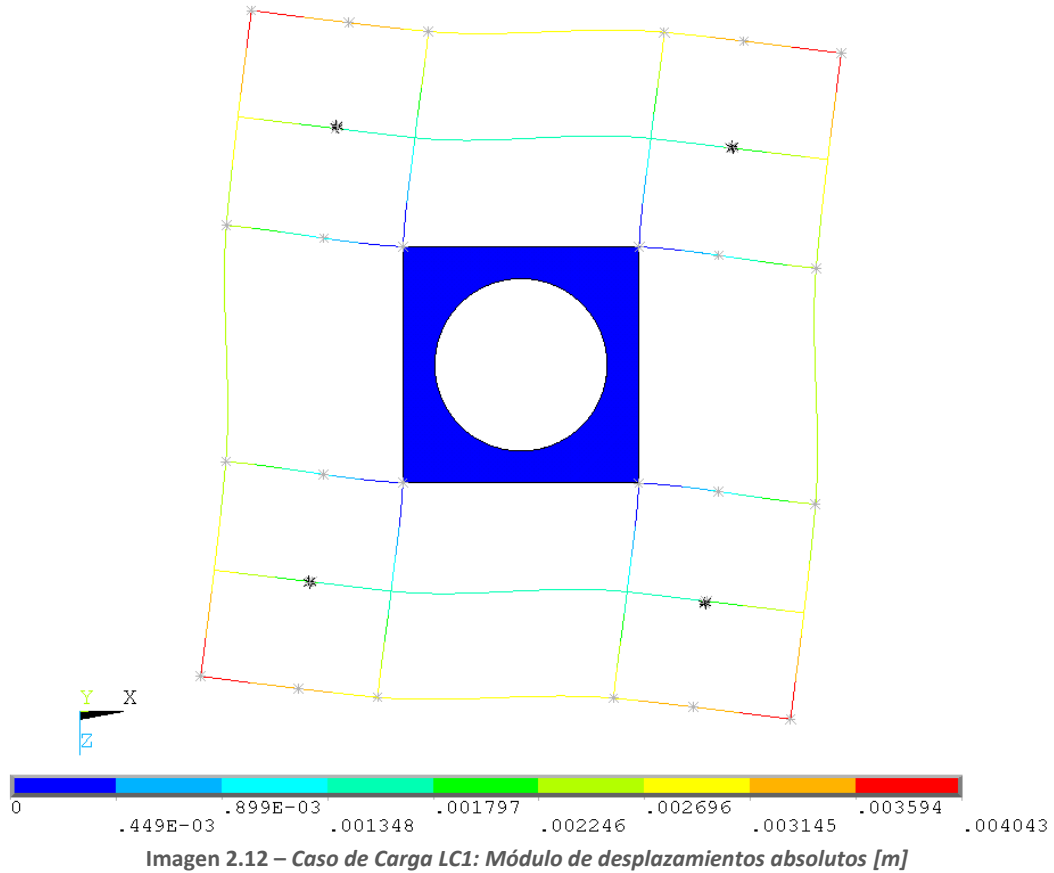
Imagen 2.11 – Valores recomendados del coeficiente parcial de seguridad para resistencia a fatiga

$$\Delta\sigma_R = \frac{\sqrt[3]{\left(\frac{2 \cdot 10^6 \cdot \Delta\sigma_C^3}{N_R}\right)}}{1,35} = \frac{\sqrt[3]{\left(\frac{2 \cdot 10^6 \cdot (40 \text{ MPa})^3}{410000}\right)}}{1,35} = 50 \text{ MPa}$$

Sustituyendo en la ecuación y dividiendo por un coeficiente parcial de seguridad de 1,35 se obtiene una *carrera de tensiones admisible de 50 MPa*.

2. Resultados de análisis de los casos de carga estáticos

A continuación se muestran los resultados de desplazamientos absolutos y momentos flectores de los perfiles según su eje débil (dirección Y), para los dos casos de carga analizados.



