



**PROYECTO DE EJECUCIÓN PARA LA RENOVACIÓN DE
LOS PUNTOS DE RIGGING EN EL PABELLÓN 14.1 EN
IFEMA MADRID**

A01_MEMORIA DE CÁLCULO DE ESTRUCTURAS

ÍNDICE

1. DATOS INICIALES	4
2. COMPROBACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LOS PERFILES	7
3. MODELO DE ESTRUCTURA	10
3.1 Hipótesis de carga.....	10
3.2 Condiciones de contorno y apoyos de la estructura.....	13
4. COMPROBACIONES	14
4.1 opción 1: apoyos deslizantes / sin puertas móviles / rigging superior e inferior 350 kg. 14	
4.1.1. <i>DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS</i>	14
4.1.2. <i>COMPROBACION DE RESISTENCIA DE LOS PERFILES</i>	15
4.1.3. <i>REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS</i>	15
4.2 opción 2: apoyos deslizantes / con puertas móviles / rigging superior e inferior 350 kg. 16	
4.2.1. <i>DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS</i>	16
4.2.2. <i>COMPROBACION DE RESISTENCIA DE LOS PERFILES</i>	17
4.2.3. <i>REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS</i>	17
4.3 opción 3: apoyos deslizantes / sin puertas móviles / rigging optimizado superior e inferior 350 kg.....	18
4.3.1. <i>DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS</i>	18
4.3.2. <i>COMPROBACION DE RESISTENCIA DE LOS PERFILES</i>	18
4.3.3. <i>REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS</i>	19
4.4 opción 4: apoyos fijos / sin puertas móviles / rigging optimizado superior e inferior 350 kg.....	20
4.4.1. <i>DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS</i>	20
4.4.2. <i>COMPROBACION DE RESISTENCIA DE LOS PERFILES</i>	20
4.4.3. <i>REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS</i>	21
4.5 opción 5: apoyos deslizantes / con puertas móviles reducida / rigging optimizado superior e inferior 350 kg.	22
4.5.1. <i>DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS</i>	22

4.5.2.	COMPROBACION DE RESISTENCIA DE LOS PERFILES.....	22
4.5.3.	REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS.....	23
4.6	opción 6: apoyos deslizantes / sin puertas móviles / rigging solo inferior 400 kg....	24
4.6.1.	DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS.....	24
4.6.2.	COMPROBACION DE RESISTENCIA DE LOS PERFILES.....	24
4.6.3.	REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS.....	25
4.7	opción 7: apoyos fijos / sin puertas móviles / rigging definitivo superior e inferior 350 kg. 26	
4.7.1.	DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS.....	26
4.7.2.	COMPROBACION DE RESISTENCIA DE LOS PERFILES.....	27
4.7.3.	REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS.....	27
4.8	opción 8: apoyos fijos / sin puertas móviles / rigging definitivo superior e inferior 350 kg y zona de salas 400 kg.	28
4.8.1.	DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS.....	28
4.8.2.	COMPROBACION DE RESISTENCIA DE LOS PERFILES.....	29
4.8.3.	REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS.....	30
4.9	opción 9: apoyos fijos / sin puertas móviles / rigging definitivo superior e inferior 400 kg. 30	
4.9.1.	DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS.....	30
4.9.2.	COMPROBACION DE RESISTENCIA DE LOS PERFILES.....	31
4.9.3.	REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS.....	32
4.10	opción 10: apoyos fijos / sin puertas móviles / sin cargas de rigging.....	32
4.10.1.	DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS.....	32
4.10.2.	COMPROBACION DE RESISTENCIA DE LOS PERFILES.....	33
4.10.3.	REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS.....	34
5.	CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE CUBIERTA.....	35
6.	PROPUESTA DE SISTEMA DE RIGGING	39
6.1	Sistema de rigging a instalar:.....	39
6.1.1.	JUSTIFICACIÓN DEL CONJUNTO DEL SISTEMA DE RIGGING	41

1. DATOS INICIALES

Para poder realizar la simulación de la estructura de la cubierta del pabellón 14.1 en IFEMA, se han utilizado los documentos del proyecto de la estructura facilitados por IFEMA, como son:

- Conjunto de planos de la empresa LANIK: E483A01, E483A02, E483B01, E483B02, E483B03A, E483B04, E483F01A, E483F02, E483F03, E483F04, E483H01, E483K00, E483M01, E483M02, E483M03, E483Z01, E483Z01B, E483Z02A, E483Z03, E483Z04, E483Z11.
- Memoria del proyecto: PS2284 Memoria.
- Anejo de cálculo del proyecto: Anexo III Cálculo completo en CD-2284C50B
- Modelo dwg con esquema 3D unifilar de la estructura de la cubierta: archivo “Modelo 5m 3D”.

Como parte de los trabajos previos realizados por INCOSA, se realizó el escaneo del pabellón 14.1 donde se obtuvo la nube de puntos para la realización de los planos de las instalaciones existentes. Con la nube de puntos se han podido realizar, además, comprobaciones de las dimensiones de los perfiles de la estructura espacial que forma la cubierta del pabellón.

La estructura es de tipo espacial curva con unas dimensiones generales aproximadas de 118 x 188 m de planta y un canto aproximado de 2,80 m. La estructura se apoya en 8 apoyos centrales correspondientes a los pilares de hormigón interiores del pabellón, y 48 apoyos perimetrales sobre elementos de hormigón. La estructura se resuelve con rótulas en la unión entre los perfiles, a base de tubos de sección circular y articulados en sus extremos. La estructura se puede dividir en un entramado de 5 x 5 m en una capa superior y un entramado de 5 x 5 m en la capa inferior, estando unidos los nudos entre estas capas mediante diagonales para formar la estructura espacial.

Sobre la estructura cuelgan diferentes elementos e instalaciones, los cuales se han representado con la ayuda de la nube de puntos.

A continuación, se incluyen unas imágenes correspondientes a la distribución en planta de los elementos escaneados.

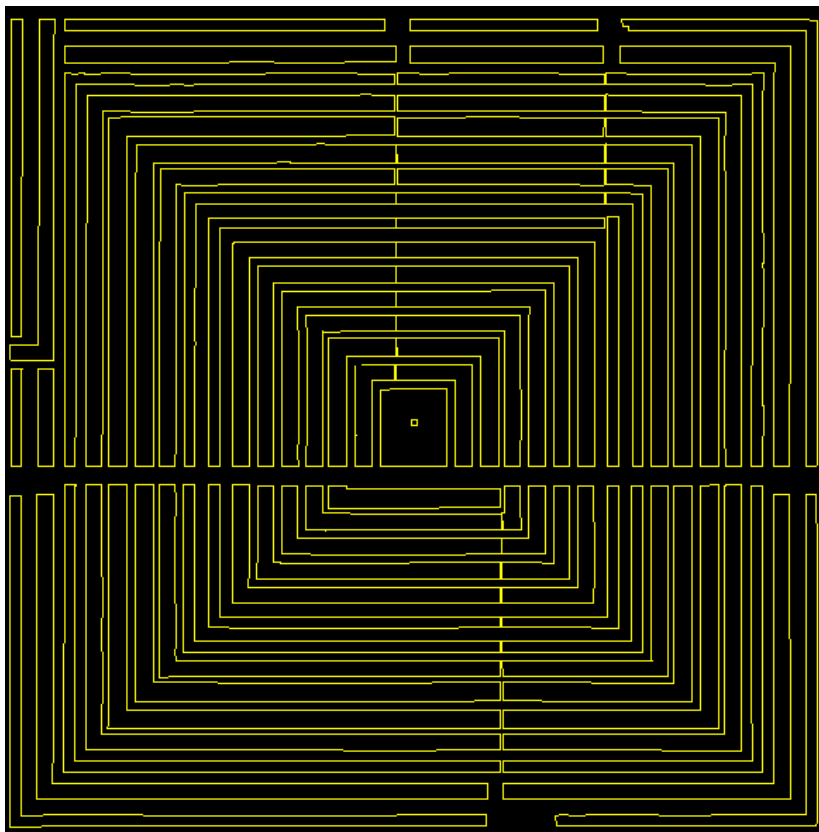


Ilustración 1 Distribución en planta de falso techo

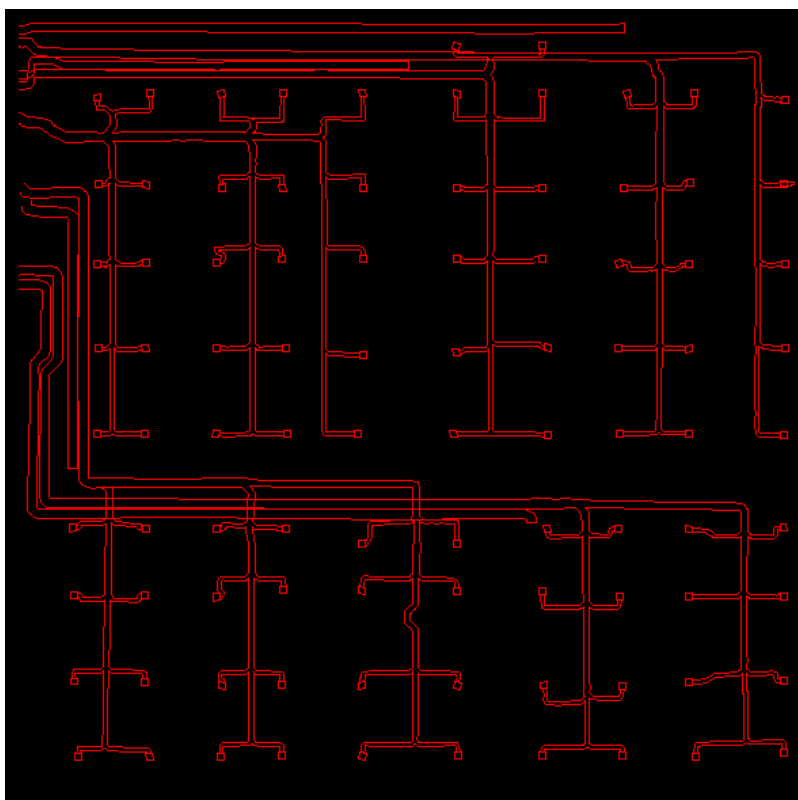


Ilustración 2 Distribución en planta de instalación de climatización.

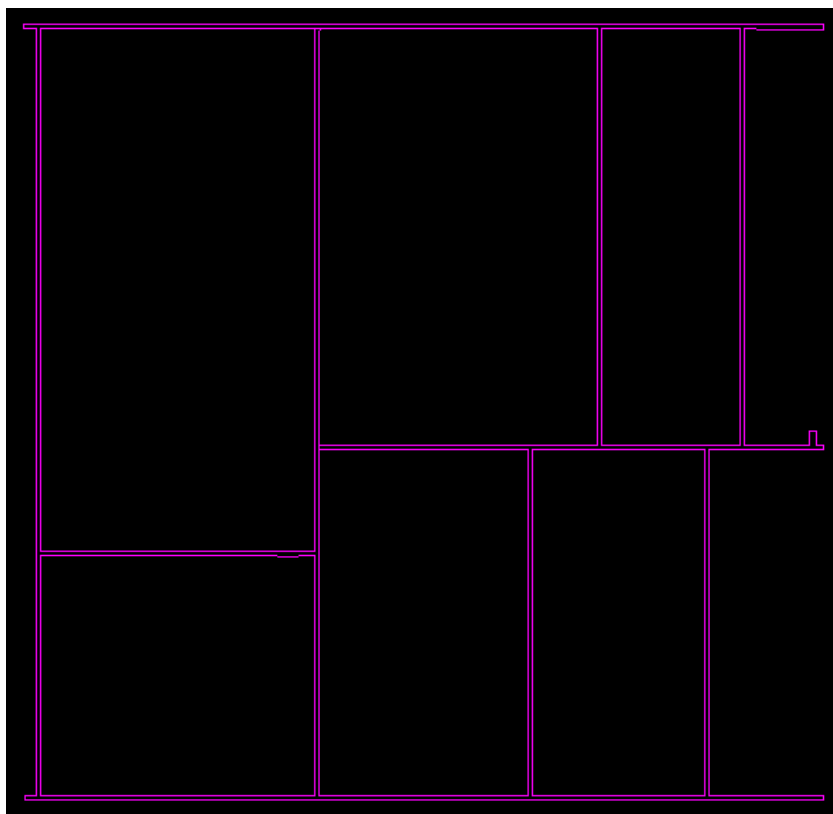


Ilustración 3 Distribución en planta de pasarelas de mantenimiento.

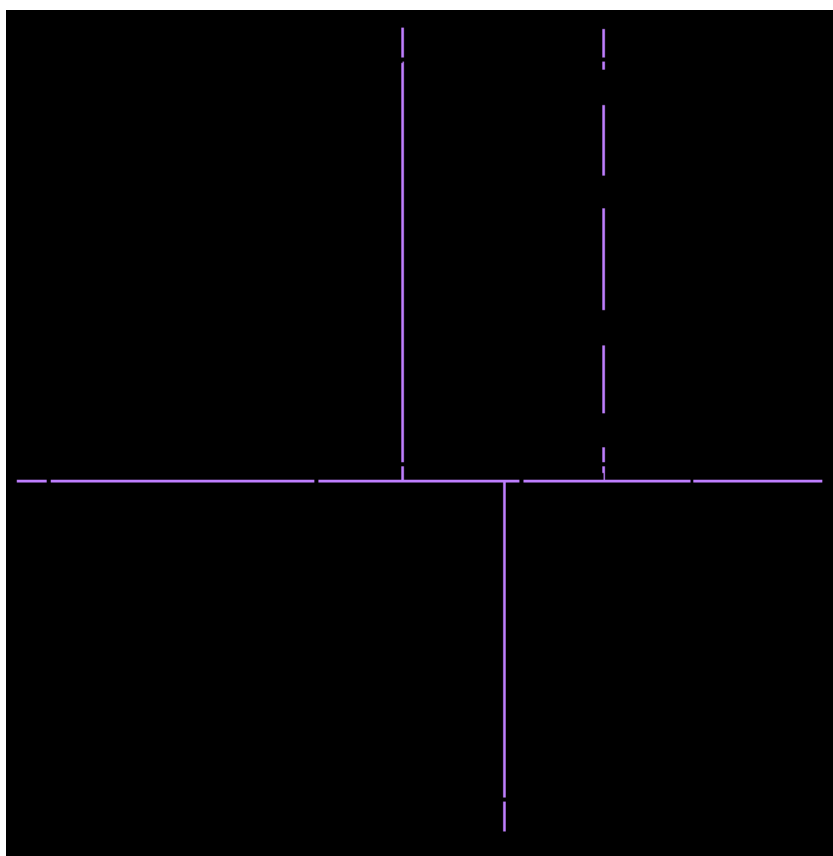


Ilustración 4 Distribución en planta de guías para futuras puertas móviles.

2. COMPROBACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LOS PERFILES

Para comprobar los perfiles de la estructura que después serán introducidos en el modelo de cálculo se ha realizado una comparación entre los perfiles indicados en los planos de proyecto, los perfiles indicados en el Anejo de cálculo de proyecto y las dimensiones exteriores de los perfiles escaneados en la nube de puntos.

