



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA

**Estudio, análisis y modelización mediante SAP2000 de la estructura
DEL MUELLE Y CAFÉ EN EL PUERTO DE ALICANTE, DE JAVIER GARCÍA-SOLERA**

**Tutor: David Gallardo Llopis
Autor: Claudia Galván Zuluaga
Trabajo final de grado**

Escuela Técnica Superior de Arquitectura | Grado en fundamentos de la arquitectura | Curso 2017-2018

ÍNDICE

Resumen	pág. 1
Resum	pág. 2
Summary	pág. 3
1. Introducción	pág. 4
2. Análisis arquitectónico	pág. 5
2.1. Análisis del arquitecto	pág. 5
2.2. Análisis de la obra. Muelle y café en el puerto de Alicante, el Noray	pág. 9
3. Análisis constructivo / estructural	pág. 12
4. Modelo de análisis	pág. 18
4.1. Geometría en Autocad	pág. 18
4.2. Propiedades de los materiales	pág. 20
4.3. Durabilidad	pág. 21
4.4. Secciones de los elementos	pág. 22
4.5. Condiciones de enlace	pág. 26
5. Estimación de las acciones	pág. 26
5.1. Acciones permanentes	pág. 26
5.2. Acciones variables	pág. 27
5.3. Acciones accidentales	pág. 33
6. Estados límite	pág. 39
7. Combinación de las acciones	pág. 39
8. Introducción de cargas y combinaciones de hipótesis de carga en SAP2000	pág. 41
9. Comprobación del modelo estructural	pág. 43
9.1. Comprobación de los estados límite de servicio	pág. 43
9.1.1. Comprobación a flecha vertical	pág. 43
9.1.2. Comprobación a flecha horizontal	pág. 53
9.2. Resultados de resistencia	pág. 57
9.2.1. Dimensionado de los elementos	pág. 57
10. Dimensionado final de los elementos de la estructura metálica	pág. 65
11. Conclusiones	pág. 66

RESUMEN

El muelle y café en el puerto de Alicante, también conocido como el Noray, del arquitecto Javier García-Solera posee un gran interés arquitectónico y estructural gracias a su generosa terraza la cual vuela sobre el muelle, convirtiendo al edificio en un paisaje enmarcado que ofrece unas preciosas vistas del puerto.

El presente trabajo transcurre en diferentes fases las cuales tienen el objetivo de estudiar, analizar y modelizar dicho edificio utilizando el programa de cálculo de estructuras SAP2000.

La primera fase consiste en la obtención de datos lo más fidedignos posibles del arquitecto y del edificio en cuestión. Esta recopilación de información nos permitirá comprender cómo trabaja la estructura que vamos a estudiar.

Seguidamente, nos centraremos en el análisis estructural para posteriormente obtener e interpretar los resultados generados por el programa de cálculo. Y finalmente estimar un dimensionado para la estructura de estudio.

Palabras clave: Geometría | Arquitectura | Modelo | Cálculo | Diseño | Estructura

RESUM

El moll i cafè en el port d'Alacant, també conegut com el Noray, de l'arquitecte Javier García-Solera posseeix un gran interès arquitectònic i estructural gràcies a la seua generosa terrassa la qual vola sobre el moll, convertint a l'edifici en un paisatge emmarcat que ofereix unes precioses vistes del port.

El present treball transcorre en diferents fases las quals tenen l'objectiu d'estudiar, analitzar i modelitzar l'edifici utilitzant el programa de càlcul d'estructures SAP2000.

La primera fase consisteix en l'obtenció de dades el més fidedignes possibles de l'arquitecte y de l'edifici en qüestió. Esta recopilació d'informació ens permetrà comprendre com treballa l'estructura que anem a estudiar.

A continuació, ens centrarem en l'anàlisi estructural per a posteriorment obtindre e interpretar els resultats generats per el programa de càlcul. I finalment estimar un dimensionat per a l'estructura d'estudi.

Paraules clau: Geometria | Arquitectura | Model | Càlcul | Disseny | Estructura

SUMMARY

The dock and cafe in the port of Alicante, also known as the Noray, by the architect Javier García-Solera has a great architectural and structural interest thanks to its generous terrace which flies over the pier, turning the building into a framed landscape that offers beautiful views of the port.

The present work takes place in different phases which have the objective of studying, analysing and modelling the building using the structural calculation program SAP2000.

The first phase consists of obtaining the most reliable data possible from the architect and the building in question. This information will allow us to understand how the structure that we are going to study works it.

Then, we will focus on the structural analysis to obtain and interpret the results generated by the calculation program. And finally estimate a dimensioned for the study structure.

Keywords: Geometry | Architecture | Model | Calculation | Design | Structure

1. Introducción

La estrecha relación entre el planteamiento del sistema portante y el planteamiento arquitectónico se manifiesta de manera clara dentro de una edificación, hasta el punto de que la estructura puede llegar a ser la expresión formal de la misma arquitectura. De manera que podemos concebir la estructura como generadora de espacios arquitectónicos. Por este motivo los grandes maestros de la arquitectura trabajan de la mano de la estructura desde que empiezan a desarrollar sus proyectos arquitectónicos, dando lugar a obras maestras de la arquitectura.

Esto es lo que sucede en el Noray del arquitecto Javier García-Solera, en el cual estructura y construcción se unen para generar la arquitectura, dando lugar a una configuración arquitectónica coherente en la que todas estas cuestiones se apoyan mutuamente.

En esta emblemática obra del panorama arquitectónico español la estructura pasa prácticamente desapercibida sin embargo tiene un papel fundamental en este proyecto ya que soporta el vuelo del plano del suelo sobre el agua. Por este motivo resulta de gran interés el estudio de esta estructura, para ello utilizaremos el programa de cálculo SAP2000 en el cual a partir de un modelo simplificado de la estructura obtendremos una serie de resultados que nos permitirán interpretar la solución adoptada para el sistema estructural.

2. Análisis arquitectónico

2.1. Análisis del arquitecto



Imagen 1. Javier García-Solera Vera.

Fuente: <https://arqa.ucuenca.edu.ec/wp-content/uploads/2013/09/imagen-03.png>

Javier García-Solera Vera nació el 21 de septiembre de 1958 en Alicante. Él y sus hermanos convivieron desde muy pequeños con la arquitectura ya que su padre, el arquitecto Juan Antonio García Solera, proyectó y construyó una casa que a la vez era su estudio, de manera que su estudio se convirtió en una prolongación de la casa. Esto dio como resultado un fuerte vínculo entre Javier y sus hermanos, con su padre y su trabajo. Javier García-Solera cuenta, *“Esta forma de vida, en la que el trabajo se mezclaba con la casa y viceversa, en la que trabajar o vivir, ser arquitecto o padre, era todo un mismo arreglo, le permitió conservar la pasión por su trabajo, sin renunciar a una vida familiar normal”*.

Desde muy pequeños su padre les enseñó su trabajo tanto dentro como fuera del despacho; en la obra, lo que fue para Javier García-Solera una experiencia única y donde pudo entrar en contacto con los materiales, con todo tipo de máquinas, con el barro, con las diferentes fases del proyecto y sobre todo con las paredes en las que su padre pintaba perspectivas que ayudaban a entender mejor el espacio o que explicaban encuentros de acabado y detalles. *“Pasear arriba y abajo por cualquiera de sus obras era recorrer un laberinto repleto de dibujos. Recuerdo bien la pena que me daba que el pintor, al final, acabara ocultando todo aquello”*¹.

Javier García-Solera no sabe exactamente en qué momento pensó en ser arquitecto, pero sin duda cree que el origen de ese deseo por serlo radica en esas visitas de obra y en todas las tardes que pasaba en el estudio de su padre. Cuando empezó a estudiar en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid su apellido lo delataba entre los antiguos profesores de su padre. Entre ellos destaca Rafael Fernández Huidobro (catedrático de construcción) por el cual su padre tenía una especial adoración y con quien llegó a entablar una bonita amistad.

Se graduó en el año 1984, habiendo estado implicado en los últimos años de estudiante en algún trabajo de su padre. Al finalizar su carrera, trabajó en el estudio de su padre donde aprendió dos lecciones muy importantes del oficio: por una parte aprendió la importancia fundamental de la lentitud, él dice *“dedicarle a las cosas el tiempo que necesitan, irte a casa y dejar que las cosas fragüen, distanciarse y volver a tomarlas”*². Y por otra parte aprendió la necesidad de proximidad a las obras que realiza, lo importante que es implicarse constantemente en los diferentes procesos de la obra.

1. GARCÍA-SOLERA VERA, J. (2000). “El aprender gustoso. Texto escrito con motivo de la concesión a Javier García-Solera del premio a la trayectoria profesional del COACV” en *VIAarquitectura*, https://www.via-arquitectura.net/01_prem/01p-056.htm

2. GARCÍA-SOLERA VERA, J. (2016). “Javier García-Solera Vera. Casa con invernadero en Lomahermosa” en *Mi primera vez, 30 de septiembre*. <http://www.miprimavez.es/2014/10/javier-garcia-solera-vera/>

A la edad de 30 años se despidió de ese estudio para construir su propio camino, con la mochila llena de enseñanzas por parte de su padre. Desde su estudio en Alicante suele trabajar solo o en colaboración con Lola Alonso o Alfredo Payá. Han sido ganadores de numerosos concursos y su obra ha sido reconocida y premiada en el ámbito nacional e internacional.

Javier García-Solera combina su faceta de arquitecto con la de profesor de proyectos, desde el año 1999, en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Alicante.

La estructura en sus obras

Javier García-Solera realiza planteamientos estructurales desde los inicios de sus proyectos, utiliza la fuerza de la gravedad con inteligencia e intuición para conseguir aquello que quiere lograr, como una herramienta que aporta grandes cualidades a sus proyectos. Consiguiendo que lo que podría ser un problema en un principio se convierta en la solución arquitectónica que da riqueza e interés a su obra.

Concibe la estructura como un esqueleto que sustenta sus obras, el sistema portante viene de partida en la concepción de sus proyectos. Por este motivo la estructura pasa prácticamente desapercibida y resulta natural la visión transversal y conjunta entre arquitectura y estructura consiguiendo así una estructura arquitectónica.

Utiliza la estructura a su beneficio como generadora de ritmo, métrica y modulación. Para Javier García-Solera la métrica se convirtió en una obsesión y una forma de trabajar, para él es importante ajustar los proyectos al milímetro. Sus años de experiencia le permiten tener una extraordinaria intuición estructural.

“En consecuencia, las estructuras que configuran el esqueleto y musculatura sustentante de sus obras, pretenden pasar desapercibidas, resultar naturales, ser consecuencia de los valores principales del proyecto. Quieren servir para alumbrar, para crear la arquitectura que busca, quedando en el equilibrio humilde pero comprometido de un actor secundario, que, sin llamar la atención, sin deslumbrar, ayuda a sostener la obra ante el público”³.

Dibujo y construcción

Javier García-Solera vincula estructura, construcción y arquitectura en un conjunto en el que cada una de las partes trabajan simultáneamente, no sobrando ni faltando nada. El hecho de haber convivido con la obra desde tan pequeño ha desarrollado en él una verdadera pasión por los materiales y la construcción, hasta el punto de que cuando empieza a plantear sus proyectos se pregunta de qué forma lo va a construir. *“Esa necesidad de que las cosas tengan ya desde el inicio una cierta intención de materialidad es natural”⁴.*

3. GALLARDO LLOPIS, D (2017). *Industrias*. Valencia: Monografías ETSA-UPV, n. 1. p. 20.

4. GARCÍA-SOLERA VERA, J. (2015). *Edificio Germán Bernácer del dibujo y de la obra*. Alicante: Universidad de Alicante. p. 43.

Su arquitectura se caracteriza por utilizar el dibujo como herramienta para barajar las posibilidades que la construcción de la arquitectura le permite, de esta manera materializa sus reflexiones de forma gráfica. Estas reflexiones le permiten saber desde cómo será el edificio en su conjunto hasta cómo se resolverán determinados detalles constructivos. La minuciosa precisión de su detalles constructivos se convierten en la génesis de sus proyectos. Carlos Labarta Aizpún explica: *“Así su arquitectura se llena de episodios en los que la construcción se pone al servicio de intereses visuales. Se rasga el encuentro con el suelo para que el edificio flote tensionando el límite entre la arquitectura y el plano horizontal; se desmaterializa un encuentro para que desaparezca una esquina, se recurre a los reflejos, a las transparencias, se diluye la membrana entre interior y exterior para que fluya el espacio”*⁵.

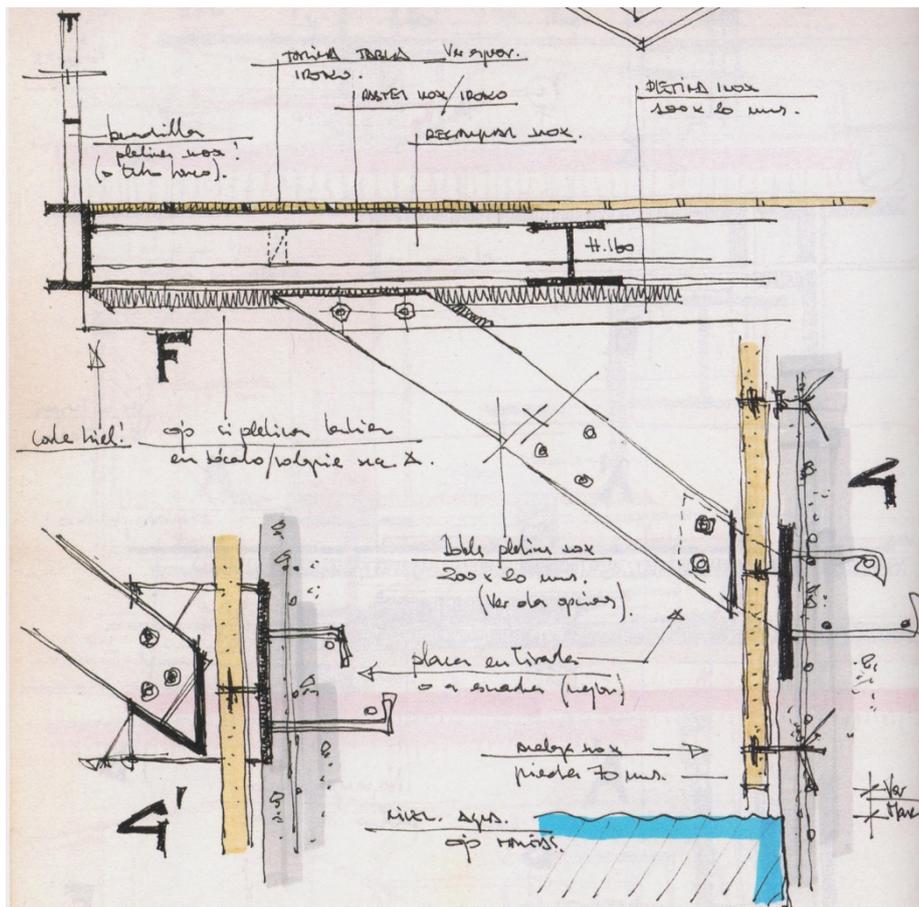


Imagen 2. Cuaderno de dibujos de Javier García-Solera, detalle del voladizo del Noray. Fuente: *Construyendo barcos* (2005). Alicante: Papeles de arquitectura, D.L.

La relación entre dibujo y construcción en la obra de Javier García-Solera es directa pues él dibuja la construcción, de manera que, la meta no es la forma ni el diseño sino la construcción, entendida como creación y generadora involuntaria de forma y diseño.

*“El orden modular trazado en el papel se identifica con la junta constructiva, la junta de hormigonado, el eje sobre el que se sitúa el hueco de la carpintería, las juntas entre los diferentes materiales, modulaciones del espacio, ejes de pilares y marcas en el pavimento. Cada trazo de lápiz deja una huella física, una muesca, un surco, en el material”*⁶.

5. LABARTA AIZPÚN, C. (2003). *Works JAVIER GARCÍA-SOLERA*. Pamplona: T6 ediciones, n. 21. p. 6.

6. ALLEPUZ PEDREÑO, Á. (2015). *Edificio Germán Bernácer del dibujo y de la obra*. Alicante: Universidad de Alicante, p. 39.

Él considera que la construcción es la esencia misma de la arquitectura y que la obra es el resultado de un proceso constructivo coherente, en el que todo ha sido pensado y los detalles constructivos han ido evolucionando para adaptarse a las exigencias del oficio.

Esta dedicación absoluta en cada obra suya ha hecho que conecte de una manera especial con los artesanos y albañiles con los que trabaja, Javier García-Solera afirma, *“Que no aprendes de la gente sino con la gente”... “el 80% de lo que soy como arquitecto, no de lo que sé, sino de lo que soy, lo aprendí porque trabajé con esa persona: lo aprendí de un albañil”* ⁷.