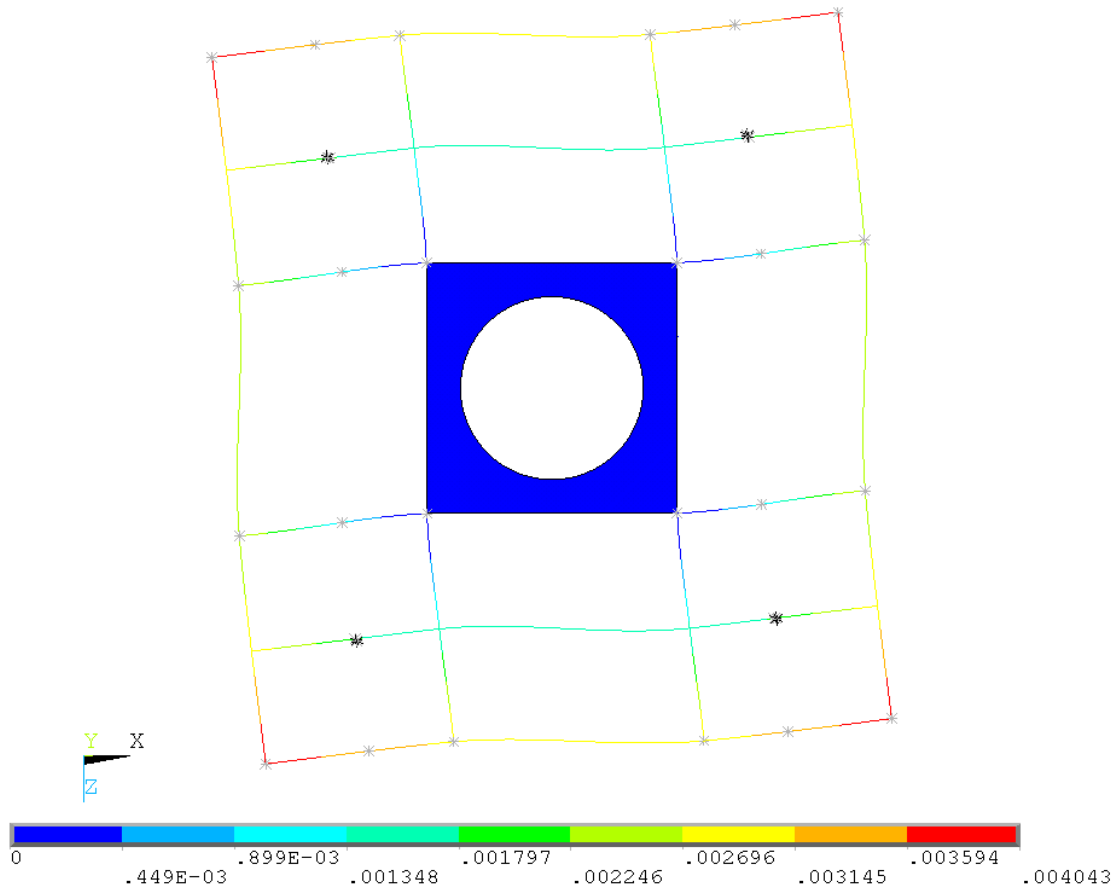


Imagen 2.13 – Caso de Carga LC2: Módulo de desplazamientos absolutos [m]