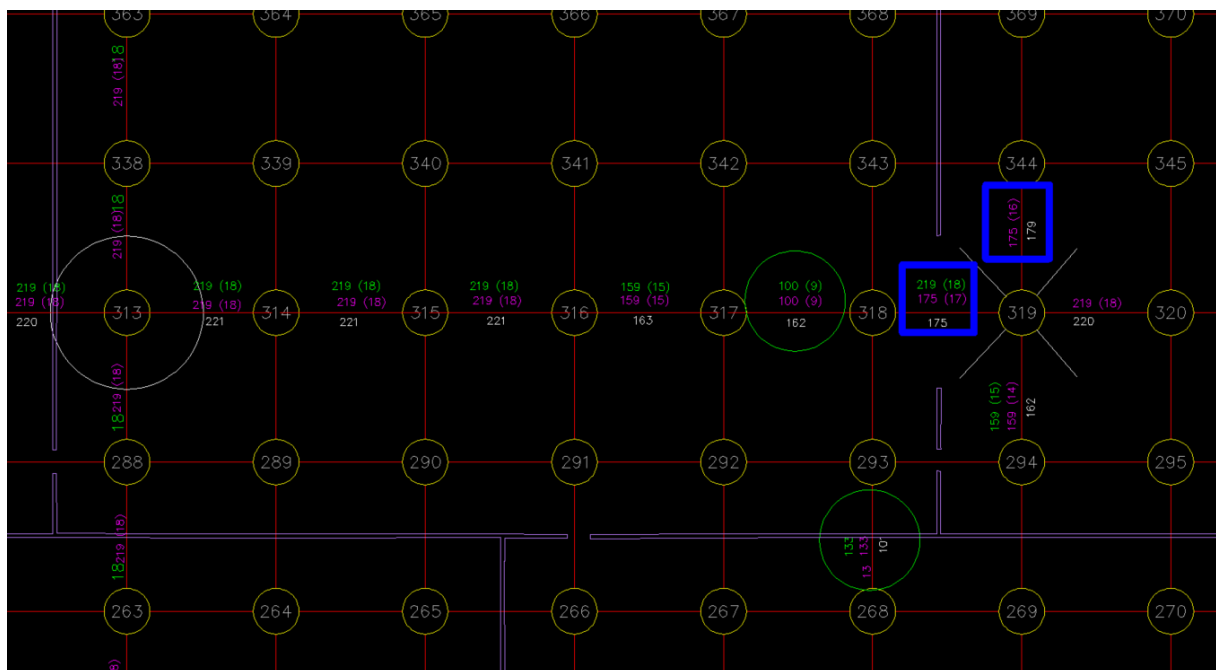


Ilustración 5 Zona del apoyo central del plano a comprobar.

En base a los diferentes datos obtenidos en los planos, anejo de cálculo y nube de puntos, se pudo comprobar la orientación real de la estructura en comparación con la de los planos y así tener una correlación de los perfiles que se están midiendo en la nube de puntos con respecto a los perfiles de los planos y del anejo de cálculo.

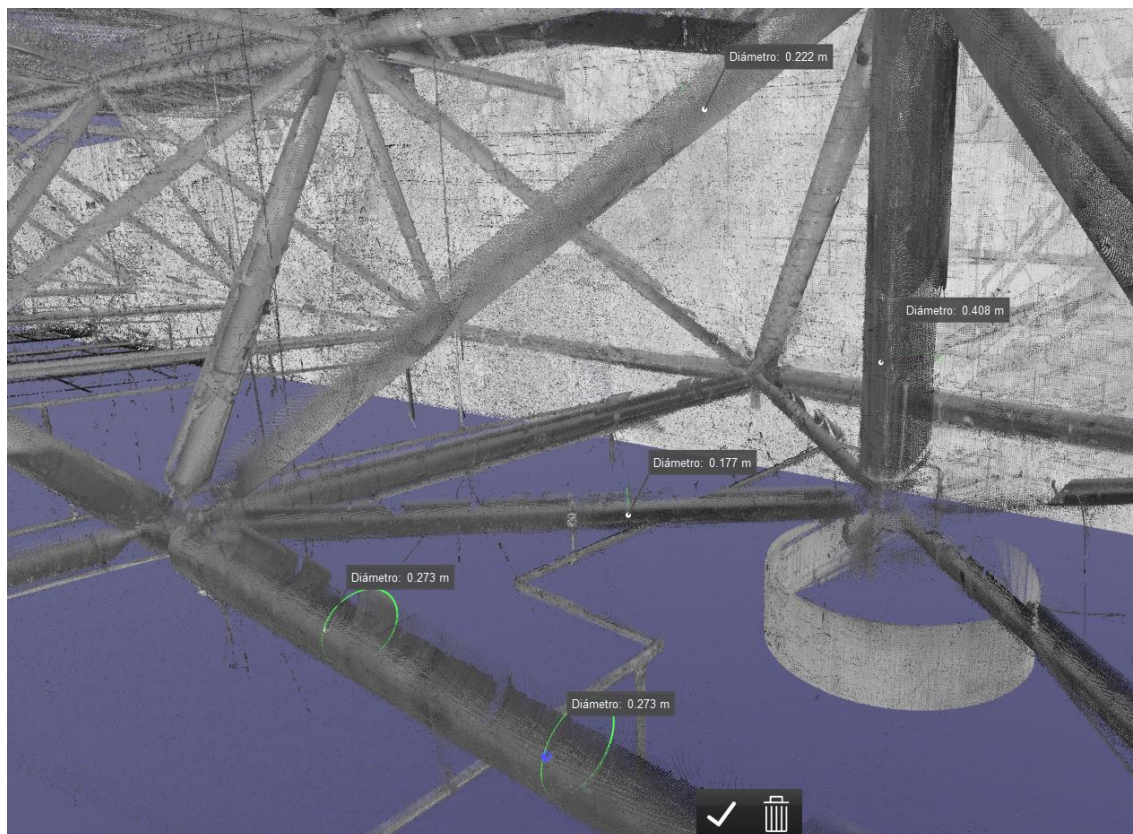


Ilustración 6 Ejemplo de medición de perfiles en nube de puntos.

Una vez hecha la correlación entre la nube de puntos y los planos, se realizaron varias mediciones en la nube de puntos para diferentes zonas representativas de la estructura y después se comparan con los perfiles indicados en los planos y los perfiles indicados en los anejos. La conclusión a la que se llegó es que la mayor coincidencia se produce con los perfiles indicados en los planos y además, los perfiles que aparecen en el anejo de cálculo son de mayor dimensión.

Nº BARRA	NUDOS	PLANOS	ANEJO CALCULO
01	707-731	8 (100X3)	10 (115X4)
02	708-732	11 (115X5)	11 (115X5)
03	709-733	12 (133X5)	12 (133X5)
04	710-734	12 (133X5)	12 (133X5)
05	641-42	5 (75X3)	7 (90X4)
06	69-94	16 (175X6)	17 (175X7)
07	645-46	6 (90X3)	7 (90X4)
08	215-240	10 (115X4)	12 (133X5)
09	903-287	6 (90X3)	6 (90X3)
10	898-307	18 (219x8)	19 (219x10)
11	936-319	18 (219x8)	19 (219x10)
12	209-234	11 (115X5)	12 (133X5)
13	210-235	9 (100x4)	11 (115X5)
14	239-264	17 (175X7)	17 (175X7)
15	896-922	11 (115X5)	11 (115X5)
16	318-319	17 (175X7)	18 (219x8)

Ilustración 7 Tabla comparativa entre alguno de los perfiles de la estructura.

Por todo ello, los perfiles utilizados para el modelo de cálculo han sido los indicados en los planos del proyecto de la empresa LANIK que al ser de menor dimensión que los reflejados en el anejo de cálculo, se realiza la comprobación de la estructura del lado de la seguridad.

3. MODELO DE ESTRUCTURA

En base al archivo de cad “Modelo 5m 3D.dwg”, se importa la geometría unifilar de la estructura espacial en el software de cálculo de Cype 3D de Cype Ingenieros.

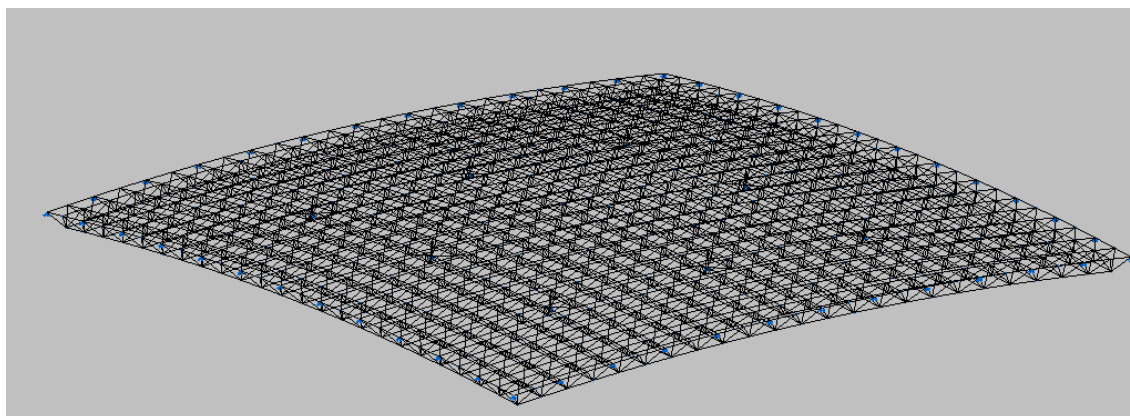


Ilustración 8 Vista 3D de estructura espacial de cubierta.

La normativa utilizada para la comprobación de la estructura es:

- Aceros laminados y armados: Código Estructural.
- DB-SE CTE.
- DB-SE-AE CTE.

3.1 HIPÓTESIS DE CARGA

Las cargas introducidas en la estructura han sido obtenidas del anejo de cálculo del proyecto original y del peso de las instalaciones existentes en base a los planos obtenidos por la nube de puntos.

- Peso propio de los perfiles: generado por el programa 18 kg/m².
- Correas de cubierta: 4 kg/m².

La suma del peso propio + el peso de las correas suma 22 kg/m², que es el valor utilizado en el anejo de proyecto.

- Cerramiento de cubierta: 28 kg/m².
- Nieve: 80 kg/m².
- Sobrecarga de uso en cubierta: 35 kg/m² no concomitante con la nieve.
- Instalaciones:
 - Climatización: con la ayuda de la planta de las instalaciones de climatización obtenida de la nube de puntos, se han introducido las cargas de las tuberías en función de su tamaño.

ESPESOR AISLANTE (m)	DIAMETRO EXTERIOR (m)	RADIO EXT (m)	RADIO INT (m)	AREA SECCION (m2)	DENSIDAD (kg/m3)	CARGA AISLANTE (kg/ml)	CARGA CHAPAL METALICA (kg/ml)	CARGA TOTAL (kg/ml)	SEPARACION NUDOS (m)	CARGA A/NUDO (kg)
0,025	1,50	0,75	0,725	0,116	100	11,58	47,50	59,08	5,00	295
0,025	1,25	0,625	0,6	0,096	100	9,62	33,00	42,62	5,00	213
0,025	1,00	0,5	0,475	0,077	100	7,66	27,70	35,36	5,00	177
0,025	0,75	0,375	0,35	0,057	100	5,69	15,80	21,49	5,00	107
0,025	0,50	0,25	0,225	0,037	100	3,73	9,20	12,93	5,00	65

- Se han considerado 4 kg/m² correspondiente al resto de instalaciones como luminarias, red wifi, contraincendios, electricidad, etc.

- Pasarela: se ha considerado una carga de 100 kg/ml según datos del proyecto.
- Falso techo: 20 kg/m².
- Carga de rigging superior: 14 kg/m².
- Carga de rigging inferior: 14 kg/m².

La carga de viento en la cubierta es una carga de succión según los datos del proyecto, por lo que la combinación de la acción del viento con el resto de cargas gravitatorias es más favorable que cuando el viento no incide en la cubierta. Por ello, el estudio de cargas y resultados se han realizado sin considerar estas cargas de viento por ser la hipótesis más desfavorable.

A continuación, se adjunta una tabla comparativa entre las cargas de proyecto y las cargas actuales:

HIPOTESIS	CARGA CARACTERISTICA PROYECTO Kg/m2	CARGA CARACTERISTICA ACTUAL Kg/m2	PROYECTO Kg (Area de 5 x 5 m)	ACTUAL Kg (Area de 5 x 5 m)	COEFICIENTE PROYECTO	COEFICIENTE ACTUAL	CARGA MAYORADA PROYECTO Kg/m2	CARGA MAYORADA ACTUAL Kg/m2
PESO PROPIO	22	18	550	450	1,35	1,35	29,7	24,3
CORREAS		4		100	1,35	1,35		5,4
CERRAMIENTO CUBIERTA	28	28	700	700	1,35	1,35	37,8	37,8
SCU CUBIERTA	35	35	875	875	1,35	1,50	47,25	52,5
NIEVE AE-88	80	80	2000	2000	1,35	1,50	108	120
INSTALACIONES	12	4	300	100	1,35	1,35	16,2	5,4
CLIMATIZACION	-	LOCALIZADA	-	LOCALIZADA		1,35		LOCALIZADA
FALSO TECHO	20	20	500	500	1,35	1,35	27	27
PASARELA	-	LOCALIZADA	-	LOCALIZADA		1,35	-	LOCALIZADA
RIGGING SUPERIOR	-	14	0	350		1,35	-	18,9
RIGGING INFERIOR	-	14	0	350		1,35	-	18,9

La diferencia de cargas entre el proyecto y el estado actual con el rigging es debida a la sobrecarga de uso que en el proyecto se consideró compatible con el resto de las cargas, mientras que, en el estado actual, esa sobrecarga de uso se sustituye por la carga de rigging.

La sobrecarga de uso de mantenimiento en la cubierta se considera no concomitante con la carga de nieve.

Otra diferencia está en la carga de instalaciones, ya que en el estado actual se incluyen de forma local las cargas debidas a la instalación de climatización y pasarelas de mantenimiento, mientras que en el proyecto se incluyen todas las instalaciones en una sola hipótesis.

Los coeficientes de seguridad utilizados en el proyecto son de 1,35. En el estado actual se utilizan los mismos coeficientes de seguridad excepto en la carga de nieve o de uso de mantenimiento que será de 1,50.

Además de estas cargas, en el anejo de proyecto se indican las cargas correspondientes a 5 puertas o tabiques móviles que discurren a través de unas vigas metálicas colgadas de la estructura espacial de la cubierta. Estas puertas pueden tener diferentes posiciones y en función de esto las cargas son:

- Puertas recogidas totalmente: 2 nudos de 30.000 kg separados 5,00 m, en cada uno de los 5 extremos del inicio de cara puerta. Según la información de cliente esta carga estaría descartada ya que las puertas nunca apoyarán en la estructura de cubierta en esta posición, sino en el suelo.
- Puerta en posición intermedia: 2 nudos de 20.000 kg separados 5,00 m, en un punto intermedio del recorrido de las puertas y en cada uno de los 5 tramos de puertas.
- Puerta distribuida: 5.000 kg en cada uno de los nudos del recorrido de las puertas separados 5,00 m de distancia.

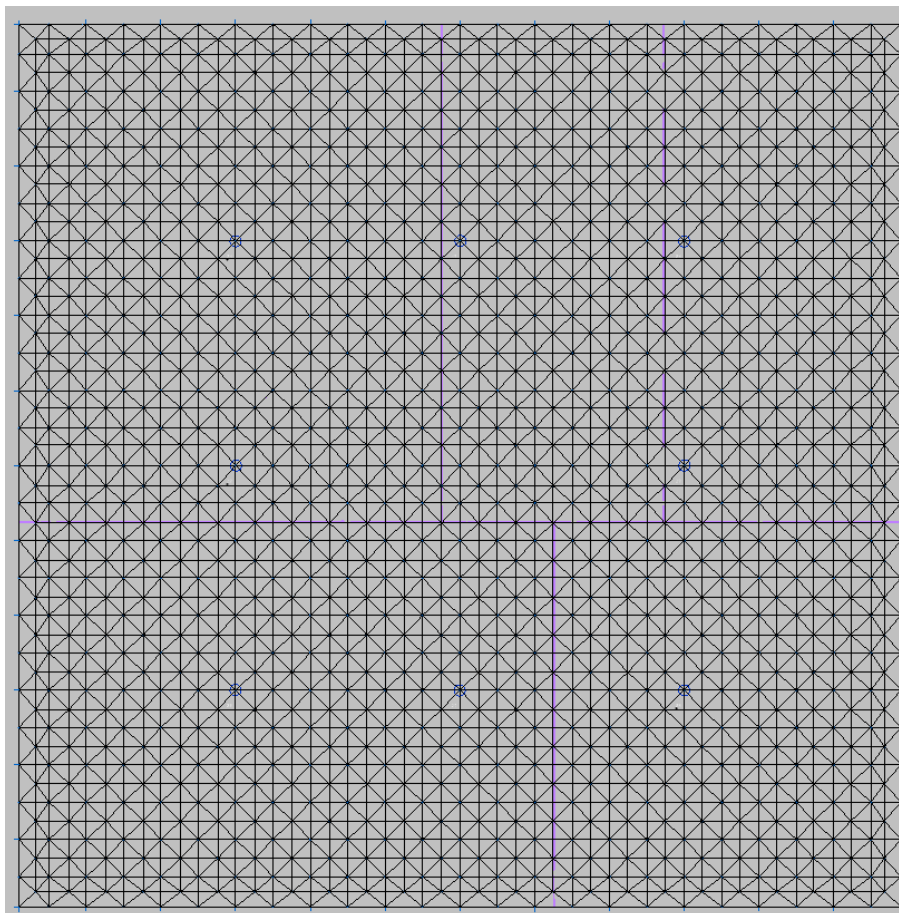


Ilustración 9 Planta de cubierta con tramos de puertas móviles.

