



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA

GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

TRABAJO FINAL DE GRADO

ESTUDIO, ANÁLISIS Y MODELIZACIÓN MEDIANTE SAP2000 DE LA ESTRUCTURA DE UN TEATRO

TUTOR: DAVID GALLARDO LLOPIS

ALUMNO: ANDREA MARTÍNEZ ALIQUÉ

RESUMEN.

La estructura es el esqueleto de un edificio. De ella depende la estabilidad de las construcciones y, por lo tanto, la seguridad de sus ocupantes.

En este Trabajo Final de Grado se ha realizado el estudio, análisis y modelización de la estructura de un teatro, situado en el centro histórico de Valencia, con la ayuda del programa informático de cálculo de estructuras SAP2000.

Contiene una presentación y descripción del lugar del edificio, así como su programa, el cual ha sido desarrollado en la asignatura de Proyectos V en el curso 2014 – 2015; junto con el planteamiento estructural asignado.

Justificada la solución estructural, el trabajo incluye la explicación del proceso de cálculo llevado a cabo con el programa SAP2000, considerando desde la preparación de datos, definiciones geométricas de la estructura y opciones de cálculo, hasta los resultados obtenidos, comprobaciones, revisiones y actualizaciones.

Una vez comprobada la estabilidad estructural del conjunto, se desarrollarán tres zonas importantes del proyecto, las cuales se caracterizan por su gran interés estructural:

- Cuerpo de entrada sin soportes, con una celosía de dos plantas para puentear una gran luz y servir como unión entre los diferentes forjados.
- Celosías de la sala con luz variable.
- Forjados de los palcos.

RESUM.

L'estructura és l'esquelet d'un edifici. D'ella depén l'estabilitat de les construccions, i per tant, la seguretat dels seus ocupants.

En este Treball Final de Grau s'ha realitzat l'estudi, l'anàlisi i la modelització de l'estructura d'un teatre, situat en el casc històric de València, amb l'ajuda del programa informàtic de càlcul d'estructures SAP2000.

Conté una presentació i descripció de l'emplaçament de l'edifici així com el seu programa, el qual ha estat desenvolupat a l'assignatura de Projectes V durant el curs 2014 – 2015, juntament amb el plantejament estructural assignat.

Justificada la solució estructural, el treball inclou l'explicació del procés de càlcul dut a terme amb el programa SAP2000, considerant des de la preparació de dades, definicions geomètriques de l'estructura i opcions de càlcul, fins als resultats obtinguts, comprovacions, revisions i actualitzacions.

Una vegada comprovada l'estabilitat estructural del conjunt, es desenvoluparan tres zones importants del projecte, les quals es caracteritzen pel seu gran interès estructural:

- Cos de entrada sense suports, amb una gelosia de dos plantes per a cobrir una gran llum i servir d'unió entre els diferents forjats.
- Gelosies de la sala amb llum variable.
- Forjats de les llotges.

Estructura | SAP2000 | Modelització | Anàlisi | Teatre

SUMMARY.

The structure is the skeleton of a building. The stability of the constructions depends on it, and therefore, so does the security of its occupants.

In this final degree thesis a study, analysis and modelling of the structure of a theatre has been carried out, situated in Valencia's historic centre, with the calculation of structures computer program SAP2000.

It contains a presentation and description of the site of the building, as well as its program that has been developed in the Building Design V course 2014 – 2015; together with the structural plan assigned.

Being justified the structural solution, the thesis includes an explanation of the calculation process carried out with the SAP2000 program, taking into account the data preparation, geometric definitions of the structure and calculation options as well as the obtained results, verifications, checking and updates.

Once the stability of the complex is confirmed, three important zones in the project will be developed and these will be characterised by its great structural interest:

- Entrance module without support, with a two level latticework to serve as bridge in a large span and serve as a union between the different slabs.
- Room lattices with variable span.
- Slabs of the theater boxes.

Structure | SAP2000 | Modelling | Analysis | Theatre

OBJETIVOS.

El objetivo principal de este Trabajo Final de Grado es modelizar mediante SAP2000 la estructura de un edificio para poder analizar y comprender el comportamiento estructural de su conjunto, así como el de algunas partes del edificio en cuestión que tengan un interés estructural a estudiar de forma más específica.

El edificio a trabajar es un teatro, el cual ha sido desarrollado en la asignatura de Proyectos V en el curso 2014 – 2015. Con la ayuda de este Trabajo Final de Grado se ha conseguido ayudar y mejorar el diseño del proyecto, tanto estructuralmente como espacialmente.

El objetivo final del Trabajo Final de Grado será realizar un análisis crítico de los resultados obtenidos con SAP2000, para lo cual se ha de analizar el edificio, elegir el sistema estructural más adecuado a las condiciones impuestas por el teatro y plantear las simplificaciones necesarias para su modelización en SAP2000.

Los resultados obtenidos se analizarán en su globalidad y, a su vez, se estudiará la forma de trabajar de diferentes puntos de la estructura que servirán para el conocimiento de nuevas situaciones estructurales que son nuevas desde el punto de vista del alumno. Estos puntos de interés serán los siguientes:

- Cuerpo de entrada sin soportes, con una celosía de dos plantas para puentear una gran luz y servir como unión entre los diferentes forjados.
- Celosías de la sala con luz variable.
- Forjados de los palcos.

INTRODUCCIÓN ARQUITECTÓNICA.

- 1. PRESENTACIÓN DEL TEATRO.** **27**
 - 1.1. EMPLAZAMIENTO.
 - 1.2. PROGRAMA.
 - 1.3. ASPECTOS ESTRUCTURALES DE INTERÉS.

- 2. MEMORIA CONSTRUCTIVA.** **33**
 - 2.1. SUSTENTACIÓN DEL EDIFICIO. CIMENTACIÓN.
 - 2.2. SISTEMA ESTRUCTURAL.

ANEXO 1 _ PLANOS DEL TEATRO.

MODELO EN SAP2000.

1. <u>MODELO DE CÁLCULO.</u>	39
1.1. <u>SIMPLIFICACIONES ADOPTADAS.</u>	
1.2. <u>MATERIALES UTILIZADOS.</u>	
1.3. <u>CONDICIONES DE ENLACE.</u>	
1.4. <u>MÉTODO DE CÁLCULO.</u>	
2. <u>COMBINACIÓN DE ACCIONES.</u>	41
2.1. <u>COMBINACIÓN DE ACCIONES Y COEFICIENTES DE SEGURIDAD.</u>	
2.2. <u>COMBINACIÓN DE ESTADO LÍMITE ÚLTIMO.</u>	
2.3. <u>COMBINACIÓN DE ESTADO LÍMITE DE SERVICIO.</u>	
3. <u>EVALUACIÓN DE CARGAS.</u>	45
3.1. <u>CARGAS PERMANENTES.</u>	(PESO PROPIO)
3.2. <u>CARGAS VARIABLES.</u>	(USO, NIEVE, VIENTO Y SISMO)

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

1. <u>MODELO INICIAL.</u>	57
1.1. <u>SECCIONES ASIGNADAS.</u>	
1.2. <u>RESULTADOS.</u>	
2. <u>MODELO INTERMEDIO.</u>	67
2.1. <u>SECCIONES ASIGNADAS.</u>	
2.2. <u>RESULTADOS.</u>	
3. <u>MODELO FINAL.</u>	75
3.1. <u>SECCIONES ASIGNADAS.</u>	
3.2. <u>RESULTADOS.</u>	

ANEXO 2 _ RESULTADOS.

ANEXO 3 _ PLANOS DE ESTRUCTURA.

CONCLUSIONES.

- | | |
|---|-----------|
| 1. <u>ESTRUCTURA GENERAL.</u> | 87 |
| 2. <u>ASPECTOS ESTRUCTURALES DE INTERÉS.</u> | 89 |

INTRODUCCIÓN ARQUITECTÓNICA.

1. PRESENTACIÓN DEL TEATRO.

1.1. EMPLAZAMIENTO.

El edificio a estudiar es un teatro situado en el centro histórico de la ciudad de Valencia, en la plaza de Nàpols y Sicilia.

La plaza de Nàpols i Sicilia se sitúa en el punto de unión de la calle del Palau y la calle del Trinquet de Cavallers. En emplazamiento asignado se encuentra rodeado de multitud de edificios significativos del centro histórico de Valencia, condicionante principal a la hora de generar la volumetría.

El entorno de la ordenación, en la actualidad, no es el más apropiado, debido a la gran plaza que rompe la manzana sin ningún motivo, por lo que en la ordenación proyectada se propone volver a los orígenes de la plaza, cerrando el volumen en la parte norte de la misma, lo que genera una pequeña plaza de dimensiones adecuadas, lo cual permite tener controladas las visuales en todo momento. Se crea un espacio acogedor que te invita a pasear sin perderte.



1.2. PROGRAMA.

Un teatro es un edificio que responde a necesidades claras y que, por lo tanto, aun admitiendo cierta flexibilidad en el programa, debe contener espacios cuya función es clara e ineludible.

La sala, ocupada por el público, y desde donde se observa el espectáculo será el centro del teatro, tanto si nos referimos a términos espaciales como organizativos.

Accesos, taquillas, guardarropas, servicios, cafetería, foyer,... todos estos recintos deberán ser proporcionados en tamaño a la capacidad de la sala y deberán situarse de forma que permitan el mejor funcionamiento de entrada y salida del espectáculo, así como de la visión del mismo, que incluye la estancia durante los descansos de un número determinado de personas que sin salir del recinto estarán fuera de la sala.

Dentro de este complejo programa de necesidades y situada en el frente opuesto del programa, está la escena. La escena, con todos sus condicionantes espaciales, conlleva una serie de recintos supeditados a ella. Todos ellos enfocados a que actores y escenografías puedan entrar y salir del teatro, cambiarse y circular de forma independiente, normalmente oculta al público que ocupa y circula por el área de la que antes hablábamos.

Entre estos espacios y necesidades hay aspectos que condicionan en mayor medida al edificio como la zona de desembarque de material y escenografía, así como los almacenes y talleres para su manipulación.

Los camerinos, individuales y colectivos, son otra parte importante de este paquete que acompaña a la escena. Junto con esto, las instalaciones propias de la caja escénica, respecto a la que hay que tener en cuenta el espacio oculto que necesitan (telones, iluminación,...) y los técnicos que las manipulan con sus posibilidades de circulación. Todo este personal (actores, técnicos,...) deberá tener también espacios en los que poder ensayar y descansar.

Estas son las dos partes principales del programa, las que albergan a quienes ven el espectáculo y las que aportan los recintos necesarios para quienes lo crean. Pero lo que de verdad es importante en un teatro, lo que lo convierte en valioso o no, es la capacidad que éste artefacto tenga para multiplicar la magia entre la escena y el espectador en el momento en que el espectáculo se produce.

1.3. ASPECTOS ESTRUCTURALES DE INTERÉS.

Un teatro es un edificio de grandes dimensiones que necesita de una estructura singular, es por este motivo por lo que este Trabajo Final de Grado se desarrolla, teniendo como modelo la estructura de este tipo de edificios.

La estructura del teatro se caracteriza por los espacios libres que requiere, es decir, las grandes luces que se generan estructuralmente. Estas grandes luces deben respetarse lo máximo posible, ya que el programa del teatro así lo necesita, y es por esta condición por la que surgió este Trabajo Final de Grado, para realizar el estudio de las grandes luces que requiere un teatro.

Las grandes luces son especialmente importantes en la sala de butacas, así como en el cuerpo de escena, pero también se pueden encontrar en otros espacios. En esta ocasión, el espacio de entrada al teatro se proyecta como un gran hall diáfano; este espacio, estructuralmente, requerirá ser resuelto mediante una gran luz que salvará el espacio necesario para respetar el proyecto inicial de partida.

Tampoco se puede olvidar al público, y es por eso que se va a analizar el comportamiento de los palcos situados en primera y segunda planta; se estudiará su respuesta frente a las acciones correspondientes.

La platea se verá resuelta de manera favorable mediante una losa aligerada que pueda soportar las acciones necesarias a la vez que únicamente tendrá apoyo en diferentes puntos clave del sótano.

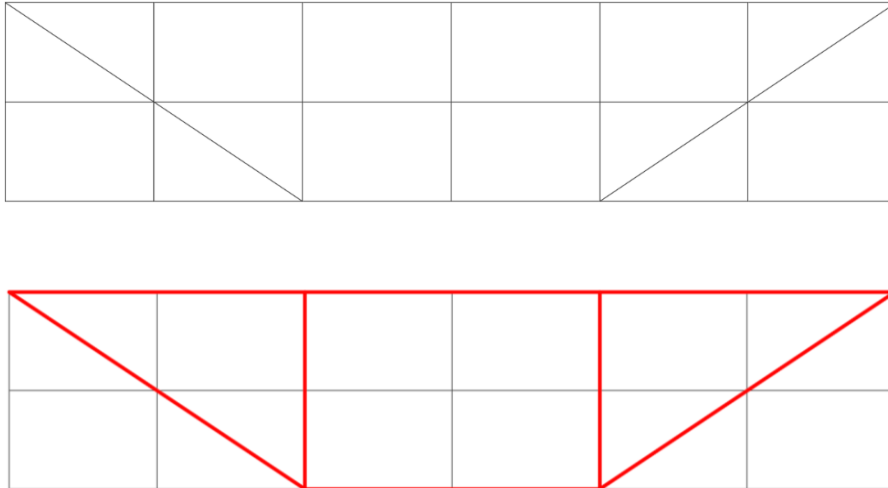
A. CUERPO DE ENTRADA.

El hall de entrada al edificio se trata de un espacio diáfano, un espacio de doble altura en el que predomina la luz libre existente, ya que el objetivo principal de esta sala es que no haya pilares que interrumpan el espacio. Este espacio se proyecta como una sala potente que te invita a entrar, y desde ahí te indica, gracias a la diferencia de alturas que se va generando, el camino para llegar a la sala de butacas del teatro.

La solución que requiere este espacio se puede conseguir con una gran celosía que conectará los forjados que se encuentran ortogonalmente con la misma. De esta manera, el último forjado, que será el más extenso, se verá colgado de la celosía, trabajando las diagonales de la celosía de una manera muy potente.

El punto de partida de la celosía será el minimalismo, es decir, se intentará que funcione con la menor cantidad de barras posibles. En caso de necesitar más triangulaciones, se podrán añadir barras según sean necesarias.

La forma de la celosía permitirá el paso a través de ella, ya que se compone de dos grandes diagonales en sus extremos, dejando libre la zona central.



B. CELOSÍAS DE LA SALA.

La sala del teatro se cierra con un plano inclinado que cae hacia el peine; este plano estará soportado por unas celosías quebradas de gran luz sobre la sala.

Las celosías se verán ancladas en los muros que cierran la sala. La cubierta de la sala será una losa de pequeño espesor, pero que trabajará conjuntamente con las celosías, ya que se ejecutará con conectores entre la losa y las celosías, permitiendo así una mejora del comportamiento de las celosías.

Con esta solución se busca generar un comportamiento eficaz de estas celosías quebradas que se sitúan en una única dirección, intentando evitar el uso de una viga piñón que una todas estas celosías en la dirección ortogonal a las mismas. Con esta distribución estructural se pretende conseguir una lectura clara de la sala del teatro, que se encuentra perfectamente modulada en la dirección ortogonal al eje del mismo.

Por último, añadir que la ejecución de la losa de cubierta, se realizará mediante un encofrado perdido de chapa grecada.

C. FORJADOS DE LOS PALCOS.

Los forjados que componen los palcos del teatro serán de sección variable y estarán empotrados en los muros que cierran la sala. Funcionarán como voladizos y se estudiará su respuesta frente a las cargas que tendrán que soportar cuando estén en uso.

En este caso, la simplificación adoptada en SAP2000 consiste en asignar una sección constante de 40 cm a la zona más próxima a los muros y una sección constante de 30 cm a la zona del extremo del voladizo, la intención final será crear una sección variable que arranque con una sección de 40 cm de canto y acabe en una sección de 20 cm de canto.

2. MEMORIA CONSTRUCTIVA.

2.1. SUSTENTACIÓN DEL EDIFICIO. CIMENTACIÓN.

PROGRAMA DE NECESIDADES. La cimentación deberá garantizar la seguridad estructural, de tal forma que no se produzcan en el edificio, o parte del mismo, daños que tengan su origen en la cimentación y que comprometan directamente la resistencia mecánica y estabilidad del edificio, para lo cual deberá:

- Transmitir al terreno las cargas del edificio, pero manteniendo las deformaciones (asientos) que producen dentro de unos límites tolerables, garantizando una seguridad suficiente frente a la rotura o al hundimiento.
- Poseer suficiente resistencia como elemento estructural.
- No resultar afectada por una eventual agresividad del terreno.
- Estar suficientemente protegida frente a las modificaciones naturales o artificiales del entorno (helada, cambios de volumen, variaciones del nivel freático, efectos dinámicos, excavaciones próximas,...).

BASES DE CÁLCULO. Para realizar el cálculo de la cimentación, se adopta la hipótesis de una distribución uniforme de presiones sobre el terreno. Se admiten los principios de la teoría y práctica de la Mecánica del Suelo, a falta de definir la tensión admisible del terreno. La Ley de respuesta del terreno será, por tanto, lineal y rectangular, incluso en el caso de cargas excéntricas.

La cimentación se dimensionará y armará considerando los valores ponderados de las solicitaciones debidas a las reacciones del terreno frente a las cargas del edificio. Para ello se selecciona el grupo de combinaciones que determina los coeficientes que se aplicarán a las diferentes hipótesis para la obtención de las tensiones transmitidas al terreno.

El dimensionado de los elementos estructurales se realiza según la Teoría de los Estados Límites Últimos (apartado 3.2.1. DB – SE) y los Estados Límites de Servicio (apartado 3.2.2. DB – SE). El comportamiento de la cimentación debe comprobarse frente a la capacidad portante (resistencia y estabilidad) y la aptitud del servicio.

CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO. Se determina el comportamiento previsible en el suelo por la experiencia conocida de varias actuaciones en terrenos cercanos al que nos ocupa. Se realiza el cálculo de la cimentación con una presión de 200 KN/m² como carga máxima admisible.

SOLUCIÓN ADOPTADA. Se plantea una cimentación de hormigón armado formada por zapatas aisladas bajo pilar de hormigón y zapatas corridas bajo muro. Estas zapatas han de formar un cuerpo solidario frente a asentamientos y deformaciones, para lo cual se realizarán los atados pertinentes. Se plantea un muro de sótano en el perímetro del edificio.

MATERIALES.

Hormigón en masa: HM-20.

Hormigón en zapatas y zanjas: HA-25/P/40/IIa.

Acero en barras corrugadas: B-500 S.

2.2. SISTEMA ESTRUCTURAL.

PROGRAMA DE NECESIDADES. La estructura deberá garantizar la seguridad estructural, de tal forma que no se produzcan en el edificio, o parte del mismo, daños que tengan su origen en la estructura portante, la estructura horizontal o en elementos estructurales secundarios y que comprometan directamente la resistencia mecánica y estabilidad del edificio, para lo cual deberá tener:

- Resistencia frente a las acciones consideradas sin superar los límites de deformación establecidos y garantizando una seguridad suficiente frente a la rotura o agotamiento.
- Estabilidad, tanto a las acciones de vuelco como al movimiento del terreno.
- Cumplimiento de las condiciones de servicio, manteniendo durante su vida útil un nivel aceptable sin sobrepasar los límites de deformación, de figuración de piezas, de movimientos o vibraciones del edificio.
- Ductilidad, entendiendo como tal la capacidad de soportar deformaciones después de ser alcanzado el de agotamiento, mientras aún resiste cargas.
- Durabilidad, de forma que bajo las acciones de uso y exposición ambiental previsible, mantenga, durante su vida útil un nivel adecuado de seguridad, funcionalidad y buen aspecto.

BASES DE CÁLCULO. El dimensionado de secciones se realiza según la Teoría de los Estados Límites Últimos (apartado 3.2.1. DB – SE) y los Estados Límites de Servicio (apartado 3.2.2. DB – SE). El comportamiento de la cimentación debe comprobarse frente a la capacidad portante (resistencia y estabilidad), deformaciones (flechas) y la aptitud del servicio.

Las verificaciones de los Estados Límites están basadas en el uso de un modelo adecuado para el sistema de estructura elegido.

SOLUCIÓN ADOPTADA.

Se plantea una estructura de hormigón, casi en su totalidad, formada por muros y losas. Esta estructura se ve acompañada de unas celosías en los puntos necesarios, resolviendo así el proyecto en su totalidad.

La estructura de la planta sótano estará formada por muros de hormigón de 40 cm de ancho y pilares de acero de la serie HEB, sobre los que descansa una losa aligerada de 50 cm de canto.

La estructura de las plantas superiores estará formada por muros de hormigón de 40 cm de ancho sobre los que apoyarán losas de 40 cm de canto.

Los palcos estarán formados por una losa variable que tendrá un arranque desde el forjado de 40 cm de canto, disminuyéndolo hasta alcanzar los 20 cm de canto en el borde.

Las celosías de la escena y de la sala estarán construidas con perfiles de acero de la serie HEB, mientras que la celosía de entrada se construirá con perfiles tubulares.

Las cubiertas inclinadas estarán formadas por una losa de 20 cm de canto.

Los antepechos estructurales serán de 20 cm de ancho.

MATERIALES.

Acero en celosías y pilares: S – 275.

Hormigón en muros y losas: H – 25.

Hormigón en forjados: H – 25.

Acero en barras corrugadas: B-500 S.

Acero en barras electrosoldadas: B-500 T.

MODELO EN SAP2000.

1. MODELO DE CÁLCULO.

En el caso de las estructuras, aceptando los principios básicos más sencillos (teoría de pequeños movimientos, comportamiento lineal material y geométrico, y las bases de la resistencia de materiales), y contando con las herramientas informáticas convencionales (cálculo lineal en primer orden), hacer el modelo de la estructura supone representar:

- La geometría de los elementos de la estructura.
- Las propiedades de los materiales y secciones que definen esos elementos.
- Las cargas, sus valores, posición y dirección, y los coeficientes de combinación.
- Las condiciones de enlace de los elementos entre sí y con el exterior.
- El método de cálculo.

1.1. SIMPLIFICACIONES ADOPTADAS.

Se trata de realizar un modelo de la estructura, y aplicando la teoría de estructuras, convertir dicho modelo en un sistema de ecuaciones matemáticas, que, una vez resueltas, nos ofrezcan como resultado la solución estática y cinemática de la estructura. Es decir, por un lado, las reacciones en los nudos con coacción, las leyes de esfuerzos en las barras y las tensiones en los elementos finitos, y por otro lado, la deformada a partir de los movimientos de los nudos y de otros puntos intermedios de las barras y elementos finitos.