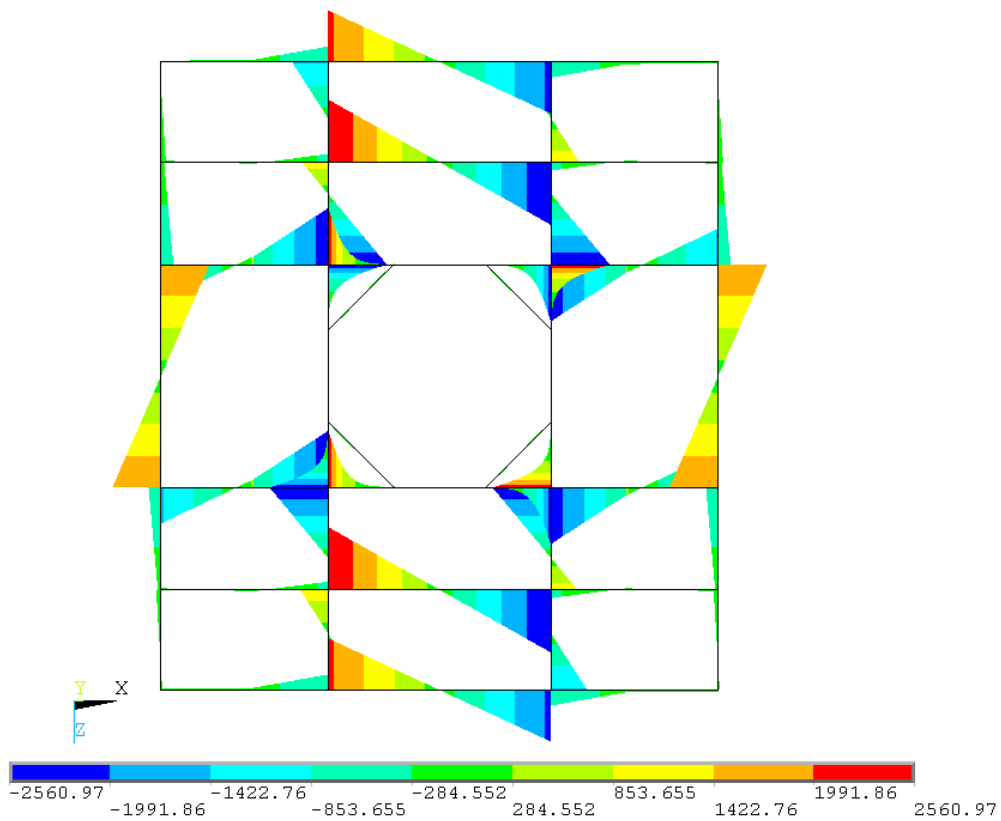


Imagen 2.14 – Caso de Carga LC1: Momentos flectores en el eje débil [Nm]

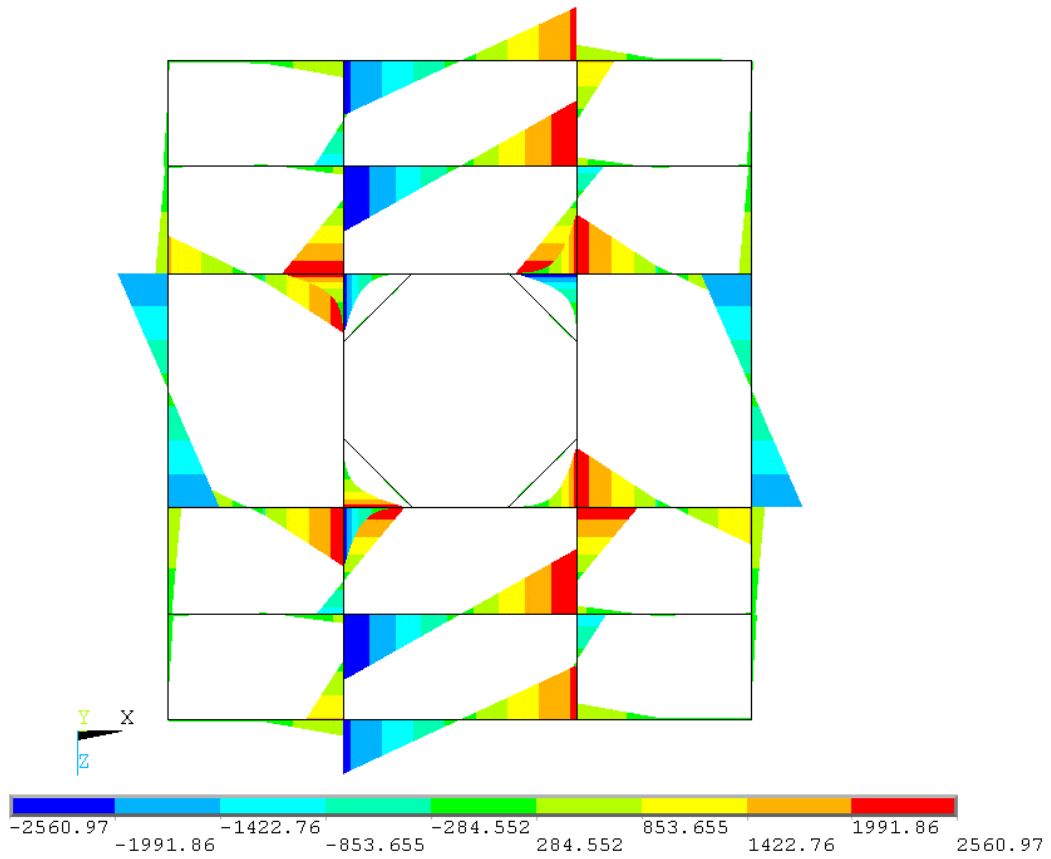


Imagen 2.15 – Caso de Carga LC2: Momentos flectores en el eje débil [Nm]

2.1. Cálculo de carrera de tensión máxima

Para calcular las carreras de tensiones se combinan los esfuerzos obtenidos para los dos casos de carga analizados de tal manera que se resten los estados tensionales LC1 – LC2.

Dado que los momentos flectores son simétricos (las fibras de los perfiles que se encuentran a tracción en un caso de carga trabajan a compresión en el otro caso), la carrera de tensiones será simétrica.