3.2 CONDICIONES DE CONTORNO Y APOYOS DE LA ESTRUCTURA

Según la documentación de proyecto la estructura cuenta con 8 apoyos centrales sobre pilares de hormigón y 48 apoyos perimetrales sobre un perímetro de hormigón. Existe discrepancia entre los datos de los apoyos indicados en los planos de proyecto y los datos indicados en el anejo de cálculo del proyecto. En los planos aparecen los apoyos centrales como apoyos articulados deslizantes y los apoyos perimetrales como apoyos articulados fijos, mientras que en el anejo de cálculo aparecen los apoyos centrales como apoyos articulados deslizantes y los apoyos perimetrales como apoyos articulados deslizantes excepto 2 de ellos que son fijos.

En base a estos datos se ha realizado la comprobación con diferentes opciones de apoyo y así poder comparar los resultados.

4. COMPROBACIONES

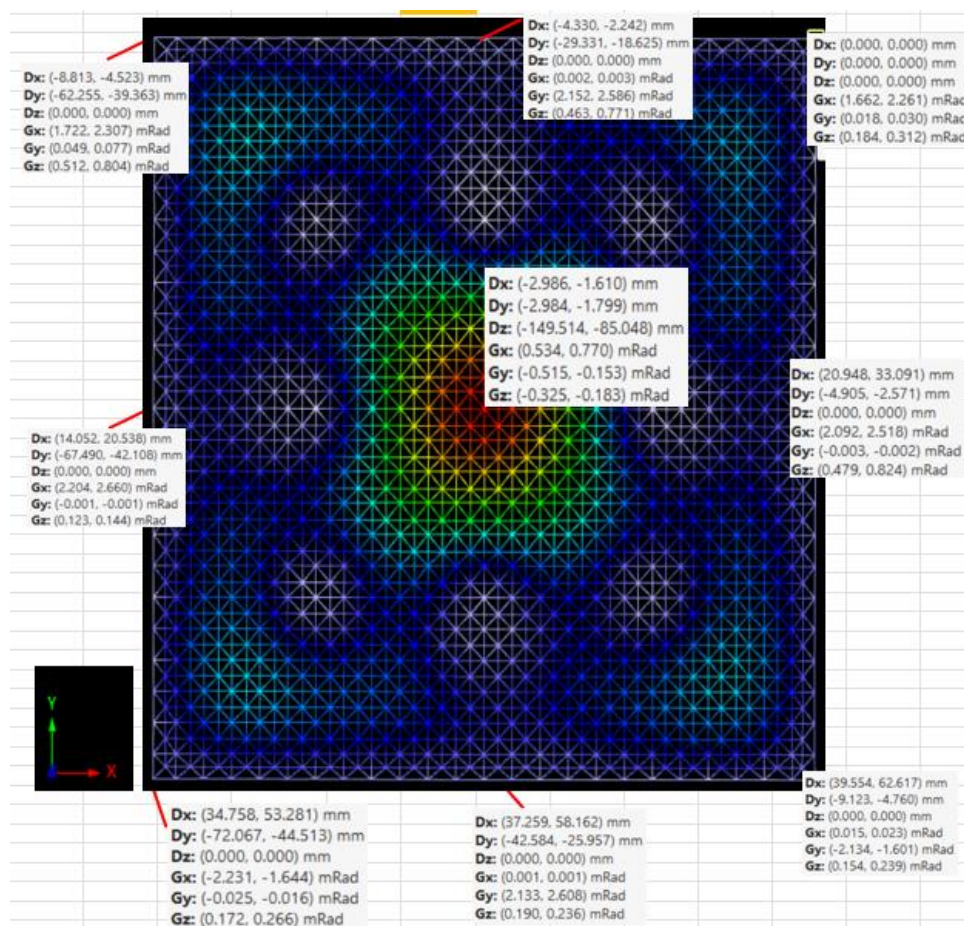
A continuación, se aportan los resultados obtenidos en diferentes comprobaciones realizadas en la estructura.

4.1 OPCIÓN 1: APOYOS DESLIZANTES / SIN PUERTAS MÓVILES / RIGGING SUPERIOR E INFERIOR 350 KG.

En esta comprobación se consideran los apoyos perimetrales deslizantes, con una carga del rigging de 350 kg en todos los nudos superiores e inferiores de la estructura. No se consideran la acción debida a las cargas de la puertas o tabiques móviles.

Archivo de cálculo "CUBIERTA PABELLON 14_12-4".

4.1.1. DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS

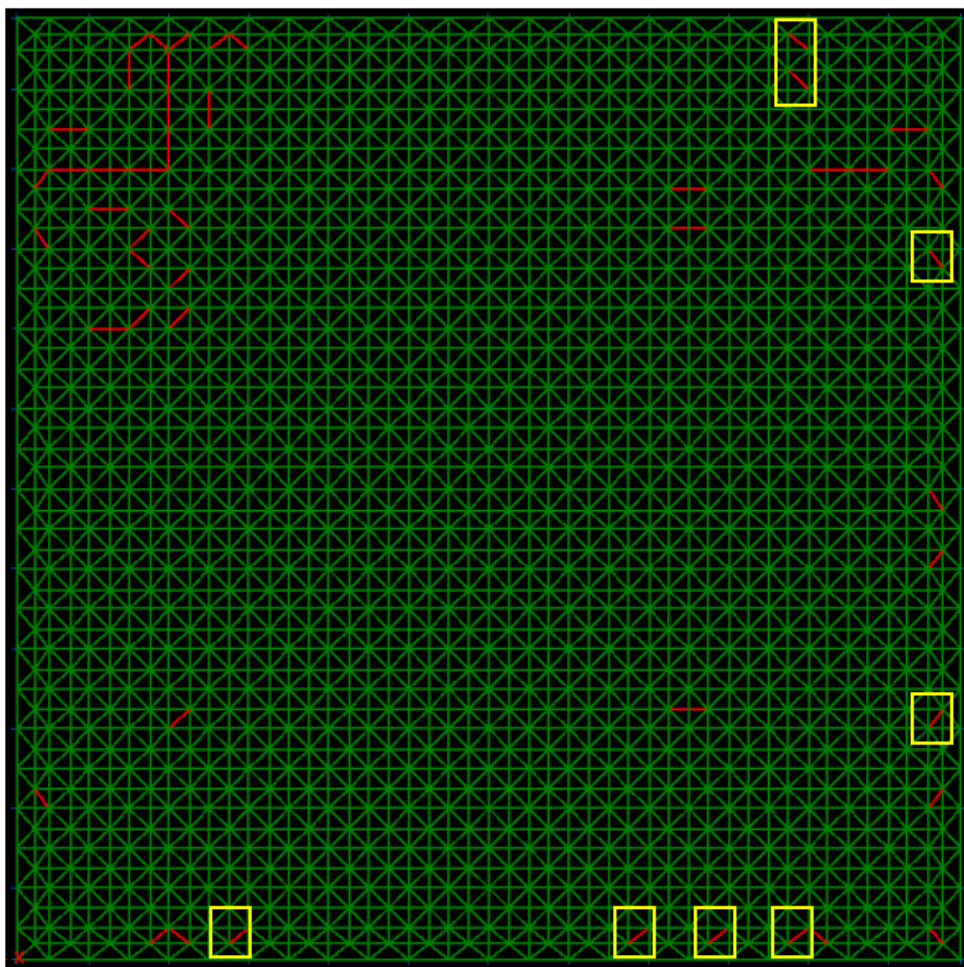


La relación de flecha máxima obtenida en el punto medio de la cubierta entre apoyos centrales es de **L/409**.

4.1.2. COMPROBACION DE RESISTENCIA DE LOS PERFILES

En el siguiente esquema se muestra de color verde todas aquellas barras de la estructura que están por debajo del límite de su resistencia ($< 100\%$) y en color rojo aquellas barras de la estructura que están por encima del límite de su resistencia ($>100\%$).

A modo de mejorar la visualización de las tensiones máximas en la estructura, se recuadran en amarillo aquellos perfiles que están por encima del 110%. Simplificando el resultado y suponiendo un porcentaje límite del 135 %, similar al mínimo coeficiente de seguridad de 1,35 aplicado a las cargas, ninguna de las barras de la estructura supera este valor.



4.1.3. REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS

A continuación, se aporta el sumatorio de reacciones verticales de todos los apoyos de la estructura y se compara con el sumatorio de reacciones verticales de proyecto.

- Sumatorio de reacciones verticales de proyecto: 4.899.557 kg.
- Sumatorio de reacciones verticales de cálculo: 4.101.365 kg.

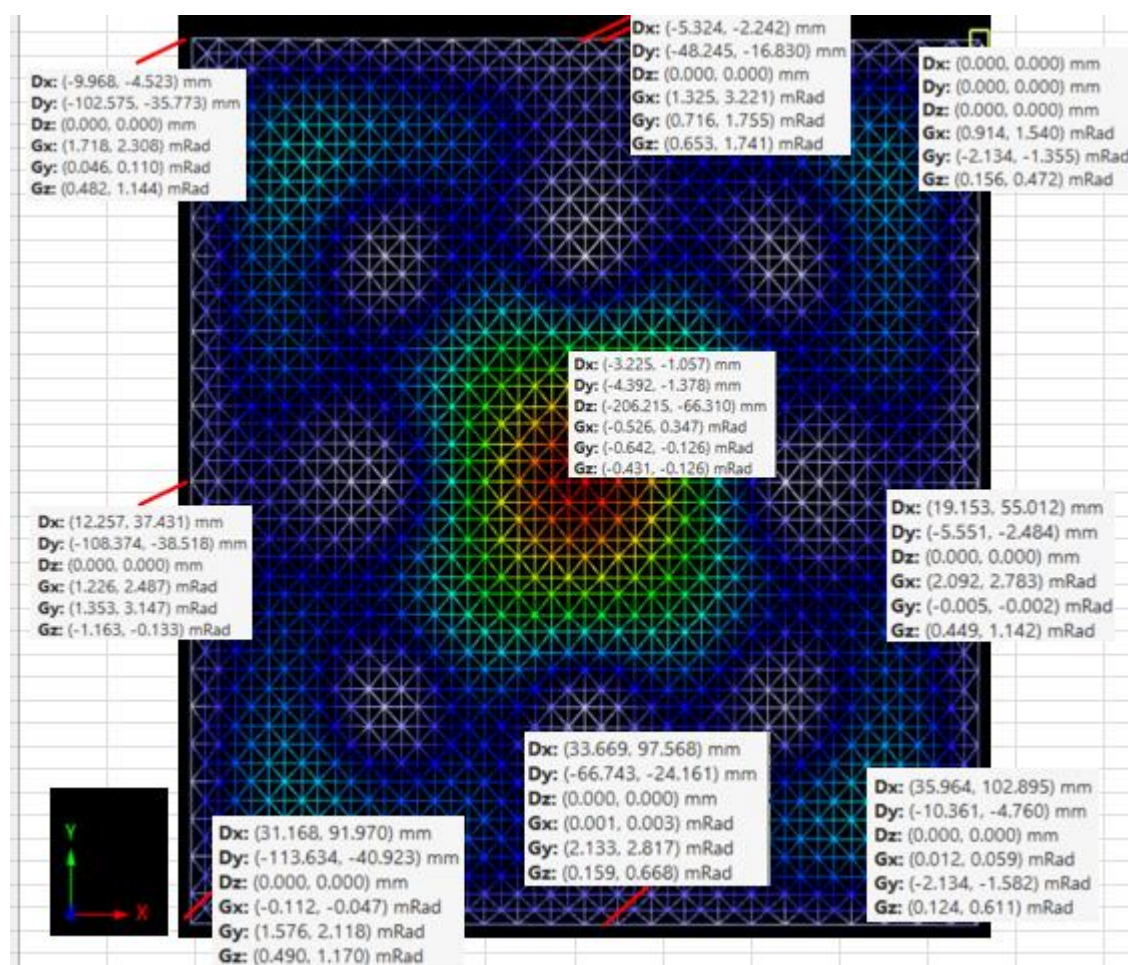
Las reacciones de cálculo son inferiores a las de proyecto, con un coeficiente de participación del **84 %**.

4.2 OPCIÓN 2: APOYOS DESLIZANTES / CON PUERTAS MÓVILES / RIGGING SUPERIOR E INFERIOR 350 KG.

En esta comprobación se consideran los apoyos perimetrales deslizantes, con una carga del rigging de 350 kg en todos los nudos superiores e inferiores de la estructura. Se consideran la acción debida a las cargas de la puertas o tabiques móviles

Archivo de cálculo "CUBIERTA PABELLON 14_12-6".

4.2.1. DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS

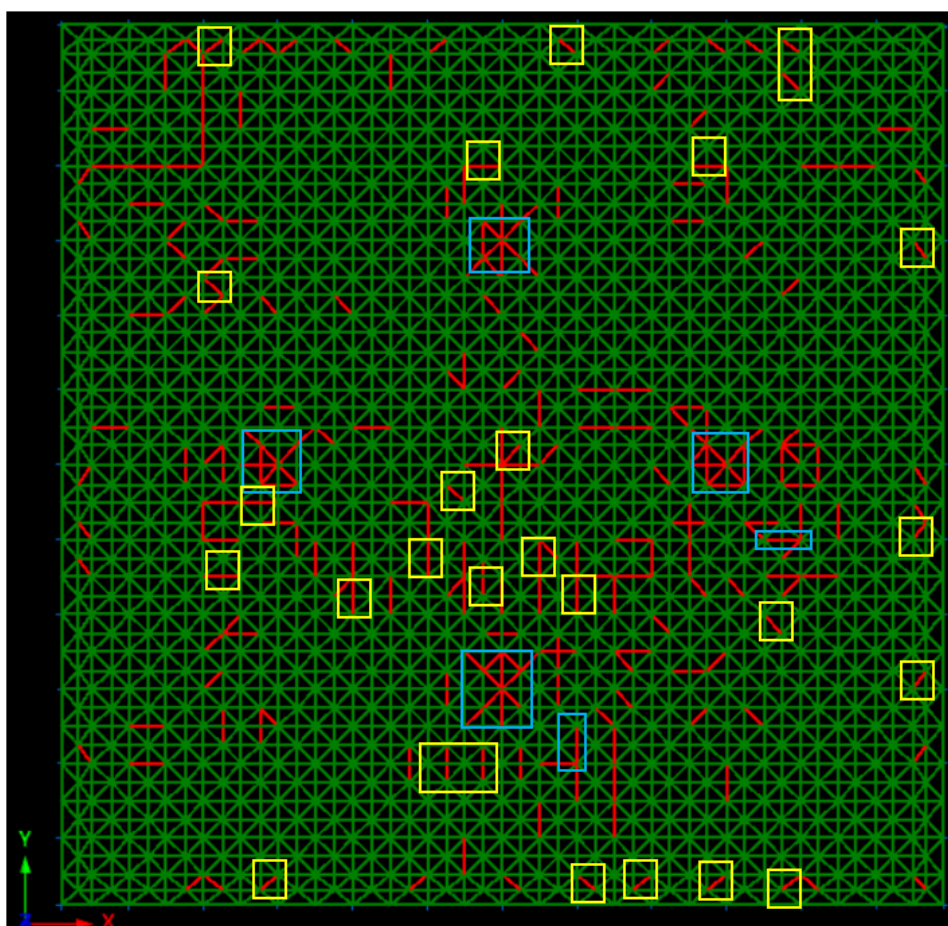


La relación de flecha máxima obtenida en el punto medio de la cubierta entre apoyos centrales es de **L/291**.