El planteamiento es muy sencillo; se trata de dibujar en AutoCad las barras y los elementos finitos planos, mediante las entidades de dibujo LÍNEA y 3DCARA. No se dibujan los nudos, ya que estos se generan de forma automática en todos los extremos de las líneas y en todos los vértices de las 3DCaras. Además, cuando dos o más extremos o vértices coinciden en un mismo punto, la herramienta de importación se encarga automáticamente de no generar duplicidades de nudos.

Para modelizar los elementos lineales se debe usar la entidad LINEA. La línea en el modelo debe corresponder con el eje de la barra.

Para modelizar los elementos superficiales se debe usar la entidad 3DCARA. La 3DCara en el modelo debe corresponder con el plano medio del elemento finito superficial,

aunque en la práctica se suele hacer coincidir en los forjados con la cara superior, y en los muros con el plano medio.

Con esta modelización, el modelo se convierte en un sistema de ecuaciones lineales proporcional al número de nudos, en el que los elementos finitos desaparecen, quedando incluido su efecto en los nudos. La rigidez que aporta cada elemento depende del material (módulo de deformación longitudinal y transversal, etc.), la forma de la sección (espesor, área, momento de inercia, etc.) y las dimensiones (longitud, canto, ancho, etc.).

Una vez realizada la modelización de la estructura, podemos obtener los siguientes datos:

Número de líneas en AutoCad	182
Número de 3DCara en AutoCad	15074
Número de capas en AutoCad	25
Número de grupos en SAP2000	26

1.2. MATERIALES UTILIZADOS.

Los materiales utilizados serán el hormigón HA-25 para todos los elementos construidos en hormigón (muros y losas), y el acero S275 para todos los elementos construidos en acero (pilares y celosías).

1.3. CONDICIONES DE ENLACE.

Las condiciones de enlace para los apoyos en la cimentación, tanto el apoyo de los pilares como el apoyo del muro, será de empotramiento.

Las desconexiones de extremo de barra serán nudos rígidos; mientras que los montantes centrales de las celosías dobles de la escena estarán articulados.

1.4. MÉTODO DE CÁLCULO.

SAP2000 determina a través del método de los elementos finitos la respuesta en términos de fuerzas, esfuerzos y deformadas en los elementos de área y sólidos, presentando una salida gráfica y por tablas,

2. COMBINACIÓN DE ACCIONES.

2.1. COMBINACIÓN DE ACCIONES Y COEFICIENTES DE SEGURIDAD.

El valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondientes a una situación persistente transitoria, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la siguiente expresión:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

es decir, considerando la actuación simultánea de:

- Todas las acciones permanentes, en valor de cálculo $(\gamma_G \cdot G_k)$, incluido el pretensado $(\gamma_P \cdot P)$.
- Una acción variable cualquiera, en valor de cálculo $(\gamma_Q \cdot Q_k)$, debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis.
- El resto de acciones variables, en valor de cálculo de combinación $(\gamma_Q \cdot \Psi_0 \cdot Q_k)$.

Los valores de los coeficientes de seguridad, γ , se establecen en la tabla 1 para cada tipo de acción, atendiendo para comprobaciones de resistencia a si su efecto es desfavorable o favorable, considerada globalmente.

Los valores de los coeficientes de simultaneidad, Ψ , se establecen en la tabla 2.

TABLA 1. COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD (γ) PARA LAS ACCIONES

TIPO DE VERIFICACIÓN	TIPO DE ACCIÓN	SITUACIÓN PERSISTENTE O TRANSITORIA	
		DESFAVORABLE	FAVORABLE
Resistencia	Permanente	1,35	0,80
	Variable	1,50	0

TABLA 2. COEFICIENTES DE SIMULTANEIDAD (Ψ)

	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sobrecarga superficial.			
Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,5	0,3
Nieve			
Para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
Para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0

2.2. COMBINACIÓN DE ESTADO LÍMITE ÚLTIMO PARA DIMENSIONADO A RESISTENCIA.

Los estados límite últimos son los que de ser superados constituyen un riesgo para las personas, ya sea porque producen una puesta fuera de servicio del edificio o el colapso total o parcial del mismo.

Como estados límite últimos deben considerarse los debidos a:

- Pérdida del equilibrio del edificio o de una parte estructuralmente independiente considerado como un cuerpo rígido.
- Fallo por deformación excesiva, transformación de la estructura o de parte de ella en un mecanismo, rotura de sus elementos estructurales (incluidos los apoyos y a cimentación) o de sus uniones, o inestabilidad de elementos estructurales incluyendo los originados por efectos dependientes del tiempo (corrosión, fatiga,...).

Para obtener la combinación ELU utilizamos la siguiente expresión, teniendo en cuenta que no consideraremos la acción del viento, por lo que únicamente tendremos dos acciones variables, la sobrecarga de uso y la sobrecarga de nieve:

$$\gamma_G \cdot G + \gamma_{Q,1} \cdot Q_1 + \gamma_{Q,2} \cdot \Psi_0 \cdot Q_2$$

En la planta baja y en la planta piso, esta expresión quedaría simplificada de la siguiente forma:

$$1'35 \cdot G + 1'5 \cdot Q_1$$

En la planta cubierta, esta expresión quedaría simplificada de la siguiente forma:

$$1'35 \cdot G + 1'5 \cdot Q_1 + 1'5 \cdot 0'5 \cdot Q_2$$

2.3. COMBINACIÓN DE ESTADO LÍMITE DE SERVICIO PARA DIMENSIONADO A FLEXIÓN.

Los estados límite de servicio son los que, de ser superados, afectan al confort y al bienestar de los usuarios o de terceras personas, al correcto funcionamiento del edificio o a la apariencia de la construcción.

Los estados límite de servicio pueden ser reversibles e irreversibles. La reversibilidad se refiere a las consecuencias que excedan los límites especificados como admisibles, una vez desaparecidos las acciones que se han producido.

Como estados límite de servicio deben considerarse los relativos a:

- Las deformaciones (flechas, asientos o desplomes) que afecten a la apariencia de la obra, al confort de los usuarios, o al funcionamiento de equipos e instalaciones.
- Las vibraciones que causen una falta de confort de las personas, o que afecten a la funcionalidad de la obra.
- Los daños o el deterioro que pueden afectar desfavorablemente a la apariencia, a la durabilidad o a la funcionalidad de la obra.

Para obtener la combinación ELS utilizamos la siguiente expresión, teniendo en cuenta que no consideraremos la acción del viento, por lo que únicamente tendremos dos acciones variables, la sobrecarga de uso y la sobrecarga de nieve:

$$\gamma_G \cdot G + \gamma_{Q,1} \cdot Q_1 + \gamma_{Q,2} \cdot \varphi_0 \cdot Q_2$$

En la planta baja y en la planta piso, esta expresión quedaría simplificada de la siguiente forma:

$$1 \cdot G + 1 \cdot Q_1$$

En la planta cubierta, esta expresión quedaría simplificada de la siguiente forma:

$$1 \cdot G + 1 \cdot Q_1 + 1 \cdot 0'5 \cdot Q_2$$

3. EVALUACIÓN DE CARGAS.

3.1. CARGAS PERMANENTES.

Se consideran cargas permanentes las acciones que se producen por el peso propio de los elementos estructurales y los no estructurales.

A. PESO PROPIO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

Las acciones que ocasiona el peso propio de la estructura son consideradas por el SAP2000 una vez modelada la estructura y asignados los materiales.

B. PESO PROPIO DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.

Pavimentos	1'5 KN/m ²
Falsos techos	0'5 KN/m ²
Instalaciones	0'5 KN/m ²
Cubiertas	2'5 KN/m ²
Forjados (<i>Pavimentos + Falsos techos + Instalaciones</i>)	2'5 KN/m²
Cubiertas (<i>Falsos techos + Instalaciones + Cubiertas</i>)	3'5 KN/m²

3.2. CARGAS VARIABLES.

Se consideran cargas variables las acciones que tienen la particularidad de no actuar constantemente, tanto en el tiempo como en el lugar. Incluyen, por lo tanto, las cargas ejercidas por los ocupantes y las acciones artificiales que puede ocasionar la naturaleza.

A. SOBRECARGA DE USO.

Zona pública (Teatro, Aseos, Vestíbulo, Cafetería)	5 KN/m²
Zona privada (Apoyo de escena)	3 KN/m²
Cubiertas	0'4 KN/m²

A. SOBRECARGA DE NIEVE.

La sobrecarga de nieve, según el Documento Básico SE – AE Acciones en la edificación, será de **0'2 KN/m²**.

B. SOBRECARGA DE VIENTO.

La sobrecarga de viento, que actúa en dirección horizontal, se ve simplificada por la influencia que tendrá el sismo en esta estructura, ya que al tratarse de una estructura formada por muros y losas de hormigón se ve más perjudicada por las acciones sísmicas que por las acciones de viento.

De esta manera, la sobrecarga horizontal que tendrá mayor importancia será la sobrecarga de sismo, por lo que será ésta la que se desarrollará en lo que sigue.

C. SOBRECARGA DE SISMO.

La sobrecarga de sismo se calculará según la Norma de Construcción Sismoresistente (NCSE – 02).

→ MAPA DE PELIGROSIDAD SÍSMICA. ACELERACIÓN SÍSMICA BÁSICA.

La peligrosidad sísmica del territorio nacional se define por medio del mapa de peligrosidad sísmica. Dicho mapa suministra, expresada en relación al valor de la gravedad, la aceleración sísmica básica a_b y el coeficiente de contribución K , que tienen en cuenta la influencia de los distintos tipos de terremotos esperados en la peligrosidad sísmica de cada punto.

Municipio	a_b/g	K
Valencia	0'06	(1'00)

→ ACELERACIÓN SÍSMICA DE CÁLCULO.

La aceleración sísmica de cálculo, a_c , se define con el producto:

$$A_c = S \cdot \rho \cdot a_b$$

donde:

- a_b Aceleración sísmica básica.
- ρ Coeficiente adimensional de riesgo, función de probabilidad aceptable de que se exceda a_c en el período de vida para el que se proyecta la construcción. Toma los siguientes valores:

Construcciones de importancia normal: $\rho = 1'0$.

Construcciones de importancia especial: $\rho = 1'3$.

- S Coeficiente de amplificación del terreno. Toma el valor:

Para $\rho \cdot a_b \leq 0'1g$

$$S = \frac{c}{1'25}$$

Para $0'1g < \rho \cdot a_b < 0'4g$

$$S = \frac{c}{1'25} + 3'33 \cdot \left(\rho \cdot \frac{a_b}{g} - 0'1 \right)$$

Para $0'4g \leq \rho \cdot a_b$

$$S = 1$$

→ CLASIFICACIÓN DEL TERRENO.

Los terrenos se clasifican en los siguientes tipos:

- Terreno tipo I: roca compacta, suelo cementado o granular muy denso.
- Terreno tipo II: roca muy fracturada, suelos granulares densos o cohesivos duros.
- Terreno tipo III: suelo granular de compacidad media, o suelo cohesivo de consistencia firme a muy firme.
- Terreno tipo IV: suelo granular suelo, o suelo cohesivo blando.

A cada uno de estos tipos de terreno se le asigna el valor del coeficiente C indicado en la tabla:

Tipo de terreno	Coeficiente C
I	1'0
II	1'3
III	1'6
IV	2'0

→ ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICA.

La Norma establece un espectro normalizado de respuesta elástica en la superficie libre del terreno, para aceleraciones horizontales, correspondiente a un oscilador lineal simple con un amortiguamiento de referencia del 5% respecto al crítico, definido por los siguientes valores:

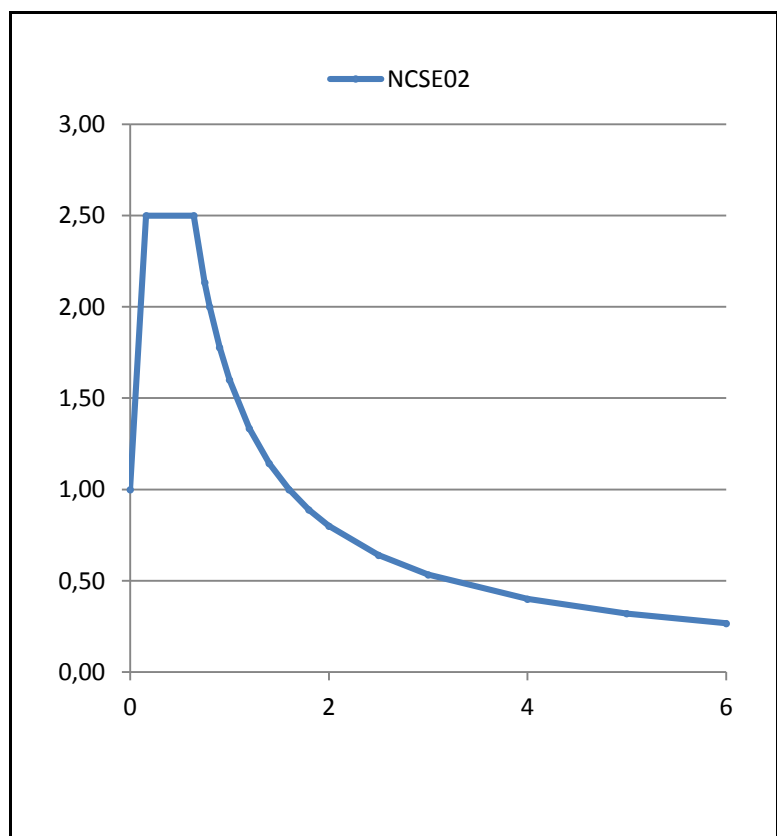
$$\begin{aligned} \text{Si } T < T_A & \quad \alpha(T) = 1 + 1'5 \cdot T/T_A \\ \text{Si } T_B \leq T \leq T_A & \quad \alpha(T) = 2'5 \\ \text{Si } T > T_B & \quad \alpha(T) = K \cdot C/T \end{aligned}$$

Siguiendo la Norma y con ayuda de una tabla Excel, se obtiene el espectro de respuesta elástica del edificio en cuestión. Los valores generados serán los utilizados en SAP2000.

K	1	a _b /g	0,06	μ	2
C	1,6	ρ	1	Ω	4
T _A	0,16	S	1,28	v	1,09336207
T _B	0,64	a _c /g	0,0768	β	0,54668104

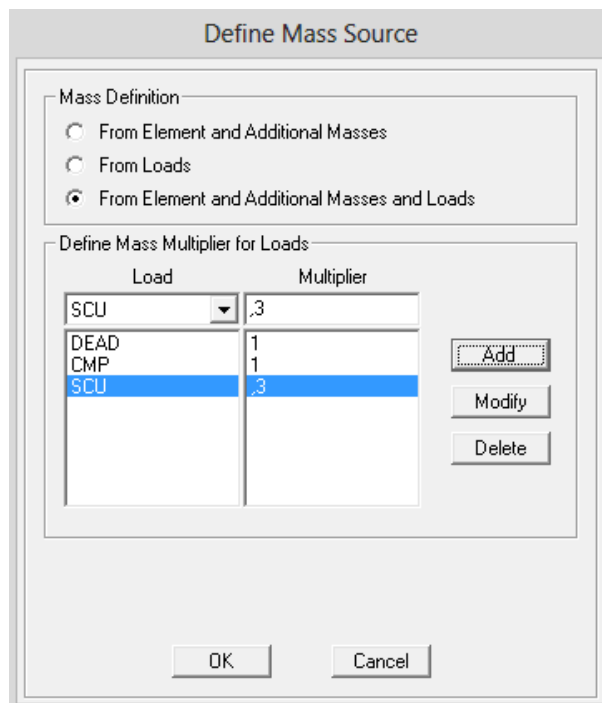
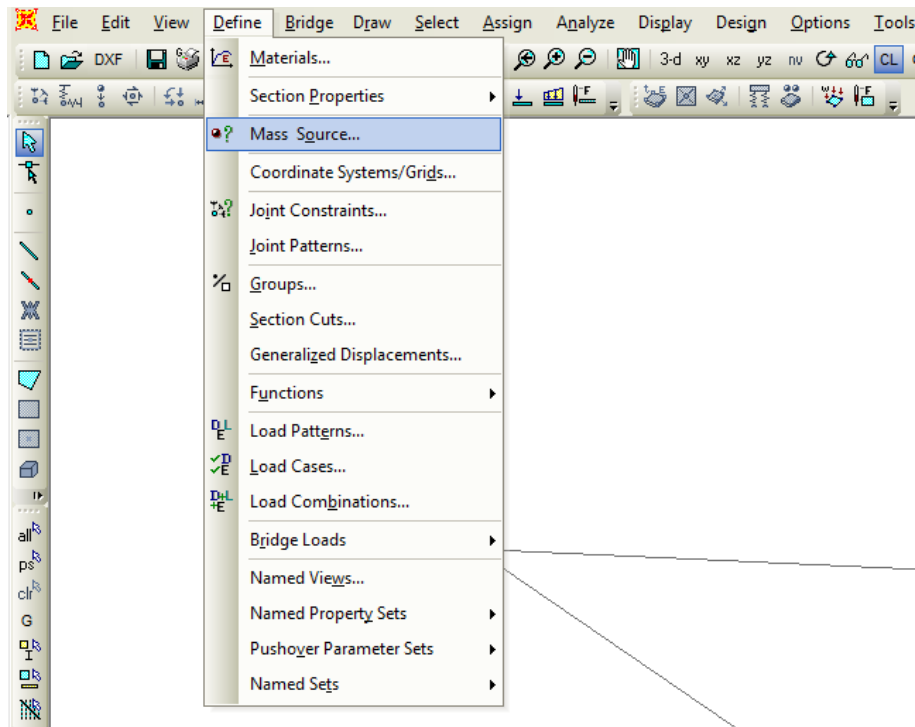
	T	α(T)
	0	1,00
T _A	0,16	2,50
T _B	0,64	2,50
	0,75	2,13
	0,8	2,00
	0,9	1,78
	1	1,60
	1,2	1,33
	1,4	1,14
	1,6	1,00
	1,8	0,89
	2	0,80
	2,5	0,64
	3	0,53
	4	0,40
	5	0,32
	6	0,27

SAP X Y	0,41187387	SAP Z	0,28831171
---------	-------------------	-------	------------

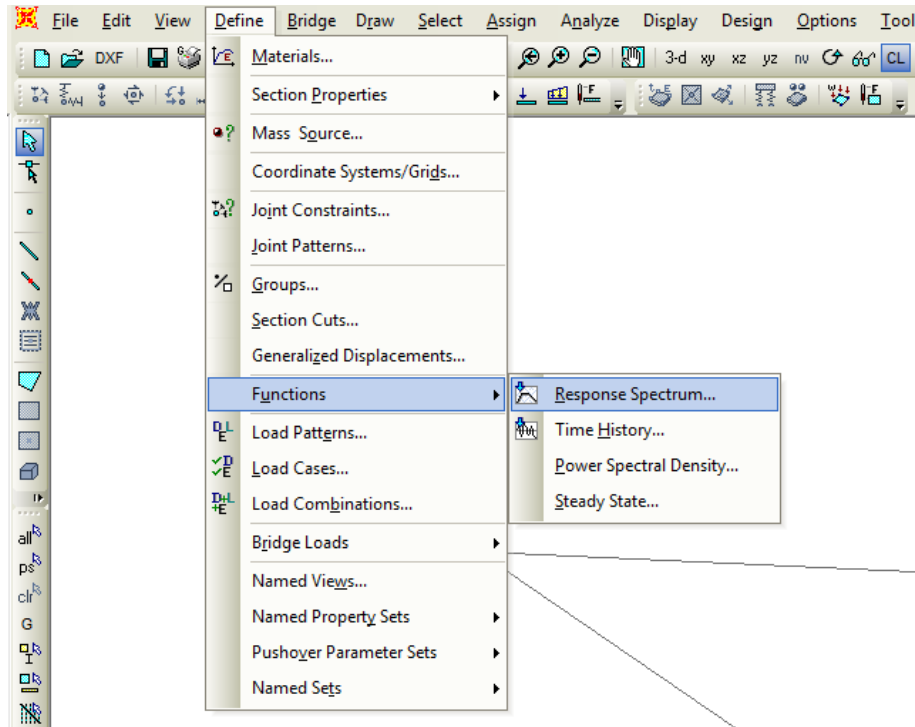


→ IMPORTACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS A SAP2000.

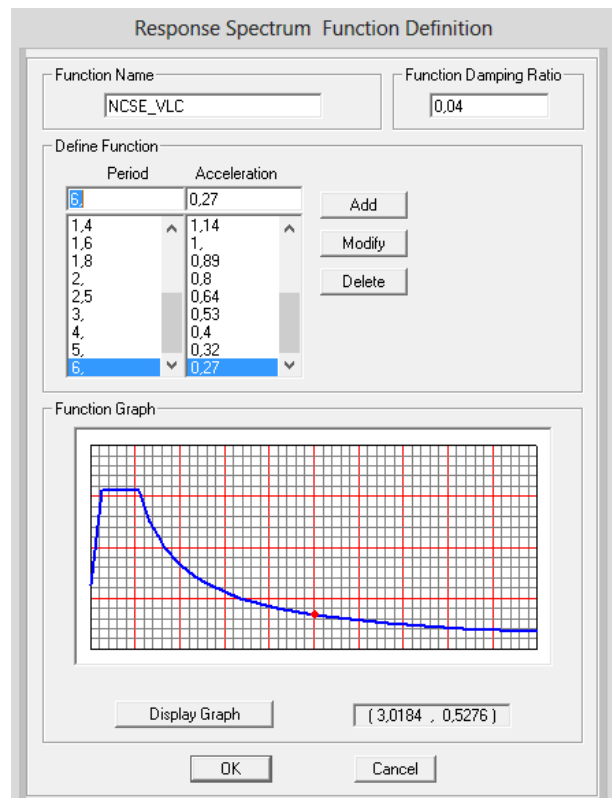
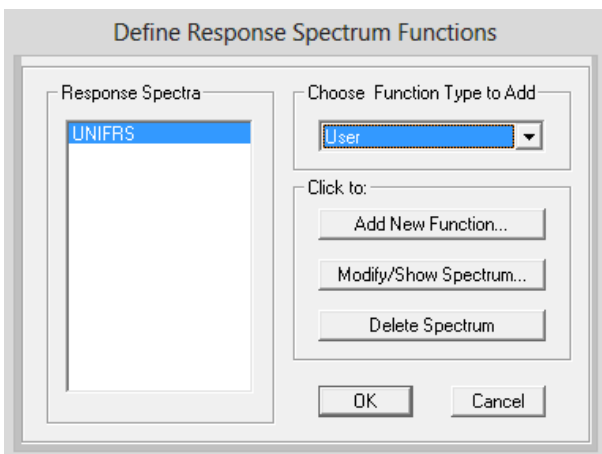
1. Define → Mass Source...