La imagen 2.16 muestra los momentos resultantes que generan la carrera de tensiones, resultando el valor máximo 5122 Nm en un punto de empalme soldado entre dos perfiles IPN.

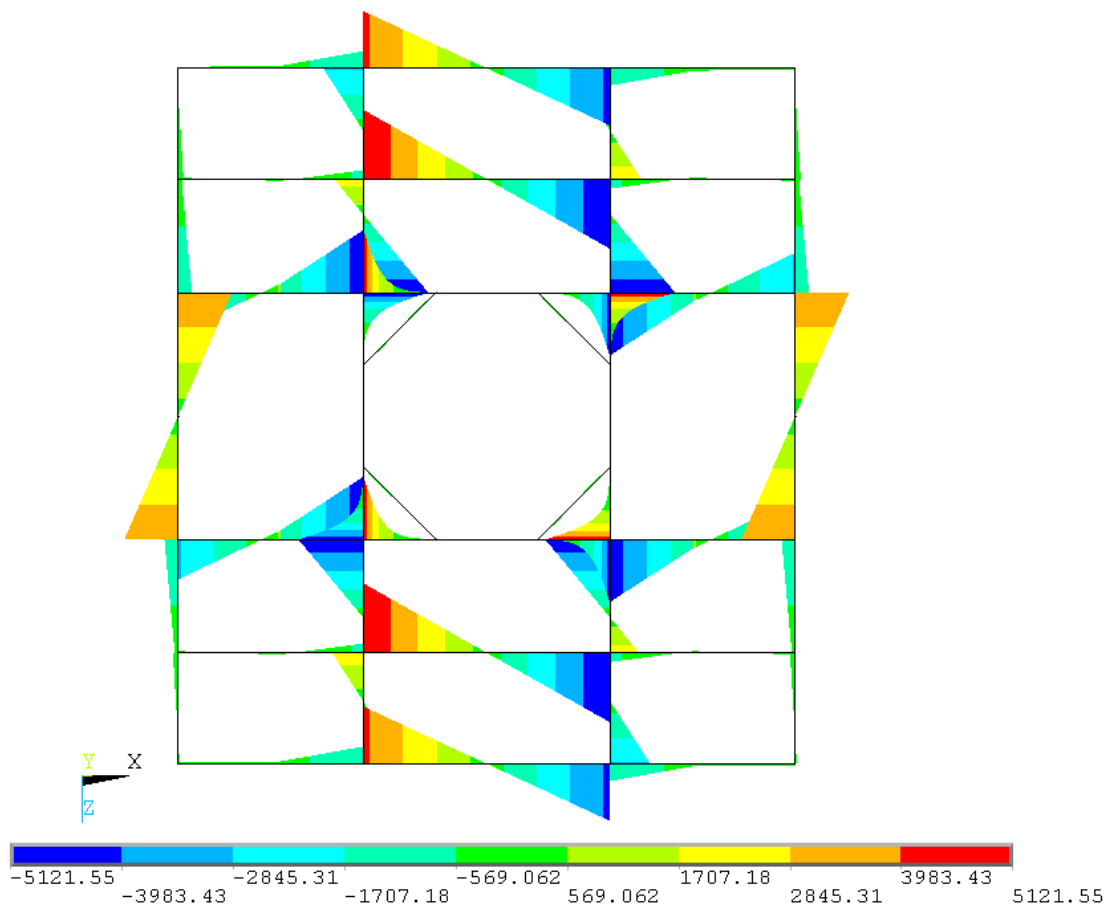


Imagen 2.16 – Combinación de los Casos de Carga [LC1 - LC2]: Momentos Flectores en el eje débil [Nm]

Conocido el momento máximo y las propiedades de la sección IPN160 se calcula la carrera de tensión máxima de la estructura:

$$\Delta\sigma = \frac{\Delta M \cdot y}{I} = \frac{5122 \text{ Nm} \cdot 0,037\text{m}}{5,47 \cdot 10^{-7}\text{m}^4} = 347 \text{ MPa}$$

Esta carrera de tensiones *supera muy ampliamente el valor admisible (50 MPa) calculado para 410000 ciclos.*

3. Modificación propuesta

Dado que la estructura no cumple con el criterio de seguridad frente a fallo por fatiga, se propone la modificación de la misma añadiendo unos perfiles L60x6 arriostrando en planta el bastidor, tal como se indica en la imagen siguiente.