Luz y geometría

La obra de Javier García-Solera se caracteriza por utilizar geometrías puras y trazados ortogonales, como la del rectángulo apaisado y las disposición de éste en bandas paralelas. Estos volúmenes apaisados organizan el espacio de forma laminar, de manera que la luz que los atraviesa perpendicularmente juega un papel importante en su obra.

Javier García-Solera utiliza equilibrada y discretamente esta vibrante luz mediterránea como una herramienta que le ayuda a dar forma a sus obras. Por este motivo juega con recurrentes recursos como los grandes voladizos que frecuentemente encuadran vistas lejanas o los patios que tienden a estrecharse y afinarse, convirtiéndose en una serie de ranuras que regulan la cantidad de luz que pasa.

Algunas de las obras conocidas del arquitecto



Imagen 3. Edificio Quorum I, Alicante, 2006-2010.
Fuente: <http://vacarquitectura.es/edificio-quorum-i/>



Imagen 4. Edificio de oficinas Benigar, Alicante, 2004-2006.
Fuente: <http://vacarquitectura.es/edificio-de-oficinas-benigar/>



Imagen 5. Café del puerto de Alicante, 2004-2006.
Fuente: <https://www.via-arquitectura.net/ara07/036-ara07.htm>



Imagen 6. Instituto L'Alluser, Mutxamel, 2004-2005-2009.
Fuente: <http://www.estructurassingulares.com/proyectos/ies-lalluser/>

7. GARCÍA-SOLERA VERA, J. (2016). “Javier García-Solera Vera. Casa con invernadero en Lomahermosa” en *Mi primera vez*, 30 de septiembre.
<http://www.miprimavez.es/2014/10/javier-garcia-solera-vera/>

2.2. Análisis de la obra. Muelle y café en el puerto de Alicante, El Noray.



Imagen 7. Vista exterior Noray café bar.
Fuente: fotografía propia.

ARQUITECTO: Javier García-Solera Vera
COLABORADORES: Débora Domingo y Juan Antonio García Solera
ADJUDICACIÓN: Mediante concurso de ideas
LOCALIZACIÓN: Paseo del Almirante Julio Guillén Tato, Alicante
USO PREVISTO: Muelle y embarcadero para barcos de cercanías
USO ACTUAL: Noray café Bar

El Noray se desarrolla por resultar ganador en el concurso que promovía el diseño y la construcción de un muelle para el embarque y desembarque de pasajeros con destino a la isla de Tabarca, además debía estar previsto de una sala de espera sobre el mar que proporcione sombra a los pasajeros, unos aseos y un punto de venta de pasajes. A pesar de ello fue adaptado y en la actualidad se utiliza principalmente como cafetería con terraza que se vuelca sobre el borde como un balcón sobre el horizonte, cuya materialización es casi ingrávita y está realizada con elementos del contexto marino.

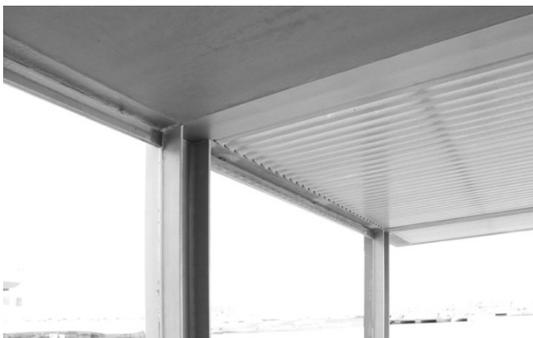


Imagen 8. Encuentro cubierta terraza con el interior.
Fuente: fotografía propia.



Imagen 9. Vista lateral del edificio.
Fuente: fotografía propia.

El concurso era muy exigente en cuanto a la minimización de la presencia de la pieza construida, con el fin de que no se interrumpiesen las vistas hacia al mar. Por este motivo, el proyecto aborda el programa en una dirección concreta y permite que las embarcaciones no obstruyan con su presencia las vistas desde la edificación. Su disposición horizontal trata de no vulnerar las condiciones de forma habituales en los puertos, como dice Javier García-Solera *“una constante en cualquier visión portuaria”*⁸, y eleva a lo alto su propia vertical rematada por el mástil que dialoga con los de los barcos.



Imagen 10,11 y 12. Proceso de ejecución de la obra.
Fuente: *Construyendo barcos* (2005). Alicante: Papeles de arquitectura, D.L. p. 73.

La ubicación del proyecto, juntamente con el programa, motivaron a los arquitectos a inspirar la obra en la calidad material, el ajuste y la precisión propias de la mejor arquitectura naval. Se construye primero el dique con grandes masas de hormigón y piedras con movimiento de tierras y fondeos submarinos. Se construye después en seco y sobre el dique el volumen definido en sus esquinas por dos módulos prismáticos idénticos que lo vuelven opaco hacia la ciudad y lo abren al mar tras entrar en él. La cubierta del pabellón se transforma, sobre la terraza, en un ligero entramado de vigas a modo de pérgola, disolviendo los límites entre el interior y el exterior.

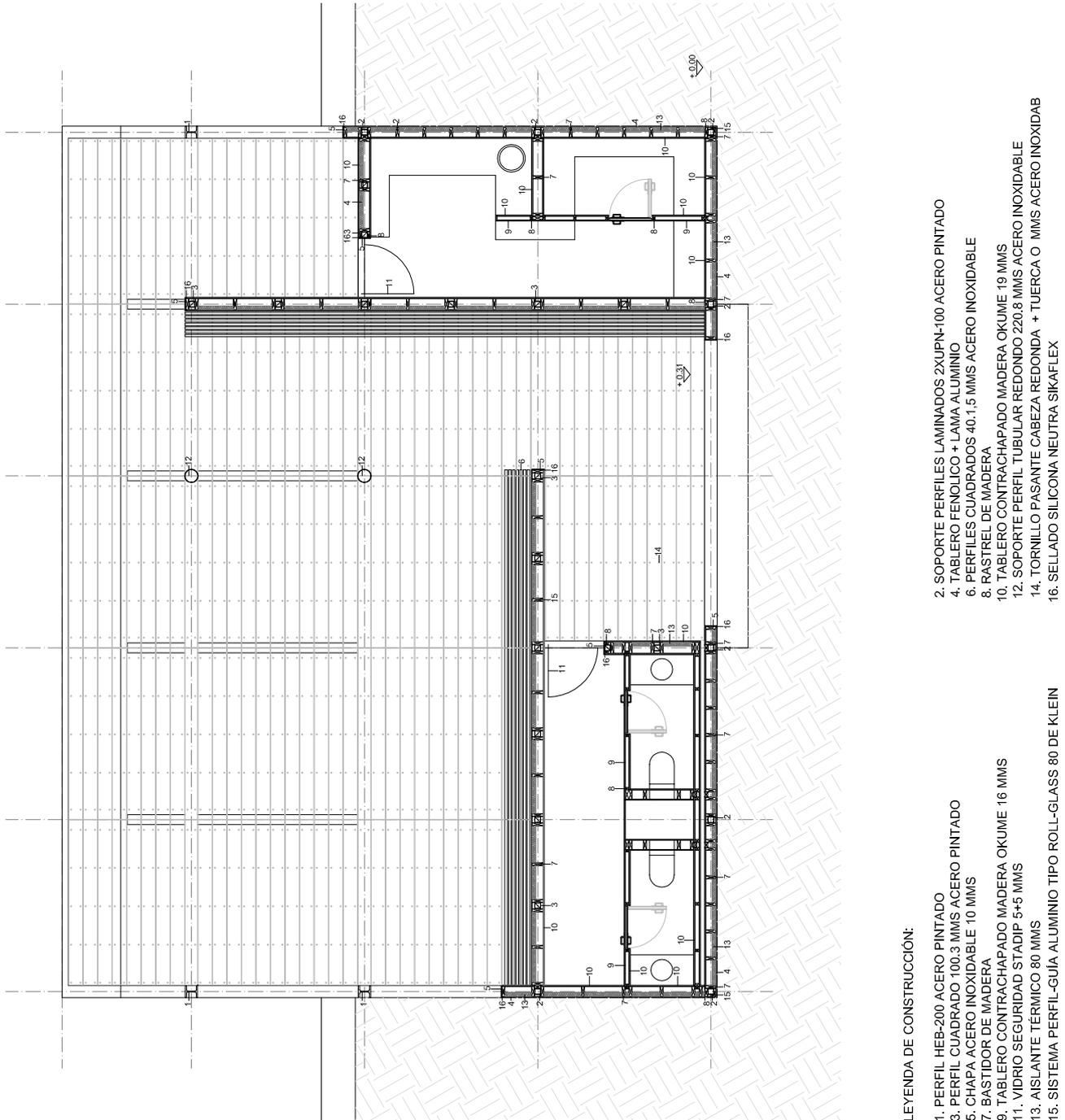
El edificio está dotado de un cuidado exquisito desde el lado constructivo. La estructura se ejecuta en perfiles laminados de acero unidos mediante soldadura y con tratamiento anticorrosivo. En la unión entre acero negro y acero inoxidable se recurre al acoplamiento por atornillado. El revestimiento exterior, el de cubierta, y los remates de cantos de paramentos se realizan respectivamente en aluminio, acero galvanizado y acero inoxidable. Las superficies de los muebles y de los pavimentos se resuelven con técnicas de construcción en madera, eligiendo para cada componente el producto más apropiado según su función, de manera que se emplean los siguientes materiales y sistemas:

8. GARCÍA-SOLERA, J. (2004). “Muelle y edificio de servicios en el puerto de Alicante” en *Informes de la construcción*, Vol. 55, n. 489.
<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/409/482>

-“Para formación de paramentos y cubierta: bastidores con escuadrias de madera de pino de gran sección en entramados”.

-“Para arriostrado y formación de cuerpo de paramento exterior de cerramiento y cubierta: tablero de contrachapado de 20 mm acabado en panel fenolizado”.

-“Para el arriostrado, formación de cuerpo y acabado interior de paramentos de cerramiento, cubierta, compartimentación y puertas: tablero contrachapado marino acabado en Okume, de 15/20 mm”⁹.



LEYENDA DE CONSTRUCCIÓN:

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 1. PERFIL HEB-200 ACERO PINTADO 3. PERIL CUADRADO 100.3 MMS ACERO PINTADO 5. CHAPA ACERO INOXIDABLE 10 MMS 7. BASTIDOR DE MADERA 9. TABLERO CONTRACHAPADO MADERA OKUME 16 MMS 11. VIDRIO SEGURIDAD STADIP 5+5 MMS 13. AISLANTE TERMICO 80 MMS 15. SISTEMA PERFIL-GUÍA ALUMINIO TIPO ROLL-GLASS 80 DE KLEIN | <ul style="list-style-type: none"> 2. SOPORTE PERFILES LAMINADOS 2XUPN-100 ACERO PINTADO 4. TABLERO FENOLICO + LAMA ALUMINIO 6. PERFILES CUADRADOS 40.1.5 MMS ACERO INOXIDABLE 8. RASTREL DE MADERA 10. TABLERO CONTRACHAPADO MADERA OKUME 19 MMS 12. SOPORTE PERFIL TUBULAR REDONDO 220.3 MMS ACERO INOXIDABLE 14. TORNILLO PASANTE CABEZA REDONDA + TUERCA O MMS ACERO INOXIDAB 16. SELLADO SILICONA NEUTRA SIKAFLEX |
|---|--|

PLANTA CONSTRUCTIVA
ESC. 1/100

Imagen 13. Planta constructiva.

Fuente: elaboración propia a partir de los planos que aparecen en *Construyendo barcos* (2005). Alicante: Papeles de arquitectura, D.L. p. 85.

9. GARCÍA-SOLERA, J. (2004). “Muelle y edificio de servicios en el puerto de Alicante” en *Informes de la construcción*, Vol. 55, n. 489.
<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/409/482>

3. Análisis constructivo/estructural

“Las condiciones del concurso: 800 metros cuadrados de muelle, 80 metros lineales de borde de amarre, un máximo de 150 metros cuadrados para la edificación y 10 m de retranqueo mínimo al paseo”¹⁰.

La obra empieza con la ejecución del dique para la contención de aguas y de tierras, se realiza mediante movimientos de tierras y fondeos submarinos, y está formado por bloques de hormigón prefabricado sobre los que se aploma la piedra cantil que se repite del muelle histórico. El espacio definido entre éste y el paseo del puerto se rellena con áridos de 30 mm para crear una plataforma sobre la que se apoyará el edificio. “La pavimentación final será en piedra caliza compacta, con piedra cantil maciza y 30mm de espesor en pavimento. El despiece: 25x50cm formando pares en disposición de damero”¹¹.

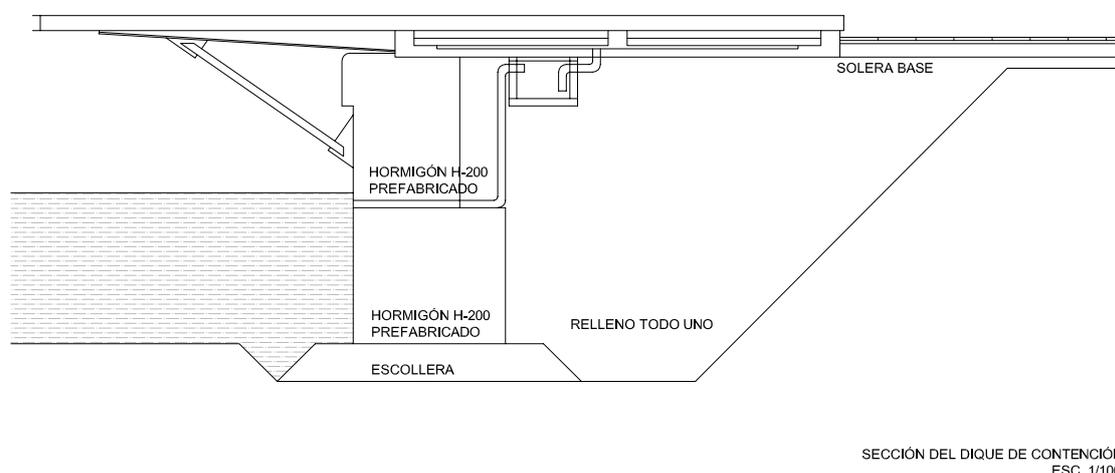


Imagen 14. Sección dique de contención.

Fuente: elaboración propia a partir de los planos que aparecen en *Construyendo barcos* (2005). Alicante: Papeles de arquitectura, D.L. p. 61.

Posteriormente se ejecuta sobre dicha plataforma una losa nervada de hormigón armado in situ, con vigas de canto alto, con el objetivo de que absorban cargas, garanticen niveles y expulsen el agua pluvial hacia el mar. Sobre la losa se anclan los paneles de la estructura inferior mediante placas de anclaje en los puntos de descarga para seguidamente proceder a soldar los paneles entre sí.

En los planos iniciales del proyecto se había previsto una sección cuyo plano del suelo era una horizontal absoluta y el voladizo se resolvía con seis tornapuntas que recogían y estabilizaban el suelo que descansaba sobre perfiles HEB-200. Sin embargo, al iniciar la ejecución de la obra fue necesario darle una pendiente al plano del suelo debido a que la ciudad de Alicante tiene una pendiente hacia el puerto de manera que cuando llueve el agua confluye en ese punto y esa horizontalidad habría interrumpido el flujo del agua. Javier García-Solera utilizó este inconveniente a su favor y debido a que entre el plano del suelo y la cara superior del forjado (horizontal) había una altura de aproximadamente 25 cm las vigas de los extremos podían tener unas ménsulas (perfil HEB-360) que se acodalan por bajo sobre el zunchado de hormigón que levanta el edificio.

10. GARCÍA-SOLERA, J (2005). *Construyendo barcos*. Alicante: Papeles de arquitectura, D.L. p. 31.

11. GARCÍA-SOLERA, J (2005). *Construyendo barcos*. Alicante: Papeles de arquitectura, D.L. p. 55.

Esto hizo posible que se eliminaran los tornapuntas, salvo uno situado bajo el pilar PD4, ya que al no estar situado dicho pilar justo en el centro del edificio se podría haber llegado a producir una flecha diferencial lo que habría generado que algún tablón de madera hiciera una pequeña ceja sobre otro y propiciara la caída de algún usuario.

Para optimizar la ejecución de la obra la estructura se fabrica en taller y se transporta en paneles de gran formato. De manera que en la obra solo queda fijar la estructura inferior a la solera base, anclar los pilares y se eleva la estructura de cubierta en un proceso preciso pero rápido. Los encuentros entre los distintos elementos se realizan con junta abierta con el objetivo de garantizar la eficacia técnica, una fácil limpieza y una larga durabilidad.