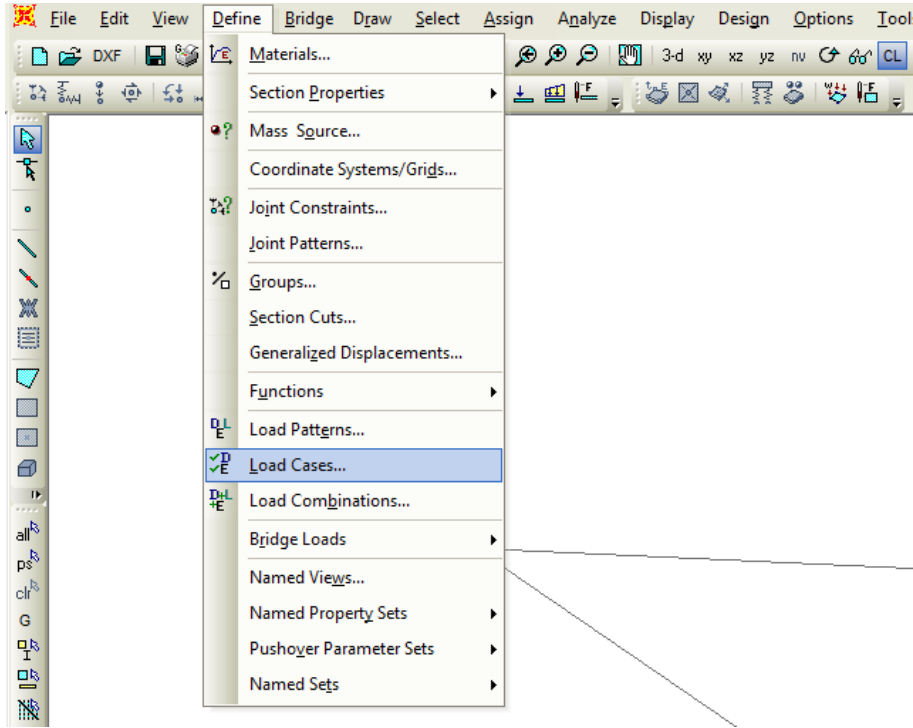
2. Define → Functions → Response Spectrum...



Para definir la función del espectro de respuesta elástica se utilizan los datos obtenidos de la tabla Excel.

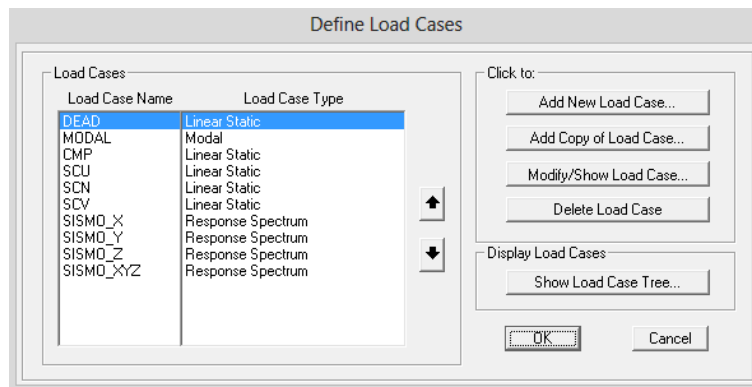


3. Define → Load Cases...



En este punto generaremos nuevas hipótesis de carga:

- SISMO_X.
- SISMO_Y.
- SISMO_Z.
- SISMO_XYZ.



Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: Set Def Name

Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Response Spectrum Design...

Modal Combination

CQC GMC f1:

SRSS GMC f2:

Absolute Periodic + Rigid Type: SRSS

GMC

NRC 10 Percent

Double Sum

Directional Combination

SRSS

Absolute Scale Factor:

Modal Load Case

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	NCSE_VLC	.4118739
Accel	U1	NCSE_VLC	.4118739

Add
Modify
Delete

Show Advanced Load Parameters

Other Parameters

Modal Damping: Constant at 0,05 Modify/Show...

OK
Cancel

Modal Damping

Modal Damping Type

Constant Damping for all Modes

Interpolated Damping by Period or Frequency

Mass and Stiffness Proportional Damping by Coefficient

Constant Modal Damping

Constant Damping for all Modes:

Modal Damping Overrides

Mode	Damping
1	0

Add
Modify
Delete

OK
Cancel

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: Set Def Name

Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Response Spectrum Design...

Modal Combination

CQC GMC f1:

SRSS GMC f2:

Absolute Periodic + Rigid Type: SRSS

GMC

NRC 10 Percent

Double Sum

Directional Combination

SRSS

Absolute Scale Factor:

Modal Load Case

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	NCSE_VLC	0,4119
Accel	U1	NCSE_VLC	0,4119
Accel	U2	NCSE_VLC	0,4119
Accel	U3	NCSE_VLC	0,2883

Add
Modify
Delete

Show Advanced Load Parameters

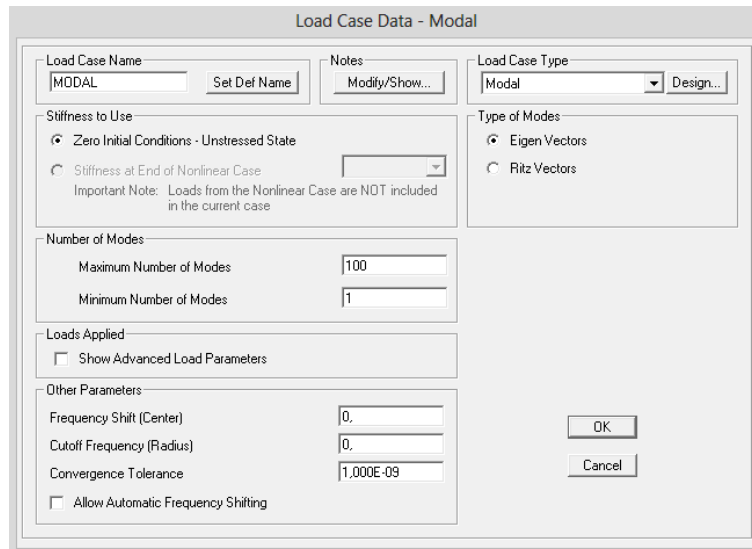
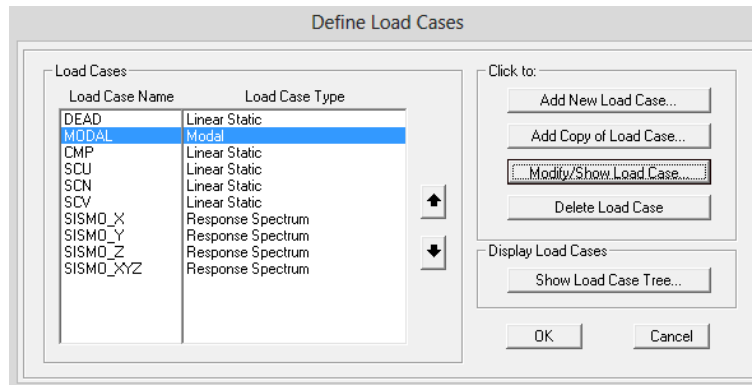
Other Parameters

Modal Damping: Constant at 0.04 Modify/Show...

OK
Cancel

4. Define → Load Cases... → MODAL → Modify/Show Load Case...

En este punto asignaremos el número máximo de modos de vibración. Esta parte depende de la potencia del ordenador, a mayor número de modos de vibración, más correcto será el cálculo del modelo.



ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En esta parte del Trabajo Final de Grado se realizará un análisis de los resultados obtenidos de SAP2000. Se empieza con un modelo inicial que tendrá unas secciones aleatorias; este modelo se irá modificando hasta alcanzar un modelo lo más óptimo posible.

1. MODELO INICIAL.

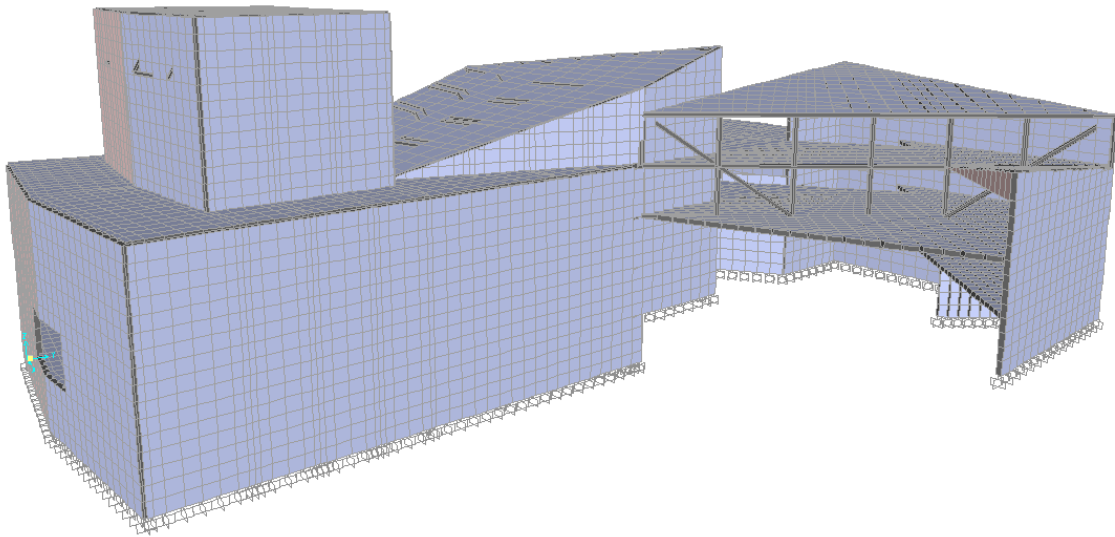


FIGURA 1. MODELO DE LA ESTRUCTURA.

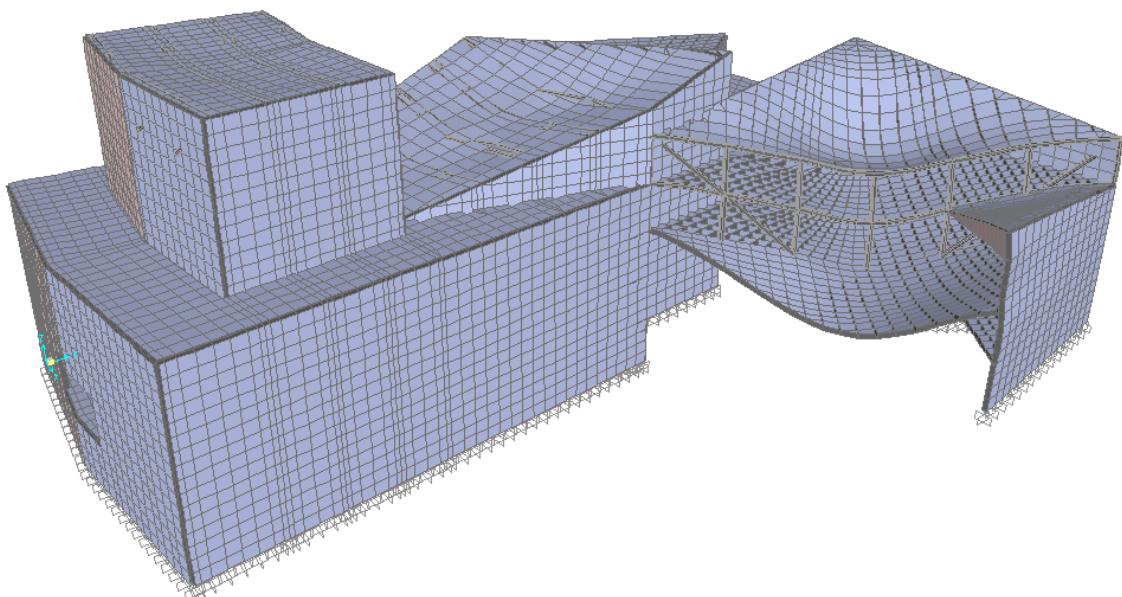


FIGURA 2. DEFORMADA GENERAL DE LA ESTRUCTURA.

1.1. SECCIONES ASIGNADAS.

Las secciones utilizadas en la primera entrada de datos a SAP2000 es la siguiente:

ELEMENTO ESTRUCTURAL		SECCIÓN ASIGNADA
HA-25	Forjado sencillo	Losa 0'40 m
HA-25	Forjado palco (arranque)	Losa 0'40 m
HA-25	Forjado palco (final)	Losa 0'30 m
HA-25	Forjado platea	Losa aligerada 0'60 m
HA-25	Cubiertas	Losa 0'20 m
HA-25	Muros	Muro 0'40 m
HA-25	Murete	Muro 0'20 m
S275	Pilares sótano	HEB 300
S275	Celosías escena	HEB 200
S275	Celosías sala	HEB 200
S275	Celosía entrada	HEB 300

1.2. RESULTADOS.

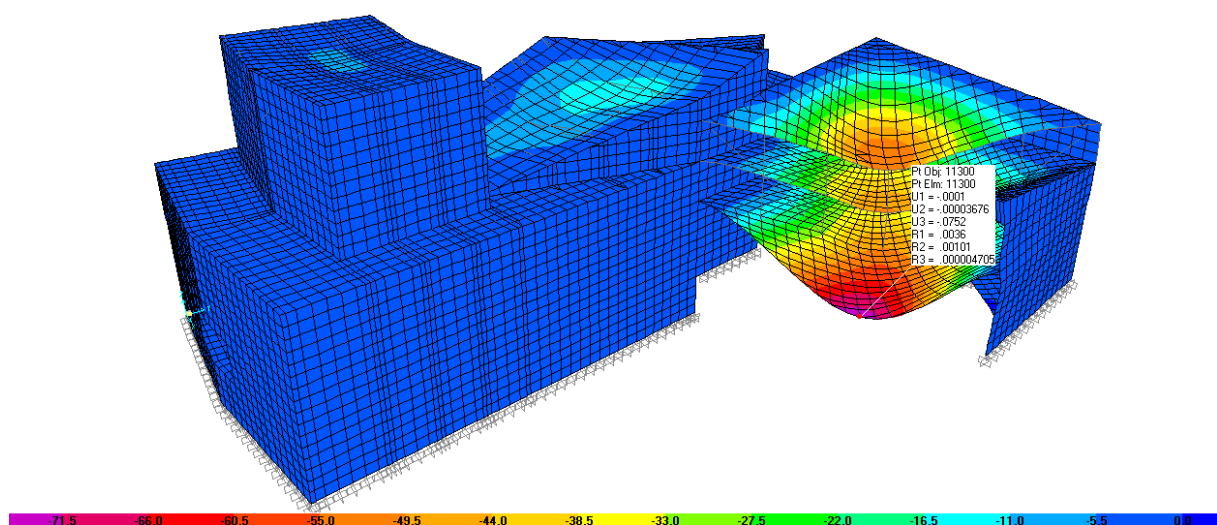


FIGURA 3. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA PUNTA DEL VOLADIZO.

La flecha en la punta del voladizo es de **0'0752 m**.

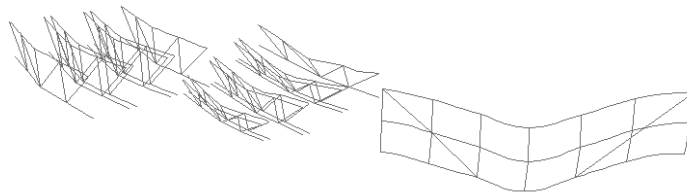


FIGURA 4. DEFORMADA DE LAS CELOSÍAS DE LA ESTRUCTURA.

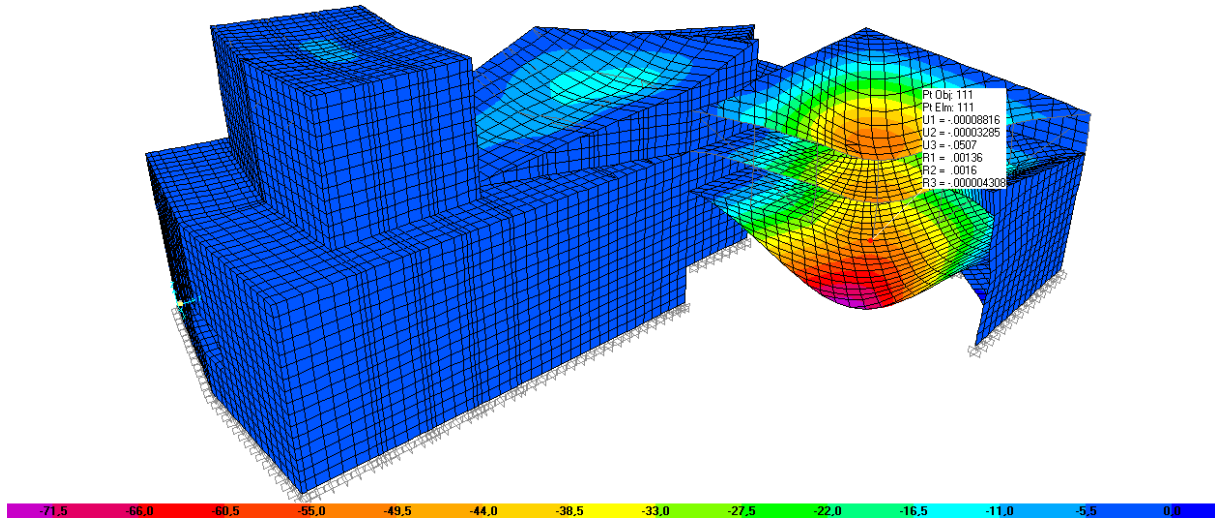


FIGURA 5. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CELOSÍA DE ENTRADA.

La flecha en el centro del cordón inferior es de **0'0507 m**.

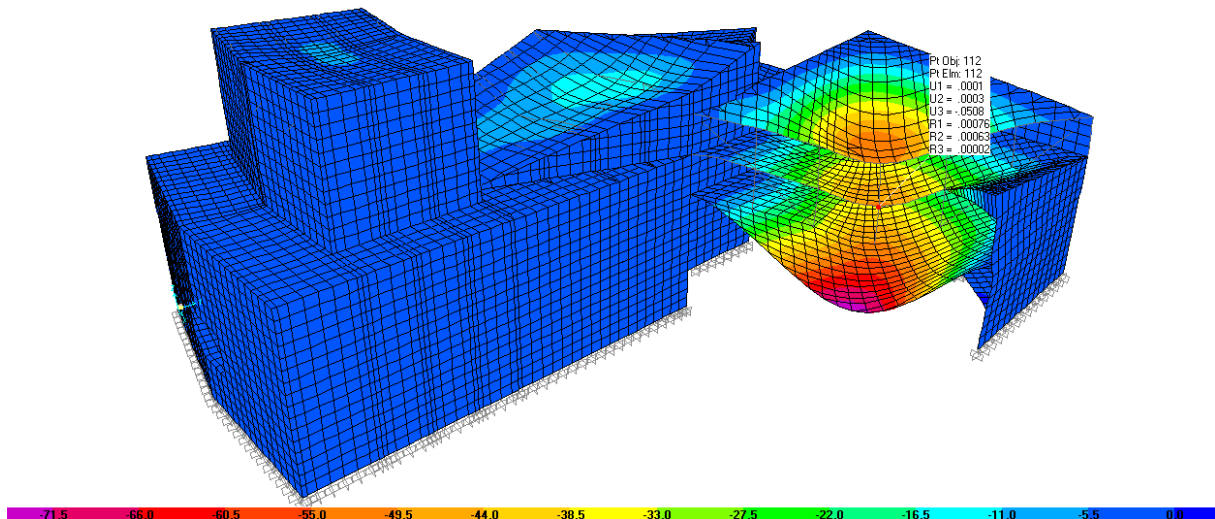


FIGURA 6. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CELOSÍA DE ENTRADA.

La flecha en el centro del cordón intermedio es de **0'0508 m**.

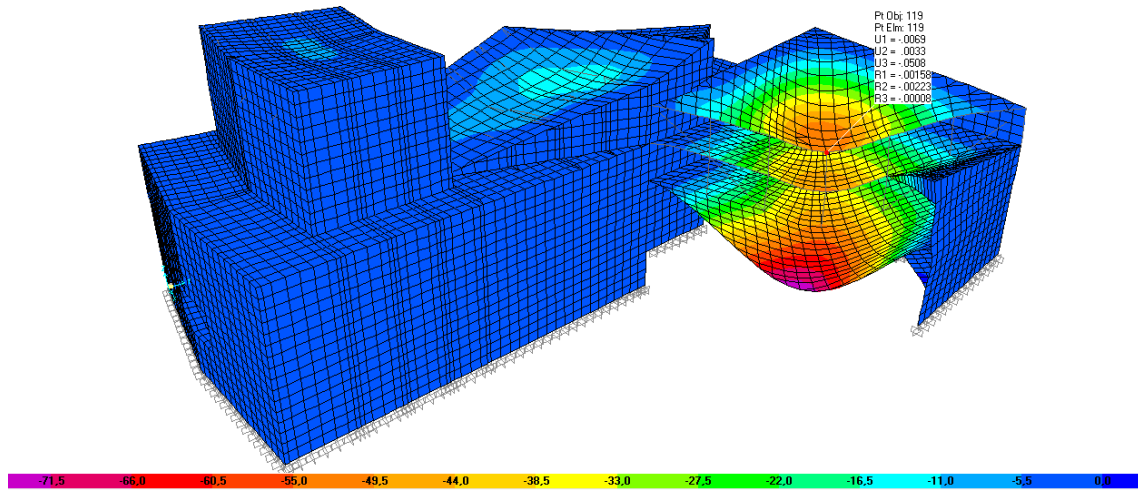


FIGURA 7. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CELOSÍA DE ENTRADA.

La flecha en el centro del cordón superior es de **0'0508 m**.

En estas figuras se puede observar que la celosía de entrada tiene la misma flecha en todos sus cordones, por lo que deforma el conjunto de manera similar. Sin embargo, el voladizo en el que se sitúa la terraza que mira a la plaza, encontramos una flecha mayor, en la cual hay que tener en cuenta que se trata de una flecha en un elemento de hormigón, es decir, habrá que tener en cuenta la fecha diferida del hormigón a la hora de evaluar la deformada.