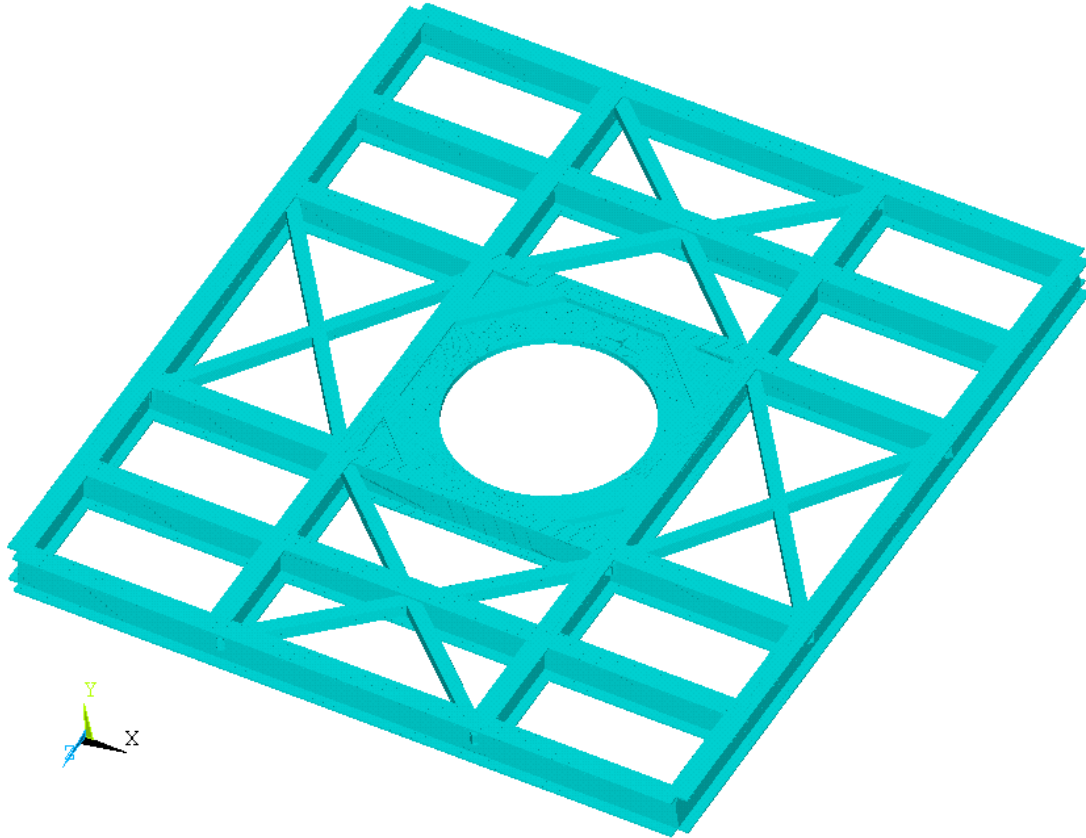


Imagen 2.17 – Modificación del bastidor añadiendo nodos arriostrados

4. Resultados de análisis de los casos de carga estáticos II

A continuación se muestran los resultados de desplazamientos y momentos flectores de los perfiles según su eje débil (dirección Y), para la estructura modificada bajo los dos casos de carga analizados.