4.2.2. COMPROBACION DE RESISTENCIA DE LOS PERFILES

En el siguiente esquema se muestra de color verde todas aquellas barras de la estructura que están por debajo del límite de su resistencia ($< 100\%$) y en color rojo aquellas barras de la estructura que están por encima del límite de su resistencia ($>100\%$).

A modo de mejorar la visualización de las tensiones máximas en la estructura, se recuadran en amarillo aquellos perfiles que están por encima del 110%. Simplificando el resultado y suponiendo un porcentaje límite del 135 %, similar al mínimo coeficiente de seguridad de 1,35 aplicado a las cargas, alguna de las barras de la estructura supera este valor (marcadas en color azul).



4.2.3. REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS

A continuación, se aporta el sumatorio de reacciones verticales de todos los apoyos de la estructura y se compara con el sumatorio de reacciones verticales de proyecto.

- Sumatorio de reacciones verticales de proyecto: 4.899.557 kg.
- Sumatorio de reacciones verticales de cálculo: 4.663.532 kg.

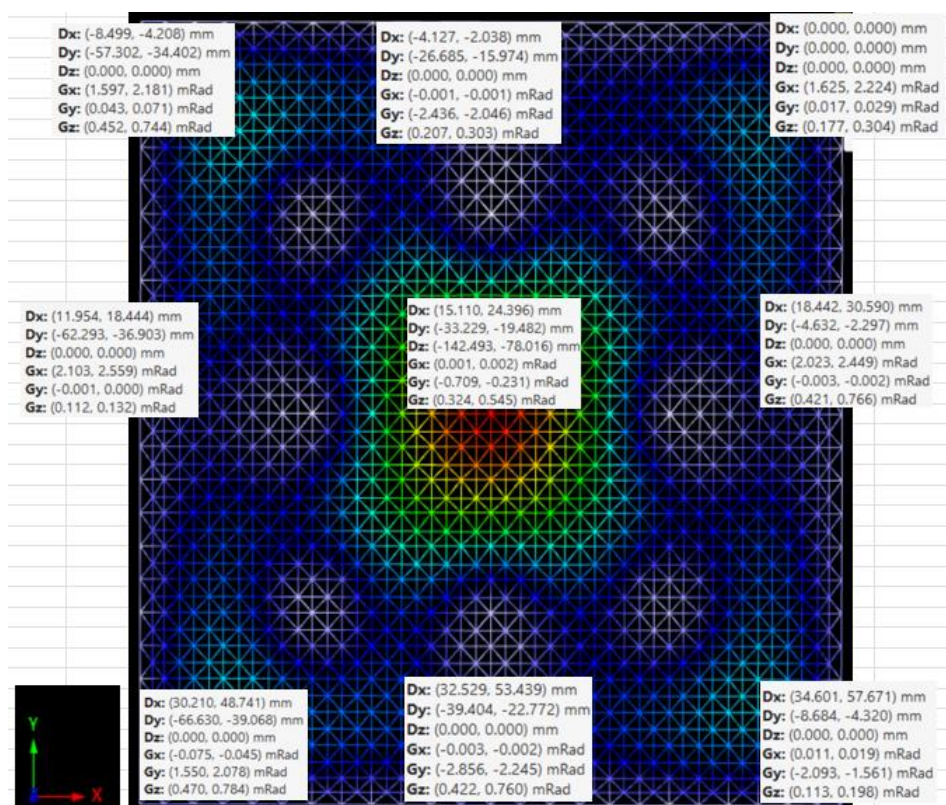
Las reacciones de cálculo son inferiores a las de proyecto, con un coeficiente de participación del **95%**.

4.3 OPCIÓN 3: APOYOS DESLIZANTES / SIN PUERTAS MÓVILES / RIGGING OPTIMIZADO SUPERIOR E INFERIOR 350 KG.

En esta comprobación se consideran los apoyos perimetrales deslizantes, con una carga del rigging de 350 kg optimizada, es decir, se eliminan las cargas de todos aquellos nudos donde es inviable la instalación del rigging por la existencia de instalaciones, pasarela o carril de tabiques móviles quedando un total de 879 puntos hábiles. No se consideran la acción debida a las cargas de la puertas o tabiques móviles.

Archivo de cálculo "CUBIERTA PABELLON 14_12-10".

4.3.1. DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS

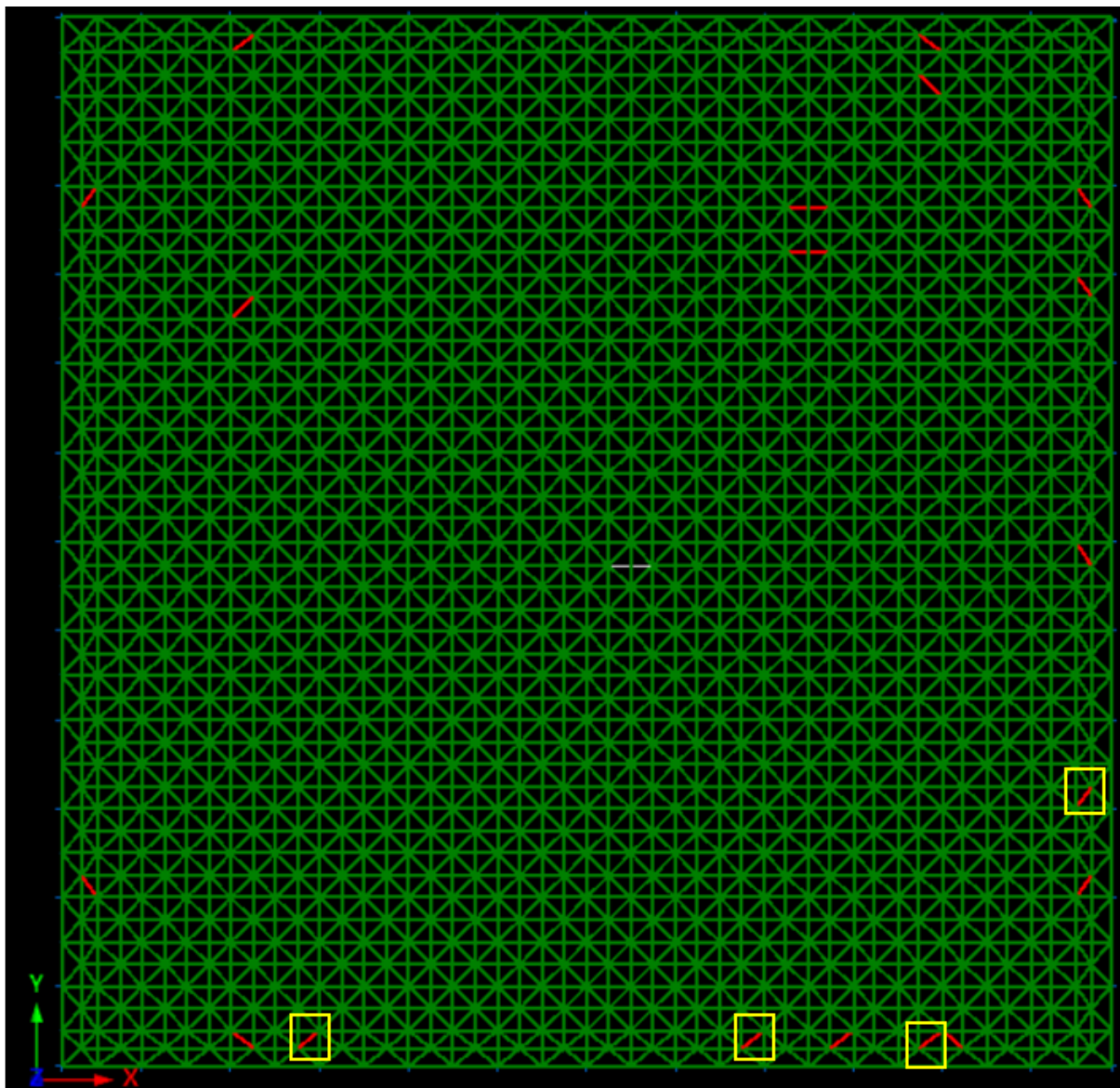


La relación de flecha máxima obtenida en el punto medio de la cubierta entre apoyos centrales es de **L/423**.

4.3.2. COMPROBACION DE RESISTENCIA DE LOS PERFILES

En el siguiente esquema se muestra de color verde todas aquellas barras de la estructura que están por debajo del límite de su resistencia (< 100%) y en color rojo aquellas barras de la estructura que están por encima del límite de su resistencia (>100%).

A modo de mejorar la visualización de las tensiones máximas en la estructura, se recuadran en amarillo aquellos perfiles que están por encima del 110%. Simplificando el resultado y suponiendo un porcentaje límite del 135 %, similar al mínimo coeficiente de seguridad de 1,35 aplicado a las cargas, ninguna de las barras de la estructura supera este valor.



4.3.3. REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS

A continuación, se aporta el sumatorio de reacciones verticales de todos los apoyos de la estructura y se compara con el sumatorio de reacciones verticales de proyecto.

- Sumatorio de reacciones verticales de proyecto: 4.899.557 kg.
- Sumatorio de reacciones verticales de cálculo: 3.902.227 kg.

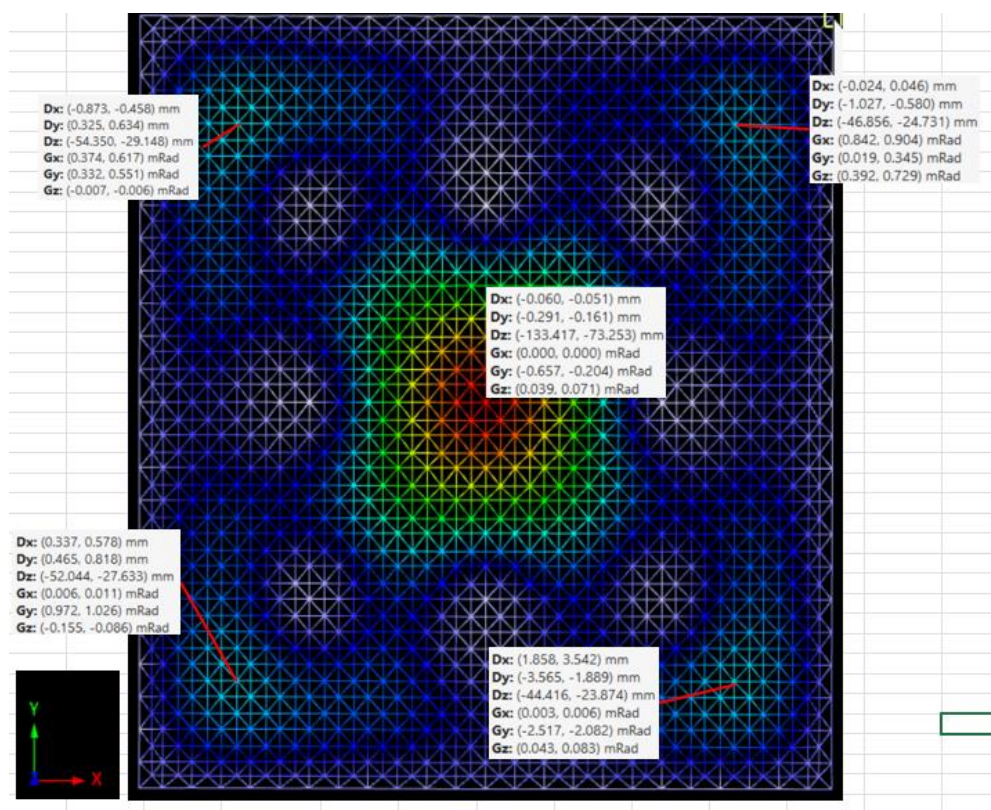
Las reacciones de cálculo son inferiores a las de proyecto, con un coeficiente de participación del **80%**.

4.4 OPCIÓN 4: APOYOS FIJOS / SIN PUERTAS MÓVILES / RIGGING OPTIMIZADO SUPERIOR E INFERIOR 350 KG.

En esta comprobación se consideran los apoyos perimetrales fijos, con una carga del rigging de 350 kg optimizada, es decir, se eliminan las cargas de todos aquellos nudos donde es inviable la instalación del rigging por la existencia de instalaciones, pasarela o carril de tabiques móviles quedando un total de 879 puntos hábiles. No se consideran la acción debida a las cargas de la puertas o tabiques móviles.

Archivo de cálculo "CUBIERTA PABELLON 14_12-11".

4.4.1. DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS

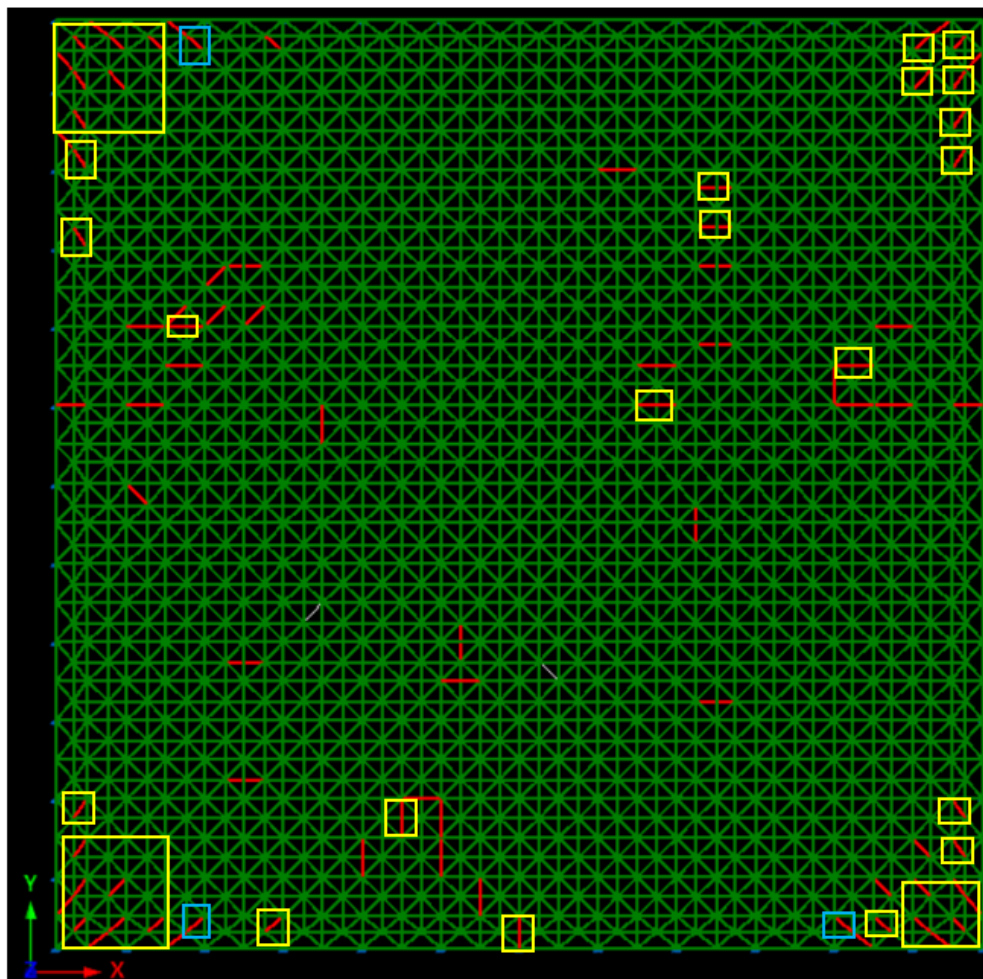


La relación de flecha máxima obtenida en el punto medio de la cubierta entre apoyos centrales es de **L/451**.

4.4.2. COMPROBACION DE RESISTENCIA DE LOS PERFILES

En el siguiente esquema se muestra de color verde todas aquellas barras de la estructura que están por debajo del límite de su resistencia (< 100%) y en color rojo aquellas barras de la estructura que están por encima del límite de su resistencia (>100%).

A modo de mejorar la visualización de las tensiones máximas en la estructura, se recuadran en amarillo aquellos perfiles que están por encima del 110%. Simplificando el resultado y suponiendo un porcentaje límite del 135 %, similar al mínimo coeficiente de seguridad de 1,35 aplicado a las cargas, 3 de las barras de la estructura supera este valor.