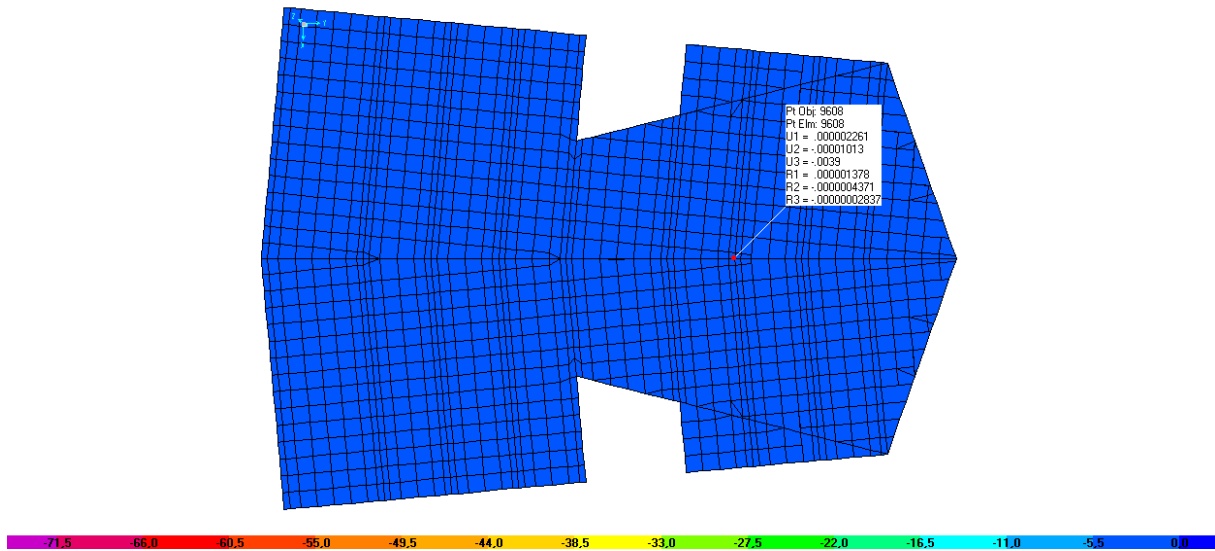


FIGURA 8. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA PLATEA.

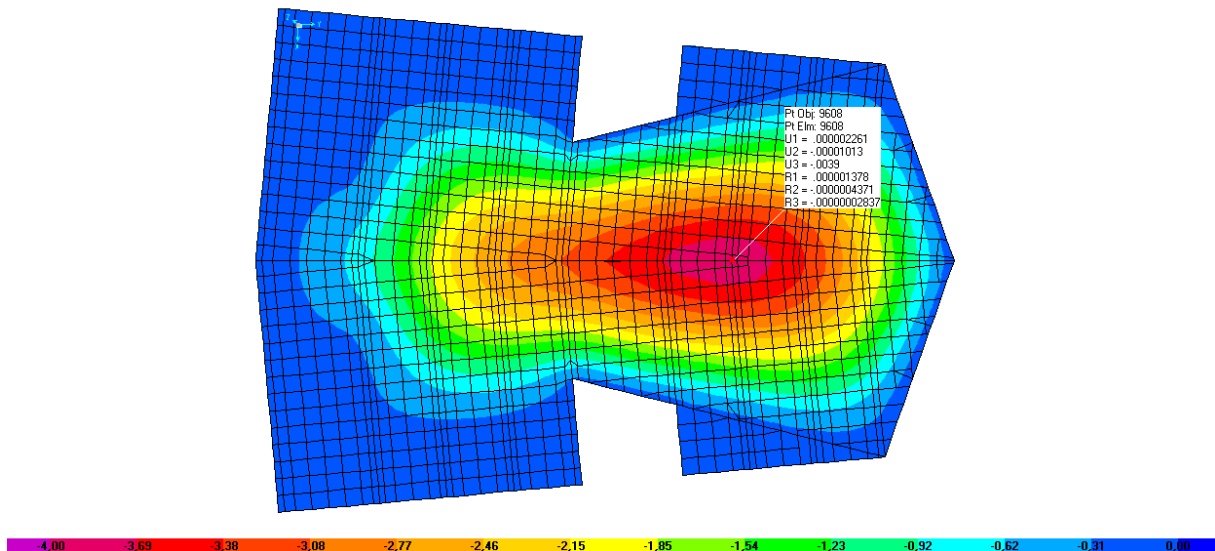


FIGURA 9. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA PLATEA CON MAYOR DEFINICIÓN.

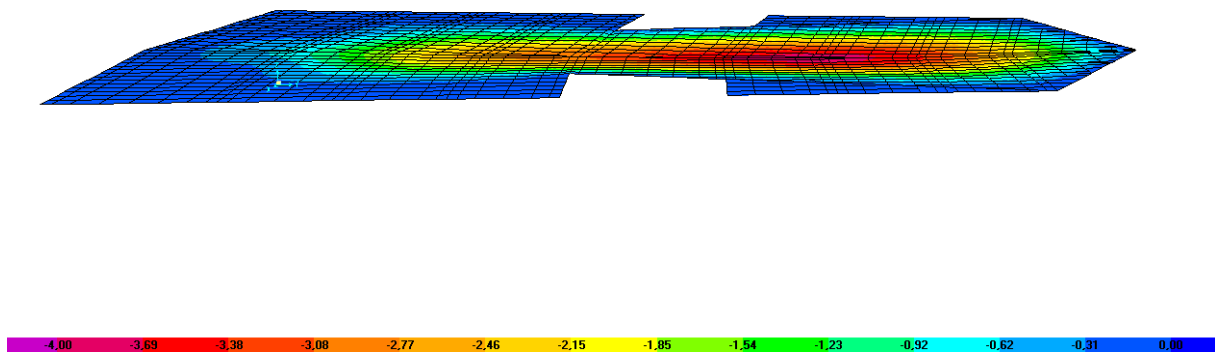


FIGURA 10. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA PLATEA CON MAYOR DEFINICIÓN.

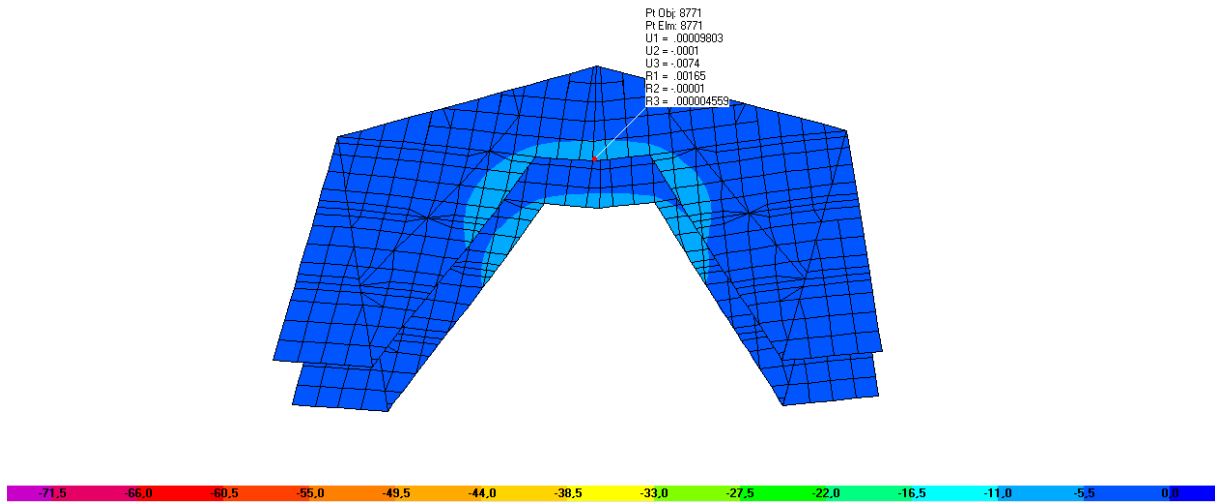


FIGURA 11. DEFORMADA ELSqpu DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LOS PALCOS.

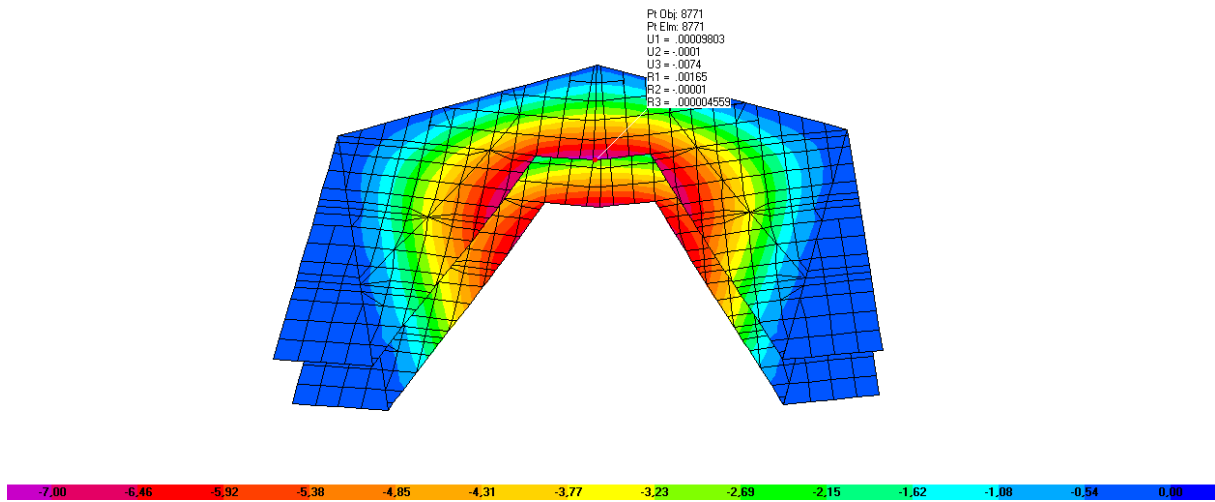


FIGURA 12. DEFORMADA ELSqpu DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LOS PALCOS CON MAYOR DEFINICIÓN.

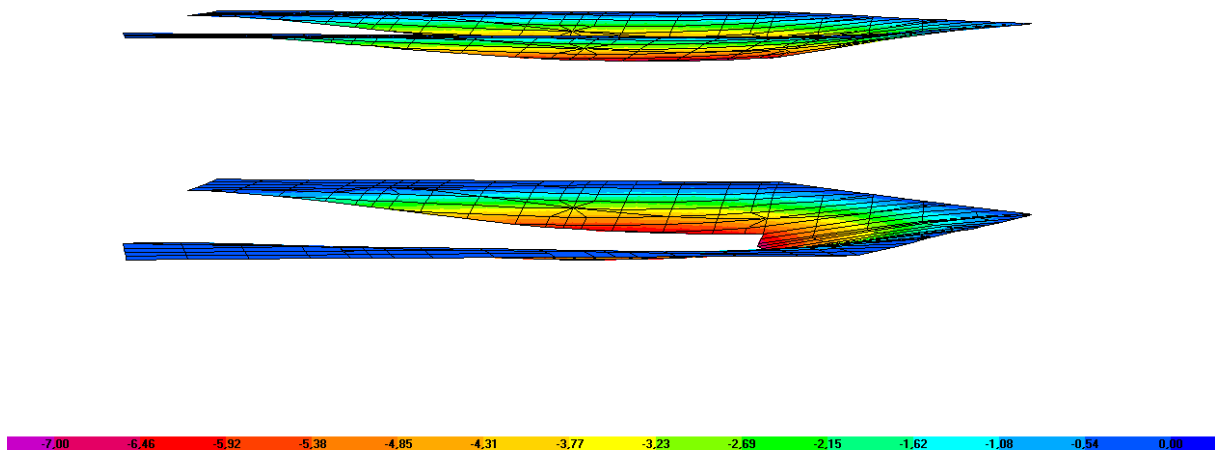


FIGURA 13. DEFORMADA ELSqpu DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LOS PALCOS CON MAYOR DEFINICIÓN.

Una vez analizada la deformada de la estructura se puede observar que no aparecen muchos problemas inesperados.

Para estudiar la deformada se realiza una estimación de flechas admisibles sobre las que se debe trabajar.

ELEMENTO ESTRUCTURAL		FLECHA ADMISIBLE (L/300)
Celosía escena	L = 22'8 m	0'076 m
Celosía sala	L = 25'5 m	0'085 m
Celosía entrada	L = 35'6 m	0'1186 m
Voladizo entrada	L = 26'8 m	0'089 m

Una vez conocidas las flechas admisibles de la estructura, se analiza el modelo y se comprueba dónde están las zonas más problemáticas de la estructura, de esta manera se podrán subsanar los problemas con mayor facilidad.

La celosía de la entrada tiene una flecha aceptable ($f = 0'0508 \text{ m}$), flectando la parte conectada del forjado con ella. La parte que vuela sobre la entrada es la más perjudicada ($f = 0'0752 \text{ m}$), ya que al tratarse de un elemento de hormigón se ve afectado por la flecha diferida que lleva asociada este material.

De manera simplificada, se podría asociar una flecha total de la siguiente manera:

→ La flecha de la parte volada con respecto a la celosía de apoyo será:

$$0'0752 - 0'0508 = \mathbf{0'0244 \text{ m}}$$

→ La flecha diferida será tres veces superior a la flecha de la parte volada:

$$3 \times 0'0244 = \mathbf{0'0732 \text{ m}}$$

→ La flecha total será la suma de la flecha diferida y la flecha en la celosía:

$$0'0732 + 0'0508 = \mathbf{0'124 \text{ m}} \quad \mathbf{\text{No cumple!}}$$

Para disminuir la flecha de la parte volada se cambia la barandilla ligera por una barandilla maciza de hormigón que trabajará como una viga de gran canto. También se sobredimensionarán las diagonales de la celosía de entrada para que así disminuya, también, la flecha de la misma.

En la sala y la escena no hay ningún problema con respecto a la deformada.

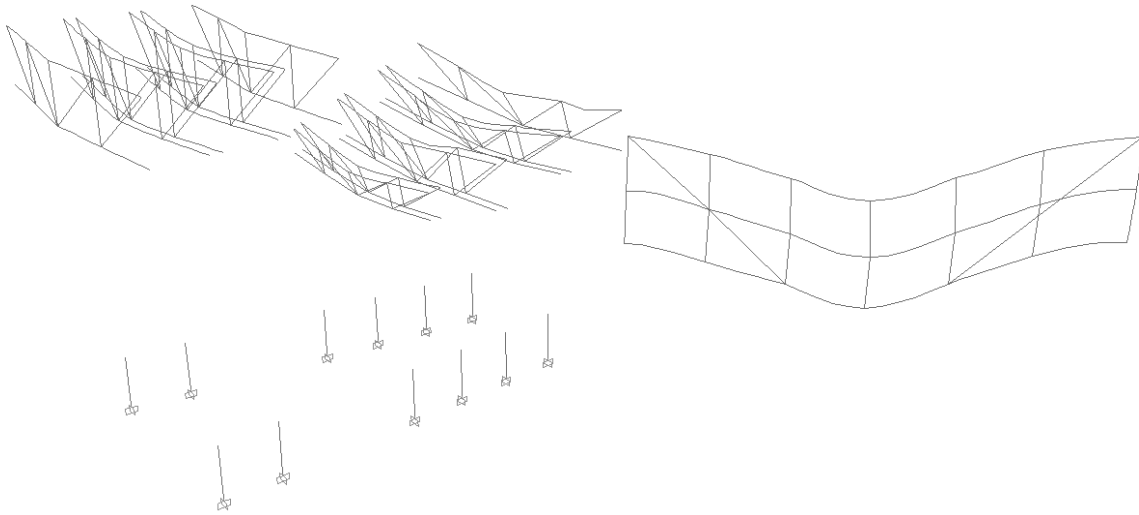


FIGURA 14. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.

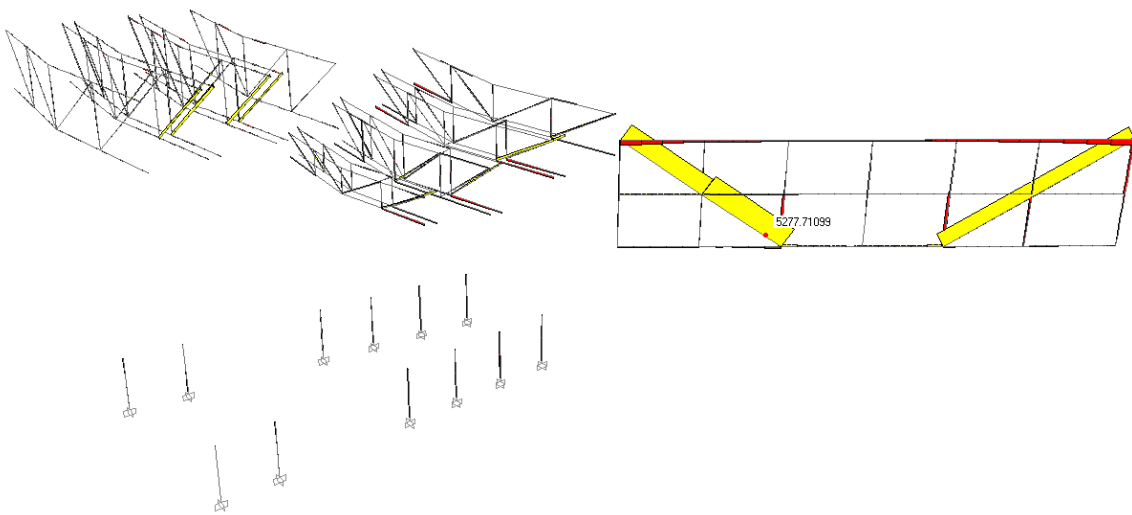


FIGURA 15. LEY DE ESFUERZO AXIAL EN LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.

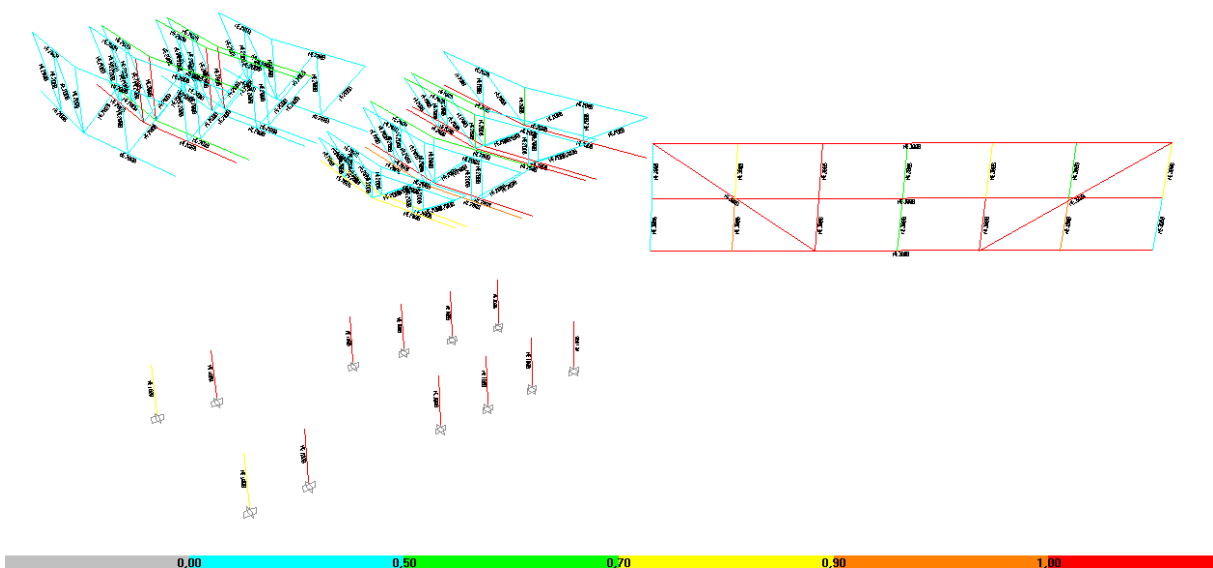


FIGURA 16. ANÁLISIS DE LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.

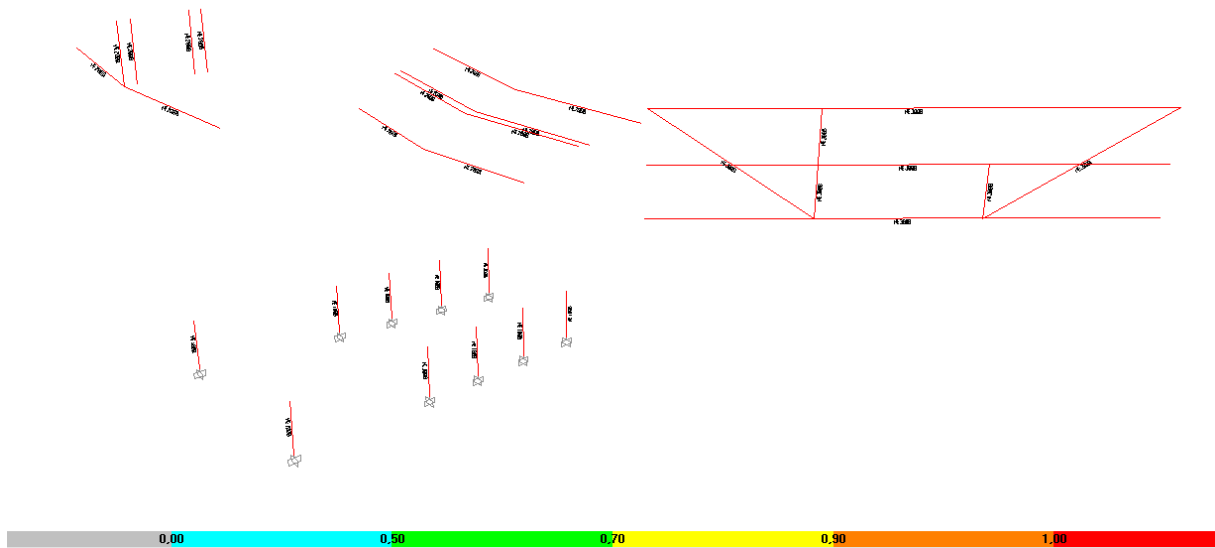


FIGURA 17. BARRAS DE LA ESTRUCTURA QUE NO CUMPLEN.

Con respecto a las barras de acero (celosías y pilares de planta sótano), se observa que no cumplen a axil, por lo que habrá que aumentar el área resistente de las barras.

Steel Stress Check Information (Eurocode 3-2005)

Frame ID: 131 Analysis Section: HE300B
 Design Code: Eurocode 3-2005 Design Section: HE300B

COMBO ID	STATION LOC	----MOMENT RATIO	INTERACTION CHECK =	AXL + B-MAJ + B-MIN	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
DSIL3	7,05	1,468 (T)	=	1,371 + 0,029 + 0,069	0,000	0,002
DSIL3	7,05	1,905 (T)	=	1,678 + 0,082 + 0,145	0,024	0,007
DSIL3	14,10	2,011 (T)	=	1,676 + 0,156 + 0,179	0,043	0,007
DSIL4	0,00	1,505 (T)	=	1,372 + 0,102 + 0,030	0,020	0,002
DSIL4	7,05	1,468 (T)	=	1,371 + 0,029 + 0,069	0,000	0,002
DSIL4	7,05	1,905 (T)	=	1,678 + 0,082 + 0,145	0,024	0,007
DSIL4	14,10	2,011 (T)	=	1,676 + 0,156 + 0,179	0,043	0,007

 Strength Deflection Stylesheet: Default

2. MODELO INTERMEDIO.

En este modelo intermedio se ha añadido un murete en la terraza del voladizo de entrada, el cual aportará rigidez a este voladizo. También se han estudiado las barras de la estructura hasta que todas ellas cumplen tanto a esfuerzo axial como a pandeo.