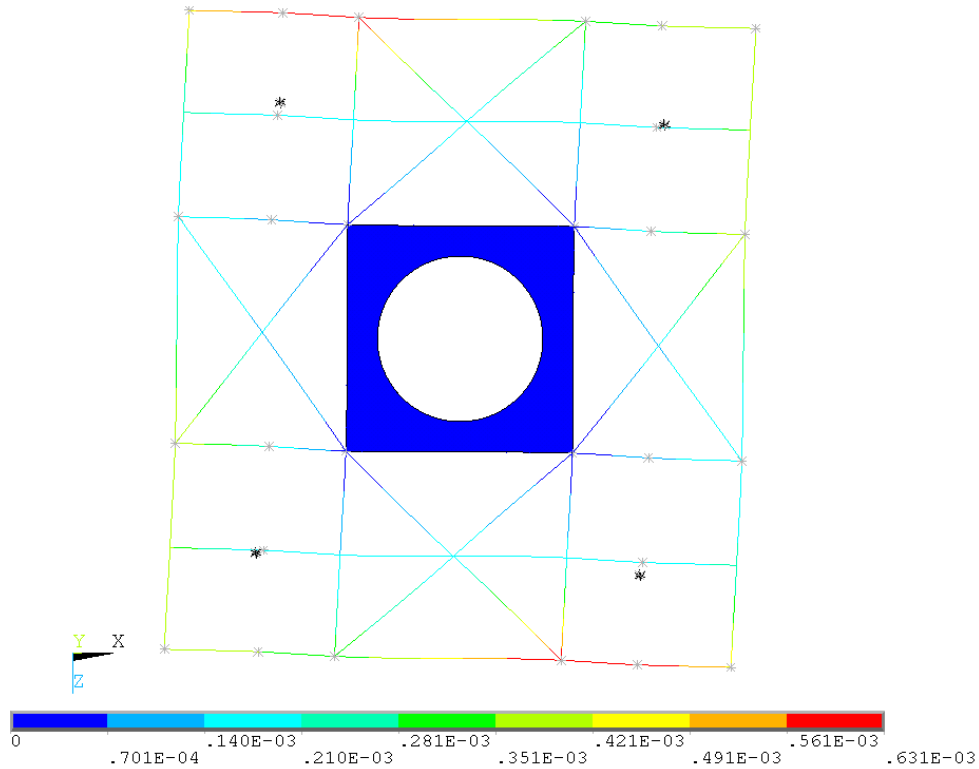


Imagen 2.18 – Caso de Carga LC1 para la estructura Modificada: Momentos flectores en el eje débil [Nm]

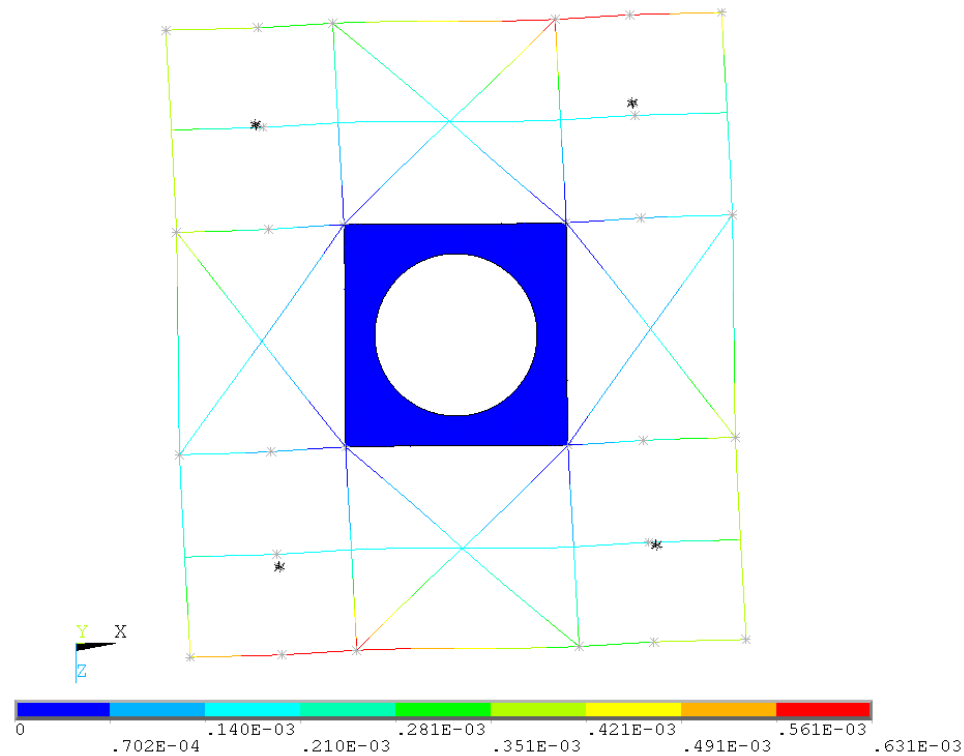


Imagen 2.19 – Caso de Carga LC2 para la estructura Modificada: Momentos flectores en el eje débil [Nm]

A continuación se muestran los resultados de desplazamientos y momentos flectores de los perfiles según su eje débil (dirección Y), para la estructura modificada bajo los dos casos de carga analizados.