4.4.3. REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS

A continuación, se aporta el sumatorio de reacciones verticales de todos los apoyos de la estructura y se compara con el sumatorio de reacciones verticales de proyecto.

- Sumatorio de reacciones verticales de proyecto: 4.899.557 kg.
- Sumatorio de reacciones verticales de cálculo: 3.902.500 kg.

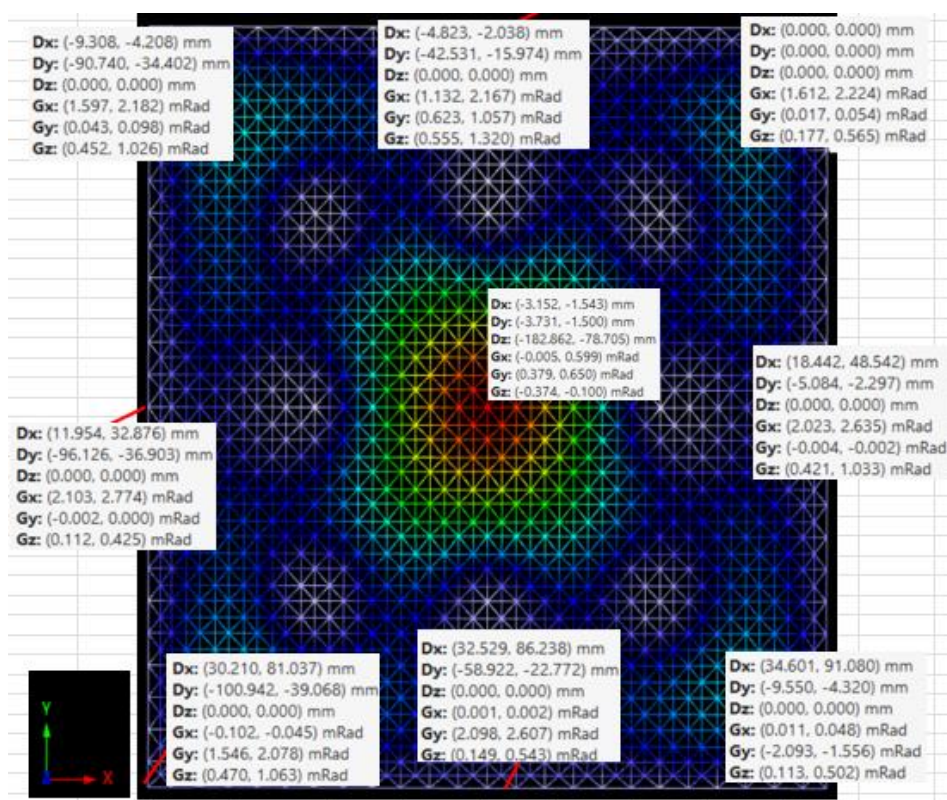
Las reacciones de cálculo son inferiores a las de proyecto, con un coeficiente de participación del **80%**.

4.5 OPCIÓN 5: APOYOS DESLIZANTES / CON PUERTAS MÓVILES REDUCIDA / RIGGING OPTIMIZADO SUPERIOR E INFERIOR 350 KG.

En esta comprobación se consideran los apoyos perimetrales fijos, con una carga del rigging de 350 kg optimizada, es decir, se eliminan las cargas de todos aquellos nudos donde es inviable la instalación del rigging por la existencia de instalaciones, pasarela o carril de tabiques móviles quedando un total de 879 puntos hábiles. Se considera la acción debida a las cargas de la puertas o tabiques móviles considerando solamente una carga de puerta distribuida de 3.500 kg en cada uno de los nudos del recorrido de las puertas separados 5,00 m de distancia.

Archivo de cálculo "CUBIERTA PABELLON 14_12-7".

4.5.1. DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS

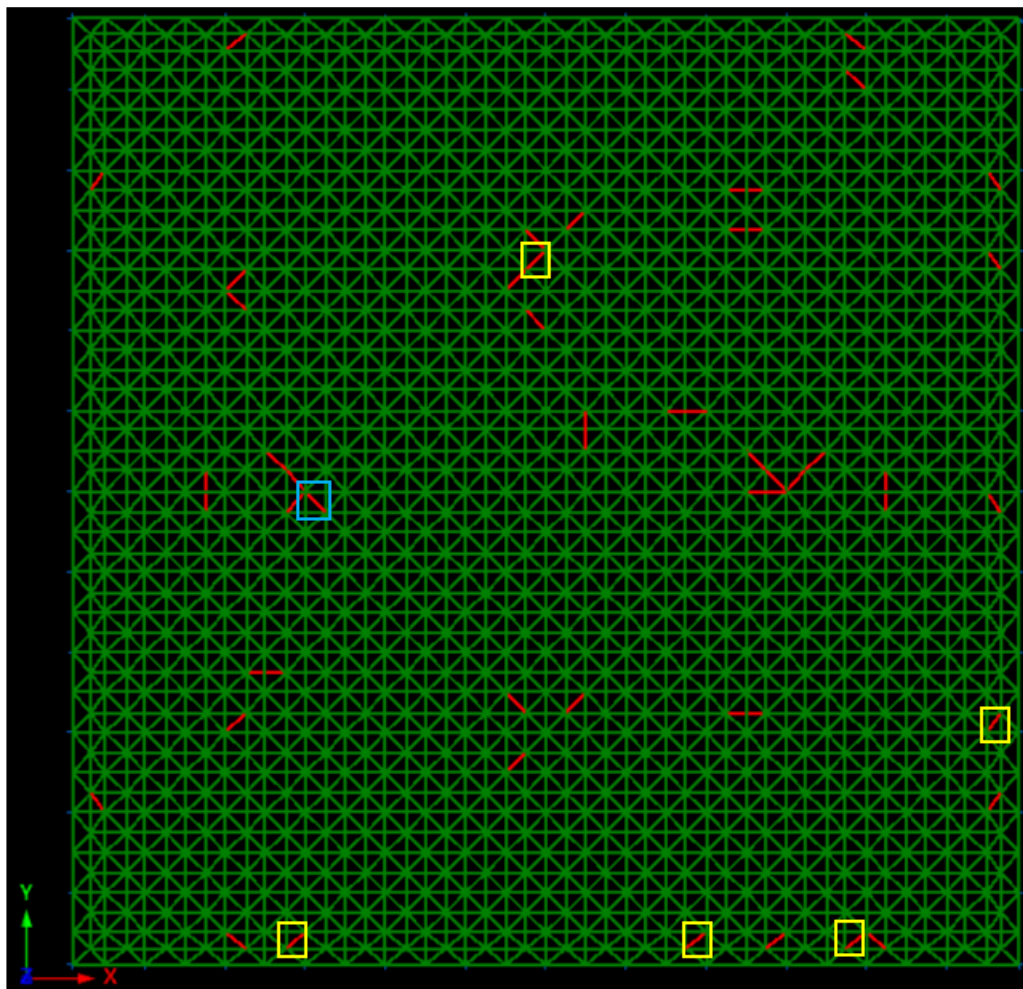


La relación de flecha máxima obtenida en el punto medio de la cubierta entre apoyos centrales es de **L/330**.

4.5.2. COMPROBACION DE RESISTENCIA DE LOS PERFILES

En el siguiente esquema se muestra de color verde todas aquellas barras de la estructura que están por debajo del límite de su resistencia (< 100%) y en color rojo aquellas barras de la estructura que están por encima del límite de su resistencia (>100%).

A modo de mejorar la visualización de las tensiones máximas en la estructura, se recuadran en amarillo aquellos perfiles que están por encima del 110%. Simplificando el resultado y suponiendo un porcentaje límite del 135 %, similar al mínimo coeficiente de seguridad de 1,35 aplicado a las cargas, 1 de las barras de la estructura supera este valor.



4.5.3. REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS

A continuación, se aporta el sumatorio de reacciones verticales de todos los apoyos de la estructura y se compara con el sumatorio de reacciones verticales de proyecto.

- Sumatorio de reacciones verticales de proyecto: 4.899.557 kg.
- Sumatorio de reacciones verticales de cálculo: 4.317.259 kg.

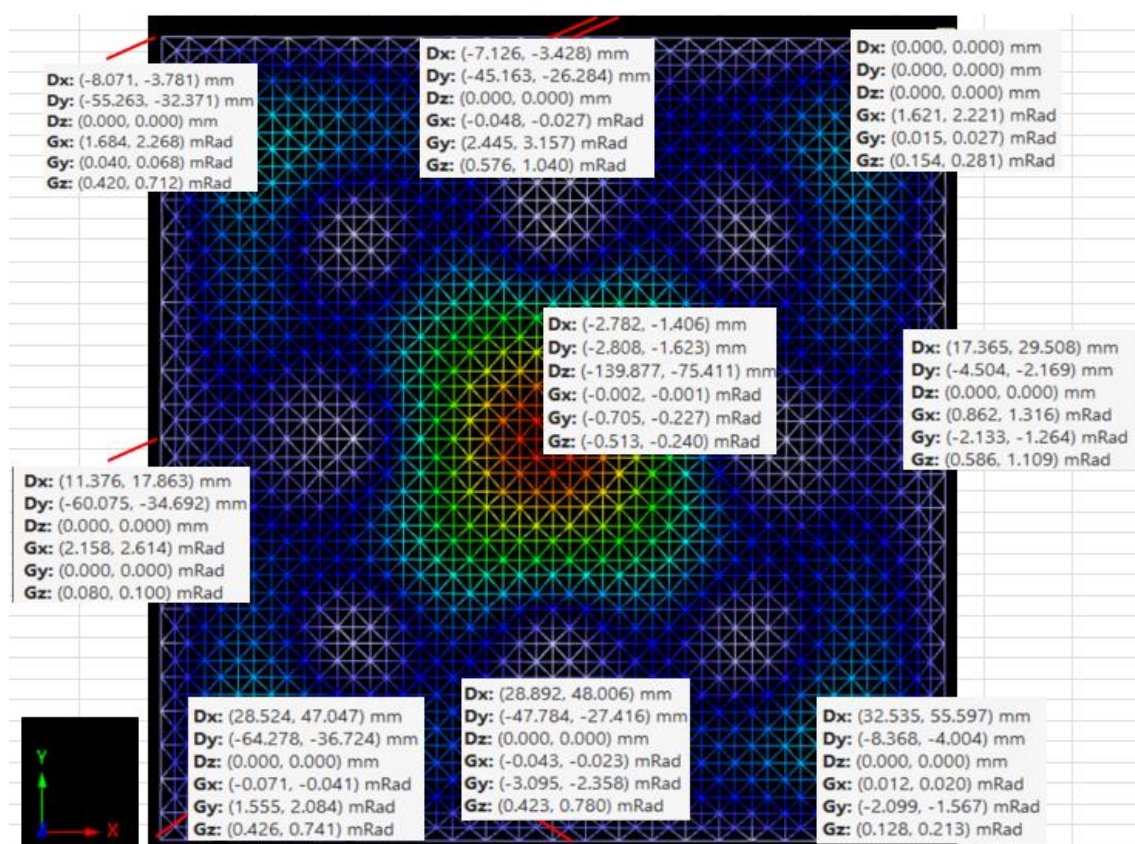
Las reacciones de cálculo son inferiores a las de proyecto, con un coeficiente de participación del **88%**.

4.6 OPCIÓN 6: APOYOS DESLIZANTES / SIN PUERTAS MÓVILES / RIGGING SOLO INFERIOR 400 KG.

En esta comprobación se consideran los apoyos perimetrales fijos, con una carga del rigging de 350 kg optimizada, es decir, se eliminan las cargas de todos aquellos nudos donde es inviable la instalación del rigging por la existencia de instalaciones, pasarela o carril de tabiques móviles quedando un total de 879 puntos hábiles. No se consideran la acción debida a las cargas de la puertas o tabiques móviles.

Archivo de cálculo "CUBIERTA PABELLON 14_12-5".

4.6.1. DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS

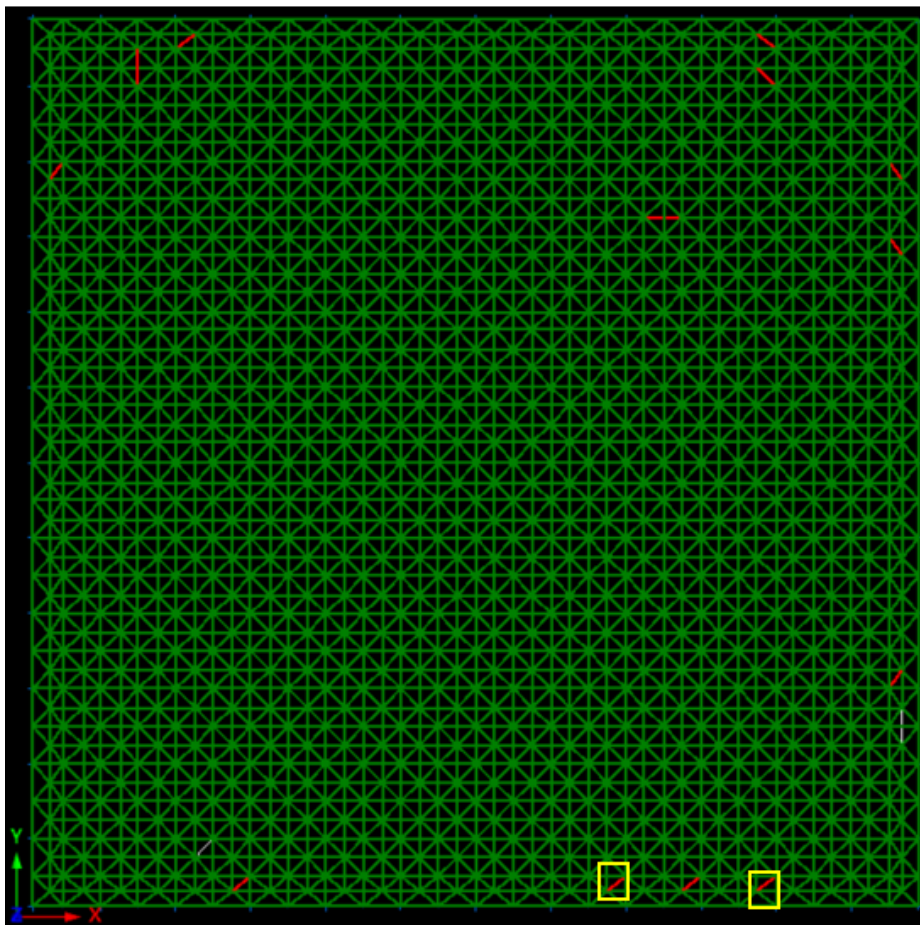


La relación de flecha máxima obtenida en el punto medio de la cubierta entre apoyos centrales es de **L/432**.

4.6.2. COMPROBACION DE RESISTENCIA DE LOS PERFILES

En el siguiente esquema se muestra de color verde todas aquellas barras de la estructura que están por debajo del límite de su resistencia (< 100%) y en color rojo aquellas barras de la estructura que están por encima del límite de su resistencia (>100%).

A modo de mejorar la visualización de las tensiones máximas en la estructura, se recuadran en amarillo aquellos perfiles que están por encima del 110%. Simplificando el resultado y suponiendo un porcentaje límite del 135 %, similar al mínimo coeficiente de seguridad de 1,35 aplicado a las cargas, ninguna de las barras de la estructura supera este valor.



4.6.3. REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS

A continuación, se aporta el sumatorio de reacciones verticales de todos los apoyos de la estructura y se compara con el sumatorio de reacciones verticales de proyecto.

- Sumatorio de reacciones verticales de proyecto: 4.899.557 kg.
- Sumatorio de reacciones verticales de cálculo: 3.852.056 kg.