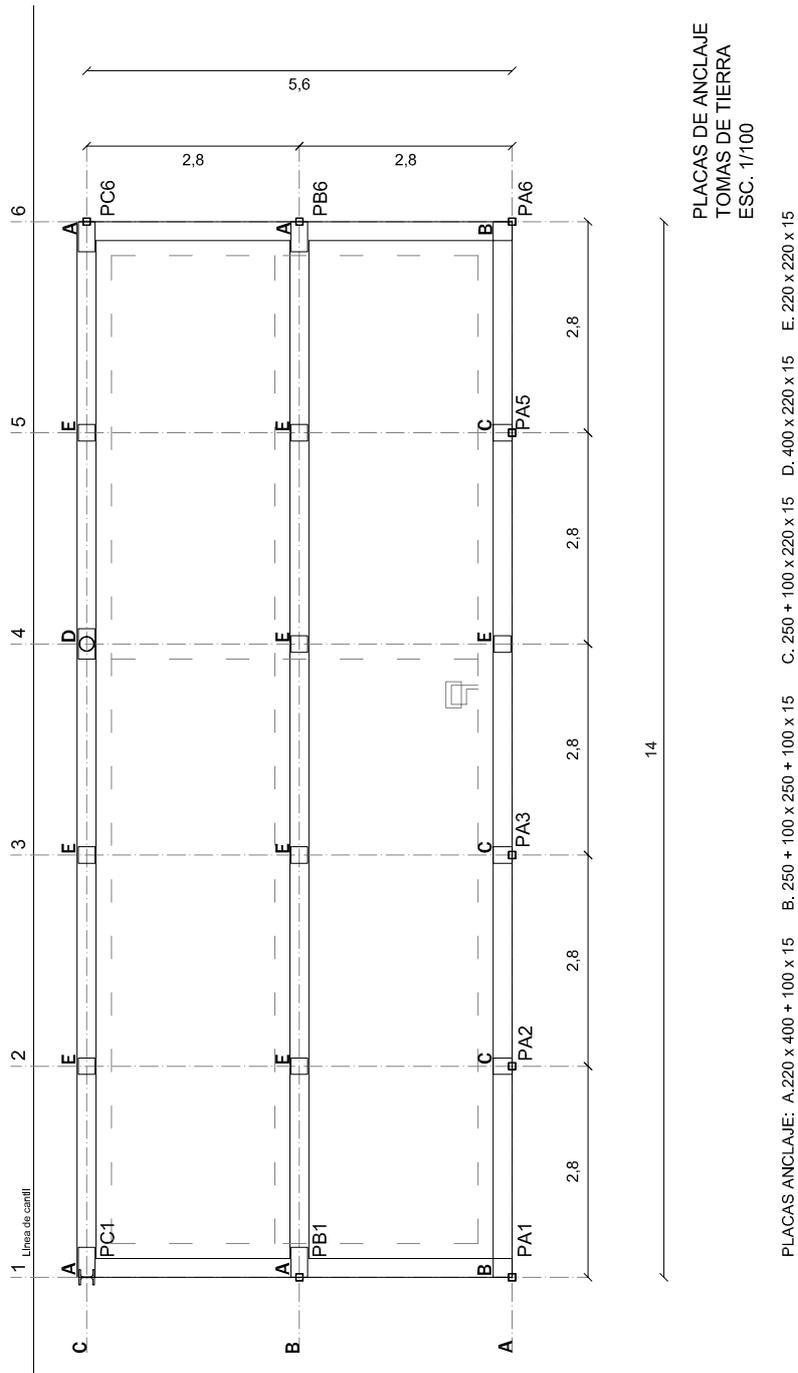


Imagen 15. Placas de anclaje y tomas de tierra.

Fuente: elaboración propia a partir de los planos que aparecen en *Construyendo barcos* (2005). Alicante: Papeles de arquitectura, D.L. p. 59.

La estructura es de acero negro, y para garantizar su durabilidad se recubre con un tratamiento de granallado e imprimado anticorrosivo, después de haber realizado los trabajos de unión.

En cuanto al pavimento del interior del edificio se resuelve con un entarimado de madera maciza de iroko, el cual es fijado a la subestructura metálica mediante tornillos pasantes con tuerca, así se garantiza que no se muevan frente a posibles agentes externos.

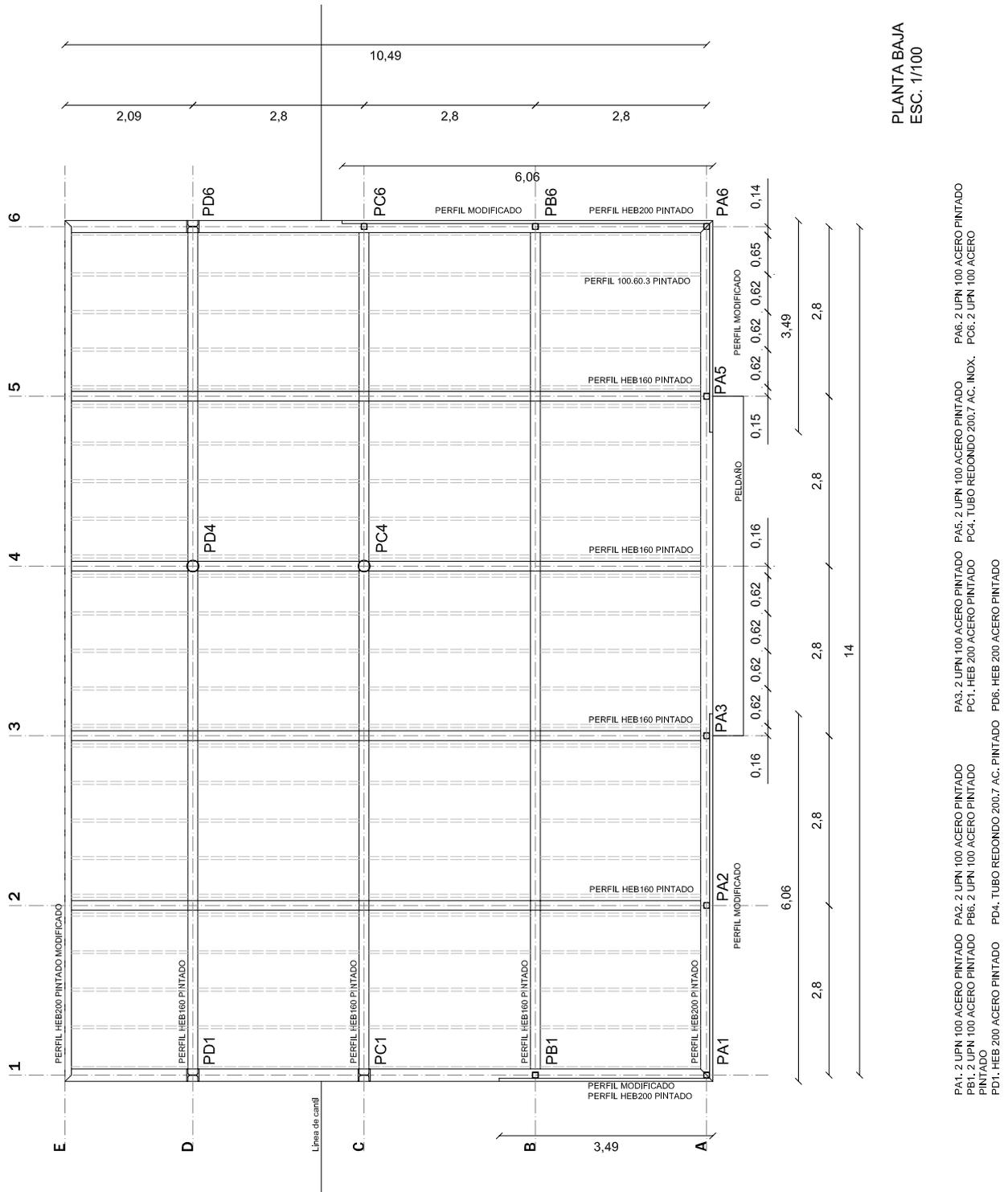


Imagen 17. Planta baja.

Fuente: elaboración propia a partir de los planos que aparecen en *Construyendo barcos* (2005). Alicante: Papeles de arquitectura, D.L. p. 62.

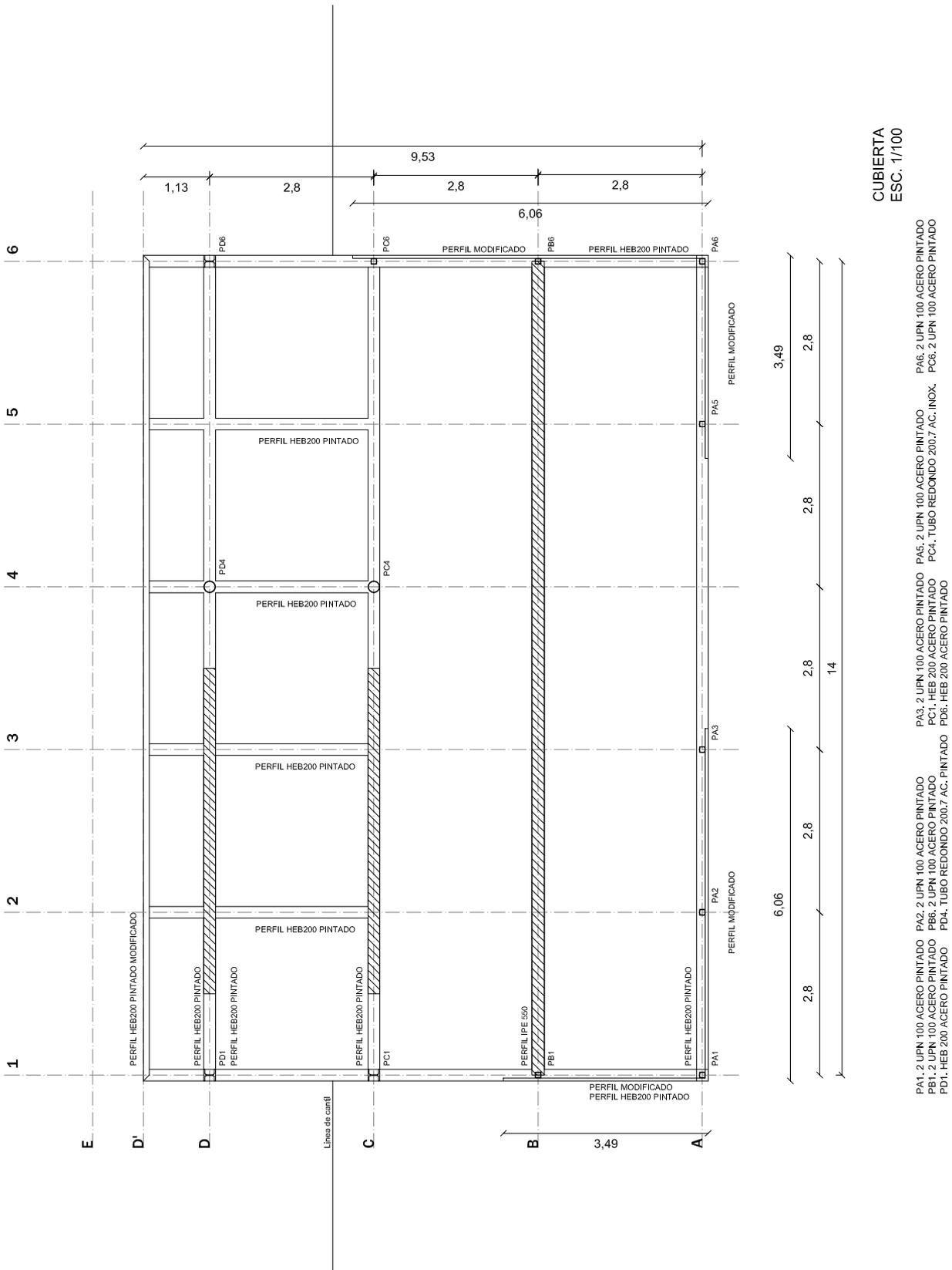


Imagen 18. Cubierta.

Fuente: elaboración propia a partir de los planos que aparecen en *Construyendo barcos* (2005). Alicante: Papeles de arquitectura, D.L. p. 64.

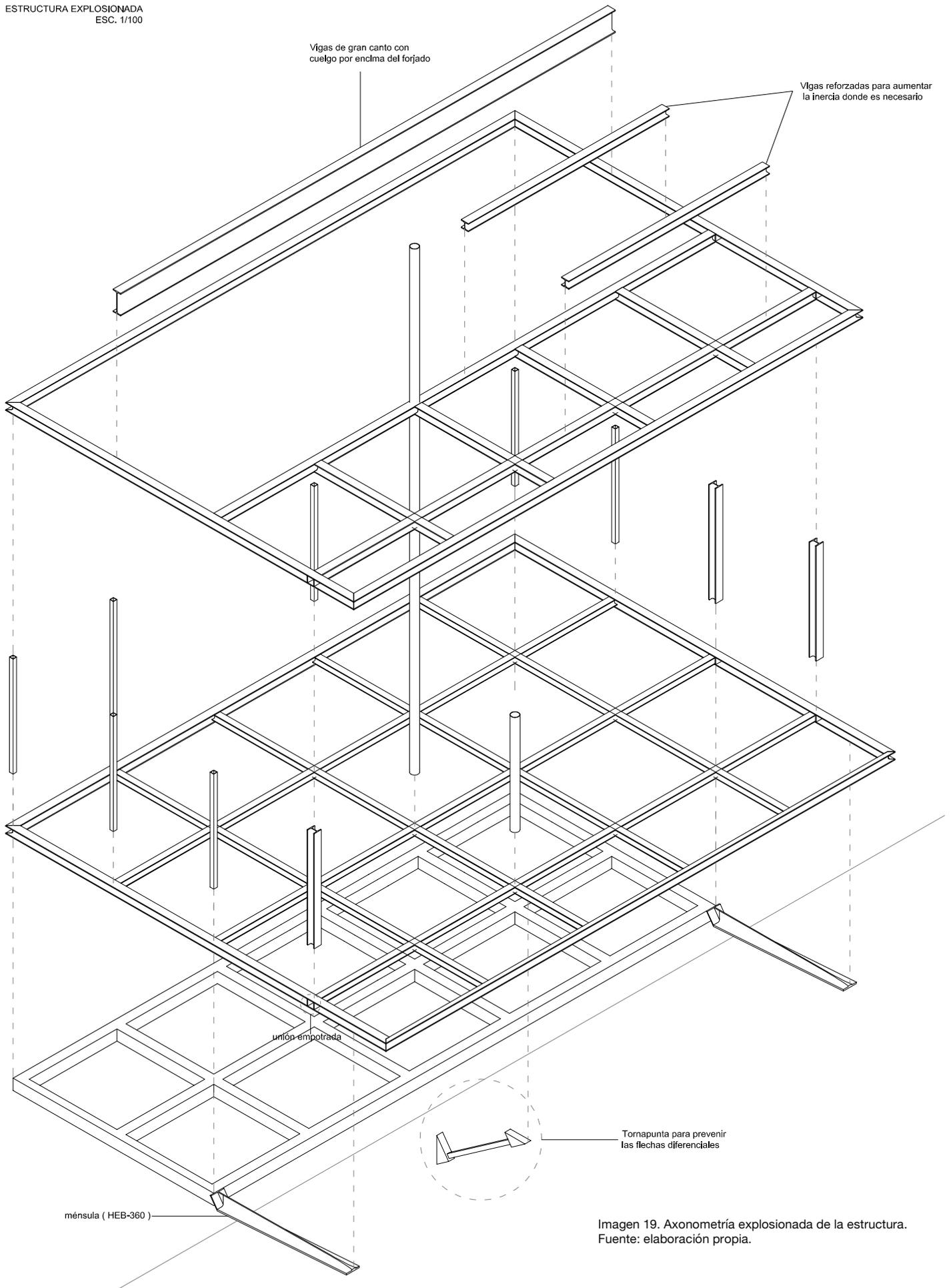
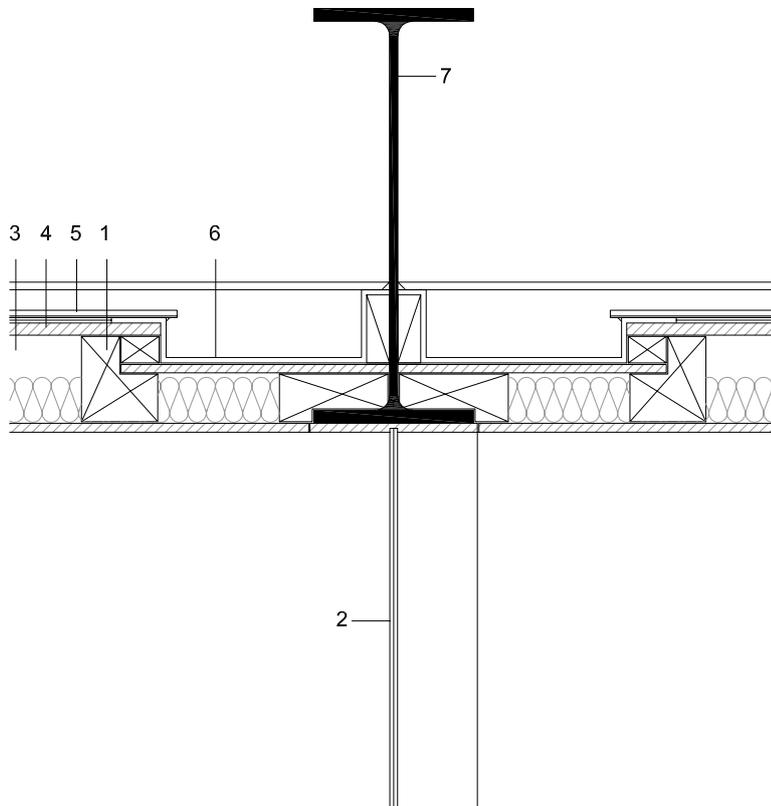


Imagen 19. Axonometría explosionada de la estructura.
Fuente: elaboración propia.