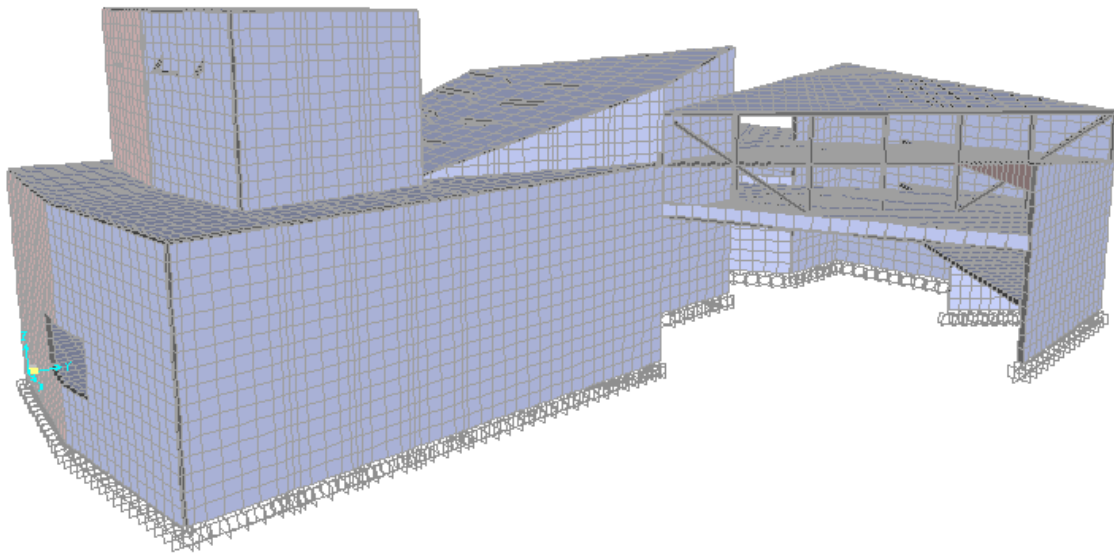


FIGURA 18. MODELO DE LA ESTRUCTURA.

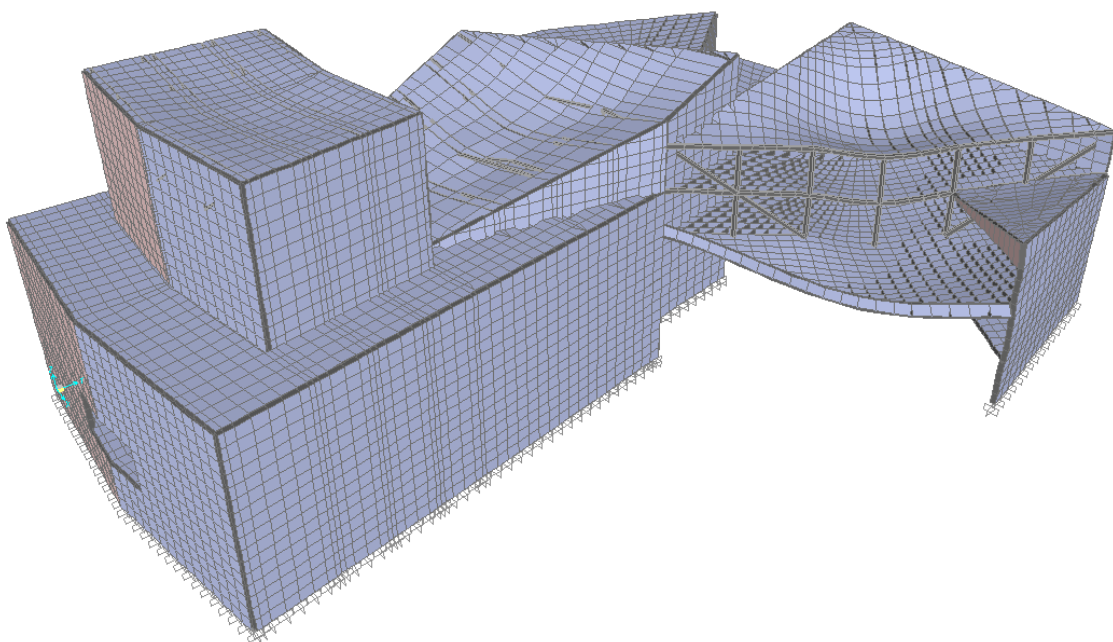


FIGURA 19. DEFORMADA GENERAL DE LA ESTRUCTURA.

2.1. SECCIONES ASIGNADAS.

ELEMENTO ESTRUCTURAL									
Pilares sótano	HEB100	×	HEB200	✓					
Celosía Escena Individual									
Cordón superior	HEB100	✓							
Cordón inferior	HEB100	✓							
Montante central	HEB100	✓							
Montantes intermedios	HEB100	✓							
Diagonales	HEB100	✓							
Celosía Escena Doble									
Cordón superior	HEB100	×	HEB160	✓					
Cordón inferior	HEB100	×	HEB160	×	HEB180	✓			
Montante central	HEB100	×	HEB200	×	HEB600	×	16x16x5	×	
Montantes intermedios	HEB100	✓							
Diagonales interiores	HEB100	✓							
Diagonales exteriores	HEB100	✓							
Celosía Sala Peine									
Cordón superior	HEB100	✓							
Cordón inferior	HEB100	✓							
Montante central	HEB100	✓							
Montantes intermedios	HEB100	✓							
Diagonales	HEB100	✓							
Celosía Sala mitad Inferior									
Cordón superior	HEB100	×	HEB140	×	HEB180	✓			
Cordón inferior	HEB100	×	HEB140	×	HEB180	×	HEB220	✓	
Montante central	HEB100	×	HEB120	✓					
Montantes intermedios	HEB100	✓							
Diagonales	HEB100	✓							

Celosía Sala mitad Superior

Cordón superior	HEB100	×	HEB140	×	HEB180	✓		
Cordón inferior	HEB100	×	HEB140	×	HEB180	×	HEB240	✓
Montante central	HEB100	×	HEB120	✓				
Montantes intermedios	HEB100	✓						
Diagonales	HEB100	✓						

Celosía Entrada

Cordón superior	HEB200	×	HEB300	×	HEB450	×	HEB600	×
Cordón intermedio	HEB200	×	HEB300	×	HEB340	×	HEB600	×
Cordón inferior	HEB200	×	HEB300	×	HEB400	×	HEB600	×
Montante central	HEB200	✓						
Montante intermedio int.	HEB200	×	HEB400	×	HEB500	×	HEB600	×
Montante intermedio ext.	HEB200	×	HEB260	✓				
Diagonales	HEB200	×	HEB400	×	HEB550	×	HEB600	×

La celosía de entrada presenta problemas, ya que no soporta el axil, por lo que se creará un perfil tubular con mayor área resistente.

Celosía Entrada

Cordón superior	30x30x1	×	30x30x2	×	30x30x4	×	30x30x10	×
Cordón intermedio	30x30x1	✓						
Cordón inferior	30x30x1	×	30x30x2	×	30x30x4	×	30x30x8	×
Montante central	30x30x1	✓						
Montante intermedio int.	30x30x1	×	30x30x2	×	30x30x3	✓		
Montante intermedio ext.	30x30x1	×	30x30x2	✓				
Diagonales	30x30x1	×	30x30x2	×	30x30x3	×	30x30x4	✓

2.2. RESULTADOS.

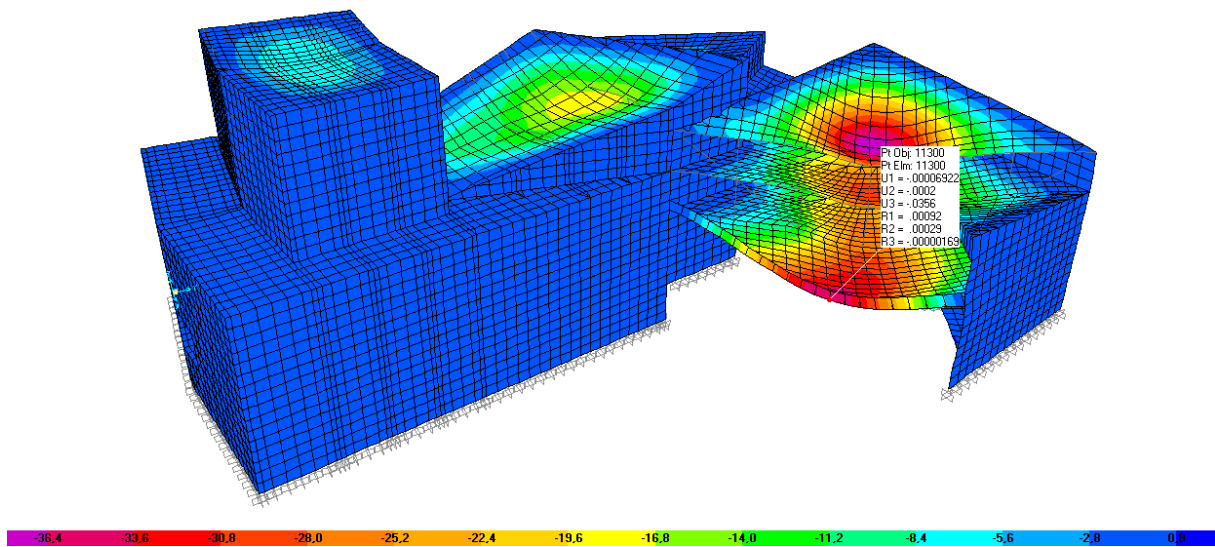


FIGURA 20. DEFORMADA ELSqpu DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA PUNTA DEL VOLADIZO.

La flecha en la punta del voladizo es de **0'0356 m** (la flecha anterior era de 0'0752 m).

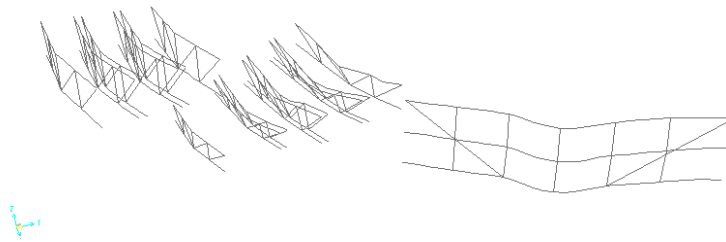


FIGURA 21. DEFORMADA ELSqpu DE LAS CELOSÍAS DE LA ESTRUCTURA

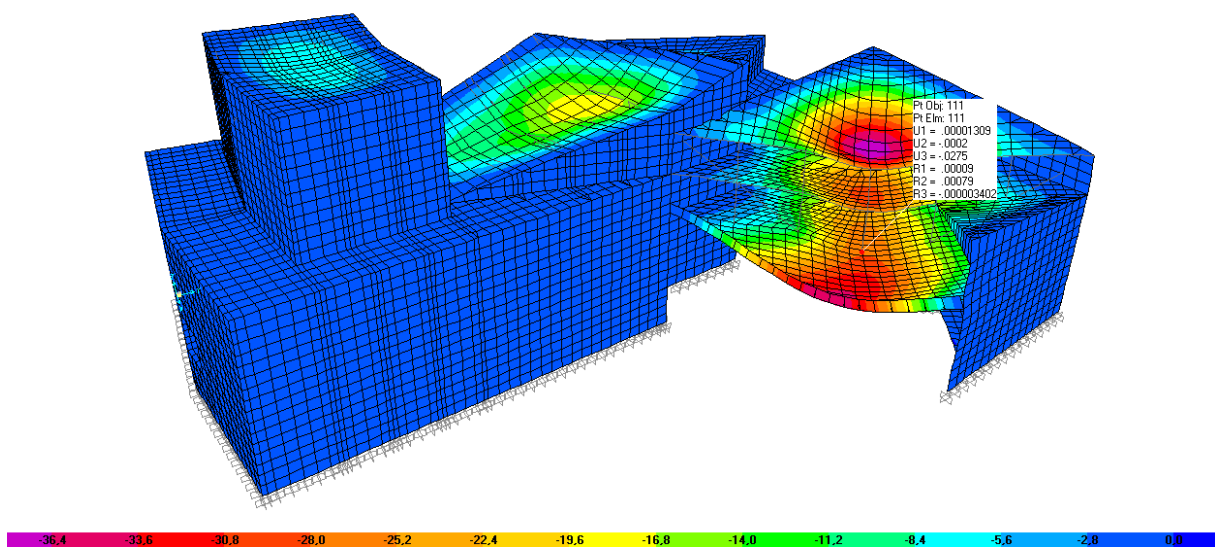


FIGURA 22. DEFORMADA ELSqpu DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CELOSÍA DE ENTRADA.

La flecha en el centro del cordón inferior es de **0'0275 m** (la flecha anterior era de 0'0507 m).

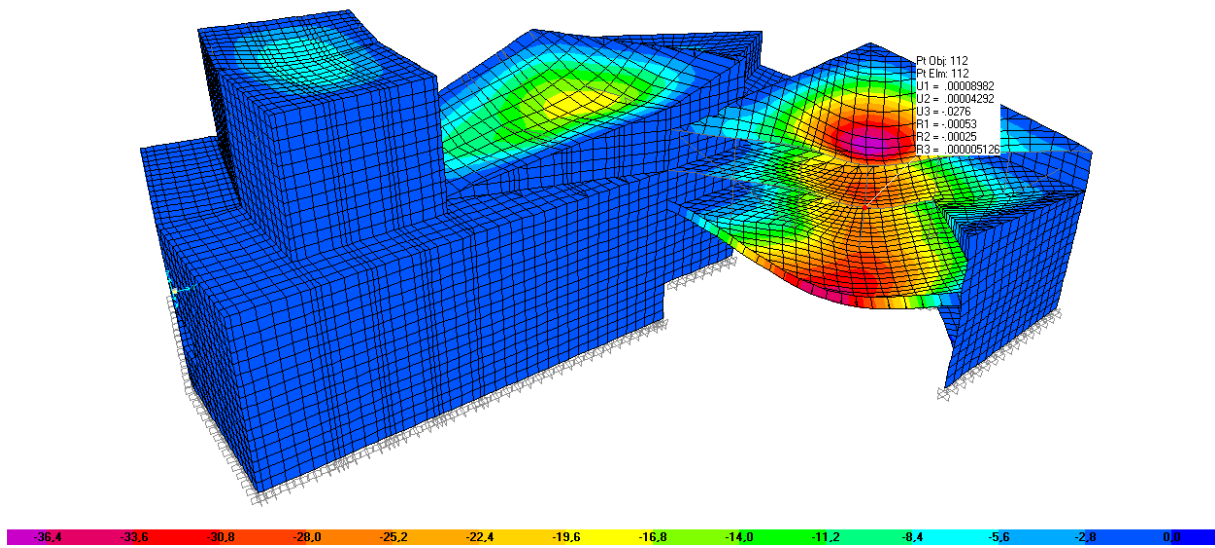


FIGURA 23. DEFORMADA ELSqpu DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CELOSÍA DE ENTRADA.

La flecha en el centro del cordón intermedio es de **0'0276 m** (la flecha anterior era de 0'0508 m).

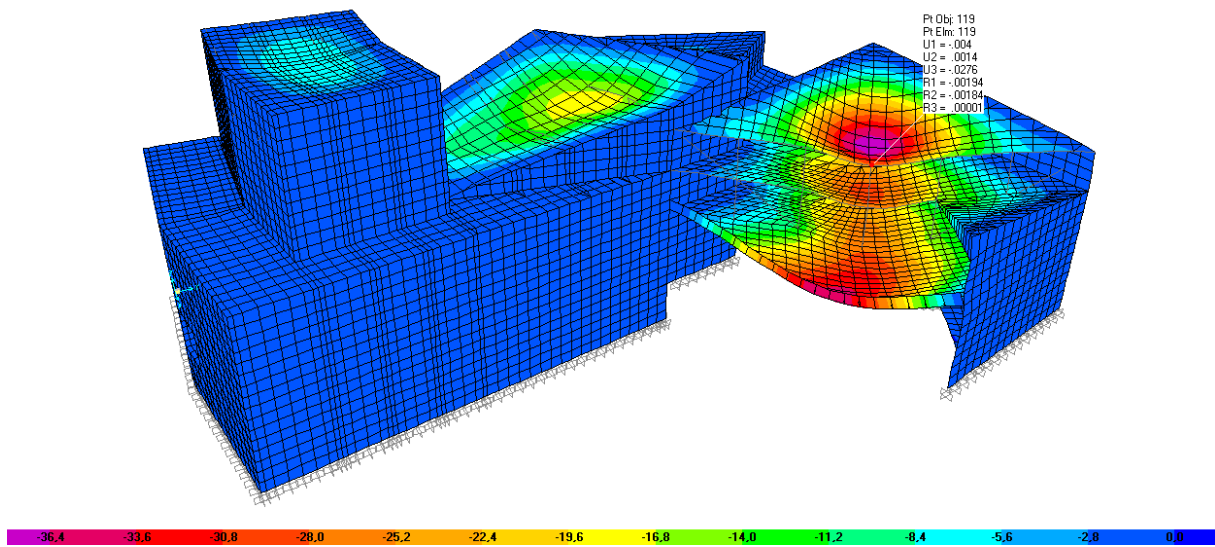


FIGURA 24. DEFORMADA ELSqpu DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CELOSÍA DE ENTRADA.

La flecha en el centro del cordón superior es de **0'0276 m** (la flecha anterior era de 0'0508 m).

La celosía de la entrada tiene una flecha aceptable ($f = 0'0275 \text{ m}$), flectando la parte conectada del forjado con ella. La parte que vuela sobre la entrada tiene una flecha también aceptable ($f = 0'0356 \text{ m}$), pero considerando la flecha diferida del hormigón tenemos lo siguiente:

→ La flecha de la parte volada con respecto a la celosía de apoyo será:

$$0'0356 - 0'0275 = 0'0081 \text{ m}$$

→ La flecha diferida será tres veces superior a la flecha de la parte volada:

$$3 \times 0'0081 = 0'0243 \text{ m}$$

→ La flecha total será la suma de la flecha diferida y la flecha en la celosía:

$$0'0243 + 0'0275 = 0'0518 \text{ m}$$

Esta flecha es admisible según lo estudiado.

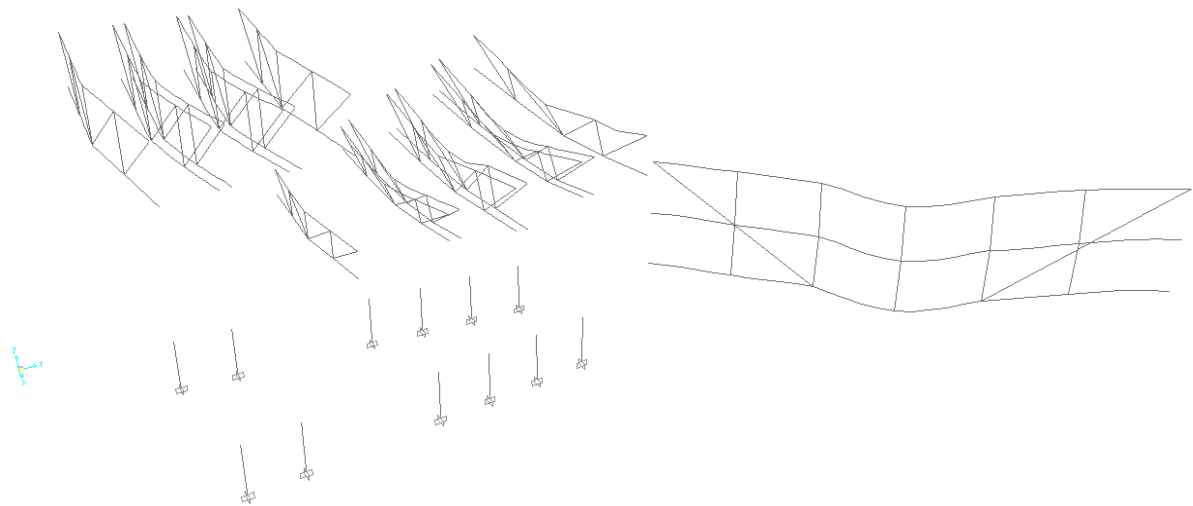


FIGURA 25. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.

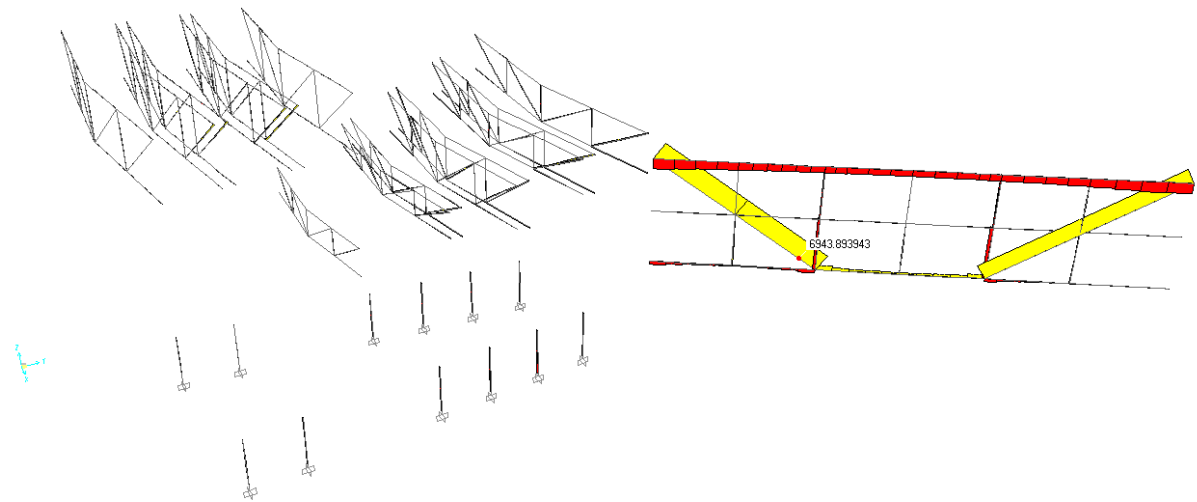


FIGURA 26. LEY DE ESFUERZO AXIL EN LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.