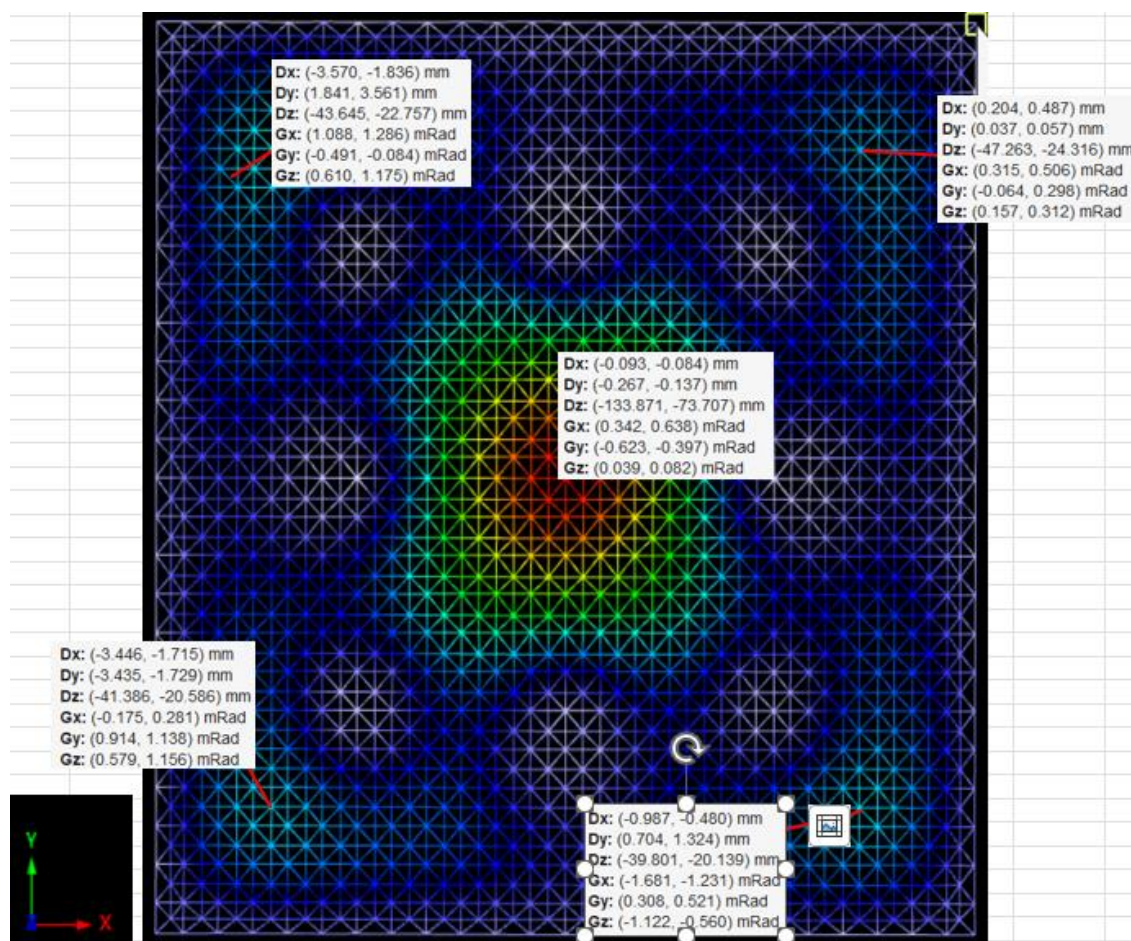
Las reacciones de cálculo son inferiores a las de proyecto, con un coeficiente de participación del **79%**.

4.7 OPCIÓN 7: APOYOS FIJOS / SIN PUERTAS MÓVILES / RIGGING DEFINITIVO SUPERIOR E INFERIOR 350 KG.

En esta comprobación se consideran los apoyos perimetrales fijos, con una carga del rigging de 350 kg definitiva, es decir, se eliminan las cargas de todos aquellos nudos donde es inviable la instalación del rigging por la existencia de instalaciones, pasarela o carril de tabiques móviles y además se eliminan las cargas de todos aquellos nudos que no son necesarios por el cliente quedando un total de 631 puntos hábiles. No se consideran la acción debida a las cargas de la puertas o tabiques móviles.

Archivo de cálculo "CUBIERTA PABELLON 14_12-14".

4.7.1. DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS

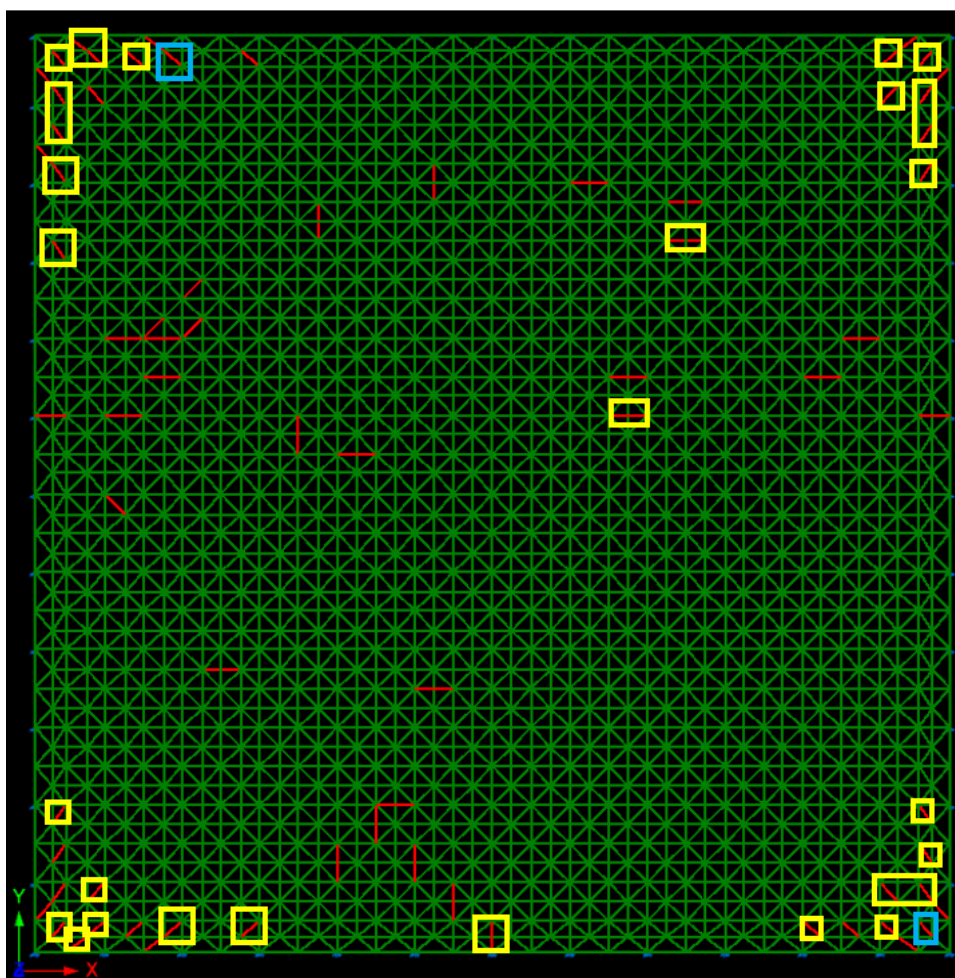


La relación de flecha máxima obtenida en el punto medio de la cubierta entre apoyos centrales es de **L/451**.

4.7.2. COMPROBACION DE RESISTENCIA DE LOS PERFILES

En el siguiente esquema se muestra de color verde todas aquellas barras de la estructura que están por debajo del límite de su resistencia ($< 100\%$) y en color rojo aquellas barras de la estructura que están por encima del límite de su resistencia ($>100\%$).

A modo de mejorar la visualización de las tensiones máximas en la estructura, se recuadran en amarillo aquellos perfiles que están por encima del 110%. Simplificando el resultado y suponiendo un porcentaje límite del 135 %, similar al mínimo coeficiente de seguridad de 1,35 aplicado a las cargas, 1 de las barras de la estructura supera este valor.



4.7.3. REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS

A continuación, se aporta el sumatorio de reacciones verticales de todos los apoyos de la estructura y se compara con el sumatorio de reacciones verticales de proyecto.

- Sumatorio de reacciones verticales de proyecto: 4.899.557 kg.
- Sumatorio de reacciones verticales de cálculo: 3.799.138 kg.

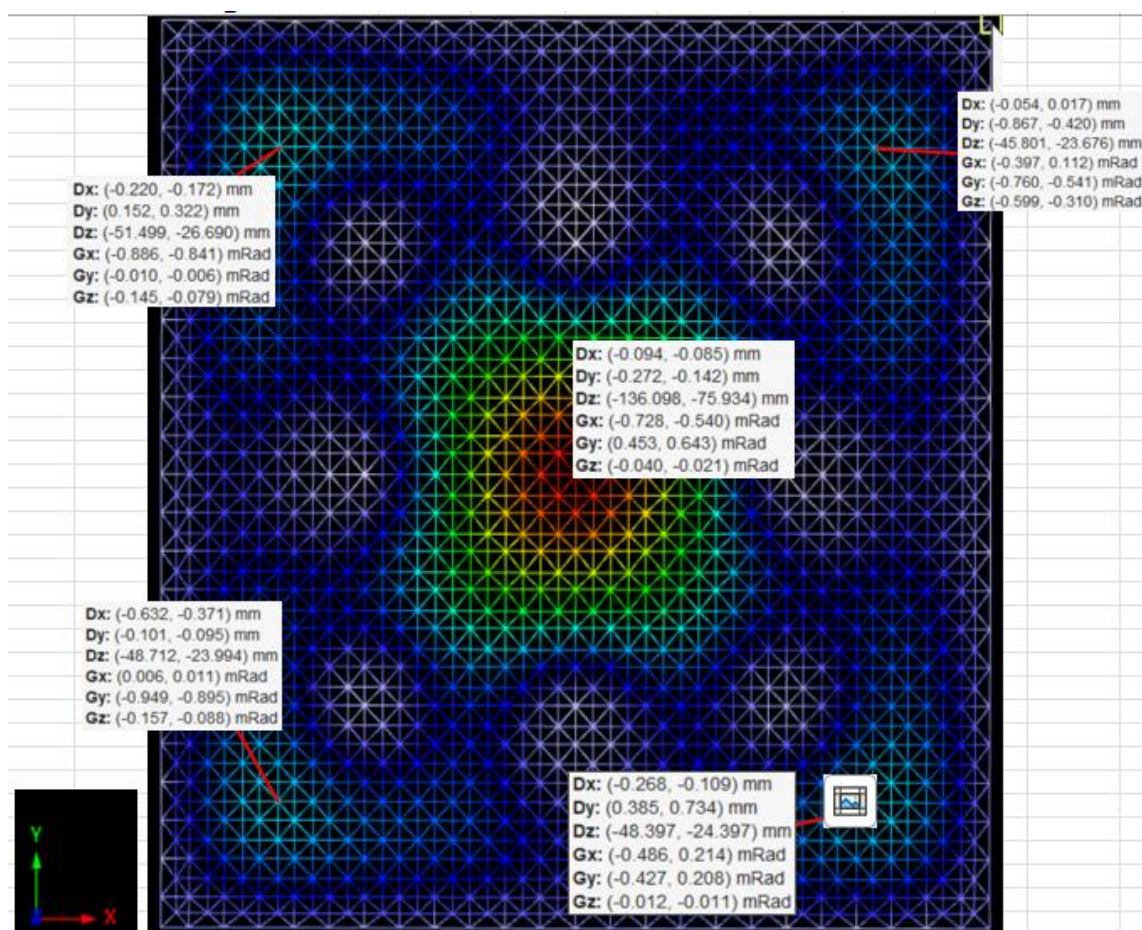
Las reacciones de cálculo son inferiores a las de proyecto, con un coeficiente de participación del **78%**.

4.8 OPCIÓN 8: APOYOS FIJOS / SIN PUERTAS MÓVILES / RIGGING DEFINITIVO SUPERIOR E INFERIOR 350 KG Y ZONA DE SALAS 400 KG.

En esta comprobación se consideran los apoyos perimetrales fijos, con una carga del rigging de 350 kg definitiva, es decir, se eliminan las cargas de todos aquellos nudos donde es inviable la instalación del rigging por la existencia de instalaciones, pasarela o carril de tabiques móviles y además se eliminan las cargas de todos aquellos nudos que no son necesarios por el cliente quedando un total de 631 puntos hábiles. Además, se han considerado una carga de 400 kg en los nudos definitivos que coinciden con la planta de la sala de gradas y sala polivalente. No se consideran la acción debida a las cargas de la puertas o tabiques móviles.

Archivo de cálculo "CUBIERTA PABELLON 14_12-15".

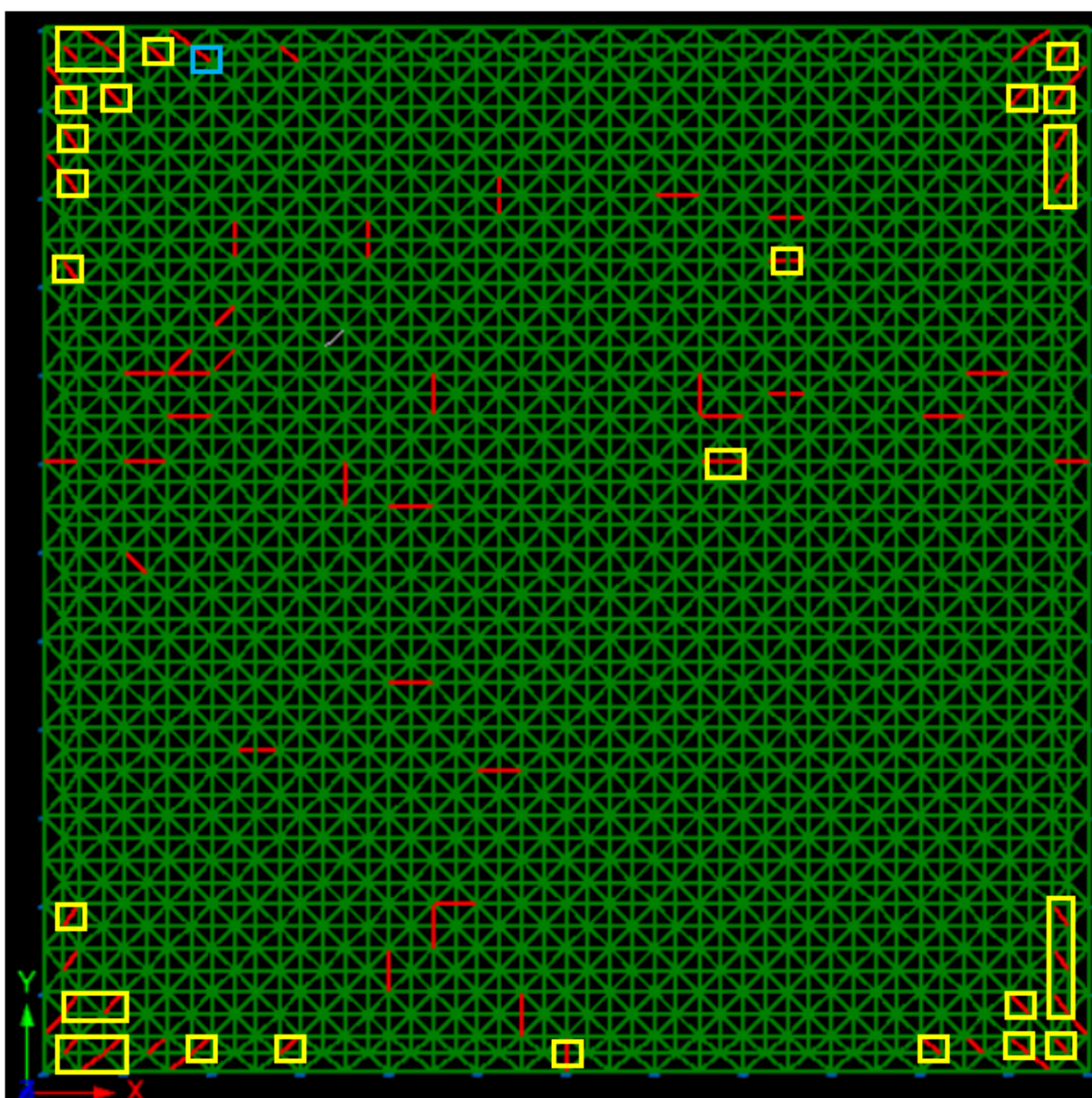
4.8.1. DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS



La relación de flecha máxima obtenida en el punto medio de la cubierta entre apoyos centrales es de **L/441**.