Por último cabe mencionar que la cubierta tiene un papel fundamental, ya que además resuelve la recogida de aguas en solo 20 cm de espesor total. Para ello se ejecutan en obra unos canalones de poliéster continuo reforzado.



LEYENDA DE CONSTRUCCIÓN:

1. BASTIDOR DE MADERA
2. VIDRIO SEGURIDAD STADIP 5+5 MMS
3. BASTIDOR DE MADERA CON FORMACIÓN DE PENDIENTE
4. TABLERO CONTRACHAPADO ACABADO FENOLICO 15 MMS
5. LAMINA IMPERMEABILIZANTE ASFÁLTICA ARMADA
6. CANALÓN DE POLIESTER REALIZADO IN SITU
7. PERFIL IPE-550 CONSTRUIDO EN PLANCHA DE ACERO PINTADO

DETALLE CUBIERTA
ESC. 1/10

Imagen 20. Detalle canalón cubierta.

Fuente: elaboración propia a partir de los planos que aparecen en *Construyendo barcos* (2005). Alicante: Papeles de arquitectura, D.L. p. 100.

4. Modelo de análisis¹

4.1. Geometría en Autocad

Tras este análisis de cómo funciona la estructura y de cómo ha sido construido el edificio podemos proceder a realizar un modelo simplificado de la estructura utilizando el programa Autocad desarrollado por Autodesk.

Para dibujar esta geometría es muy importante ser muy meticuloso y activar la máxima precisión, con el objetivo de que no hayan errores en el dibujo. Para ello es importante activar en Autocad la referencia a objetos, el rastreo polar y cambiar las cifras decimales a ocho; de esta manera conseguiremos que las conexiones entre los elementos coincidan rigurosamente.

Dibujamos el modelo tridimensionalmente simplificando sus elementos, de manera que las barras las representamos como líneas y los elementos finitos como 3dcaras. Los nudos de las entidades se generan automáticamente en SAP2000 y los conforman los extremos o vértices de las entidades línea y 3dcara que hayamos importado. Es muy importante discretizar las 3dcaras en tamaños más pequeños para que haya más puntos de transmisión de cargas ya que el SAP2000 utiliza las 3dcaras por sus vértices de manera que estas entidades se van a deformar según el movimiento de los vértices que las componen, por este motivo al subdividirlas conseguimos que el programa logre una mayor precisión. En resumen, a la hora de dibujar los elementos finitos el criterio es que la 3dcara sea tan pequeña como sea posible, de acuerdo con la precisión necesaria y la precisión requerida por el programa, y termine apoyando sus vértices en los elementos estructurales que los sostienen.

El SAP2000 utiliza las barras y los elementos finitos como intermediarios para transmitir su rigidez y las cargas directamente a los nudos a los que están asociados, de manera que el modelo es un sistema de ecuaciones en el que el nudo tiene un papel primordial. Por este motivo es tan importante modelizar correctamente la estructura, de lo contrario no se transmitirá la rigidez y las cargas a los nudos.

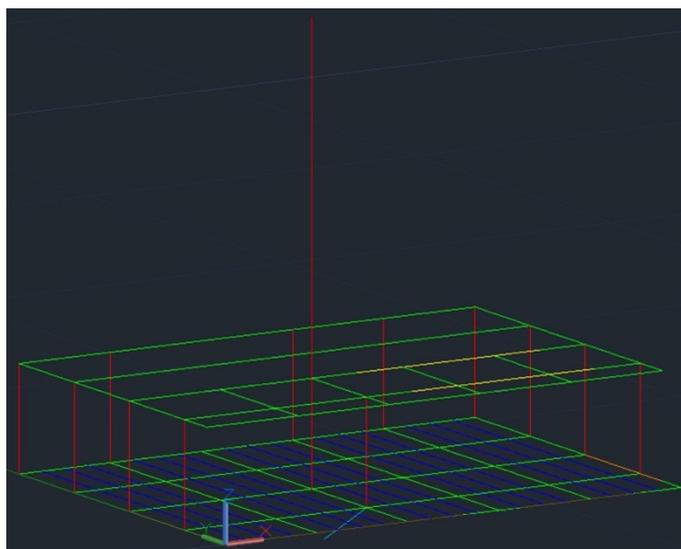


Imagen 20. Modelo líneas de Autocad

1. Contenido e información extraída del documento de apoyo proporcionado por David Gallardo Llopis, "introducción a SAP2000 para arquitectura".

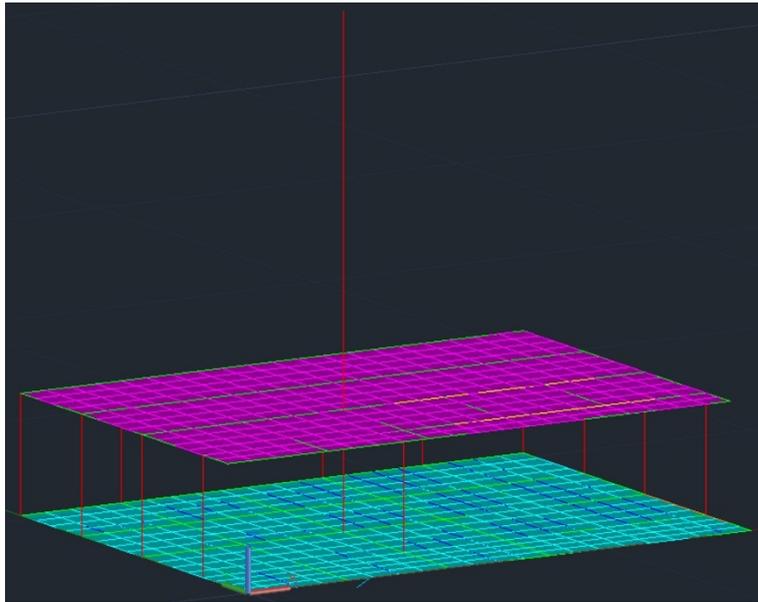


Imagen 21. Modelo completo de Autocad

Los diferentes elementos que constituyen la estructura del edificio se dibujan en diferentes capas, las estrictamente necesarias, de manera que al importar el modelo al SAP2000 se generan grupos correspondientes a dichas capas, debemos considerar que estos grupos responden a elementos a los que se les va a asignar la misma sección o la misma carga.



Imagen 22. Capas de Autocad

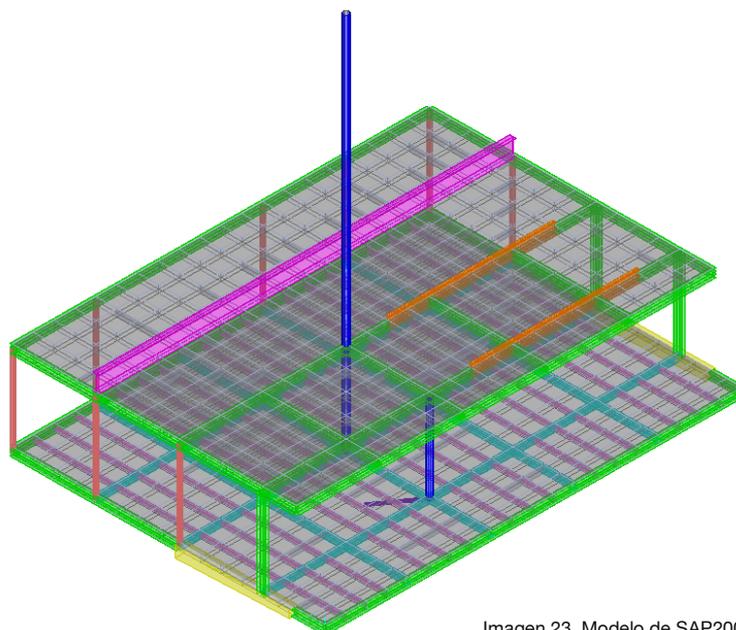


Imagen 23. Modelo de SAP2000

4.2. Propiedades de los materiales

En SAP2000 se gestionan independientemente los materiales de las secciones, por ello es necesario definir previamente los materiales utilizados en la estructura. De esta manera cuando tengamos que definir las secciones, de los diferentes elementos que la componen, podremos indicar de que material están compuestas.

El edificio objeto de estudio resuelve su estructura principalmente con perfiles de acero del tipo S275. De acuerdo con el CTE DB SE-A art. 4.2.3 son comunes las siguientes características a todos los aceros:

- Módulo de elasticidad: E 210.000 N/mm²
- Módulo de rigidez: G 81.000 N/mm²
- Coeficiente de Poisson: ν 0,3
- Coeficiente de dilatación térmica: α 1,2·10⁻⁵ (°C)⁻¹
- Densidad: ρ 7.850 kg/m³
-

En cada material solo cambian los valores asociados a la resistencia.

The image shows a screenshot of the 'Material Property Data' dialog box in SAP2000. The dialog is titled 'Material Property Data' and contains several sections:

- General Data:** Material Name and Display Color: S275 (with a green color swatch); Material Type: Steel (dropdown); Material Notes: Modify/Show Notes... (button).
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume: 76,9729; Mass per Unit Volume: 7,849; Units: KN, m, C (dropdown).
- Isotropic Property Data:** Modulus of Elasticity, E: 2,100E+08; Poisson, U: 0,3; Coefficient of Thermal Expansion, A: 1,170E-05; Shear Modulus, G: 80769231.
- Other Properties for Steel Materials:** Minimum Yield Stress, Fy: 275000; Minimum Tensile Stress, Fu: 430000; Expected Yield Stress, Fye: 302500; Expected Tensile Stress, Fue: 473000.

At the bottom, there is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' and 'OK' and 'Cancel' buttons.

Imagen 24. Propiedades del acero definido de SAP2000

Según con el CTE DB SE-A art. 4.2.5 todos los procedimientos de comprobación especificados en este DB se basan en el comportamiento dúctil del material, es decir, las comprobaciones de cálculo se refieren al límite elástico o a la tensión de rotura en condiciones de laboratorio. Es por tanto necesario comprobar que la resistencia a rotura frágil es, en todos los casos, superior a la resistencia a rotura dúctil. Esto es cierto en el caso de estructuras no sometidas a cargas de impacto, como

son en general las de edificación y cuando los espesores empleados no sobrepasen los indicados en la tabla 4.2 para las temperaturas mínimas a que estarán sometidas en función de su emplazamiento y exposición, según los criterios de DB-SE-AE 3.4, realizadas con los aceros especificados en este apartado, y fabricadas conforme a los requisitos especificados en el capítulo 10 de este DB, por lo que en este caso no se requiere ninguna comprobación.

Tabla 4.2 Espesor máximo (mm) de chapas

Grado	Temperatura mínima								
	0 °C			-10 °C			-20 °C		
	JR	J0	J2	JR	J0	J2	JR	J0	J2
S235	50	75	105	40	60	90	35	50	75
S275	45	65	95	35	55	75	30	45	65
S355	35	50	75	25	40	60	20	35	50

Tabla 1. Espesor máximo de chapas

La resistencia de cálculo, f_{yd} , viene definida en el art. 4.5 del CTE DB SE-A como el cociente entre la tensión de límite elástico y el coeficiente de seguridad del material:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_M}$$

Siendo:

f_y tensión del límite elástico del material base (tabla 4.1)

γ_M coeficiente parcial de seguridad del material (apartado 2.3.3)

En las comprobaciones de resistencia última del material o la sección, se adopta como resistencia de cálculo el valor:

$$f_{ud} = \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Siendo :

γ_{M2} coeficiente de seguridad para resistencia última

4.3. Durabilidad

En lo referente a la durabilidad el CTE DB SE-A especifica en el art. 3. una serie de prescripciones a tener en cuenta:

- Prevenir la corrosión del acero evitando:
 - Los sistemas de evacuación de aguas no accesibles para su conservación que puedan afectar a elementos estructurales.
 - La formación de rincones, en nudos y en uniones a elementos no estructurales, que favorezcan el depósito de residuos o suciedad.

- El contacto directo con otros materiales como metales y yesos.
- Los materiales protectores deben almacenarse y utilizarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante y su aplicación se realizará dentro del periodo de vida útil del producto y en el tiempo indicado para su aplicación.
- Las superficies que no se puedan limpiar por chorreado, se someterán a un cepillado metálico que elimine la cascarilla de laminación.
- Los abrasivos utilizados en la limpieza y preparación de las superficies a proteger deben ser compatibles con los productos de protección a emplear.
- En aquellas estructuras en la que sea necesario revisar la protección de las mismas debido a las consideraciones ambientales indicadas, el proyecto debe prever la inspección y mantenimiento de las protecciones.

También es conveniente utilizar la norma UNE-ENV 1090-1: 1997, para tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Indicar las protecciones adecuadas a los materiales para evitar la corrosión, de acuerdo con las condiciones ambientales internas y externas del edificio.
- Preparar las superficies a proteger y utilizar herramientas adecuados para ello.
- Especificar los métodos de recubrimiento: metalización, galvanización y pintura, así como la manera en la que se van a ejecutar de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
- Definir y cuidar especialmente las superficies que deben resistir y transmitir esfuerzos por rozamiento, como son: superficies de soldaduras y para el soldeo, superficies inaccesibles y expuestas exteriormente, superficies en contacto con el hormigón, la terminación de las superficies de acero resistentes en contacto con el hormigón, la terminaciones de las superficies de aceros resistentes a la corrosión atmosférica, el sellado de espacios en contacto con el ambiente agresivo y el tratamiento de los elementos de fijación

4.4. Secciones de los elementos

A partir de la información obtenida en el libro “Construyendo barcos”, podemos asignar a los elementos la sección que les corresponde realmente según proyecto. La estructura metálica está formada por:

- Secciones industrializadas (perfiles IPE-550, HEB-200 y HEB-160), las cuales se definen en el menú *Define>Section Properties>Frame Sections>Import New Property*. Con esta función lo que hacemos es importar a SAP2000 secciones de una base de datos en la que se encuentran este tipo de perfiles normalizados.

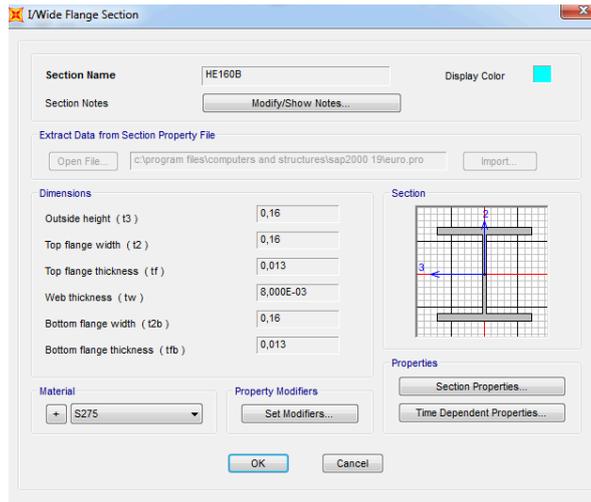


Imagen 25. Propiedades de la sección definida para el perfil HEB-160 de SAP2000

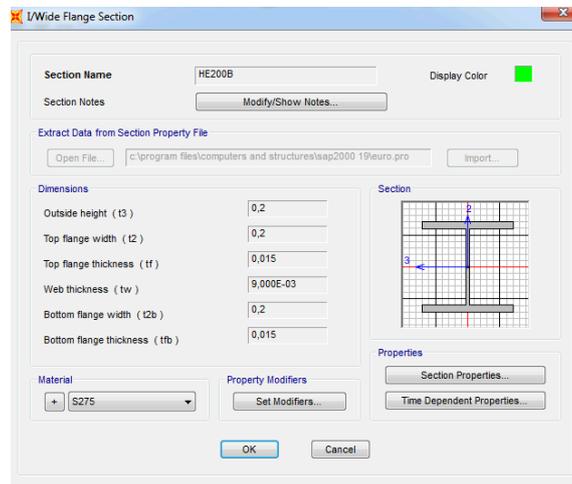


Imagen 26. Propiedades de la sección definida para el perfil HEB-200 de SAP2000

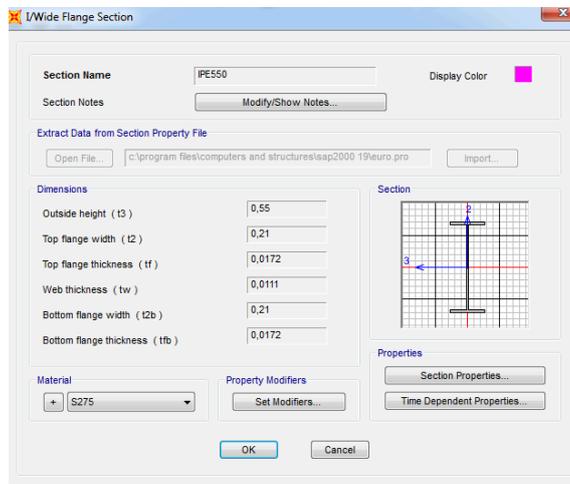


Imagen 27. Propiedades de la sección definida para el perfil IPE-550 de SAP2000

- Secciones paramétricas (perfiles tubulares o 2UPN en cajón), las cuales se definen en el menú *Define>Section Properties>Frame Sections>Add New Property*. En este caso definimos nuevas secciones, en base a los tipos de sección paramétrica que nos ofrece el programa, especificando nosotros mismos las dimensiones de la sección y de qué material está compuesta.