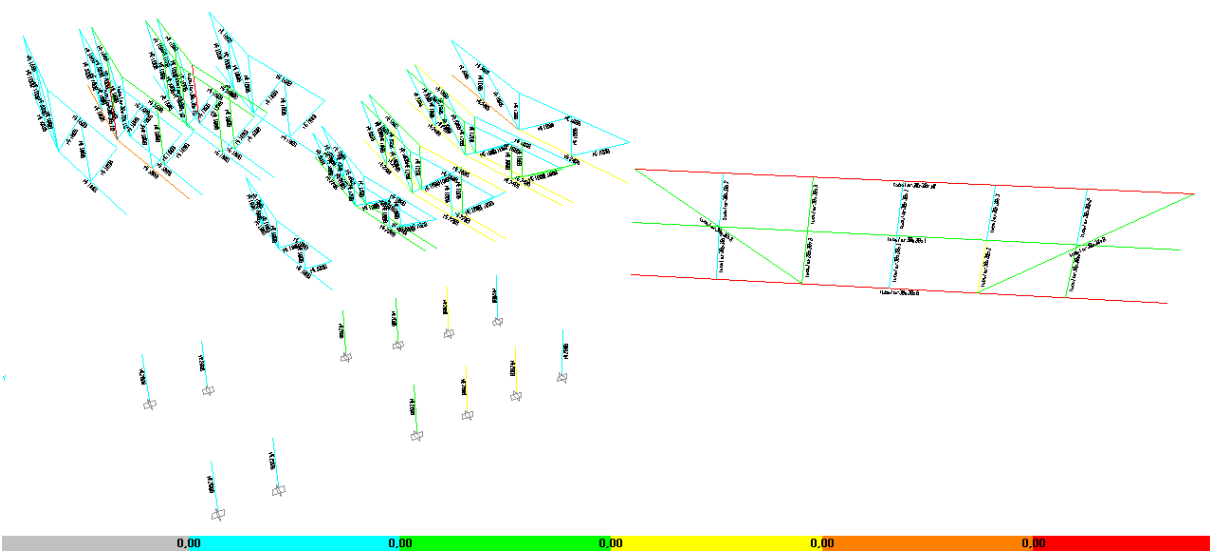


FIGURA 27. ANÁLISIS DE LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.

Los cordones de la celosía de entrada siguen sin cumplir a pesar de la gran sección que tienen, por que se prevé que se trate de un problema de pandeo que hay que solucionar.

Al mismo tiempo, los montantes que no cumplen se articulan en sus extremos para que sean admisibles.

Sabiendo que todas las barras cumplen, se estudian las secciones asignadas para generar unas cerchas lo más uniformes posibles con respecto a los perfiles que las conforman.

Celosía Escena Individual	
Cordones	HEB100
Montantes	HEB100
Diagonales	HEB100
Celosía Escena Doble	
Cordones	HEB180
Montantes	HEB100
Diagonales	HEB100
Celosía Sala Peine	
Cordones	HEB100
Montantes	HEB100
Diagonales	HEB100
Celosía Sala mitad Inferior	
Cordones	HEB220
Montantes	HEB120
Diagonales	HEB120
Celosía Sala mitad Superior	
Cordones	HEB260
Montantes	HEB120
Diagonales	HEB120
Celosía Entrada	
Cordones	30x30x4
Montantes	30x30x2
Diagonales	30x30x4

3. MODELO FINAL.

En el modelo final se tiene en cuenta la carga de sismo, y en caso de que alguna de las barras no cumpla, se modificará cuando sea necesario.

El cálculo se ha realizado con 600 modos de vibración.

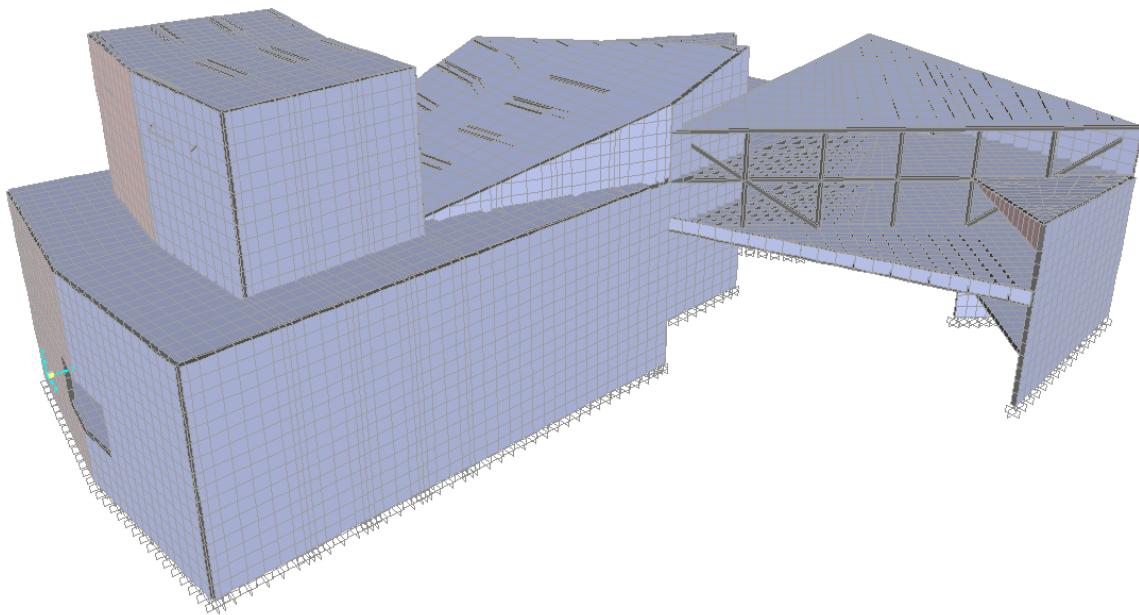


FIGURA 28. MODELO DE LA ESTRUCTURA.

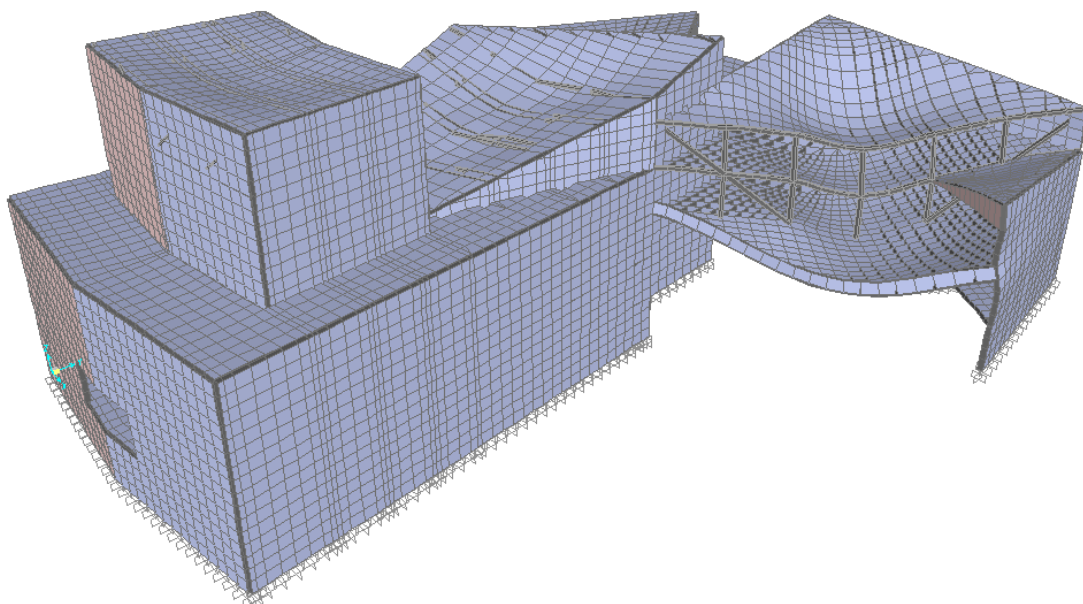


FIGURA 29. DEFORMADA GENERAL DE LA ESTRUCTURA.

3.1. SECCIONES ASIGNADAS.

ELEMENTO ESTRUCTURAL		SECCIÓN ASIGNADA	
HA-25	Forjado sencillo	Losa	0'40 m
HA-25	Forjado palco (arranque)	Losa	0'40 m
HA-25	Forjado palco (final)	Losa	0'30 m
HA-25	Forjado platea	Losa aligerada	0'50 m
HA-25	Cubiertas	Losa	0'20 m
HA-25	Muros	Muro	0'40 m
HA-25	Murete	Muro	0'20 m
S275	Pilares sótano	HEB	200
S275	Celosía escena individual		
	Cordones	HEB	120
	Montantes	HEB	120
	Diagonales	HEB	120
S275	Celosía escena doble		
	Cordones	HEB	180
	Montantes	HEB	100
	Diagonales	HEB	100
S275	Celosía sala peine		
	Cordones	HEB	100
	Montantes	HEB	100
	Diagonales	HEB	100
S275	Celosía sala mitad inferior		
	Cordones	HEB	220
	Montantes	HEB	120
	Diagonales	HEB	120
S275	Celosía sala mitad superior		
	Cordones	HEB	260
	Montantes	HEB	120
	Diagonales	HEB	120
S275	Celosía entrada		
	Cordones	30x30x4	
	Montantes	30x30x2	
	Diagonales	30x30x4	

3.2. RESULTADOS ELS_{qpu}.

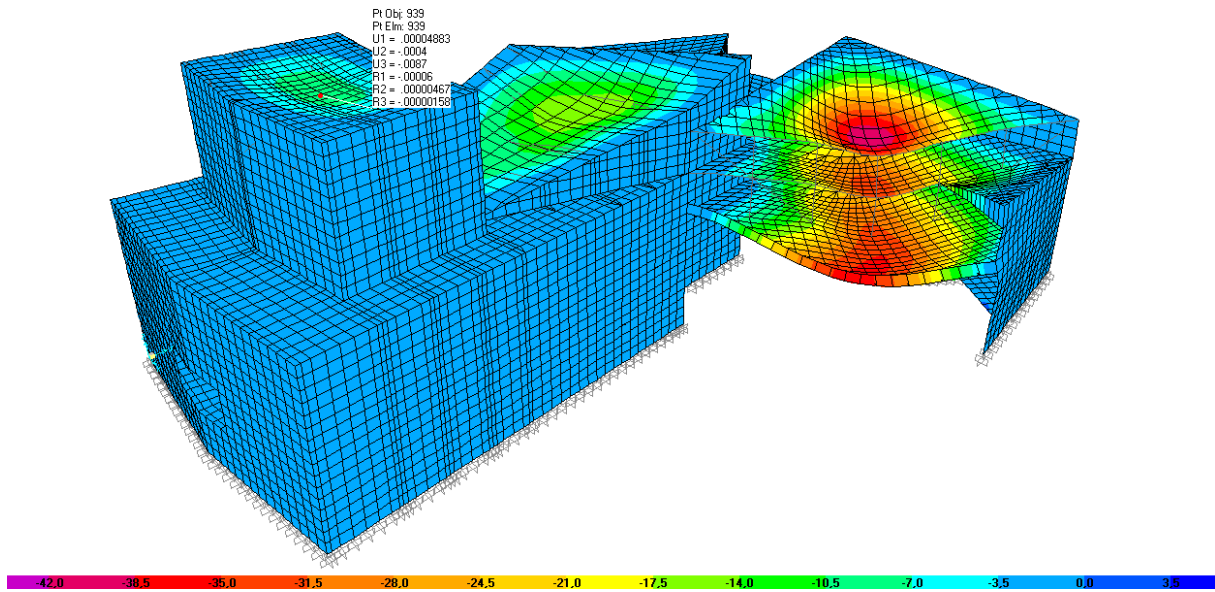


FIGURA 30. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CUBIERTA DE LA ESCENA.

La flecha en la cubierta de la escena es de **0'0087 m**.

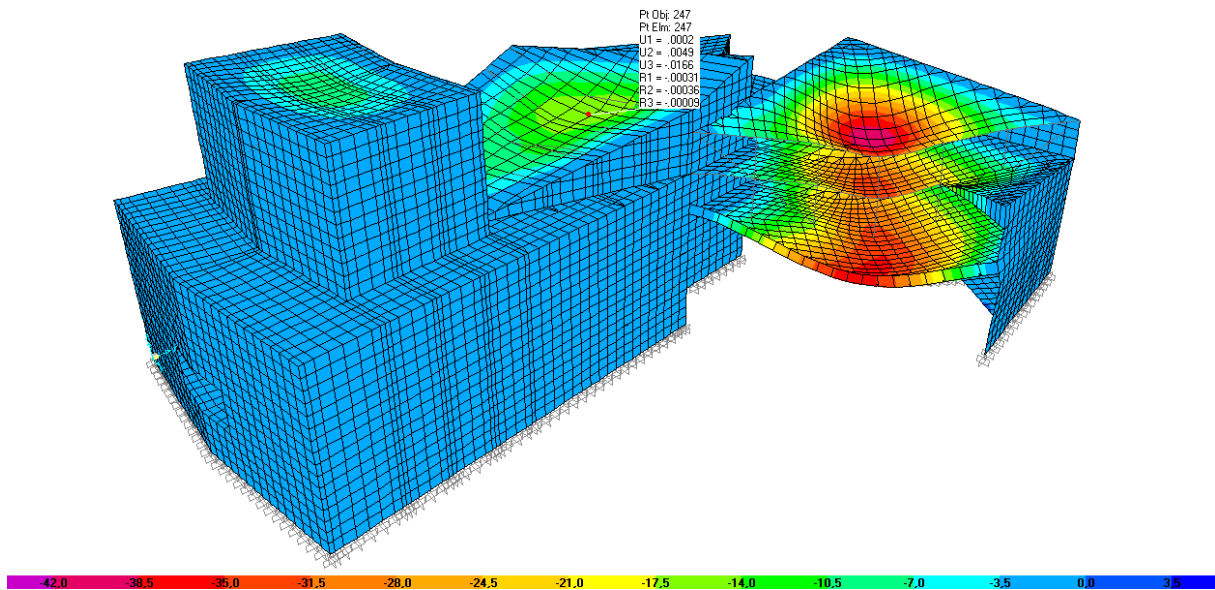


FIGURA 31. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CUBIERTA DE LA SALA.

La flecha en la cubierta de la sala es de **0'0158 m**.

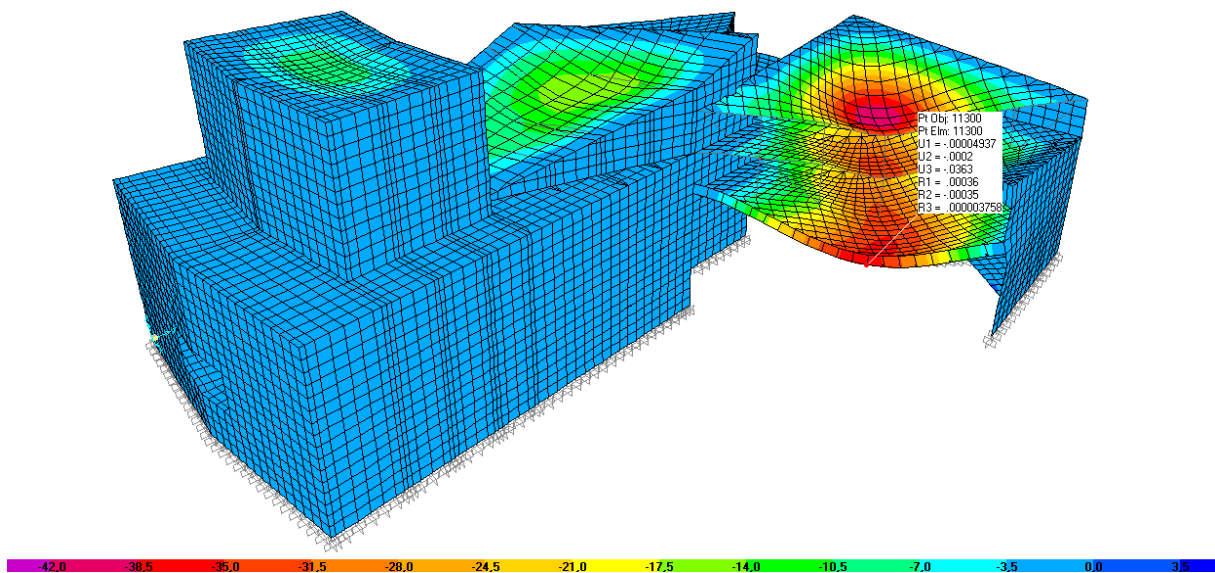


FIGURA 32. DEFORMADA ELSqpu DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA PUNTA DEL VOLADIZO.

La flecha en la punta del voladizo es de **0'0363 m**.

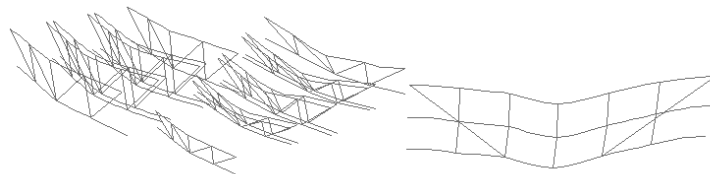


FIGURA 33. DEFORMADA ELSqpu DE LAS CELOSÍAS DE LA ESTRUCTURA

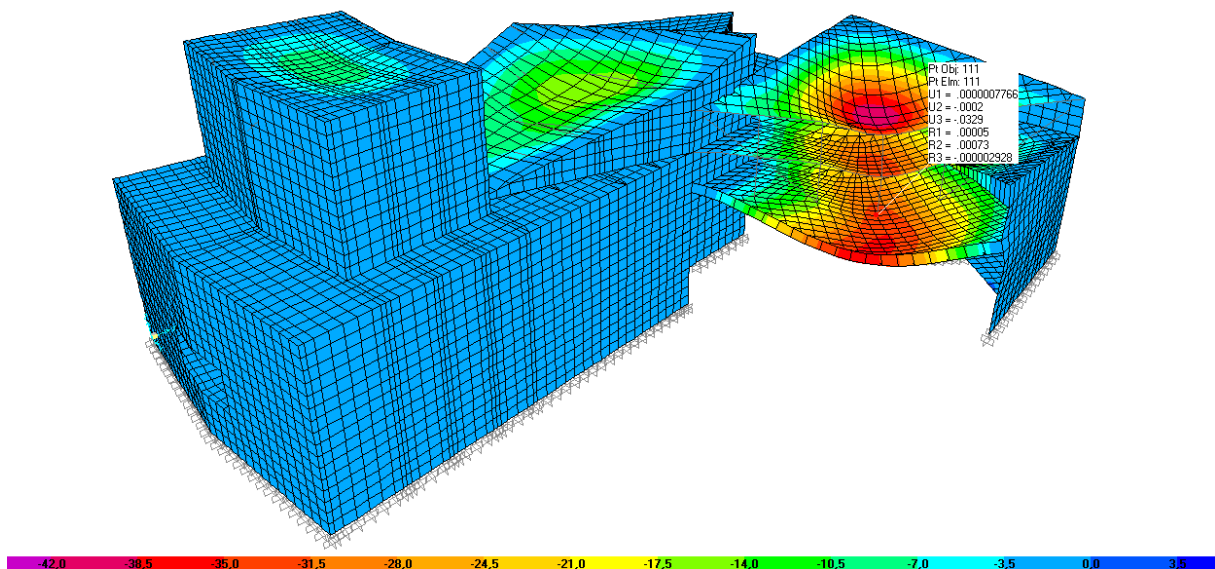


FIGURA 34. DEFORMADA ELSqpu DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CELOSÍA DE ENTRADA.

La flecha en el centro del cordón inferior es de **0'0329 m**.

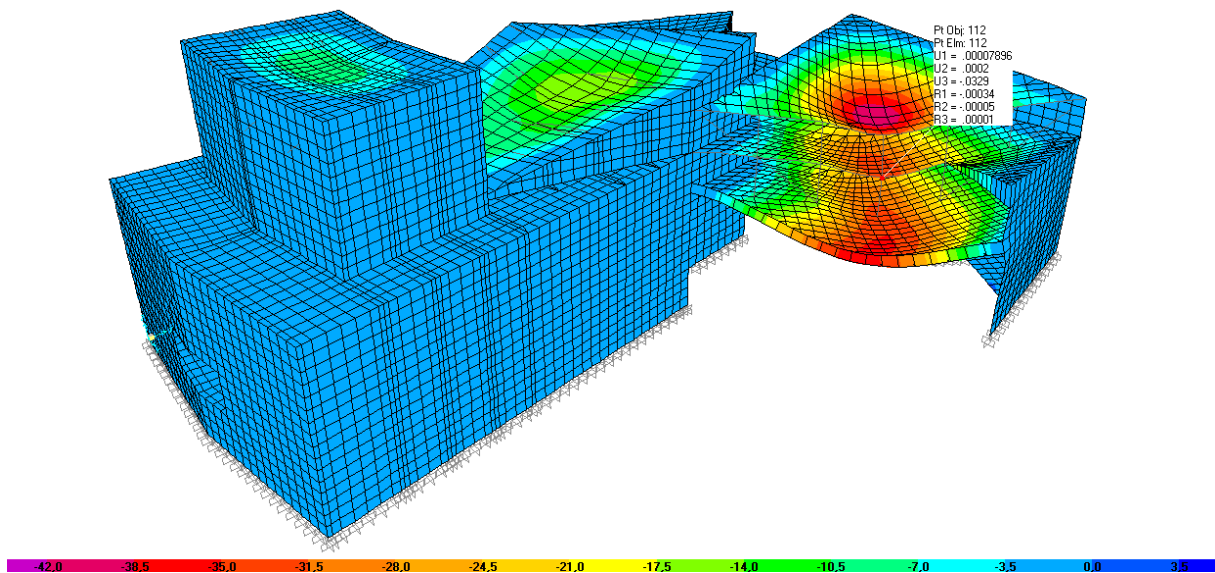


FIGURA 35. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CELOSÍA DE ENTRADA.

La flecha en el centro del cordón intermedio es de **0'0329 m.**

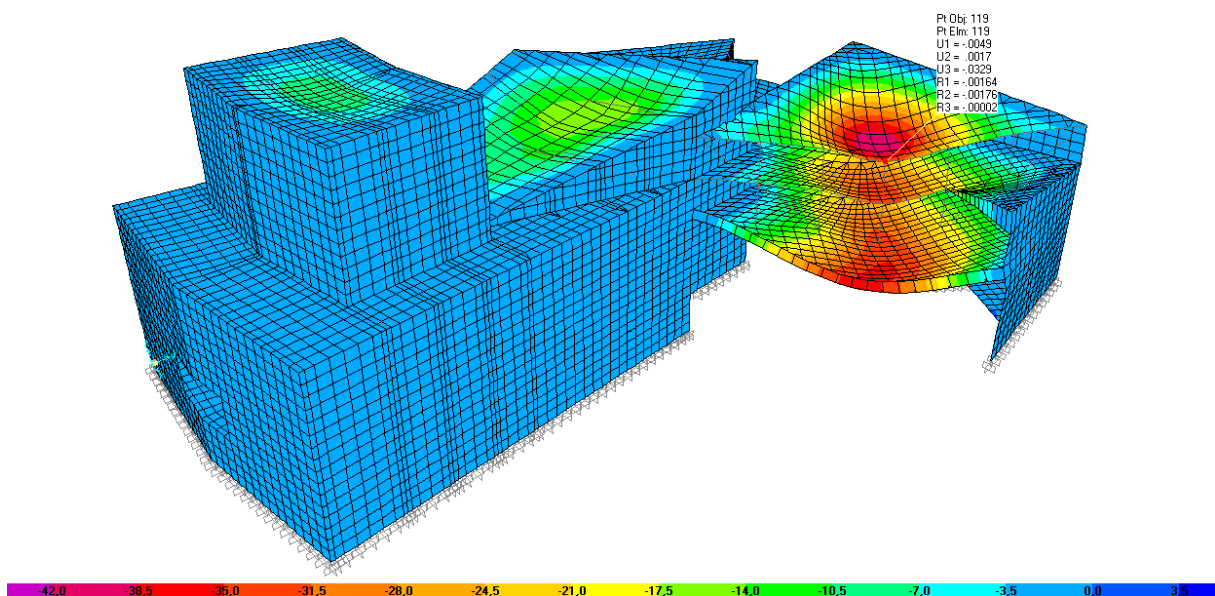


FIGURA 36. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CELOSÍA DE ENTRADA.