En el siguiente esquema se muestra de color verde todas aquellas barras de la estructura que están por debajo del límite de su resistencia ($< 100\%$) y en color rojo aquellas barras de la estructura que están por encima del límite de su resistencia ($>100\%$).

A modo de mejorar la visualización de las tensiones máximas en la estructura, se recuadran en amarillo aquellos perfiles que están por encima del 110%. Simplificando el resultado y suponiendo un porcentaje límite del 135 %, similar al mínimo coeficiente de seguridad de 1,35 aplicado a las cargas, 1 de las barras de la estructura supera este valor.



4.8.3. REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS

A continuación, se aporta el sumatorio de reacciones verticales de todos los apoyos de la estructura y se compara con el sumatorio de reacciones verticales de proyecto.

- Sumatorio de reacciones verticales de proyecto: 4.899.557 kg.
- Sumatorio de reacciones verticales de cálculo: 3.811.834 kg.

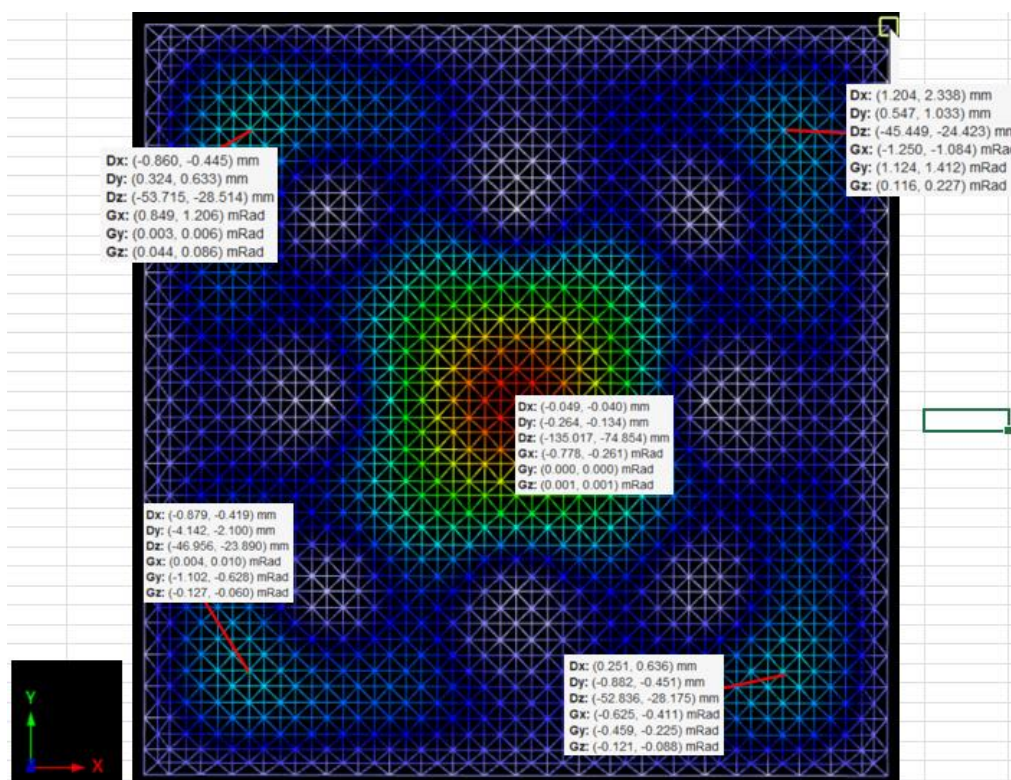
Las reacciones de cálculo son inferiores a las de proyecto, con un coeficiente de participación del **78%**.

4.9 OPCIÓN 9: APOYOS FIJOS / SIN PUERTAS MÓVILES / RIGGING DEFINITIVO SUPERIOR E INFERIOR 400 KG.

En esta comprobación se consideran los apoyos perimetrales fijos, con una carga del rigging de 400 kg definitiva, es decir, se eliminan las cargas de todos aquellos nudos donde es inviable la instalación del rigging por la existencia de instalaciones, pasarela o carril de tabiques móviles y además se eliminan las cargas de todos aquellos nudos que no son necesarios por el cliente quedando un total de 631 puntos hábiles. No se consideran la acción debida a las cargas de la puertas o tabiques móviles.

Archivo de cálculo "CUBIERTA PABELLON 14_12-18".

4.9.1. DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS

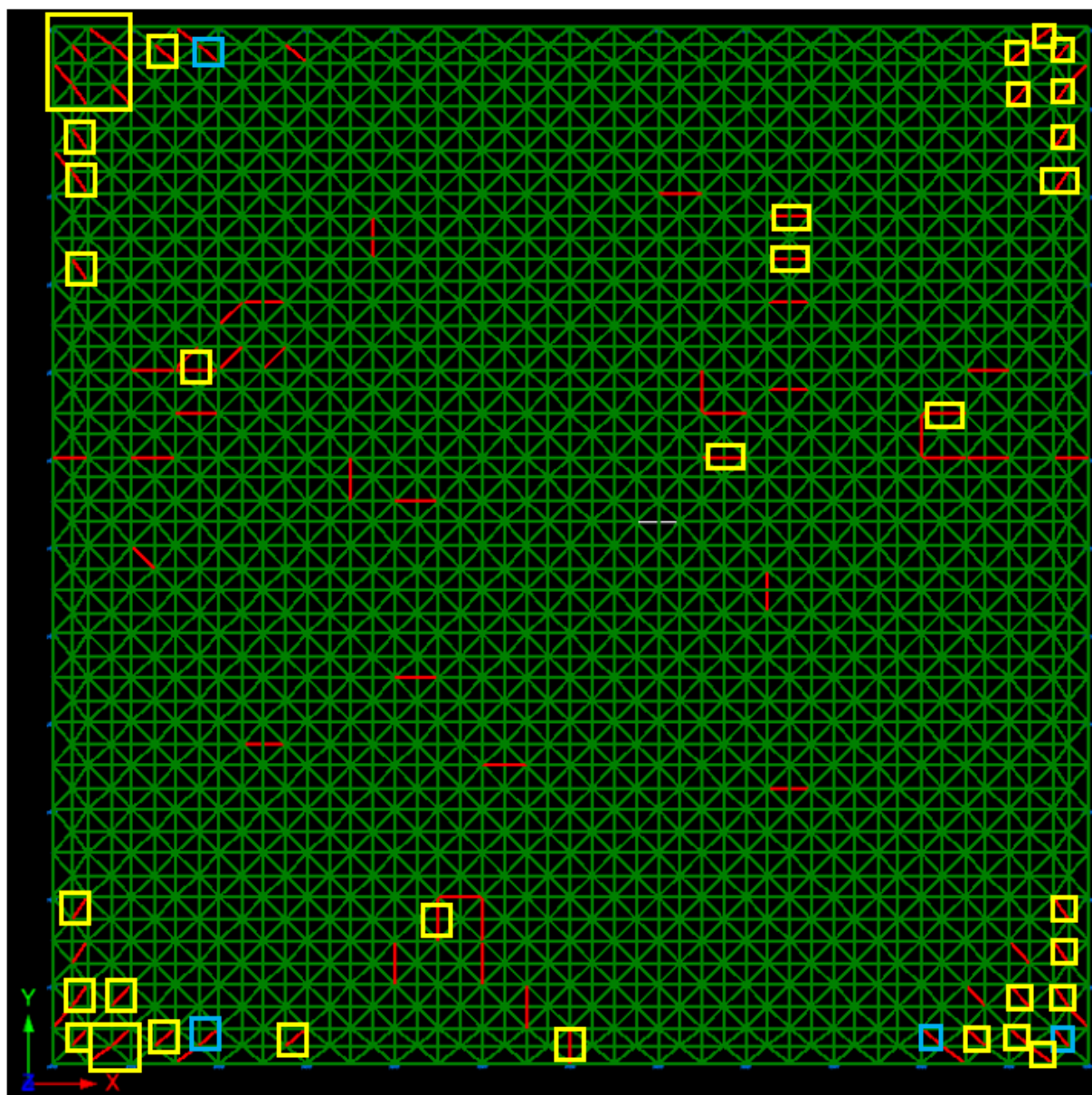


La relación de flecha máxima obtenida en el punto medio de la cubierta entre apoyos centrales es de **L/444**.

4.9.2. COMPROBACION DE RESISTENCIA DE LOS PERFILES

En el siguiente esquema se muestra de color verde todas aquellas barras de la estructura que están por debajo del límite de su resistencia ($< 100\%$) y en color rojo aquellas barras de la estructura que están por encima del límite de su resistencia ($>100\%$).

A modo de mejorar la visualización de las tensiones máximas en la estructura, se recuadran en amarillo aquellos perfiles que están por encima del 110%. Simplificando el resultado y suponiendo un porcentaje límite del 135 %, similar al mínimo coeficiente de seguridad de 1,35 aplicado a las cargas, 4 de las barras de la estructura supera este valor.



4.9.3. REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS

A continuación, se aporta el sumatorio de reacciones verticales de todos los apoyos de la estructura y se compara con el sumatorio de reacciones verticales de proyecto.

- Sumatorio de reacciones verticales de proyecto: 4.899.557 kg.
- Sumatorio de reacciones verticales de cálculo: 3.887.545 kg.

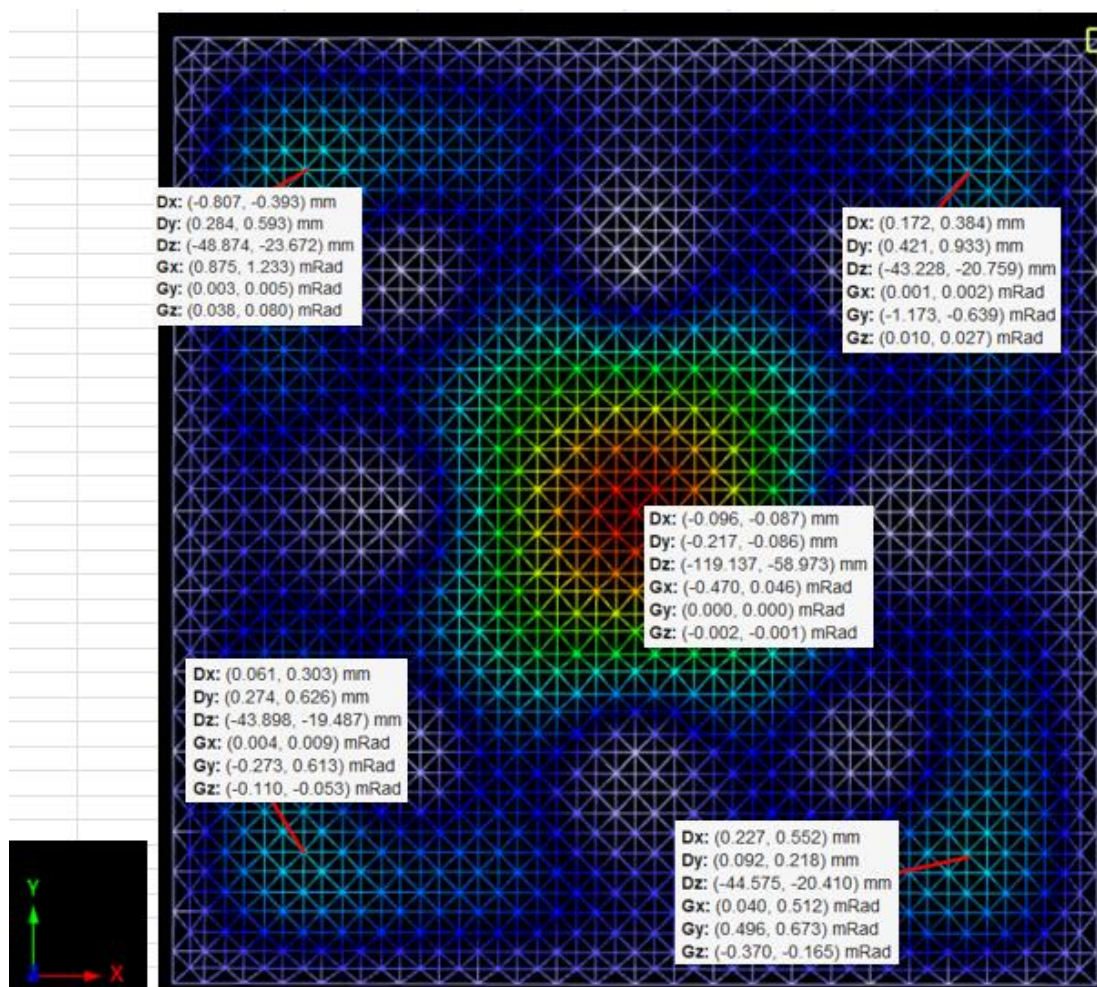
Las reacciones de cálculo son inferiores a las de proyecto, con un coeficiente de participación del **79%**.

4.10 OPCIÓN 10: APOYOS FIJOS / SIN PUERTAS MÓVILES / SIN CARGAS DE RIGGING

En esta comprobación se consideran los apoyos perimetrales fijos y no se consideran las cargas de rigging. No se consideran la acción debida a las cargas de la puertas o tabiques móviles.

Archivo de cálculo "CUBIERTA PABELLON 14_12-18-1".

4.10.1. DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS

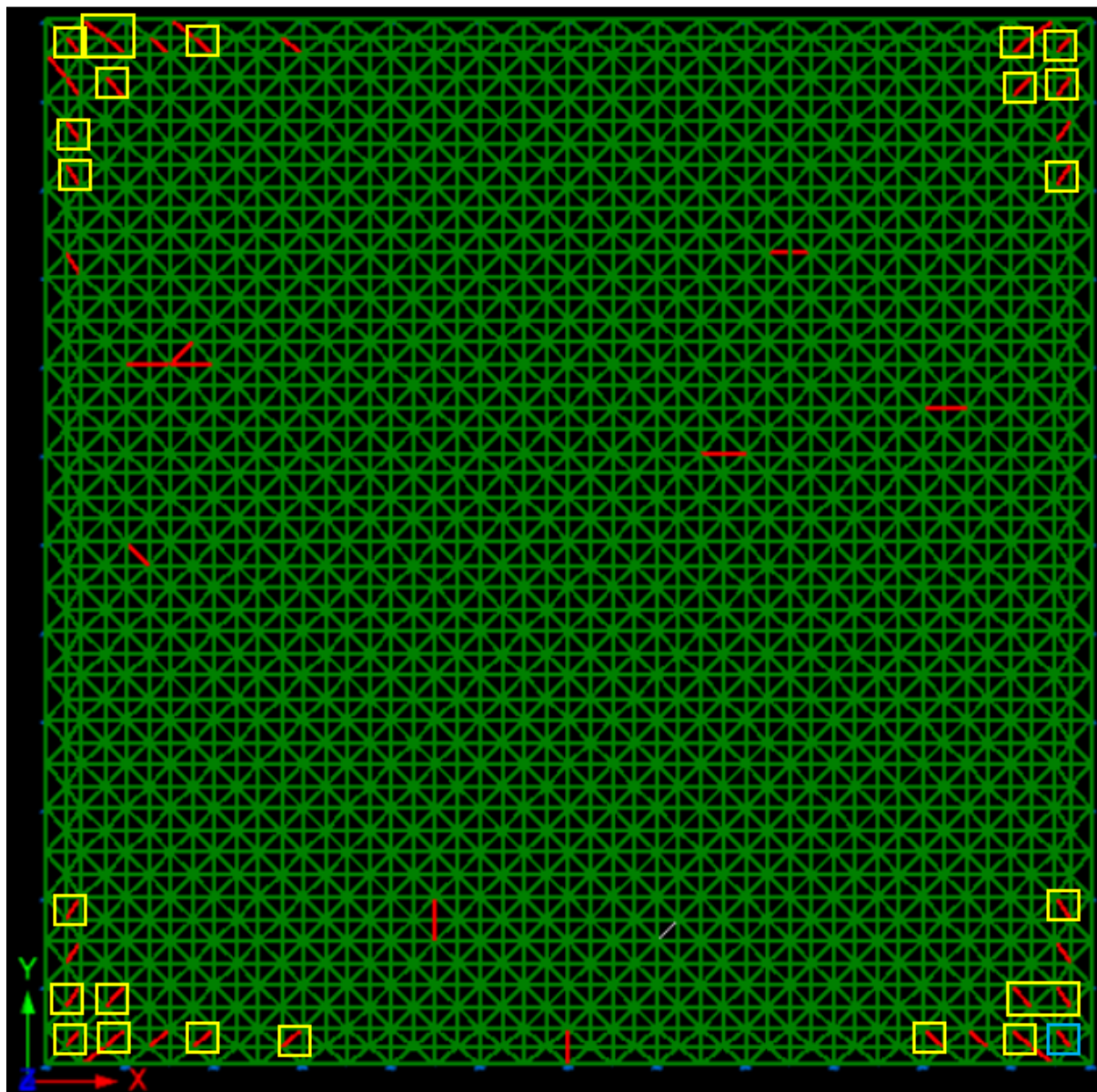


La relación de flecha máxima obtenida en el punto medio de la cubierta entre apoyos centrales es de **L/504**.