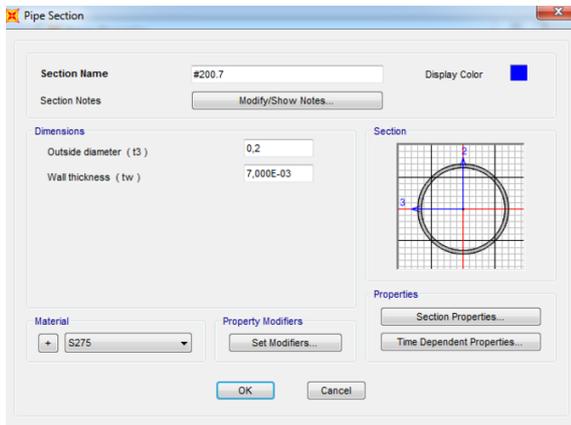


Imagen 28. Propiedades de la sección definida para el perfil tubular 200.7 mms de SAP2000

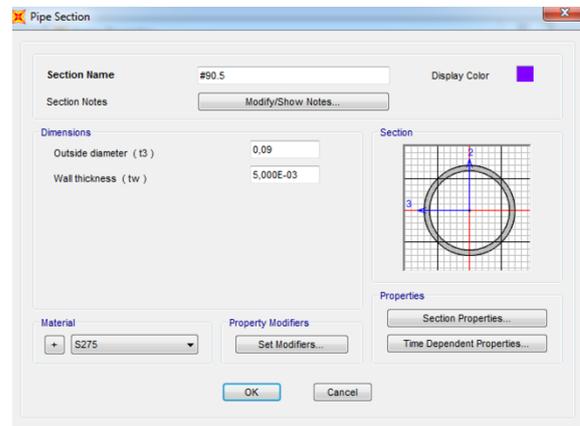


Imagen 29. Propiedades de la sección definida para el perfil tubular 90.5 mms de SAP2000

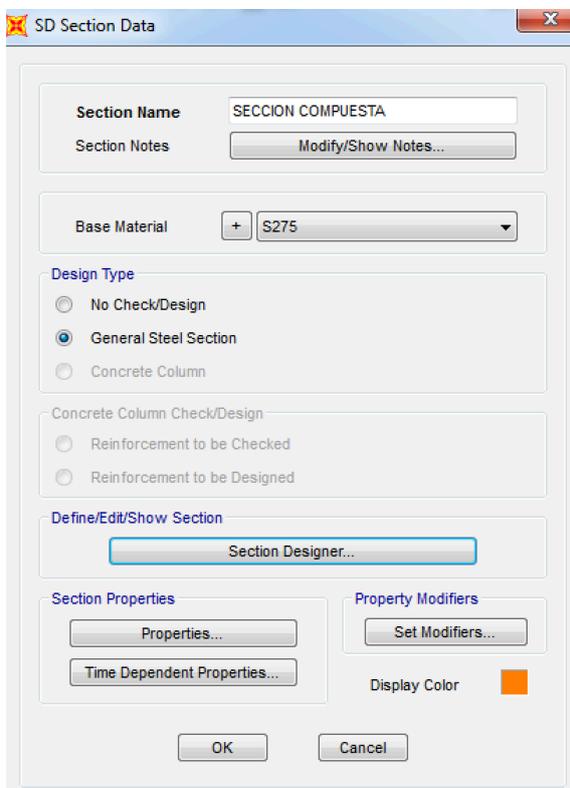


Imagen 30. Propiedades de la sección compuesta por perfil HEB-200 y perfil en T de SAP2000

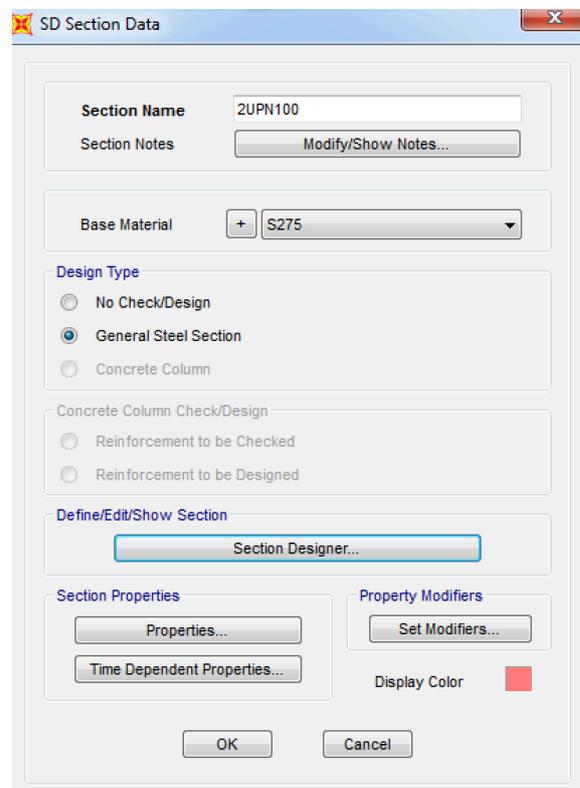


Imagen 31. Propiedades de la sección definida para el perfil 2UPN-100 en cajón. de SAP2000

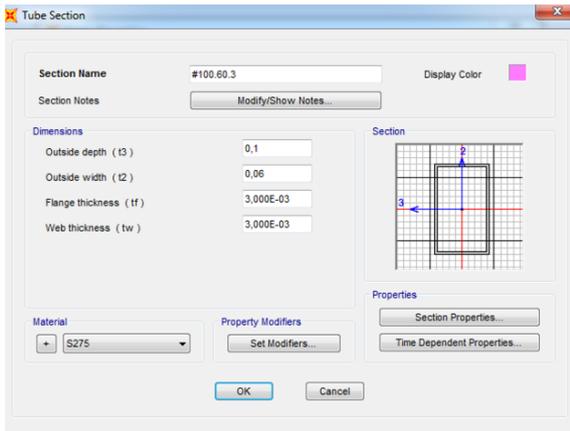


Imagen 32. Propiedades de la sección definida para el perfil 100.60.3 mms de SAP2000

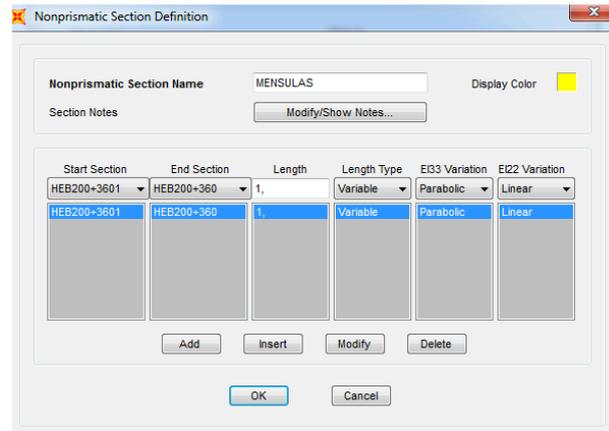


Imagen 33. Propiedades de la sección definida para el perfil HEB-360 de sección variable de SAP2000

Tanto el forjado del plano del suelo como el de la cubierta se han definido en el menú *Define>Section Properties>Area Sections*.

Para definir el panel sándwich que conforma la cubierta se ha utilizado una tabla de equivalencias de forjados, proporcionada por David Gallardo Llopis, en la cual sustituyendo el canto y el espesor de la chapa obtenemos los valores de área e inercia que definen al panel.

EQUIVALENCIA PANEL SANDWICH - LOSA (MATERIAL ACERO S235)			
DECK (200,00x1,20)	CANTO TOTAL PANEL	200,00	mm
	ESPESOR CHAPA SUP. E INF.	1,20	mm
LOSA MACIZA	MEMBRANE (AREA)	0,0025	m
	BENDING (INERCIA)	0,0658	m

Imagen 34. Excel equivalencia forjados

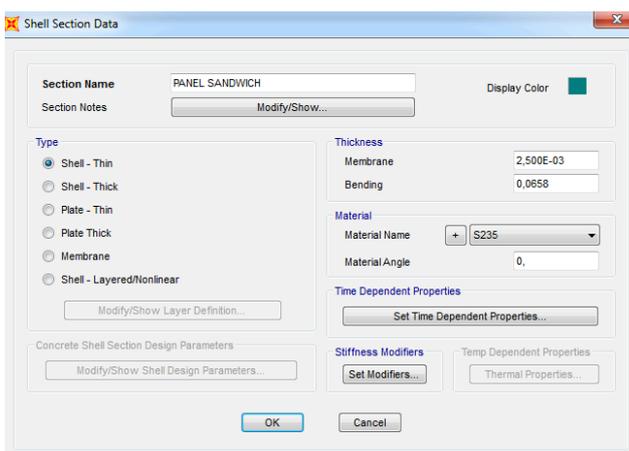


Imagen 35. Propiedades de la sección definida para el panel sándwich de SAP2000 del forjado de cubierta de SAP2000

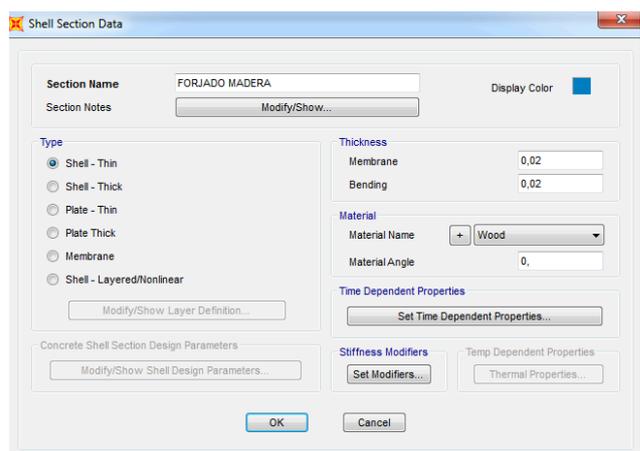


Imagen 36. Propiedades de la sección definida para el entarimado de madera del forjado del plano del suelo de SAP2000

4.5. Condiciones de enlace

Por defecto el SAP2000 considera que todos los nudos son libres, es decir, no tienen ninguna coacción exterior de apoyo. Por este motivo es necesario definir las condiciones de apoyo exterior (restraints) suficientes con tal de que nuestra estructura no se convierta en un mecanismo. Para ello se emplea la función *Assign>Joint>Restraints*.

En el caso de nuestro edificio la estructura metálica descansa sobre una losa nervada de cimentación, de manera que habrá un apoyo exterior en los puntos en los que los pilares apoyan en la losa. Adicionalmente habrá un apoyo más en el extremo inferior del tornapuntas intermedio el cual finalmente transmite las cargas directamente al dique de contención.

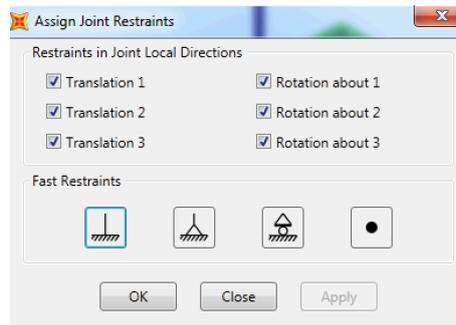


Imagen 37. Restricciones de nudos de SAP2000

5. Estimación de las acciones

Los valores de las acciones se han definido de acuerdo con las especificaciones del Documento Básico de Seguridad Estructural - Acciones en la edificación (DB SE-AE). El campo de aplicación de este DB es el de la determinación de las acciones sobre los edificios, para verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad estructural (capacidad portante y estabilidad) y aptitud al servicio, establecidos en el DB-SE. Según este documento podemos distinguir entre tres tipos de acciones: acciones permanentes, acciones variables y acciones accidentales.

5.1. Acciones permanentes

Estas acciones son las que se refieren al peso propio de la estructura, los cerramientos y elementos separadores, la tabiquería, las carpinterías, los revestimientos y las instalaciones fijas.

En el caso de nuestro edificio la estructura configura la apariencia formal del mismo, de manera que el único peso propio que tendremos en cuenta para el cálculo es el peso propio de la estructura. El programa SAP2000 tiene en cuenta, por defecto, los pesos propios de la estructura. Por este motivo no es necesario asignar cargas adicionales.

Sin embargo, para estar del lado de la seguridad es conveniente considerar una carga de $0,3 \text{ kN/m}^2$ referente a las instalaciones que puedan llegar a colgar de la cubierta y de 1 kN/m^2 referente a la tabiquería que hay en el plano del suelo.

5.2. Acciones variables

Este tipo de acciones hace referencia a las cargas previstas para el uso del edificio, la acción del viento, acciones térmicas y la acción de la nieve.

Sobrecarga de uso

En el CTE DB SE-AE art. 3.1.1. obtenemos la tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso.

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

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

Tabla 2. Valores característicos de las sobrecargas de uso

Podemos considerar que la cubierta del edificio es de categoría de uso G1, es decir, que el acceso a la cubierta es únicamente para conservación y a su vez es una cubierta con inclinación inferior a 20°. Por este motivo el valor de la sobrecarga de uso para la cubierta es de 1 kN/m².

En lo que respecta al forjado del plano del suelo consideraremos que es del tipo D1 (locales comerciales) y el valor de su sobrecarga de uso es de 5 kN/m²

Nieve

El CTE DB SE-AE especifica en el art. 3.5 que la distribución y la intensidad de la carga de nieve sobre un edificio, o en particular sobre una cubierta, depende del clima del lugar, del tipo de precipitación, del relieve del entorno, de la forma del edificio o de la cubierta, de los efectos del viento, y de los intercambios térmicos en los paramentos exteriores.

En el apartado 3.5.1 de este DB (determinación de la carga de nieve) se considera que en cubiertas planas de edificios de pisos situados en localidades de altitud inferior a 1.000 m, es suficiente considerar una carga de nieve de 1,0 kN/m.

En el anejo E del CTE DB SE-AE tabla E.2 (Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal) se especifica el valor de la carga de nieve de acuerdo con la zona climática de invierno y con la altitud. El edificio en cuestión se encuentra situado en el puerto de Alicante (Zona 5). En dicha localización la altitud es 0 m, por lo que el valor de la sobrecarga de nieve es 0,2 kN/m².



Figura E.2 Zonas climáticas de invierno

Imagen 38. Zonas climáticas de invierno de CTE DB SE-AE

Tabla E.2 Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal (kN/m²)

Altitud (m)	Zona de clima invernal, (según figura E.2)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2
700	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2
800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2
900	1,4	1,3	0,6	1,0	0,8	0,9	0,2
1.000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0,2
1.200	2,3	2,0	1,1	1,9	1,3	2,0	0,2
1.400	3,2	2,6	1,7	3,0	1,8	3,3	0,2
1.600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	5,5	0,2
1.800	-	4,6	4,0	-	-	9,3	0,2
2.200	-	8,0	-	-	-	-	-

Tabla 3. Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal

Viento

De acuerdo con el art. 3 del CTE DB SE-AE la distribución y el valor de las presiones que ejerce el viento sobre un edificio y las fuerzas resultantes dependen de la forma y de las dimensiones de la construcción, de las características y de la permeabilidad de su superficie, así como de la dirección, de la intensidad y del racheo del viento.

Los edificios se comprobarán ante la acción del viento en todas las direcciones, independientemente de la existencia de construcciones contiguas medianeras, aunque generalmente basta la consideración en dos sensiblemente ortogonales cualesquiera. Para cada dirección se debe considerar la acción en los dos sentidos.