La flecha en el centro del cordón superior es de **0'0329 m.**

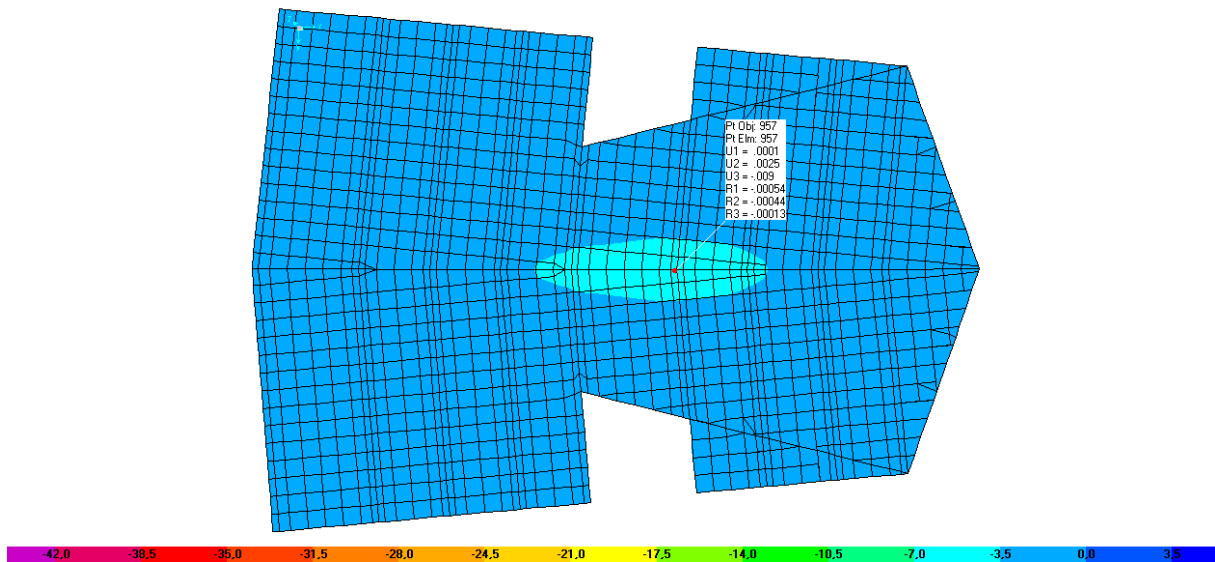


FIGURA 37. DEFORMADA ELSqpu DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA PLATEA.

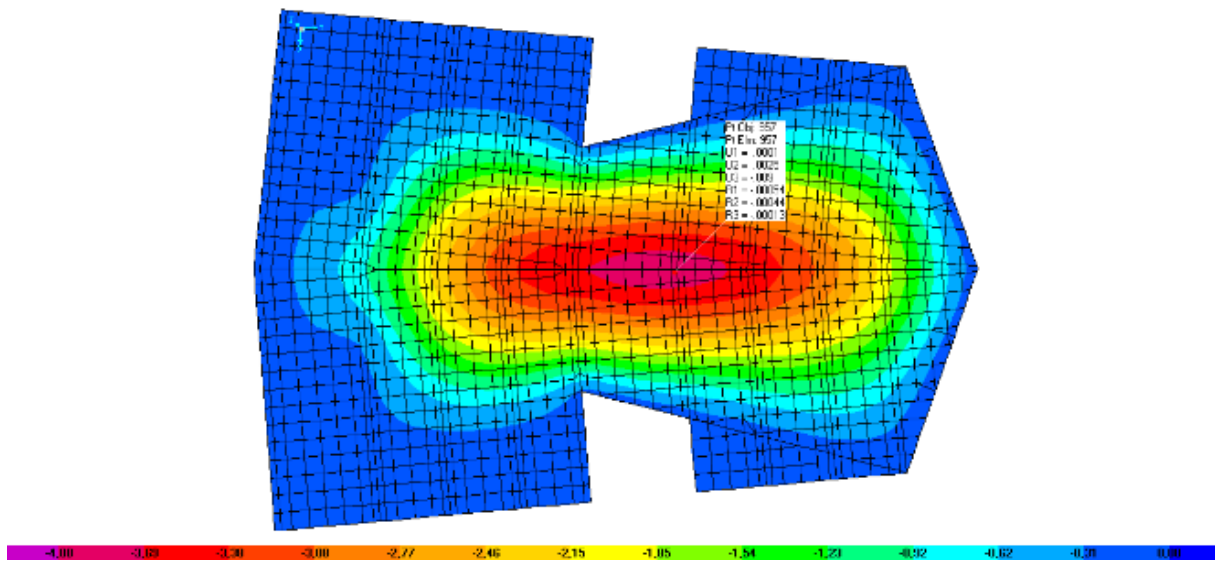


FIGURA 38. DEFORMADA ELSqpu DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA PLATEA CON MAYOR DEFINICIÓN.

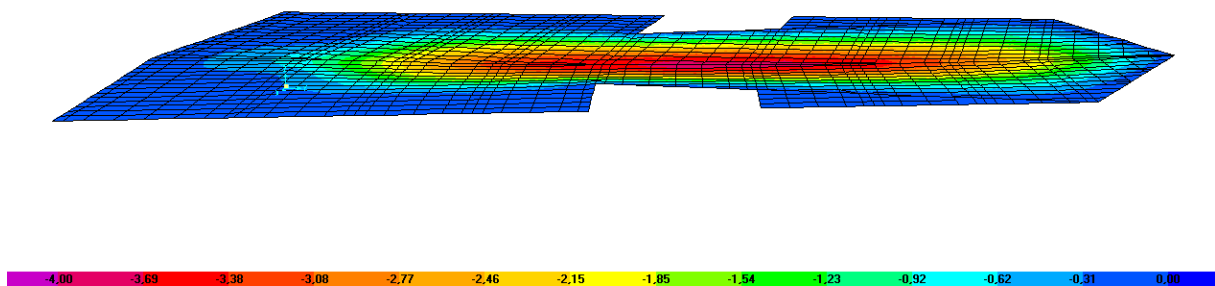


FIGURA 39. DEFORMADA ELSqpu DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA PLATEA CON MAYOR DEFINICIÓN.

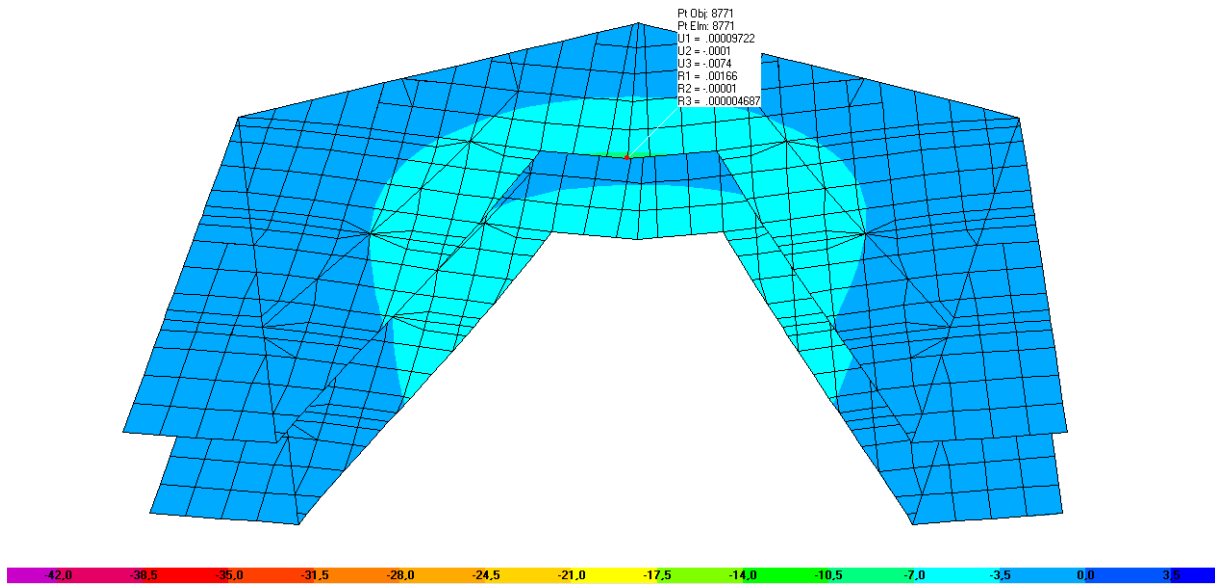


FIGURA 40. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LOS PALCOS.

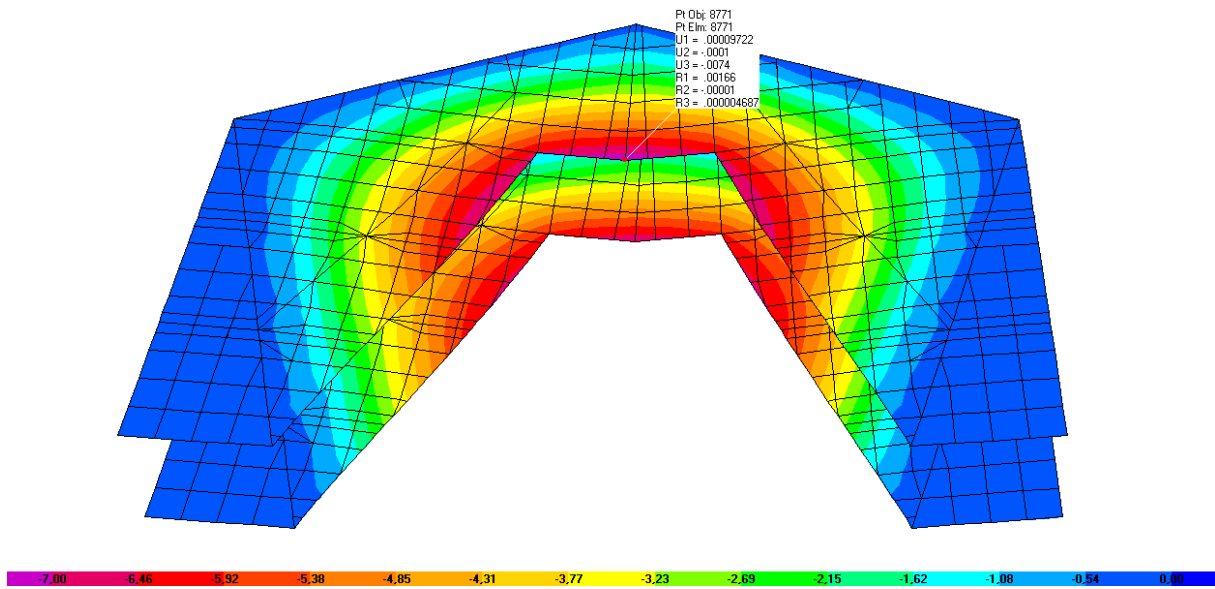


FIGURA 41. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LOS PALCOS CON MAYOR DEFINICIÓN.

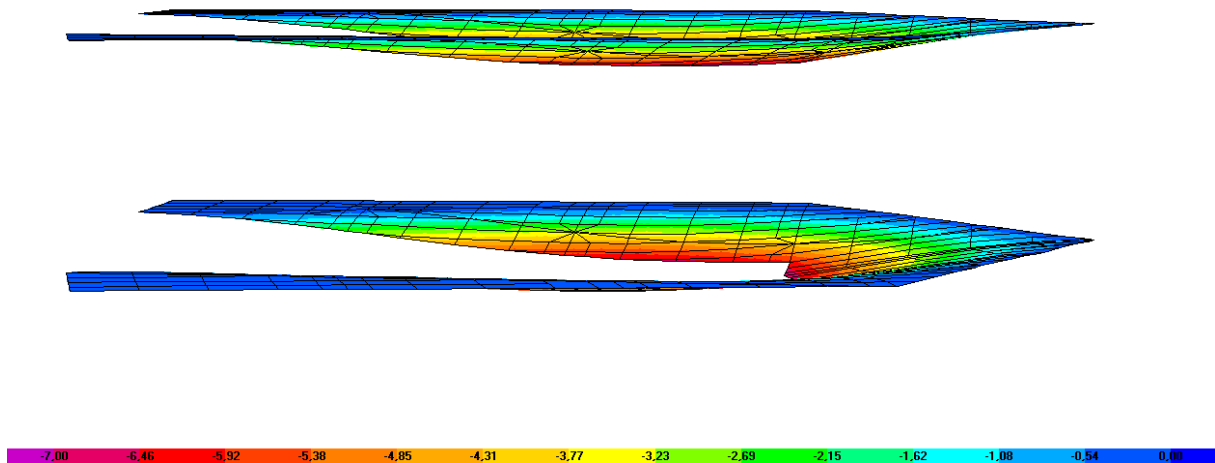


FIGURA 42. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LOS PALCOS CON MAYOR DEFINICIÓN.

ELEMENTO ESTRUCTURAL		FLECHA ADMISIBLE (L/300)
Celosía escena	L = 22'8 m	0'076 m
Celosía sala	L = 25'5 m	0'085 m
Celosía entrada	L = 35'6 m	0'1186 m
Voladizo entrada	L = 26'8 m	0'089 m

La **celosía de la escena** tiene una flecha aceptable ($f = 0'0087 \text{ m}$), ya que su deformación es mínima.

La **celosía de la sala** tiene una flecha aceptable ($f = 0'0158 \text{ m}$).

La **celosía de la entrada** tiene una flecha aceptable ($f = 0'0329 \text{ m}$), flectando la parte conectada del forjado con ella. La parte que vuela sobre la entrada tiene una flecha también aceptable ($f = 0'0363 \text{ m}$), pero considerando la flecha diferida del hormigón tenemos lo siguiente:

→ La **flecha de la parte volada** con respecto a la celosía de apoyo será:

$$0'0363 - 0'0329 = 0'0034 \text{ m}$$

→ La **flecha diferida** será tres veces superior a la flecha de la parte volada:

$$3 \times 0'0034 = 0'0102 \text{ m}$$

→ La **flecha total** será la suma de la flecha diferida y la flecha en la celosía:

$$0'0102 + 0'0329 = 0'0431 \text{ m} \quad \textbf{Admisible!}$$

El resto de forjados de la estructura, así como los forjados de los palcos y de la platea, tienen una deformación mínima, por lo que cumplen sobradamente.

En el modelo final, las barras de la estructura no presentan ningún problema y todas son admisibles.

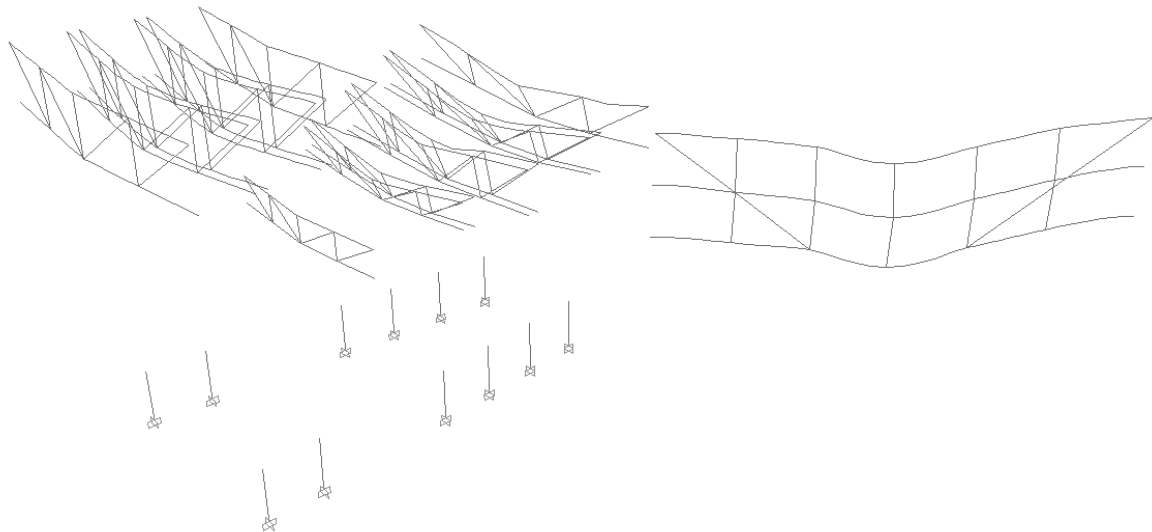


FIGURA 43. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.

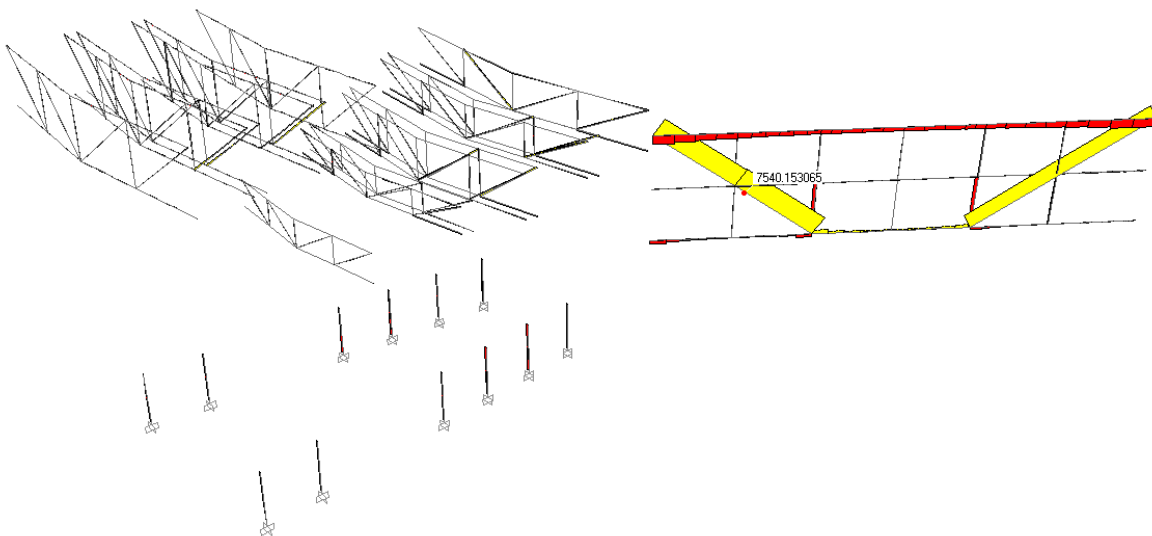


FIGURA 44. LEY DE ESFUERZO AXIL EN LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.

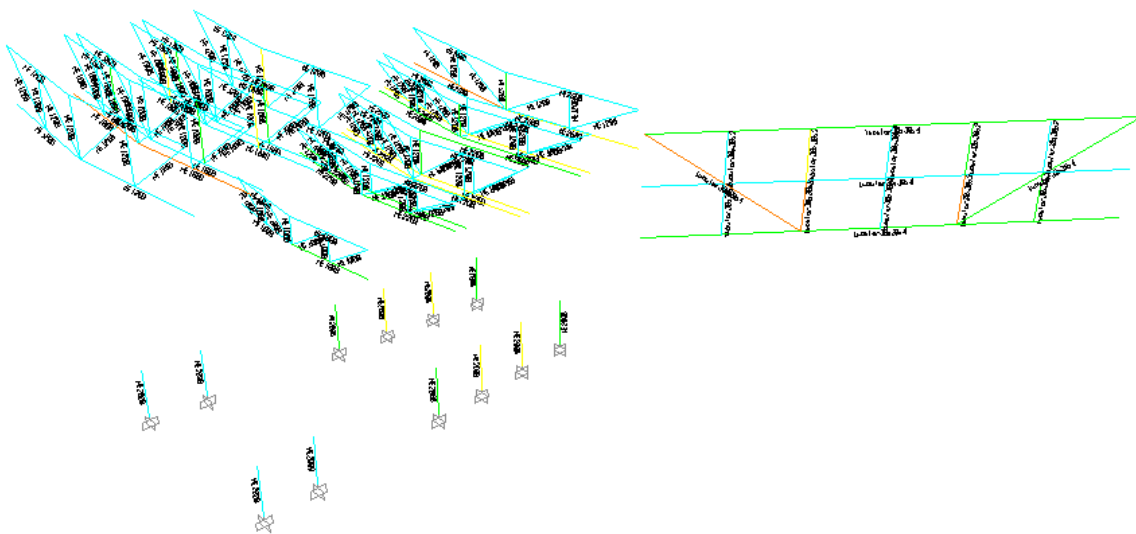


FIGURA 45. ANÁLISIS DE LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.

CONCLUSIONES.

1. ESTRUCTURA GENERAL.

Una vez finalizado el trabajo, se ha realizado un análisis del mismo empezando por el punto de partida que, en este caso, se corresponde con la simplificación del modelo de cálculo y su construcción en AutoCad.

El modelo se caracteriza por la carencia de líneas ortogonales, es decir, todo el modelo fue dibujado minuciosamente, ya que al tratarse de un modelo irregular en planta, no se podía seguir un patrón base para elaborar el modelo.

La entrada de datos a SAP2000 se presentó de manera favorable, ya que a la hora de elaborar el modelo se había tenido en cuenta esta parte del trabajo, generando los grupos necesarios para facilitar la asignación de secciones y cargas. De esta manera, se evitan problemas posteriores.

Finalizada la asignación de secciones y cargas, se realizó el primer cálculo de la estructura. Con este primero estudio se pudo hacer una aproximación a la forma de trabajar que presentaba la estructura. Se comprobó que la estructura funcionaba según lo esperado, a excepción de los palcos, ya que no presentaban casi deformación y era algo que no estaba previsto –este punto se analizará posteriormente–.

En el modelo intermedio se añadió un murete en la terraza que vuelca a la plaza, de esta manera se consigue añadir rigidez a ese voladizo y así disminuye su flecha. También se trabajaron las barras, para conseguir la sección adecuada en cada celosía.

La celosía de entrada presentaba problemas si se dimensionaba con perfiles HEB, por lo que se decidió utilizar perfiles tubulares con mayor área resistente. A pesar de este aumento de área, seguían persistiendo los problemas, ya que finalmente se trataba de un problema de pandeo en alguna de sus barras.