4.10.2. COMPROBACION DE RESISTENCIA DE LOS PERFILES

En el siguiente esquema se muestra de color verde todas aquellas barras de la estructura que están por debajo del límite de su resistencia ($< 100\%$) y en color rojo aquellas barras de la estructura que están por encima del límite de su resistencia ($>100\%$).

A modo de mejorar la visualización de las tensiones máximas en la estructura, se recuadran en amarillo aquellos perfiles que están por encima del 110%. Simplificando el resultado y suponiendo un porcentaje límite del 135 %, similar al mínimo coeficiente de seguridad de 1,35 aplicado a las cargas, 1 de las barras de la estructura supera este valor.



4.10.3. REACCIONES MÁXIMAS EN APOYOS

A continuación, se aporta el sumatorio de reacciones verticales de todos los apoyos de la estructura y se compara con el sumatorio de reacciones verticales de proyecto.

- Sumatorio de reacciones verticales de proyecto: 4.899.557 kg.
- Sumatorio de reacciones verticales de cálculo: 3.483.718 kg.

Las reacciones de cálculo son inferiores a las de proyecto, con un coeficiente de participación del **71%**.

5. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE CUBIERTA

En base a los resultados obtenidos en las comprobaciones anteriores se obtienen las siguientes conclusiones:

- La opción de **apoyos perimetrales** fijos es más desfavorable que la opción de apoyos perimetrales deslizantes. Por lo tanto, tomaremos como referencia las opciones de comprobación con apoyos fijos.
- Los **desplazamientos globales** obtenidos en todas las opciones comprobadas entran dentro de los límites admisibles para el buen funcionamiento de la estructura y son inferiores a los desplazamientos indicados en el anejo de cálculo del proyecto.
- La opción de considerar las cargas de los **tabiques móviles** de proyecto junto con los puntos de rigging provoca tensiones excesivas en la estructura general y puntualmente en los perfiles cercanos a los carriles por donde circulan los tabiques. En el caso futuro de tener que instalar tabiques móviles, una solución podría ser la instalación de unos tabiques móviles con cargas menores que las de proyecto.
- Las **reacciones globales** obtenidas en todas las comprobaciones son inferiores a las reacciones indicadas en el anejo de cálculo del proyecto. En la OPCIÓN 2 se obtienen reacciones del 95 % de las reacciones obtenidas en proyecto. Por este motivo y por los resultados de tensiones obtenidos en esta opción, nos indica que se esté alcanzado el límite de carga de la estructura y teniendo en cuenta además que los perfiles del anejo son de mayores dimensiones que los de los planos (los utilizados en las comprobaciones), pone de manifiesto que las cargas de tabiques móviles de proyecto podrían no ser compatibles con las cargas de rigging.
- En caso de tener que realizar la instalación de tabiques móviles en la estructura se recomienda la utilización de tabiques con un peso inferior al indicado en el proyecto.
- La **OPCIÓN 7** sería el caso con la distribución de puntos de rigging en los nudos superiores e inferiores de **350 kg** por nudo, lo que supone una carga en el entramado de nudos superiores de 14 kg/m^2 y una carga en el entramado de nudos inferiores de 14 kg/m^2 , siendo el total de carga por superficie en planta de 28 kg/m^2 .
- La **OPCIÓN 8** sería similar al caso anterior, pero teniendo en cuenta una carga de **400 kg** en los nudos dentro de la **sala polivalente y sala de gradas** y de 350 kg en el resto de los nudos. Esto supone una carga por superficie en planta de 28 kg/m^2 en zonas fuera de las salas y una carga de 32 kg/m^2 dentro de las salas.
- La **OPCIÓN 9** sería el caso con la distribución de puntos de rigging **DEFINITIVOS** en los nudos superiores e inferiores de **400 kg** por nudo, lo que supone una carga en el entramado de nudos superiores de 16 kg/m^2 y una carga en el entramado de nudos inferiores de 16 kg/m^2 , siendo el total de carga por superficie en planta de 32 kg/m^2 .

- La **OPCIÓN 10** es el caso en el que no se encuentran aplicadas ninguna carga de rigging.
- Comparación de resultados:
 - Los resultados para la OPCIÓN 7, para la OPCION 8 y para la OPCIÓN 9 son similares en ambos casos. La máxima diferencia de reacciones entre estas opciones es de un 2 % del total de reacciones en la estructura. La diferencia del aprovechamiento de resistencia de los perfiles entre estas opciones es inferior al 4 %. El aumento de carga a 400 kg en vez de 350 kg en todos los nudos definitivos no supone grandes cambios en la estructura general, aunque empiezan a aparecer mayor número de perfiles por encima del coeficiente estimado de 1,35. Esto puede ser un indicativo de que no sería recomendable superar este valor máximo de 400 kg por nudo.
 - Si comparamos la OPCION 10 con la OPCIÓN 9 (DEFINITIVA), se puede observar que los desplazamientos con las cargas de rigging suponen un 13 % mas de deformación y siempre dentro de los valores admisibles. La diferencia del aprovechamiento de resistencia de los perfiles entre estas opciones es inferior al 5 %. En las imágenes de comprobación de resistencia de los perfiles se puede ver que el mayor porcentaje de resistencia en las barras se encuentran en la mismas ubicacion, en las cuatro esquinas de la estructura. La máxima diferencia de reacciones entre estas opciones es de un 11 % del total de reacciones en la estructura, un valor lógico teniendo en cuenta que en una de las opciones no hay rigging y en otra si.
- Por otro lado, la probabilidad de que todas las cargas de cuelgue estén presentes simultáneamente en todos los nudos definitivos de la estructura, es reducida. Esto se debe a que en la distribución de eventos las cargas de rigging, como trusses para focos, escenarios, carteles, etc. no se instalan ni se utilizan de manera uniforme en toda la estructura. Es más probable que estas cargas se concentren en áreas específicas según las necesidades del evento. Además, existirá una variabilidad de la magnitud de la carga de cuelgue que en pocas ocasiones será del valor máximo calculado, sino inferior a él.
- A modo de análisis práctico, en la siguiente tabla se reflejan los datos de los eventos realizados en el pabellón 14.1 en los últimos 2 años (desde septiembre de 2023 hasta junio de 2025), indicando el número de puntos de rigging totales instalados y la carga máxima transmitida a la cubierta:

AÑO	FERIA	NÚMERO DE PROYECTOS	PUNTOS DE RIGGING TOTALES PAB 14.1	PESO TOTAL (KG)
2023	MBFW SEPTIEMBRE 2023	12	113	19188,21
2023	SALÓN LOOK 2023	2	50	6750,78
2023	FIESTA DE NAVIDAD IFEMA	1	36	3622,20
2024	MADRID FUSIÓN 2024	5	51	8328,36
2024	MBFW FEBRERO 2024	9	101	17643,82
2024	EVENTO DE VERANO IFEMA	2	40	4071,20
2024	MBFW SEPTIEMBRE 2024	10	94	18520,54
2024	SALÓN LOOK 2024	3	46	10084,67
2024	FIESTA DE NAVIDAD IFEMA	2	39	4997,64
2025	MADRID FUSIÓN 2025	4	45	7492,98
2025	ACCIONA CULTURAL BYD	1	43	4801,95
2025	MBFW FEBRERO 2025	11	107	17505,57
2025	EXPOSICIÓN FRIENDS	2	83	13422,88
2025	PREMIOS LOOK	1	45	5142,81

Analizando los datos, se comprueba que en ningún caso se han superado los 20.000 kg de carga, por lo que no se ha superado la situación de sobrecarga de uso más desfavorable prevista para la cubierta del pabellón 14.1.

- Como se puede observar en el histórico de eventos, la carga máxima total introducida en la estructura de la cubierta es inferior al 10 % de la carga analizada de 400 kg en cada uno de los 631 puntos de la propuesta definitiva. Es decir, la probabilidad de que el total de la carga esté actuando en la cubierta es prácticamente nula. Por todo ello, en el caso de que, en un futuro, el total de carga a introducir fuese mayor o igual al 50 % del total analizado, se deberá realizar un análisis exhaustivo de comprobación.

El esquema en planta de puntos de rigging definitivos con un total de 631 puntos hábiles es el siguiente:



Ilustración 10 Esquema de propuesta definitiva de los 631 puntos de cuelgue hábiles

En este esquema se pueden diferenciar los puntos de cuelgue de la estructura superior (color verde) y de la estructura inferior (color azul).

6. PROPUESTA DE SISTEMA DE RIGGING

Una vez comprobada la estructura de la cubierta y obtenido la distribución y carga de rigging en el pabellón, se procede a analizar el sistema de cuelgue a instalar en los nudos de la cubierta.

6.1 SISTEMA DE RIGGING A INSTALAR:

El cuelgue vertical se compone de una eslinga de cable de acero “protegida” con la que se realiza la “lazada” sobre el nudo de la cercha, la cual debe de abrazar al menos 2 de los perfiles que llegan al nudo. Esta eslinga de amarre se unirá por sus dos extremos al ramal de cadena principal por medio de un grillete lira. En los casos en los que sea posible, la eslinga podrá sustituirse por un cáncamo roscado atornillado al nudo al que se anclará el grillete lira y, a continuación, el ramal de cadena. Debido a la geometría curva de la estructura de la cubierta, la longitud de la cadena será variable en función de la posición del nudo en planta. En el extremo inferior de la cadena se colocará un eslabón de unión que se unirá a una anilla simple para el cuelgue del tramo final.

Este tramo final está proyectado con una disposición de seguridad con fusible de carga. Esto implica la existencia de un cable de menor sección con una carga límite C_L y una carga de rotura C_R , que aseguran su rotura para cargas desproporcionadas y la elongación para cargas por encima de la carga fijada como máxima de uso. Esta eslinga se denomina “**cable fusible**”. Además, se dispone una segunda eslinga de mayor sección y con una longitud que asegura la no entrada en carga de la misma, cuya única finalidad es recoger la carga en caso de rotura del cable fusible. Esta segunda eslinga se denomina “**cable de seguridad**”.

La unión del cable fusible con la anilla superior e inferior se realiza con un eslabón de unión que permite desmontar el cable en caso de rotura. Sobre estas dos anillas superior e inferior se une además la eslinga llamada cable de seguridad. Esta pareja de cables se remata con una anilla simple final, que debe servir como único elemento de cuelgue para los instaladores.

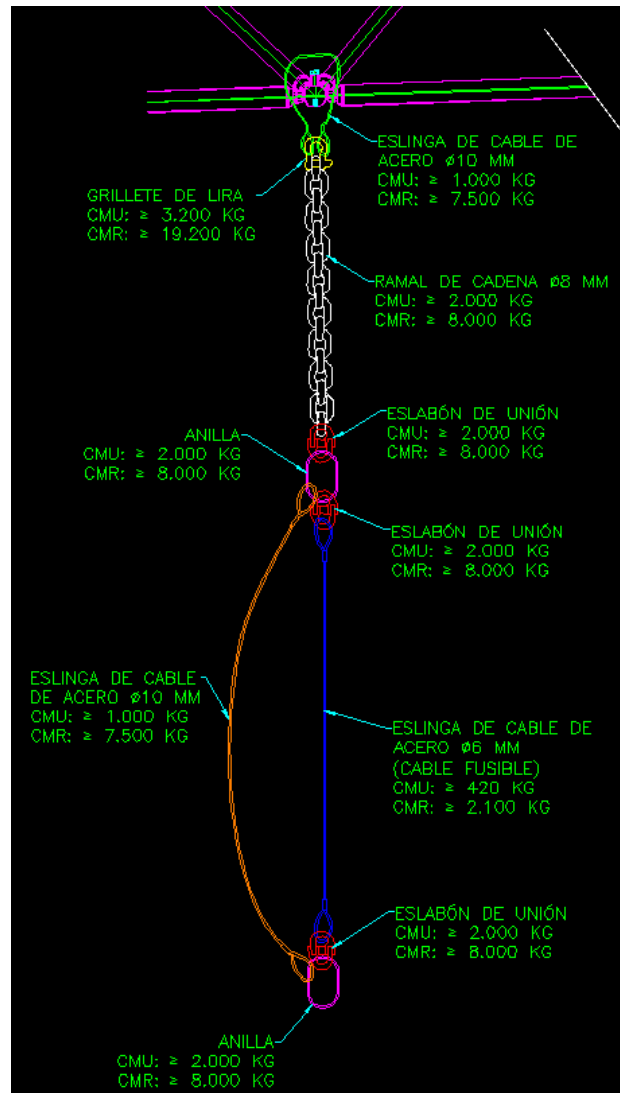


Ilustración 11 Esquema del sistema de cuelgue con eslinga lazada a nudo de cercha

6.1.1. JUSTIFICACIÓN DEL CONJUNTO DEL SISTEMA DE RIGGING

Las distintas configuraciones de sistemas de cuelgues se basan en el concepto de mantener un alto coeficiente de seguridad para el conjunto, manteniendo un único elemento con un coeficiente menor de forma que sirva de “fusible”.

De esta forma, se expone a continuación los distintos coeficientes de seguridad, para la carga máxima de uso definida de **400 kg**, para todos los elementos que configuran el sistema. Así tenemos:

- Eslinga de acero Ø10 mm de amarre (eslinga de ida y vuelta)

- Carga de uso: 1.000 kg
- Carga de rotura: 7.500 kg
- Coef. Seguridad: 18,75 (2,50 para limite elástico)

- Grillete lira

- Carga de uso: 3.200 kg
- Carga de rotura: 19.200 kg
- Coef. Seguridad: 48 (8 para limite elástico)

- Ramal de cadena

- Carga de uso: 2.000 kg
- Carga de rotura: 8.000 kg
- Coef. Seguridad: 20 (5 para limite elástico)

- Eslabón de unión:

- Carga de uso: 2.000 kg
- Carga de rotura: 8.000 kg
- Coef. Seguridad: 20 (5 para limite elástico)

- Anilla Simple:

- Carga de uso: 2.000 kg
- Carga de rotura: 8.000 kg
- Coef. Seguridad: 20 (5 para limite elástico)

- Eslinga de acero Ø10 mm “cable de seguridad”

- Carga de uso: 1.000 kg
- Carga de rotura: 7.500 kg
- Coef. Seguridad: 18,75 (2,50 para limite elástico)

- Eslinga de acero Ø6 mm “cable fusible”

- Carga de uso: 420 kg
- Carga de rotura: 2.100 kg
- Coef. Seguridad: 5,25 (1,05 para limite elástico)

De esta forma, el conjunto tiene un coeficiente global dependiente de su elemento pésimo que es la eslinga Ø10 mm “cable de seguridad”: **CDS=18,75**.

Para cargas mayores a 420 kg y menores a 2.100 kg, el cable fusible tiene un coeficiente de seguridad suficiente para evitar roturas frecuentes (CDS=5,25), pero el cable irá manifestando su deterioro al sufrir elongaciones por encima de su límite elástico, que permitirá su detección y retirada en las distintas revisiones.

En caso de producirse alguna rotura del cable fusible, se deberá realizar una inspección del cable de Ø10 mm “cable de seguridad”, ya que este habrá superado su límite elástico y manifestar alguna elongación.