La acción del viento, en general es una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática, q_e , puede expresarse como:

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

Siendo:

- q_b la presión dinámica del viento
- c_e el coeficiente de exposición
- c_p el coeficiente eólico o de presión
- **q_b presión dinámica del viento**

Según el Anejo D del CTE DB SE-AE el valor básico de la presión dinámica del viento puede obtenerse con la expresión:

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_{b2}$$

Siendo:

- δ la densidad del aire
- v_b el valor básico de la velocidad del viento



Figura D.1 Valor básico de la velocidad del viento, v_b

Imagen 39. Valor básico de la velocidad del viento, v_b de CTE DB SE-AE

La densidad del aire depende, entre otros factores, de la altitud, de la temperatura ambiental y de la fracción de agua en suspensión. En general puede adoptarse el valor de 1,25 kg/m³.

El valor básico de la velocidad del viento en cada localidad puede obtenerse del mapa de la figura D.1.

De manera que la presión dinámica, obtenida a partir de la expresión que establece el DB SE-AE, es la siguiente:

$$q_b = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 272 = 455,62 \text{ N/m}^2 = 0,455 \text{ kN/m}^2$$

- **c_e coeficiente de exposición**

El coeficiente de exposición, c_e, viene determinado en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción. Para alturas sobre el terreno, z, no mayores de 200 m, puede determinarse con la expresión :

$$c_e = F \cdot (F + 7 \cdot k)$$

$$F = k \cdot \ln (\max (z,Z) / L)$$

Siendo:

k, L, Z parámetros característicos de cada tipo de entorno, según la tabla D.2

Tabla D.2 Coeficientes para tipo de entorno

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,156	0,003	1,0
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

Tabla 4. Coeficientes para tipo de entorno

Para nuestro caso los valores de estos parámetros son:

$$k = 0,156; L = 0,003 \text{ m}; Z = 1,0 \text{ m}; z = 3,20 \text{ m}$$

$$F = 0,156 \cdot \ln (3,20 / 0,003) = 1,078$$

$$c_e = 1,078 \cdot (1,078 + 7 \cdot 0,156) = 2,34$$

- **c_p coeficiente eólico o de presión**

El coeficiente de presión exterior o eólico, c_p , dependen de la dirección relativa del viento, de la forma del edificio, de la posición del elemento considerado y de su área de influencia .

Para la determinación del coeficiente de presión exterior en las fachadas se ha recurrido a la tabla D.3 (paramentos verticales) del anejo D de este DB SE-AE.

La variable A se refiere al área de influencia del elemento o punto. Para comprobaciones locales de elementos de fachada o cubierta, el área de influencia será la del propio elemento.

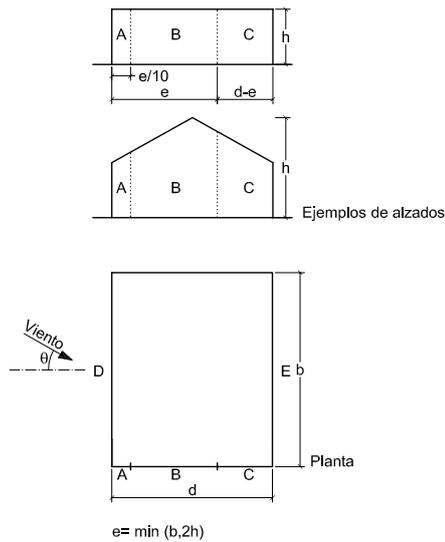
Datos:

$$h = 3,20 \text{ m} \quad h/d = 3,20/9,53 = 0,336$$

$$b = 14 \text{ m} \quad e = (\min b, 2h) = (\min 14; 6,40) = 6,40 \text{ m}$$

$$d = 9,53 \text{ m}$$

Tabla D.3 Paramentos verticales



A (m ²)	h/d	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,7	-0,3
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	"	-0,3

Tabla 5. Paramentos verticales

Debido a que nuestro valor de $h/d = 0,336$ es necesario interpolar entre los valores $1 \leq 0,25$:

h/d	A	B	C	D	E
0,336	-1,2	-0,8	-0,5	0,711	-0,323

De manera que los coeficientes de presión y succión para las fachadas son:

c_p : coeficiente eólico de presión (barlovento) = 0,711

c_p : coeficiente eólico de succión (sotavento) = -0,323

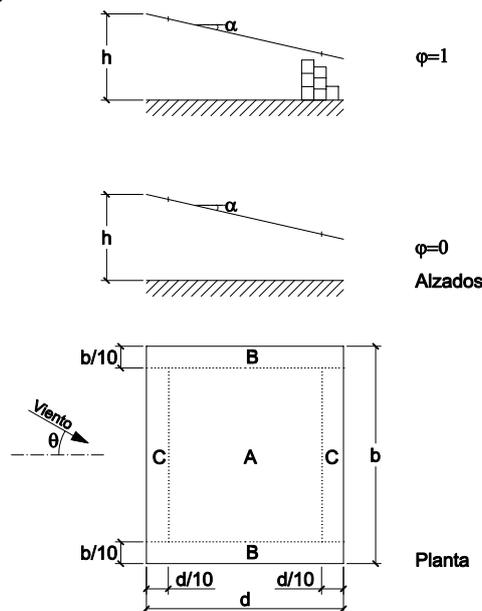
Sustituyendo estos valores en la definición de acción del viento, previamente definida, obtenemos:

q_e (presión) = $0,455 \cdot 2,34 \cdot 0,711 = 0,757 \text{ kN/m}^2$

q_e (succión) = $0,455 \cdot 2,34 \cdot (-0,323) = -0,344 \text{ kN/m}^2$

Para la determinación del coeficiente de presión exterior en la cubierta utilizamos la tabla D.10 (marquesinas a una agua), ya que la cubierta del edificio es ligera. Por este motivo a efectos de viento es conveniente considerarla como una marquesina.

10 Marquesinas a un agua



		Coeficientes de presión exterior			
		$c_{p,10}$			
Pendiente de la cubierta α	Efecto del viento hacia	Factor de obstrucción ϕ	Zona (según figura)		
			A	B	C
0°	Abajo	$0 \leq \phi \leq 1$	0,5	1,8	1,1
	Arriba	0	-0,6	-1,3	-1,4
	Arriba	1	-1,5	-1,8	-2,2
5°	Abajo	$0 \leq \phi \leq 1$	0,8	2,1	1,3
	Arriba	0	-1,1	-1,7	-1,8
	Arriba	1	-1,6	-2,2	-2,5

Tabla 6. Marquesinas a un agua

Datos:

$$h = 3,20 \text{ m} \quad \alpha = 0^\circ$$

$$b = 14 \text{ m} \quad \varphi = 1$$

$$d = 9,53 \text{ m}$$

$$c_p: \text{coeficiente eólico de presión (barlovento)} = 0,5 \quad 1,8 \quad 1,1$$

$$c_p: \text{coeficiente eólico de succión (sotavento)} = -1,5 \quad -1,8 \quad -2,2$$

Estos valores están determinados por zonas, de manera que para obtener el valor total primero tenemos que calcular el porcentaje de influencia.

$$\text{Zona A} = (b - 2 \cdot b/10) \cdot (d - 2 \cdot d/10) = 85,3888 \text{ m}^2 \rightarrow 64 \%$$

$$\text{Zona B} = 2 \cdot (d \cdot b/10) = 26,684 \text{ m}^2 \rightarrow 20 \%$$

$$\text{Zona C} = 2 \cdot ((b - 2 \cdot b/10) \cdot d/10) = 21,3472 \rightarrow 16 \%$$

$$c_p (\text{presión}) = (0,5 \cdot 0,64) + (1,8 \cdot 0,2) + (1,1 \cdot 0,16) = 0,856$$

$$c_p (\text{succión}) = ((-1,5) \cdot 0,64) + ((-1,8) \cdot 0,2) + ((-2,2) \cdot 0,16) = -1,672$$

Sustituyendo estos valores en la definición de acción del viento, obtenemos:

$$q_e (\text{presión}) = 0,455 \cdot 2,34 \cdot 0,865 = 0,921 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e (\text{succión}) = 0,455 \cdot 2,34 \cdot (-1,672) = -1,78 \text{ kN/m}^2$$

5.3. Acciones accidentales

Sismo

Las acciones sísmicas están reguladas en la NSCE-02, Norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación.

A los efectos de esta Norma, de acuerdo con el uso a que se destinan, con los daños que puede ocasionar su destrucción e independientemente del tipo de obra de que se trate. De manera que podemos considerar que la construcción es de importación normal, es decir, aquellas cuya destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos.

Por lo que para proceder a calcular las cargas sísmicas aplicaremos el método simplificado el cual se especifica en el art. 3.7 (método simplificado de cálculo para los casos mas usuales de la edificación) de la NCSE-02.

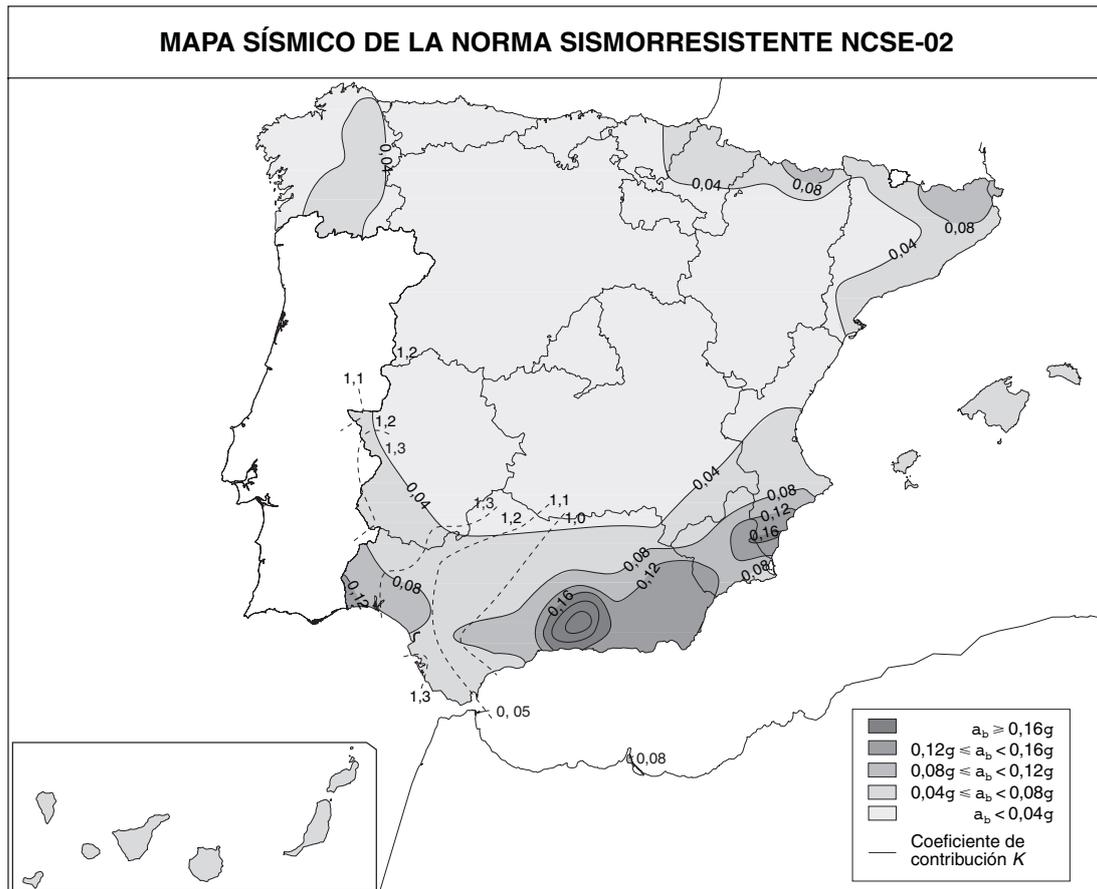
- Aceleración sísmica de cálculo

En primer lugar es necesario definir el valor de la aceleración sísmica de cálculo, a_c , la cual se define como:

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b \quad (1)$$

donde:

a_b aceleración sísmica básica definida en la figura 2.1 y en el anejo 1



Para la ciudad de Alicante: $a_b = 0,14g$; $K = 1,0$

ρ coeficiente adimensional de riesgo. Para construcción de importancia normal $\rho = 1,0$

S coeficiente de amplificación del terreno. Toma el valor:

- Para $0,1g < \rho \cdot a_b < 0,4g$

$$S = \frac{c}{1,25} + 3,33 \left(\rho \cdot \frac{a_b}{g} - 0,1 \right) \left(1 - \frac{c}{1,25} \right) \quad (2)$$

siendo:

C coeficiente de terreno, su valor se especifica en la tabla 2.1

TABLA 2.1.
Coeficientes del terreno

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

Tabla 7. Coeficientes del terreno

Sustituyendo el valor de C en (2):

$$S = \frac{1,6}{1,25} + 3,33 \left(1,0 \cdot \frac{0,14g}{g} - 0,1 \right) \left(1 - \frac{1,6}{1,25} \right) = 1,243$$

Por lo tanto el valor de la aceleración sísmica de cálculo es:

$$(1) a_c = 1,243 \cdot 1,0 \cdot 0,14g = 0,174g$$

- Cálculo del período fundamental de los edificios y número de modos a considerar

El periodo fundamental T_F , en segundos, puede estimarse de forma aproximada mediante la siguiente expresión:

$$T_F = 0,11n = 0,11 \cdot 1 = 0,11 \text{ s} \quad (3)$$

Siendo:

- n** Número de plantas sobre rasante

En el apartado 3.7.2.1 de la NCSE-02 se establece que los modos a considerar en función del periodo fundamental de la construcción, T_F , es la siguiente:

- El primer modo, si $T_F \leq 0,75 \text{ s}$

Por lo que para la consideración de los efectos de los distintos modos, se aceptan las siguientes relaciones entre los períodos del modo i , T_i , y del modo fundamental, T_F :

$$T_i = \frac{T_F}{2i-1} = \frac{0,11s}{2-1} = 0,11s$$

- Cálculo de las fuerzas sísmicas

En el apartado 3.7.3 (cálculo de las fuerzas sísmica) de la NCSE-02 se determina la fuerza sísmica estática equivalente, F_{1k} , correspondiente a la planta k y modo de vibración 1, como:

$$F_{1k} = s_{1k} \cdot P_k \quad (4)$$

donde:

P_k Peso correspondiente a la masa, m_k , de la planta k , definida en el apartado 3.2 de la norma en el cual se especifica el coeficiente correspondiente a cada carga. De manera que para las cargas permanentes este coeficiente es 1, para la sobrecarga de uso en edificios públicos y comercios es 0,6 y por último para la carga de nieve es 0 si esta permanece menos de 30 días al año.

Teniendo en cuenta estas consideraciones procedemos a determinar el peso correspondiente a la planta de cubierta cuya área de aplicación es 133,42 m².

Cargas permanentes:

- Forjado uni o bidireccional, grueso total < 0,30 m: 4 kN/m²
- Faldones de chapa, tablero o paneles ligeros: 1 kN/m²
- Instalaciones: 0,3 kN/m²

Sobrecargas de uso:

- Cubierta accesible únicamente para conservación: 1 kN/m²

$$P_k = 4 \cdot 133,42 + 1 \cdot 133,42 + 0,3 \cdot 133,42 + 1 \cdot 133,42 \cdot 0,6 = 787,178 \text{ kN}$$

s_{1k} Coeficiente sísmico adimensional correspondiente a la planta k en el modo 1, de valor:

$$s_{1k} = (a_c/g) \cdot \alpha_1 \cdot \beta \cdot \eta_{1k} \quad (5)$$

siendo:

a_c Aceleración sísmica de cálculo, $a_c = 0,174g$

g Aceleración de la gravedad

α₁ Coeficiente de valor

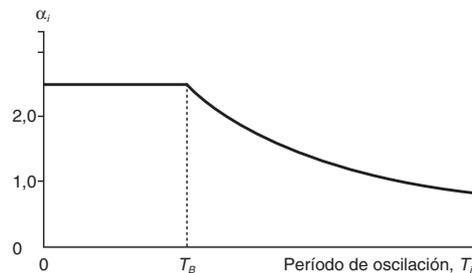


Figura 3.3. Coeficiente α_1 para el método simplificado de cálculo

Imagen 41. Coeficiente α_1 para el método simplificado de cálculo de NCSE-

T_i Período del modo considerado, $T_i = 0,11s$

T_B Período característico del espectro: $T_B = K \cdot C/2,5 = 1,0 \cdot 1,6/2,5 = 0,64$

Para $T_i \leq T_B$ $\alpha_1 = 2,5$

β Coeficiente de respuesta, su valor se puede obtener de la tabla 3.1

TABLA 3.1.
Valores del coeficiente de respuesta β

Tipo de estructura	Compartimentación de las plantas	Ω (%)	Coeficiente de comportamiento por ductilidad			Sin ductilidad ($\mu = 1$)
			$\mu = 4$	$\mu = 3$	$\mu = 2$	
Hormigón armado o acero laminado	Diáfana	4	0,27	0,36	0,55	1,09
	Compartimentada	5	0,25	0,33	0,50	1,00
Muros y tipo similares	Compartimentada	6	—	—	0,46	0,93

Tabla 8. Valores del coeficiente de respuesta β

Suponemos un coeficiente de comportamiento por ductilidad $\mu = 2$, por lo que al tratarse de una estructura de acero laminado diáfana el valor del coeficiente de respuesta $\beta = 0,55$.