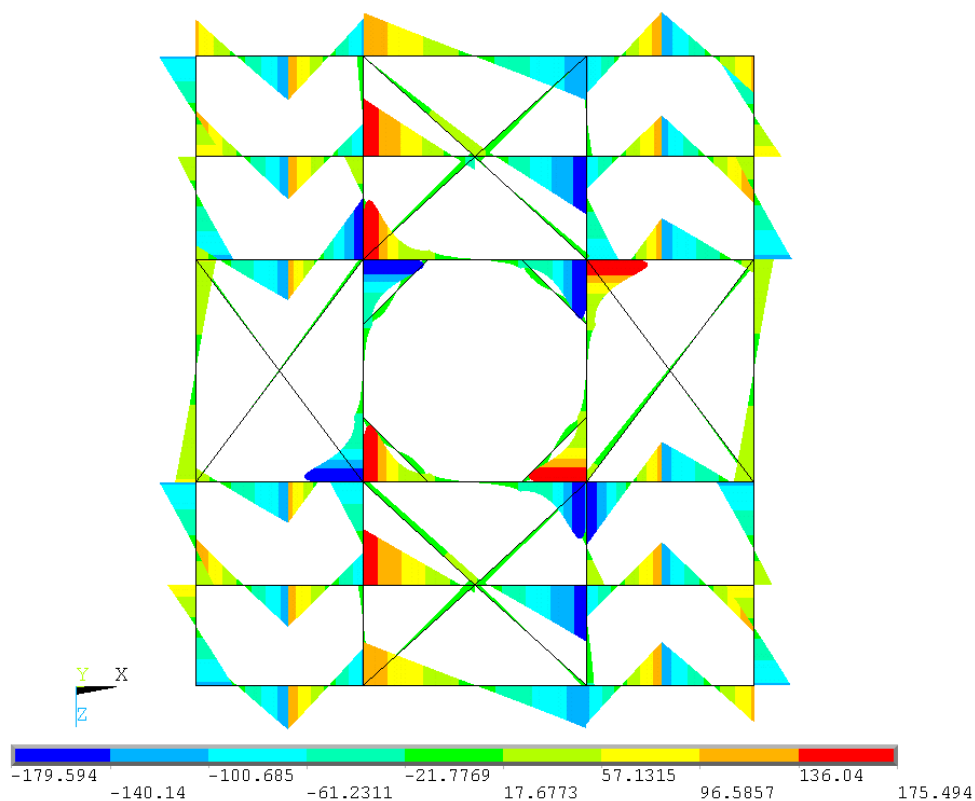


Imagen 2.20 – Caso de Carga LC1 para la estructura Modificada: Módulo de desplazamientos absolutos [m]

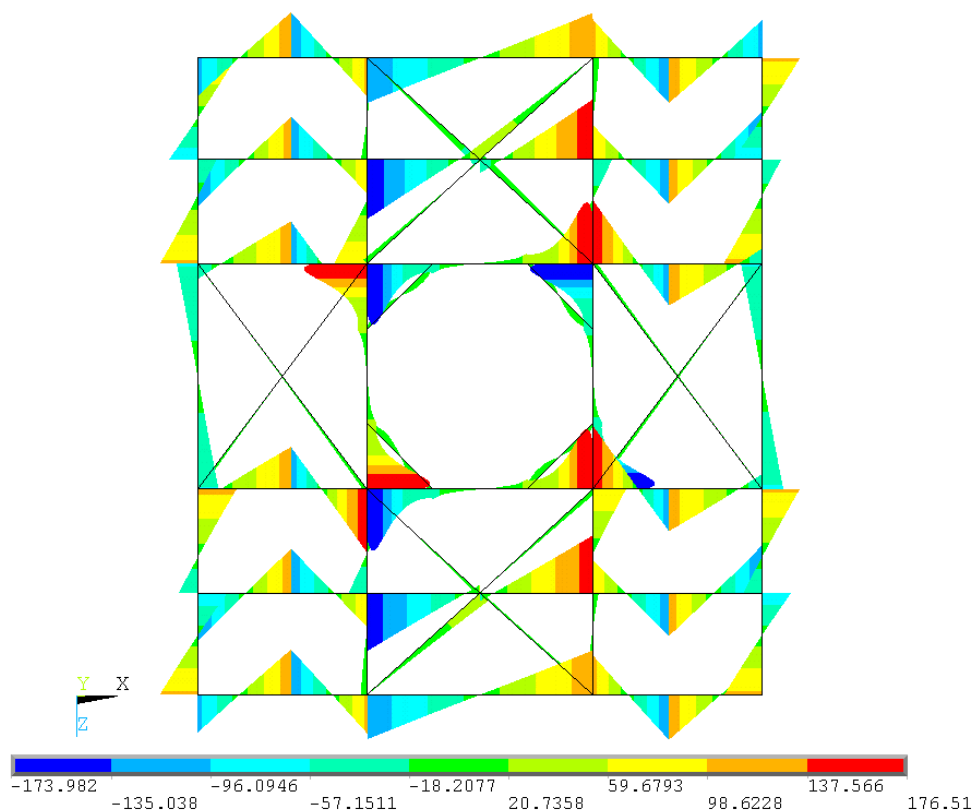


Imagen 2.21 – Caso de Carga LC2 para la estructura Modificada: Módulo de desplazamientos absolutos [m]

4.1. Cálculo de carrera de tensión máxima II

La imagen siguiente muestra los momentos resultantes que generan la carrera de tensiones, resultando el valor máximo 350 Nm en un punto de empalme soldado entre dos perfiles IPN al igual que con el caso anterior.