Con respecto a las celosías de la sala y de la escena sólo hubo problemas con los montantes centrales de la celosía doble que hay en la escena. No se encontraron problemas ni de axil ni de pandeo, por lo que se prevé que se trate de tensiones

concentradas en los nudos, es por esto por lo que estos nudos se convierten en articulaciones.

En el modelo final se introdujo la carga de sismo. En este modelo fueron decisivos los modos de vibración utilizados para calcular la estructura. Se realizó una primera prueba con 12 modos de vibración, que son los que te da por defecto el programa SAP2000, y se comprobó que los resultados no tenían variación con respecto al modelo intermedio, por lo que habría que seguir aumentando los modos de vibración hasta que se consiguiesen movilizar alrededor del 90% de los nudos de la estructura.

Con 500 modos de vibración, la estructura calculada se acercaba a los objetivos propuestos, a la vez que la estructura aumentaba su deformación y con ello las barras, por lo que se tuvieron que modificar algunas de ellas y volver a realizar el cálculo.

El modelo final está calculado con 600 modos de vibración, cumpliendo así el objetivo de movilizar el 90% de los nudos de la estructura. A pesar de conseguir este objetivo, finalmente no se han podido aprovechar los resultados, ya que a la hora de que SAP2000 los mostrará no los mostraba de la forma correcta, es decir, SAP2000 se bloqueaba y, cuando conseguía mostrar los resultados, mostraba unos resultados incorrectos.

La estructura se ha analizado teniendo en cuenta la combinación $EL_{S_{qpu}}$ para estudiar la deformada, y con la combinación EL_{U_u} para estudiar las leyes de esfuerzos en las barras y los esfuerzos generados en los muros y en las losas.

El estudio de los muros y de las losas se ha complementado con la ayuda de unas tablas Excel, mediante las cuales se elige el armado deseado y se comprueba en SAP2000 los resultados obtenidos (Anexo 3).

Tras el estudio realizado, se dejan pendientes algunos puntos de estudio, que podrían ser equivalentes a posibles líneas futuras de trabajo, como por ejemplo: análisis de la cimentación, cálculo de las armaduras, detalles de los nudos de las celosías, en especial en las celosías quebradas, planos de ejecución, etc.

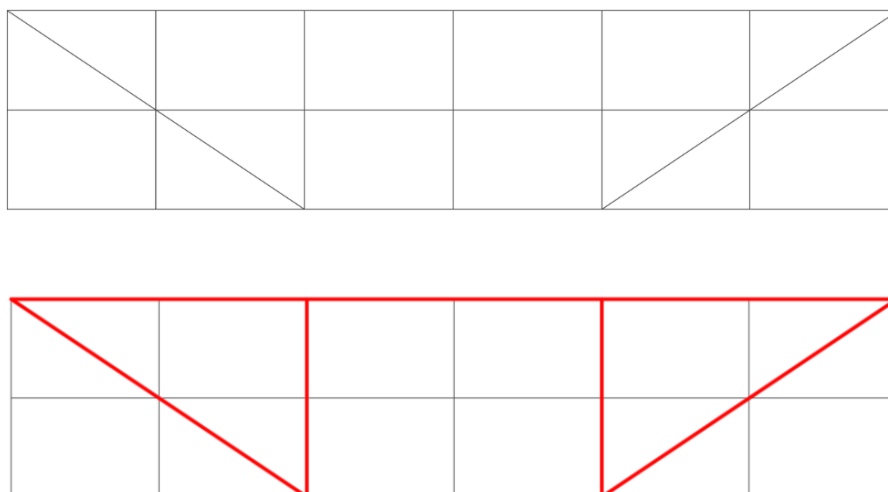
2. ASPECTOS ESTRUCTURALES DE INTERÉS.

A. CUERPO DE ENTRADA.

El cuerpo de entrada al teatro era la zona que más fragilidad presentaba, pues el objetivo principal era conseguir un espacio diáfano de doble altura que no se viene interrumpido por ningún pilar.

Este objetivo principal se ha trasladado a las plantas superiores, ya que con la resolución estructural propuesta se consiguen unos pasos agradables y amplios.

La celosía propuesta en el punto de partida inicial es la celosía que permanece en el modelo final, ya que no presenta ningún problema grave que no pueda solucionarse.



El cordón superior trabaja a compresión; en un primer momento presentó problemas de pandeo que fueron solucionados posteriormente.

El cordón inferior y las diagonales trabajan a tracción, como estaba previsto.

Los muros que se relacionan directamente con la zona del cuerpo de entrada no presentan problemas importantes, ya que los esfuerzos se distribuyen de forma uniforme, presentando concentración de tensiones en las zonas de conexión con la celosía.

De la misma manera, las losas que conforman los forjados se ven afectadas por concentración de tensiones en los puntos donde se sitúan los montantes/pilares, mientras que el centro de vano de las mismas necesitará un refuerzo de negativos.

B. CELOSÍAS DE LA SALA.

Las celosías que cubren la sala trabajarán de manera conjunta con la losa que cierra la sala. El objetivo perseguido en este punto era confirmar que este método de trabajo era posible, ya que la otra posible solución sería generar una viga piñón que una todas las celosías en la dirección ortogonal a las mismas.

Tras el estudio realizado, se comprueba que las celosías y la losa de cubierta trabajan de forma conjunta, tanto desde el punto de vista de la combinación de ELS_{qpu} como el de la combinación de ELU_u .

La deformada que presentan, tanto las celosías como la losa de cubierta, es completamente admisible, ya que se trata de una flecha mínima.

Los esfuerzos en la losa de cubierta se consiguen salvar con la armadura base propuesta, es decir, no se generan tensiones excesivas que requieran armadura de refuerzo.

Los esfuerzos en los muros que soportan las celosías no son destacables con respecto al resto de zonas del muro, excepto en la última celosía de la sala, en la cual habrá que añadir un refuerzo de armadura.

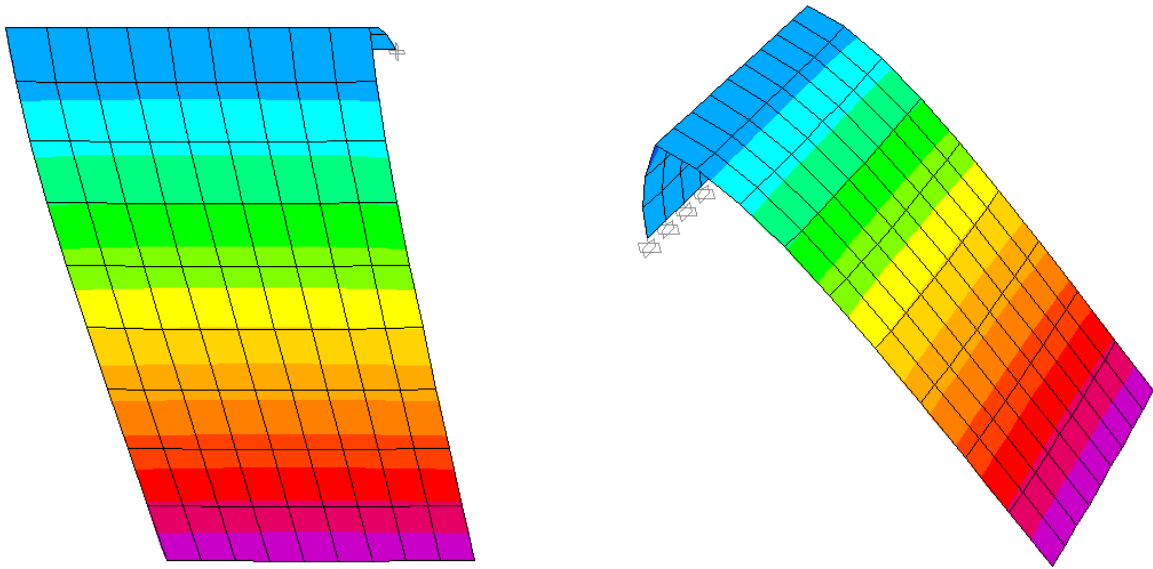
C. FORJADOS DE LOS PALCOS.

Los forjados de los palcos se consideraron un aspecto estructural de interés debido a los grandes voladizos que presentaban frente a la excesiva sobrecarga de uso que tendrían que soportar.

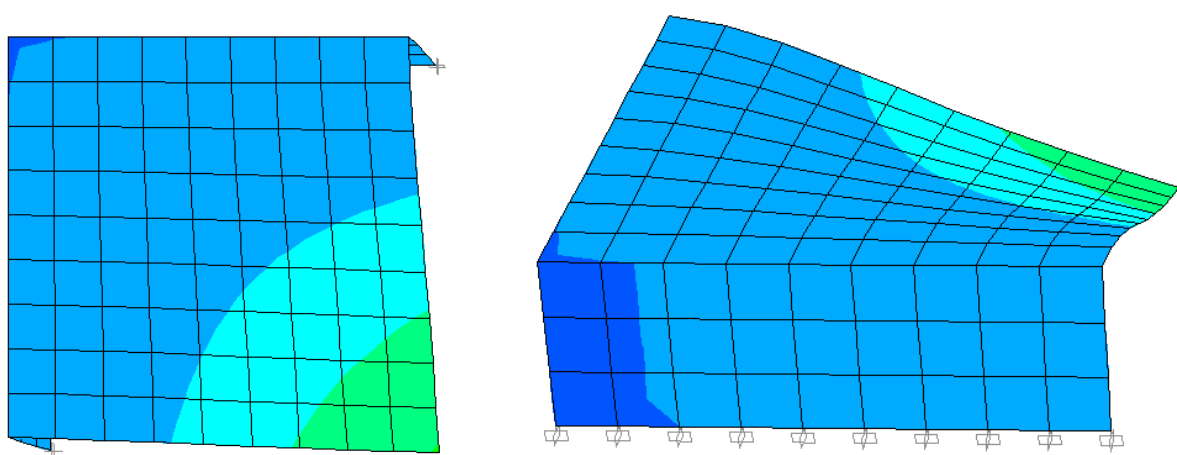
En un primer estudio, no se llegaba a comprender el por qué la deformada de los palcos era mínima, ya que teniendo en cuenta la carga que soportaban y la parte volada que tenían, parecía imposible que la deformada fuese tan pequeña.

Por este motivo se realizaron unos pequeños ejercicios con la ayuda de SAP2000 que nos ayudase a entender qué ocurría en la zona a estudiar.

El primer modelo a estudiar fue un voladizo convencional, el cual deforma de la manera adecuada, produciéndose una gran flecha en la punta del voladizo.

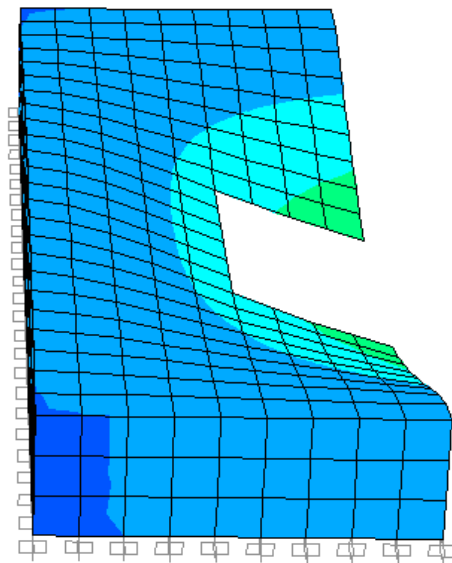
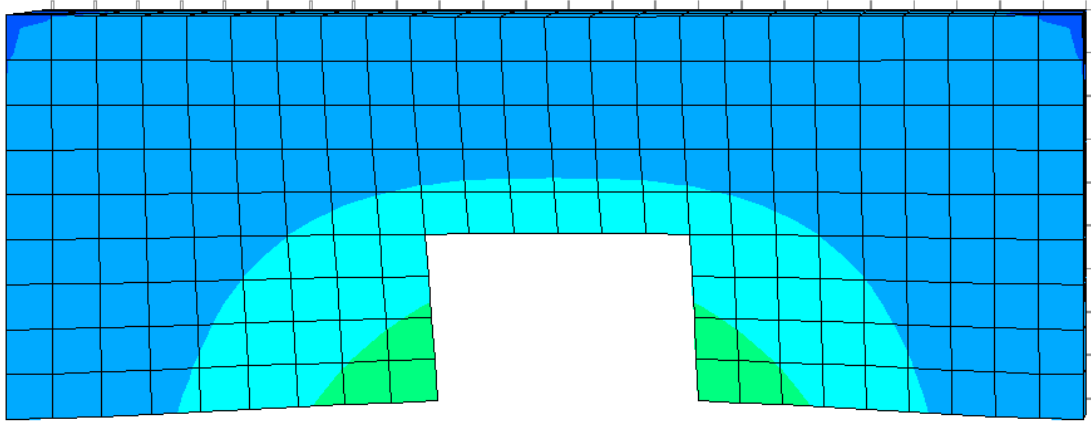


El segundo modelo a estudiar se modeliza con dos muros que cruzan en ángulo recto, y sobre los cuales apoya una losa, de esta manera, dos laterales de la losa permanecen apoyados y los dos laterales opuestos permanecen en voladizo.



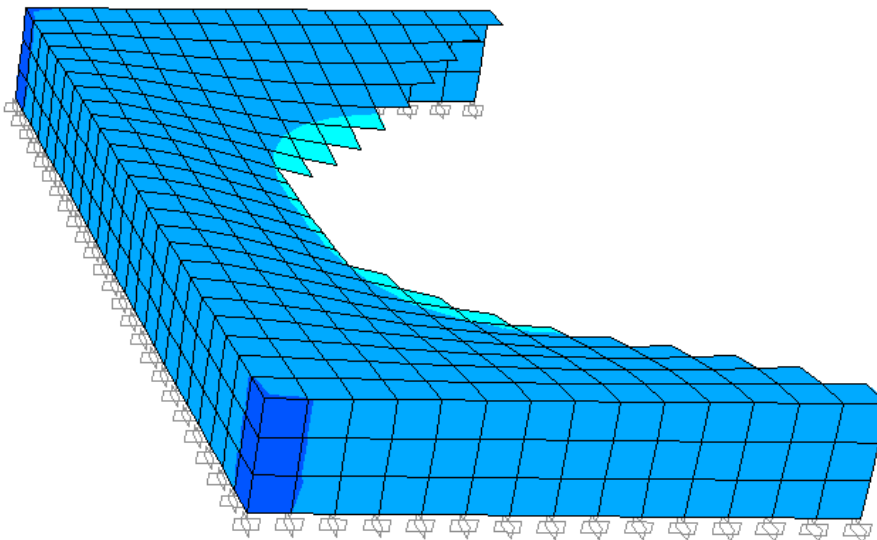
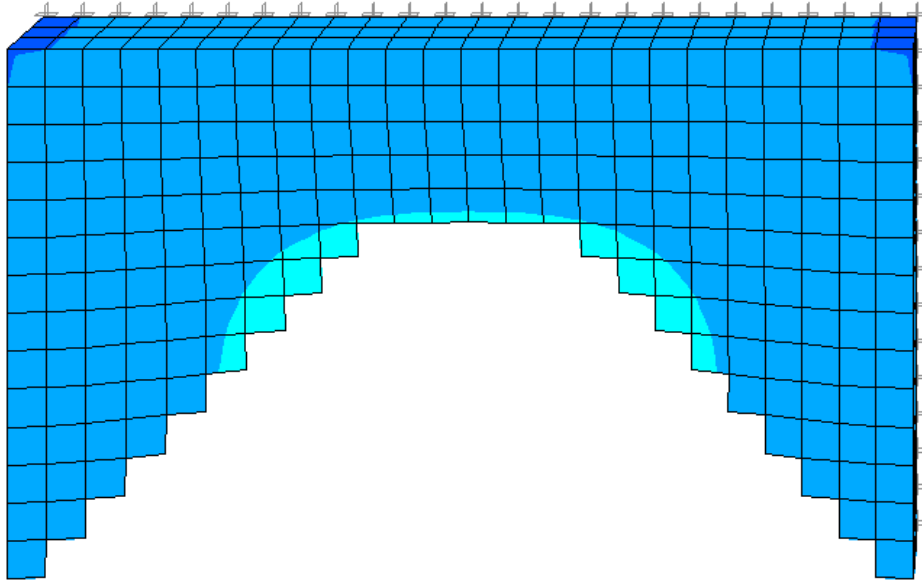
En este caso, la flecha se ve disminuida considerablemente, ya que el degradado de color que ofrece SAP2000 demuestra que está 10 colores por debajo del modelo anterior.

El tercer modelo analizado se asemeja a la forma de los palcos del teatro, ya que se genera la simetría correspondiente y se da más amplitud a la zona diagonal que a la zona perpendicular.



La deformada que se produce es similar a la anterior, ya que el modelo es muy parecido, pues se genera una simetría del mismo para conformar el tercer modelo.

El cuarto modelo sería la equivalencia a los palcos, de manera simplificada, pues se va disminuyendo la dimensión del voladizo de manera controlada, al igual que ocurre en los palcos del teatro.



En este modelo se comprueba, finalmente, que la forma que tienen los palcos, que inicialmente parecía un problema, resulta ser un punto favorecedor para la estructura, ya que los muros que se cruzan ayudan a la rigidez del voladizo, aumentando ésta cuando el ángulo que conforman los muros es inferior a 90° .

La disminución del voladizo gracias a la forma que impone el proyecto también juega de manera favorable con respecto a la estructura.

Los esfuerzos que se generan en los palcos son absorbidos por la armadura base, presentando zonas de refuerzo en los arranques de los palcos.

Se genera, desde un principio, un murete rígido que bordea la línea exterior de los palcos, sirviendo tanto de rigidizador como de parapeto.

BIBLIOGRAFÍA.

1. **SOBRE LA CIUDAD DE VALENCIA.**

- HERNÁNDEZ ÚBEDA, L. (1996). *Conocer Valencia a través de su arquitectura*. Valencia, Ayuntamiento de Valencia.
- LLOPIS ALONSO, A. y PERDIGÓN FERNÁNDEZ, L. (2010). *Cartografía histórica de la ciudad de Valencia (1608 – 1944)*. Valencia, Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- HERRERA, J.M., LLOPIS, A., MARTÍNEZ, R., PERDIGÓN, L. y TABERNER, F. (1985). *Cartografía histórica de la ciudad de Valencia (1704 – 1919)*. Valencia, Ayuntamiento de Valencia.
- TABERNER, F., LLOPIS, A., ALCALDE, C., MERLO, J.L. y ROS, A. (2007). *Guía de arquitectura de Valencia*. Valencia, ICARO Colegio Territorial de Arquitectos de Valencia.

2. **TEATROS.**

- SOLÁ MORALES, I. y FERNÁNDEZ MUÑOZ, Á.L. (1985). *Exposición: Arquitectura teatral en España*. España, Dirección general de Arquitectura y Vivienda, MOPU, Catálogo de la Exposición.

- RAMÓN GRAELLES, A. (1997). *El lloc del teatre. Ciutat, arquitectura i espai escènic*. Barcelona, Edicions UPC Universitat Politècnica de Catalunya.

- NEUFERT, E. (1980). *Arte de proyectar Arquitectura*. Barcelona, Edifotiral Gustavo Gili, S.A.

3. **ESTRUCTURA.**

- MALCOLM, M. (1997). *Estructuras de edificación*. Celeste Ediciones S.A.
- MCDONALD, A.J. (2001). *Structure and Architecture*. Routledge.
- TORROJA, E. (2010). *Razón y ser de los tipos estructurales*. Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

LISTADO DE IMÁGENES.

1. MODELO INICIAL.

59

- FIGURA 1. MODELO DE LA ESTRUCTURA.
- FIGURA 2. DEFORMADA GENERAL DE LA ESTRUCTURA.
- FIGURA 3. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA PUNTA DEL VOLADIZO.
- FIGURA 4. DEFORMADA DE LAS CELOSÍAS DE LA ESTRUCTURA.
- FIGURA 5. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CELOSÍA DE ENTRADA.
- FIGURA 6. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CELOSÍA DE ENTRADA.
- FIGURA 7. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CELOSÍA DE ENTRADA.
- FIGURA 8. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA PLATEA.
- FIGURA 9. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA PLATEA CON MAYOR DEFINICIÓN.
- FIGURA 10. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA PLATEA CON MAYOR DEFINICIÓN.
- FIGURA 11. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LOS PALCOS.
- FIGURA 12. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LOS PALCOS CON MAYOR DEFINICIÓN.
- FIGURA 13. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LOS PALCOS CON MAYOR DEFINICIÓN.
- FIGURA 14. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.
- FIGURA 15. LEY DE ESFUERZO AXIL EN LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.
- FIGURA 16. ANÁLISIS DE LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.
- FIGURA 17. BARRAS DE LA ESTRUCTURA QUE NO CUMPLEN.

2. **MODELO INTERMEDIO.**

69

- FIGURA 18. MODELO DE LA ESTRUCTURA.
- FIGURA 19. DEFORMADA GENERAL DE LA ESTRUCTURA.
- FIGURA 20. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA PUNTA DEL VOLADIZO.
- FIGURA 21. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LAS CELOSÍAS DE LA ESTRUCTURA
- FIGURA 22. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CELOSÍA DE ENTRADA.
- FIGURA 23. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CELOSÍA DE ENTRADA.
- FIGURA 24. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CELOSÍA DE ENTRADA.
- FIGURA 25. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.
- FIGURA 26. LEY DE ESFUERZO AXIL EN LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.
- FIGURA 27. ANÁLISIS DE LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.

3. **MODELO FINAL.**

77

- FIGURA 28. MODELO DE LA ESTRUCTURA.
- FIGURA 29. DEFORMADA GENERAL DE LA ESTRUCTURA.
- FIGURA 30. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CUBIERTA DE LA ESCENA.
- FIGURA 31. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CUBIERTA DE LA SALA.
- FIGURA 32. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA PUNTA DEL VOLADIZO.
- FIGURA 33. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LAS CELOSÍAS DE LA ESTRUCTURA
- FIGURA 34. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CELOSÍA DE ENTRADA.
- FIGURA 35. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CELOSÍA DE ENTRADA.
- FIGURA 36. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA CELOSÍA DE ENTRADA.
- FIGURA 37. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA PLATEA.
- FIGURA 38. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA PLATEA CON MAYOR DEFINICIÓN.
- FIGURA 39. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LA PLATEA CON MAYOR DEFINICIÓN.
- FIGURA 40. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LOS PALCOS.
- FIGURA 41. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LOS PALCOS CON MAYOR DEFINICIÓN.
- FIGURA 42. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LA ESTRUCTURA _ FLECHA EN LOS PALCOS CON MAYOR DEFINICIÓN.
- FIGURA 43. DEFORMADA ELS_{qpu} DE LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.
- FIGURA 44. LEY DE ESFUERZO AXIL EN LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.
- FIGURA 45. ANÁLISIS DE LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.