η_{ik} Factor de distribución correspondiente a la planta k, en el modo 1

$$\eta_{ik} = \phi_{ik} \frac{\sum_{k=1}^n m_k \cdot \phi_{ik}}{\sum_{k=1}^n m_k \cdot \phi_{ik}^2} \quad (6)$$

siendo:

n Número de plantas

m_k Masa de la planta k

ϕ_{ik} Coeficiente de forma correspondiente a la planta k en el modo 1, para el que puede adoptarse la siguiente expresión aproximada:

$$\phi_{ik} = \text{sen} [(2-1) \cdot \pi \cdot h_k / 2H] = \text{sen} [\pi \cdot 3,20 / 6,40] = 0,027$$

donde:

h_k Altura sobre rasante de la planta k, $h_k = 3,20$ m

H Altura total de la estructura del edificio, $H = 3,20$ m

Por lo que sustituyendo obtenemos el valor de las fuerzas sísmicas obtenidas en la planta cubierta y en las dos direcciones:

$$(6) \eta_{ik} = 0,0274 \cdot \frac{787,178 \cdot 0,0274}{787,178 \cdot 0,0274^2} = 1$$

$$(5) s_{1k} = (0,174g/g) \cdot 2,5 \cdot 0,55 \cdot 1 = 0,239$$

$$(4) F_{1k} = 0,239 \cdot 787,178 = 188,33 \text{ kN}$$

Por lo que el valor de la carga sísmica superficial es:

$$q_{1k} = \frac{188,33}{133,42} = 1,41 \text{ kN/m}^2$$

Si comparamos este valor con el que se obtiene de la tabla Excel proporcionada por David Gallardo Llopis, podemos observar como en ambos casos el resultado es muy similar.

ENTRADA DE DATOS						
Ac básica	ab	0,14	coef amplif.	S	1,242704	
Coef riesgo	p	1,00	Ac. Cálculo	ac/g	0,17	
C. Contribución	K	1,00	Límite superior	T _s	0,64	
C. Suelo	C	1,60				
Núm. plantas	Np	1	Altura máxima	H	3,20	
Periodo Fund.	Tf	0,11	Número modos	N	1	
C. Amortig.	W	4,00	M. espectro el.	n	1,09	
Ductilidad	m	2	C. Respuesta	b	0,55	
q [kN/m ²]	S [m ²]	Fik final	Vik comb.	PLANTA	hk [m]	Pk [kN]
1,403	133,42	187,172783	187,172783	1	3,20	787,18

Imagen 42. Valor carga sísmica de Excel

En resumen, las acciones que serán de aplicación sobre el modelo de cálculo son:

CARGAS PERMANENTES (G)

- Peso propio (CMP):
 - Instalaciones cubierta: 0,3 kN/m²
 - Tabiquería forjado: 1kN/m²

CARGAS VARIABLES (Q)

- Sobrecargas de uso (SCU):
 - Cubierta: 1 kN/m²
 - Forjado: 5 kN/m²
- Nieve (SCN): 0,2 kN/m²
- Viento (SCV):
 - Fachadas
 - Presión (SCVp): 0,757 kN/m²
 - Succión (SCVs): -0,344 kN/m²
 - Cubierta
 - Presión (SCVp): 0,921
 - Succión (SCVs): -1,78

CARGAS ACCIDENTALES

- Sismo (SISx/SISy): 1,41 kN/m²

6. Estados límite

Según el art. 3.2 del CTE DB-SE se denominan estados límite aquellas situaciones para las que, de ser superadas, puede considerarse que el edificio no cumple alguno de los requisitos estructurales para los que ha sido concebido. Podemos diferenciar entre estados límite últimos (ELU) y estados límite de servicio (ELS).

Estados límite últimos

En el art. 3.2.1 del CTE DB-SE se definen los estados límite últimos como 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.

Estados límite de servicio

En el art. 3.2.2 del CTE DB-SE se definen los estados límite de servicio como 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 desaparecidas las acciones que las han producido.

7. Combinación de las acciones

El CTE DB-SE especifica en el apartado 4.1 (generalidades) la verificación de los estados límite mediante coeficientes parciales, para la determinación del efecto de las acciones, así como de la respuesta estructural, se utilizan los valores de cálculo de las variables, obtenidos a partir de sus valores característicos, u otros valores representativos, multiplicándolos o dividiéndolos por los correspondientes coeficientes parciales para las acciones y la resistencia respectivamente.

En este sentido la normativa establece la posibilidad de adoptar un coeficiente de valor 1 en el caso de ELS, mientras que en el caso de ELU aplicaremos coeficientes de valor 1,35 en el caso de las acciones permanentes y de valor 1,5 para las acciones variables.

Combinaciones para ELU

- Situaciones persistentes o transitorias:

$$\sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

- Situaciones accidentales:

$$\sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + A_d + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

- Situaciones sísmicas:

$$\sum G_{k,j} + A_d + \sum \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

siendo:

$\gamma_G \cdot G_k$ acción permanente en valor de cálculo

$\gamma_Q \cdot Q_k$ acción variable en valor de cálculo

$\gamma_Q \cdot \Psi_0 \cdot Q_k$ acción variable en valor de cálculo de combinación

A_d acción accidental en valor de cálculo

$\gamma_Q \cdot \Psi_1 \cdot Q_k$ acción variable en valor de cálculo frecuente

$\gamma_Q \cdot \Psi_2 \cdot Q_k$ acción variable en valor de cálculo casi permanente

Combinaciones para ELS

- Combinación del tipo denominado característica:

$$\sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum \gamma_{0,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

- Combinación del tipo denominado frecuente:

$$\sum G_{k,j} + \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

- Combinación del tipo denominado casi permanente:

$$\sum G_{k,j} + \sum \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

siendo:

G_k acción permanente, en valor característico

Q_k acción variable en valor característico

$\Psi_0 \cdot Q_k$ acción variable en valor de combinación

$\Psi_1 \cdot Q_k$ acción variable en valor frecuente

$\Psi_2 \cdot Q_k$ acción variable en valor casi permanente

Los valores de los coeficientes de simultaneidad, Ψ , se establecen en la tabla 4.2 del CTE DB-SE.

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)

	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

(1) En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

Tabla 9. Coeficientes de simultaneidad (Ψ)

8. Introducción de cargas y combinaciones de hipótesis de carga en SAP2000

Una vez definidas las cargas y las posibles combinaciones procedemos a introducirlas en el programa SAP2000. En primer lugar es necesario crear hipótesis básicas de acciones (load patterns), estas hipótesis funcionan como adjetivos calificativos que permiten identificar el origen de las diferentes cargas. Se definen en el menú *Define – Load patterns*.

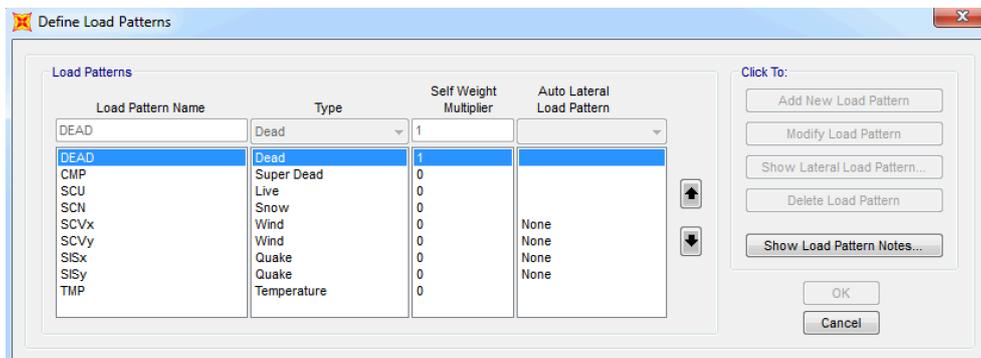


Imagen 43. Ventana "Define Load Patterns" de SAP2000

Este paso previo es fundamental para poder generar las combinaciones de hipótesis de carga (load combinations). De manera que generaremos las combinaciones ELU o ELS, que hayamos considerado, aplicando la superposición lineal de las hipótesis básicas aplicando los coeficientes de mayoración correspondientes. Para ello se ha utilizado el menú *Define – Load combinations*.

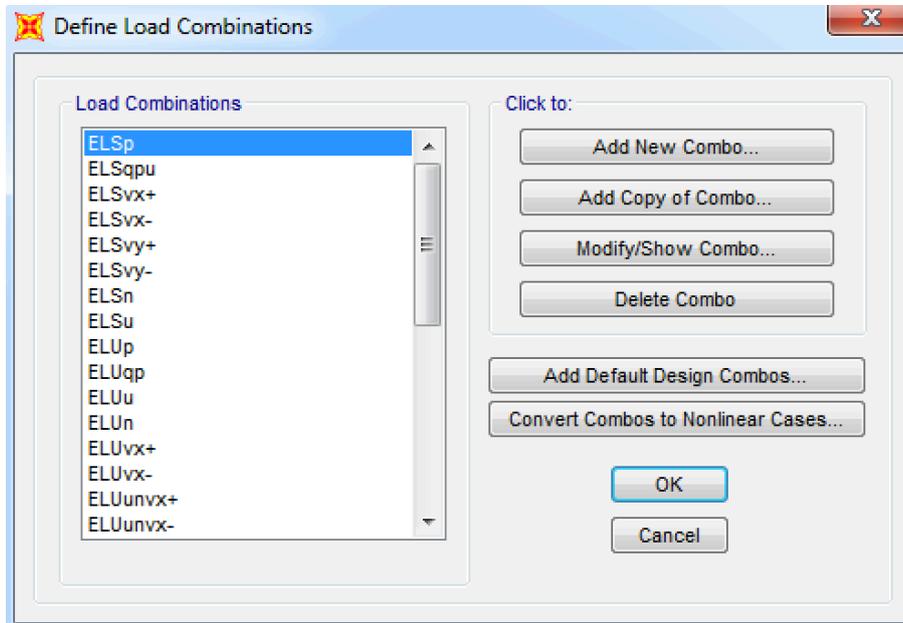


Imagen 44. Ventana "Define Load Combinations" de SAP2000

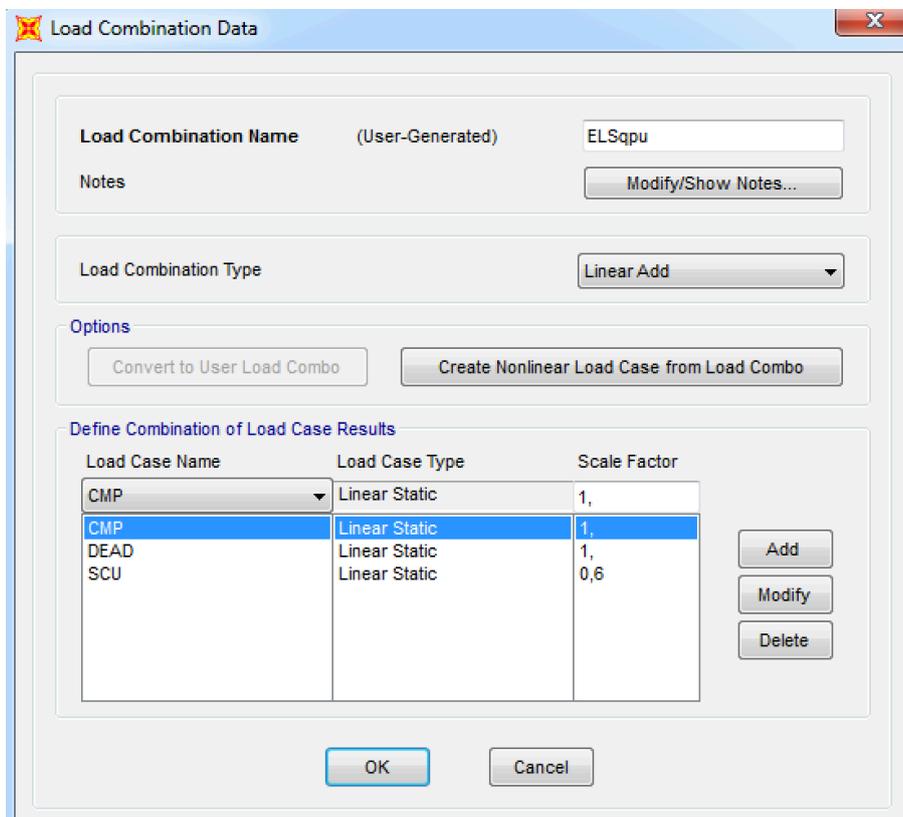


Imagen 45. Ventana "Load Combination data" de SAP2000

9. Comprobación del modelo estructural

Una vez hemos definido el modelo completo de la estructura, esto incluye: la geometría, los materiales, las secciones, las cargas, las condiciones de enlace y las combinaciones de acciones, es momento de proceder a realizar el cálculo del modelo estructural en el programa SAP2000. Para ello utilizamos el menú *Analyze – Run analysis*.

9.1. Comprobación de los estados límite de servicio

La primera comprobación que se realiza del modelo es la del cumplimiento de una deformación máxima de la estructura según lo que establece el CTE DB SE en el apartado 4.3.3 (deformaciones). La razón por la que se realiza primero esta comprobación y no la de resistencia, es porque en el hipotético caso de que el modelo no cumpla los requerimientos en cuanto a capacidad resistente, los cambios que realicemos para satisfacer la resistencia implican una mayor rigidez lo que se traduce en una menor deformación en el modelo.

9.1.1. Comprobación a flecha vertical

Los resultados obtenidos en el programa SAP2000 suponen, por defecto, un comportamiento elástico y lineal, es decir, los datos que proporcionan son del movimiento elástico e instantáneo de la estructura. Esto significa que el programa genera una deformación inicial de la estructura, sin tener en consideración una deformación diferida en el tiempo. Este hecho hay que tenerlo muy en cuenta dependiendo del material que constituya nuestra estructura. En el caso del edificio de análisis su estructura esta compuesta íntegramente por acero, material que se caracteriza por no presentar un reajuste molecular con el paso del tiempo, esto quiere decir que la flecha inicial de la estructura permanece inalterada sino cambian las cargas o condiciones de enlace, resultando en dicho caso igual que la flecha diferida en el tiempo.

Para la comprobación de la flecha vertical se ha recurrido al apartado 4.3.3.1 (flechas) del CTE DB SE en el que se tienen en consideración tres situaciones:

- **Integridad de los elementos constructivos:** se considera el peso propio de los elementos constructivos, descartando el peso propio de la estructura, por ello se calcula mediante la combinación ELS_q . De manera que únicamente se consideran las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento constructivo.
- **Confort de los usuarios:** para su cálculo se tiene en cuenta la sobrecarga de uso, mediante la hipótesis SCU.
- **Apariencia de la obra:** esta limitación se aplica por condiciones estéticas, es decir, para que visualmente no se llegue a apreciar la curvatura de los elementos horizontales. Para esta situación se utiliza la combinación ELS_{qu} , la cual tiene en cuenta todos los pesos propios y la sobrecarga de uso.

Para la comprobación primero se calcula el doble de la distancia horizontal entre los puntos que producen la máxima pendiente (máximo movimiento de la estructura), posteriormente se calcula la diferencia de movimiento vertical entre dichos puntos y por último se comparan estos datos con el límite de la flecha relativa establecido según la situación que estemos comprobando, son los siguientes:

- Integridad de los elementos constructivos: $l/300$
- Confort de los usuarios: $l/350$
- Apariencia de la obra: $l/300$

Integridad de los elementos constructivos

En este caso tenemos que crear una combinación en la que tenemos en cuenta el porcentaje de CMP ejecutada posteriormente al elemento dañable (falsos techos, tabiques) más la sobrecarga de uso.