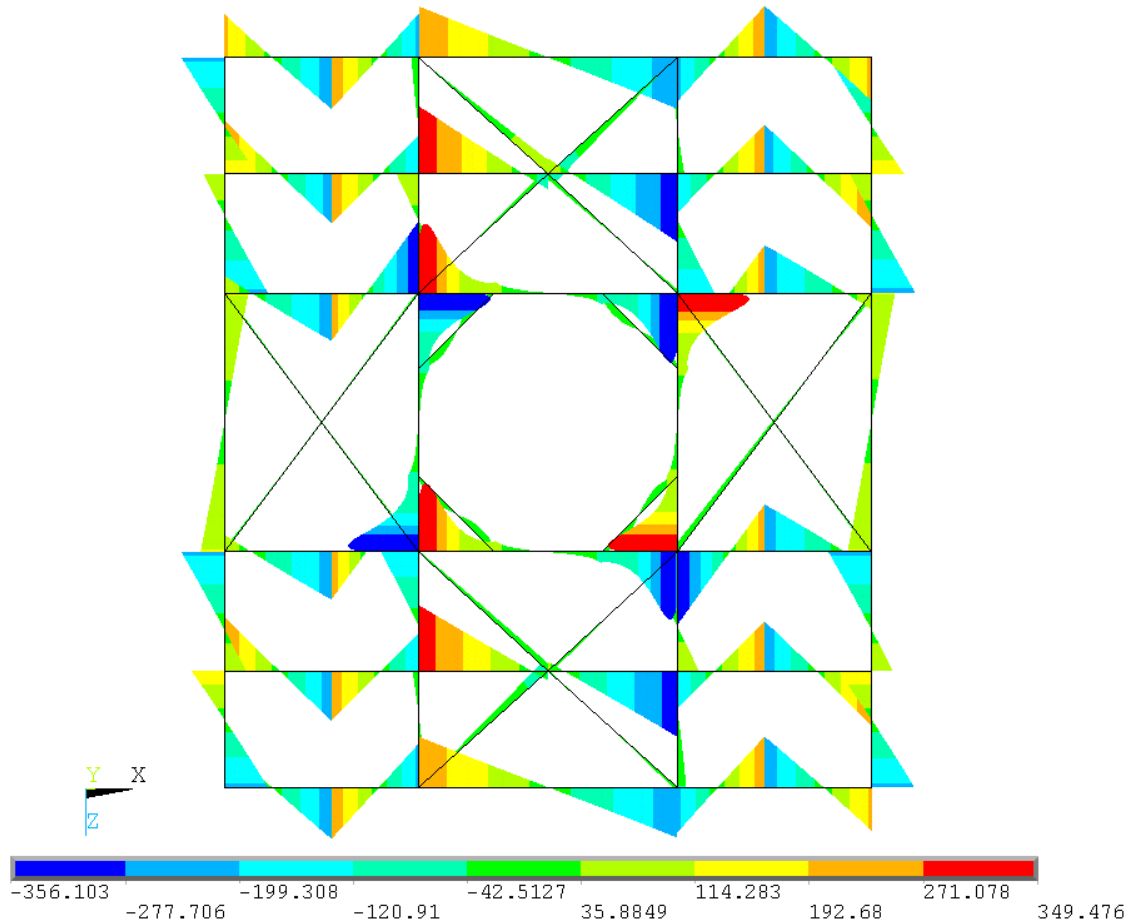


Imagen 2.22 – Combinación de los Casos de Carga [LC1 - LC2] para la estructura Modificada: MomentosFlectores en el eje débil [Nm]

Conocido el momento máximo y las propiedades de la sección IPN160 se calcula la carrera de tensión máxima de la estructura modificada:

$$\Delta\sigma = \frac{\Delta M \cdot y}{I} = \frac{350 \text{ Nm} \cdot 0,037 \text{ m}}{5,47 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4} = 24 \text{ MPa}$$

Esta carrera de tensiones *es inferior al valor límite (50 MPa) calculado para 410000 ciclos, considerando por tanto válida la estructura.*