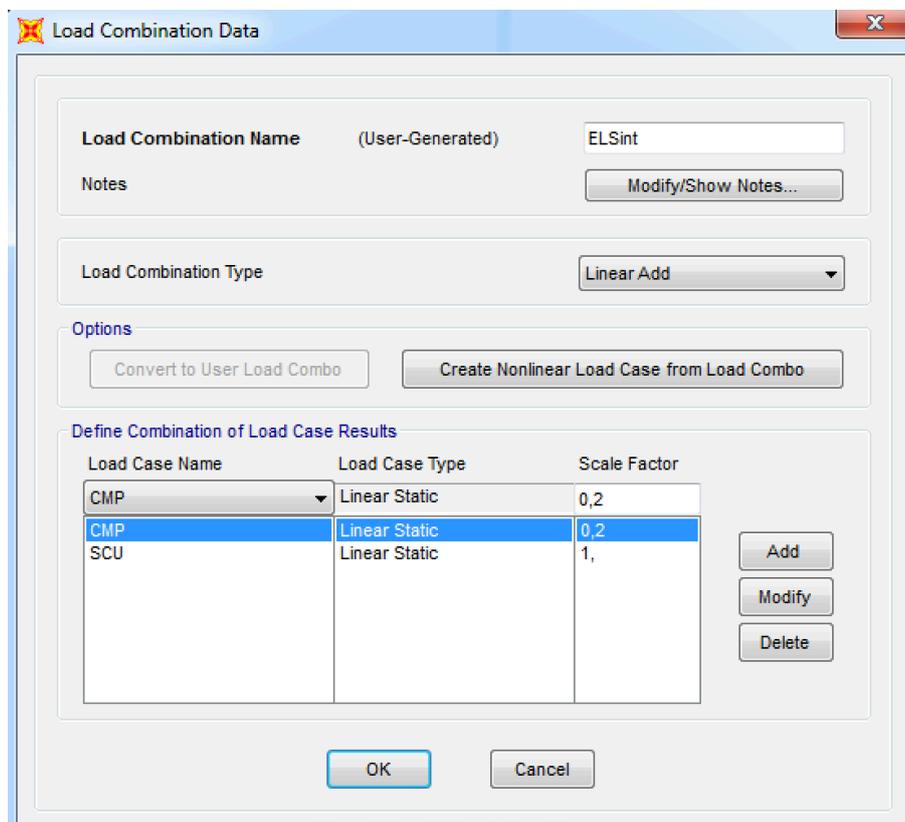


Imagen 46. Ventana "Load Combination data" de SAP2000

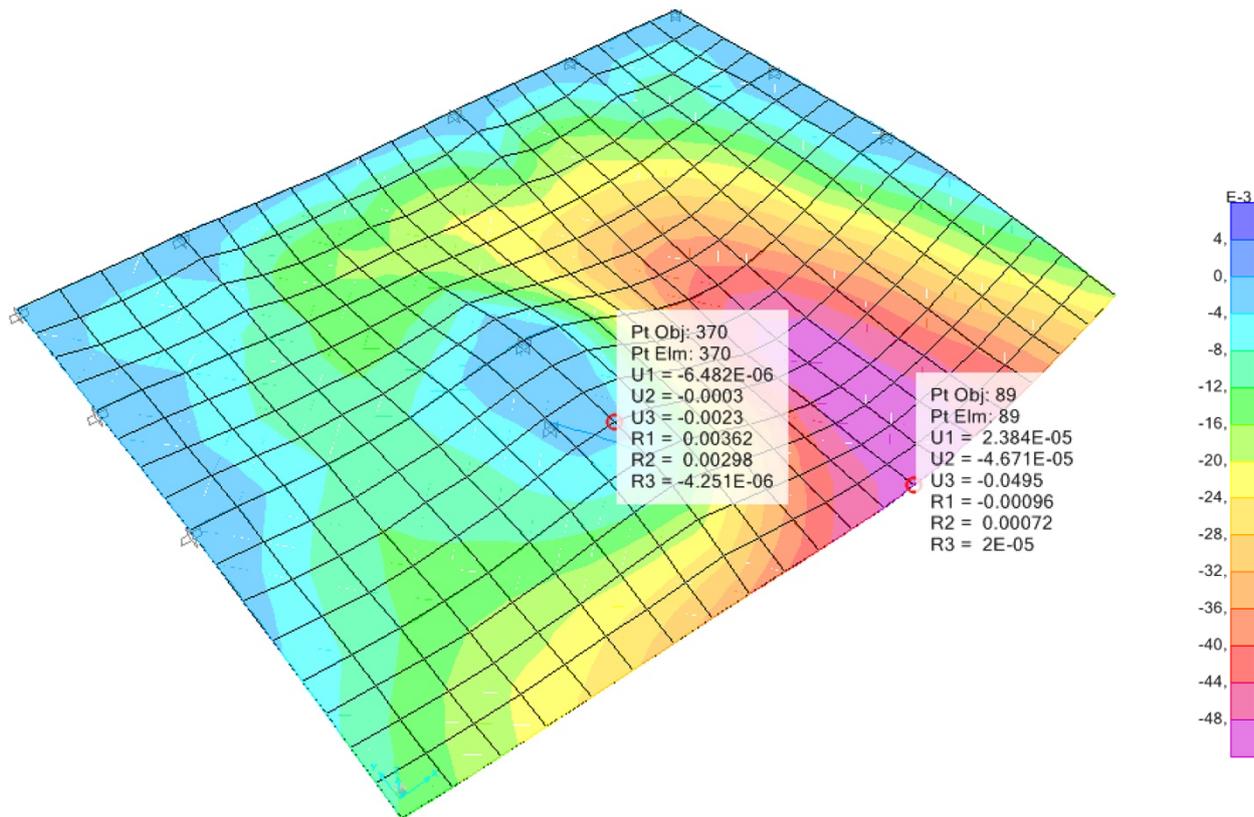


Imagen 47. Forjado planta baja, ventana "Deformed Shape"(ELSint) de SAP2000

Flecha relativa Δy

$$\Delta y = 0,0495 - 0,0023 = 0,0472 \text{ m} = 4,72 \text{ cm}$$

Flecha máxima permitida

$$1/300 \cdot 2x = 1/300 \cdot (2 \cdot 4,47) = 0,0298 \text{ m} = 2,98 \text{ cm}$$

Cumplimiento a deformación

Como $4,72 > 2,98$ la estructura metálica del forjado de planta baja **no cumple** la limitación de deformación vertical establecida en el CTE DB SE, según la integridad de los elementos constructivos.

Por lo que procedemos a cambiar la sección de las vigas que constituyen el forjado de planta baja, de esta manera que sustituimos la sección de las vigas perimetrales por un de HEB220 y las vigas del interior por una HEB200.

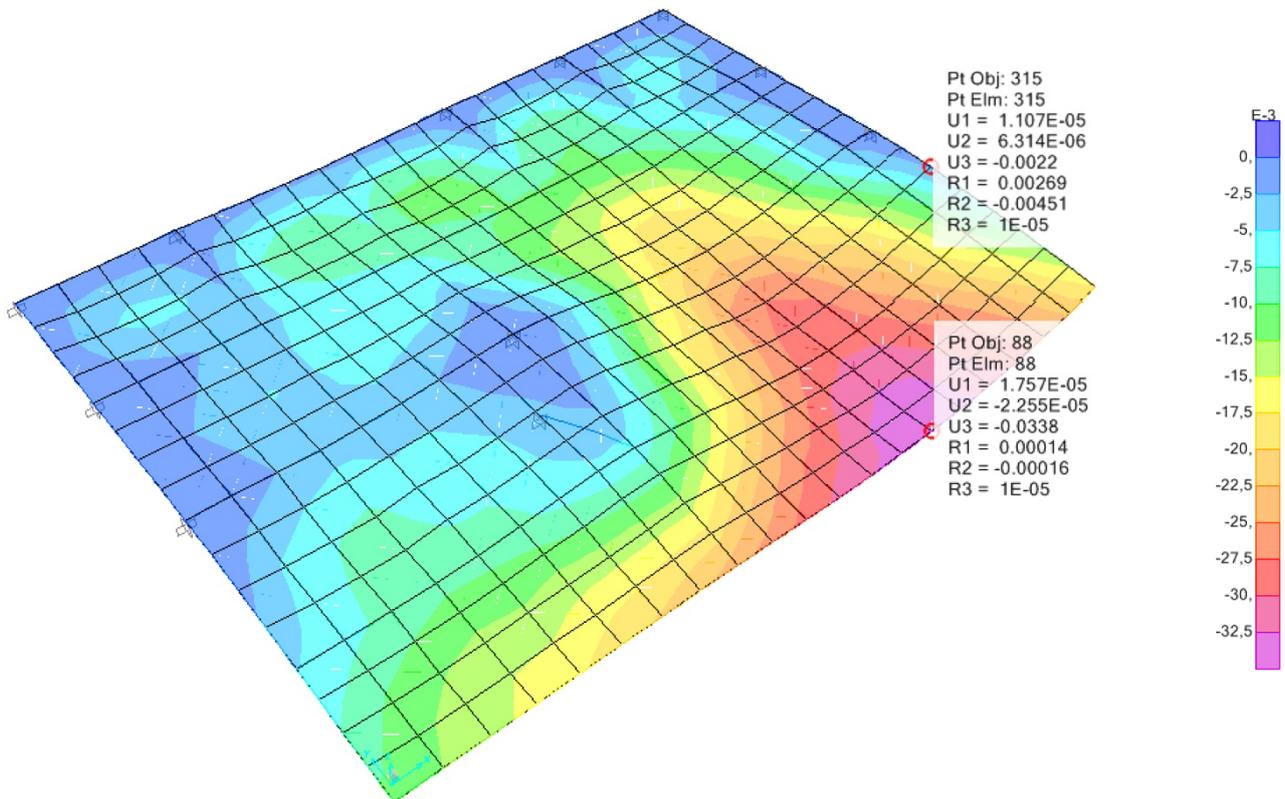


Imagen 48. Forjado planta baja, ventana "Deformed Shape"(ELSint) de SAP2000

Flecha relativa Δy

$$\Delta y = 0,0338 - 0,0022 = 0,0316 \text{ m} = 3,16 \text{ cm}$$

Flecha máxima permitida

$$1/300 \cdot 2x = 1/300 \cdot (2 \cdot 5,46) = 0,0364 \text{ m} = 3,64 \text{ cm}$$

Cumplimiento a deformación

Como $3,16 < 3,64$ la estructura metálica del forjado de planta baja **cumple** la limitación de deformación vertical establecida en el CTE DB SE, según la integridad de los elementos constructivos.

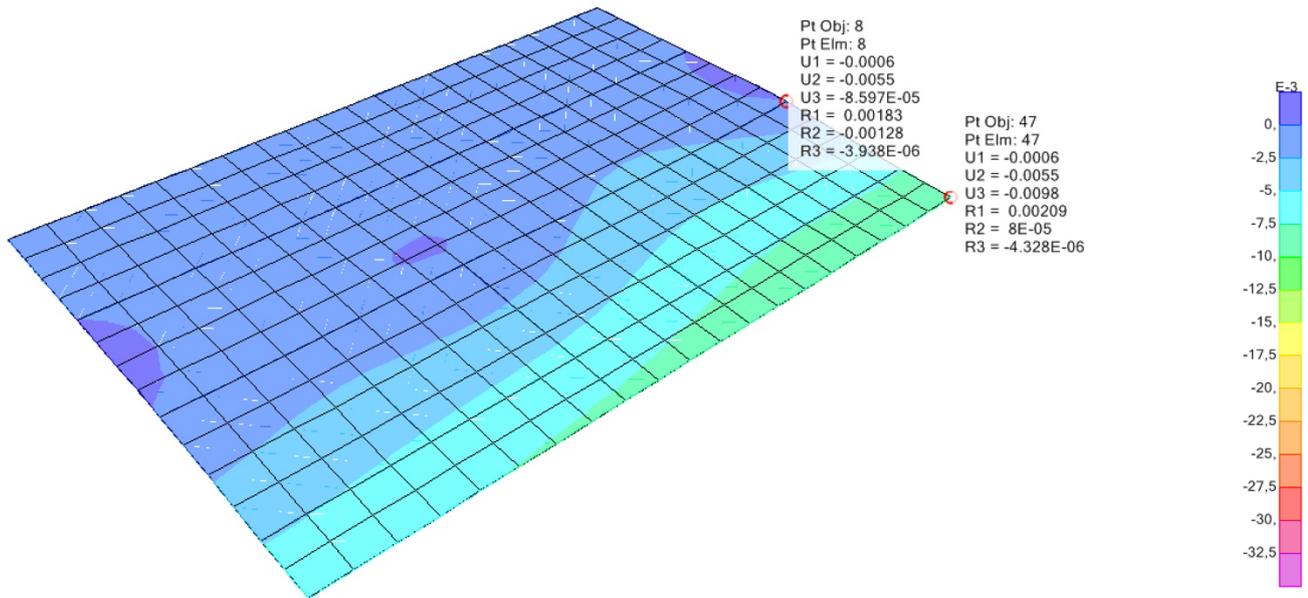


Imagen 49. Forjado cubierta, ventana "Deformed Shape"(ELSint) de SAP2000

Flecha relativa Δy

$$\Delta y = 0,0098 - 0,0000859 = 0,00971\text{m} = 0,97 \text{ cm}$$

Flecha máxima permitida

$$1/300 \cdot 2x = 1/300 \cdot (2 \cdot 3,49) = 0,02327 \text{ m} = 2,327 \text{ cm}$$

Cumplimiento a deformación

Como $0,97 < 2,327$ la estructura metálica del forjado de la cubierta **cumple** la limitación de deformación vertical establecida en el CTE DB SE, según la integridad de los elementos constructivos.

Confort de los usuarios

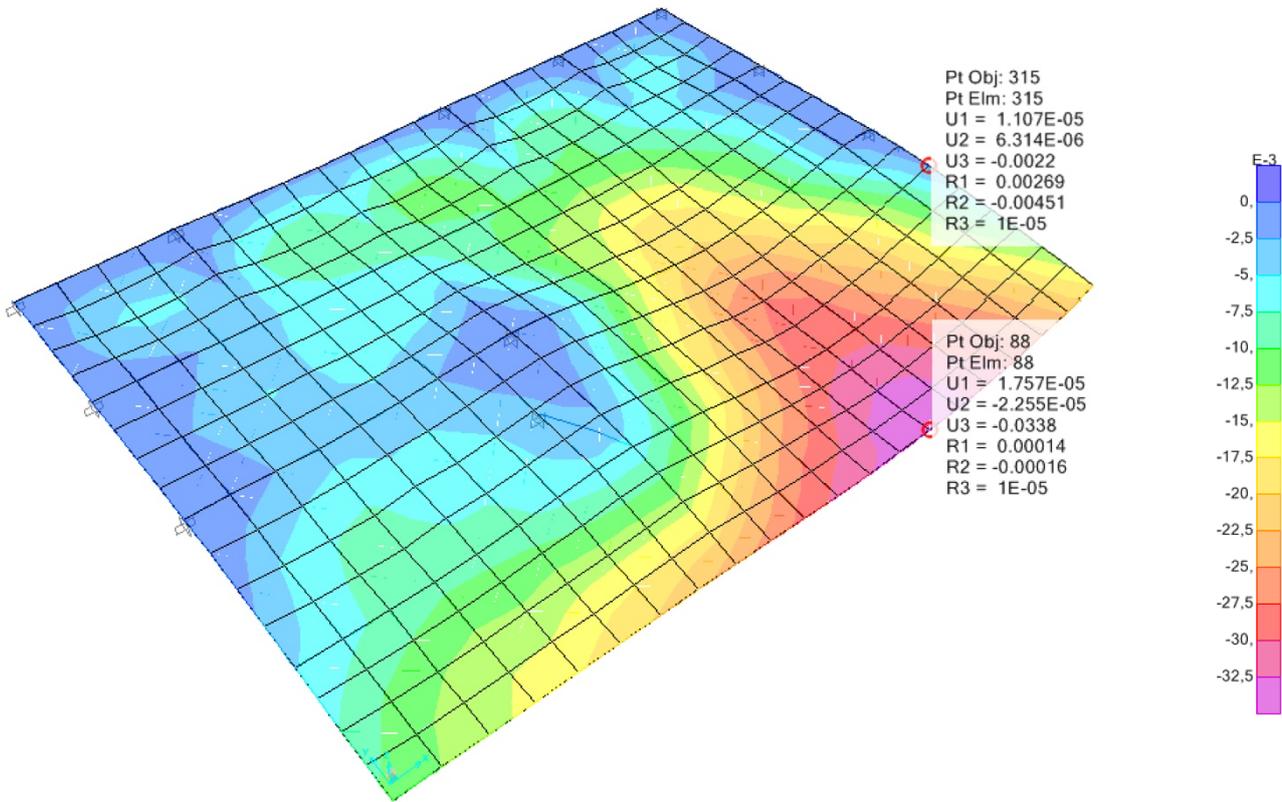


Imagen 50. Forjado planta baja, ventana "Deformed Shape"(SCU) de SAP2000

Flecha relativa Δy

$$\Delta y = 0,0338 - 0,0022 = 0,0316\text{m} = 3,16 \text{ cm}$$

Flecha máxima permitida

$$1/350 \cdot 2x = 1/350 \cdot (2 \cdot 5,46) = 0,0312 \text{ m} = 3,12 \text{ cm}$$

Cumplimiento a deformación

Como $3,16 > 3,12$ la estructura metálica del forjado de planta baja **no cumple** la limitación de deformación vertical establecida en el CTE DB SE, según el confort de los usuarios.

Por lo que procedemos a cambiar la sección de las vigas del interior del forjado de la planta baja, de manera que sustituimos la sección del perfil HEB180 por un HEB220.

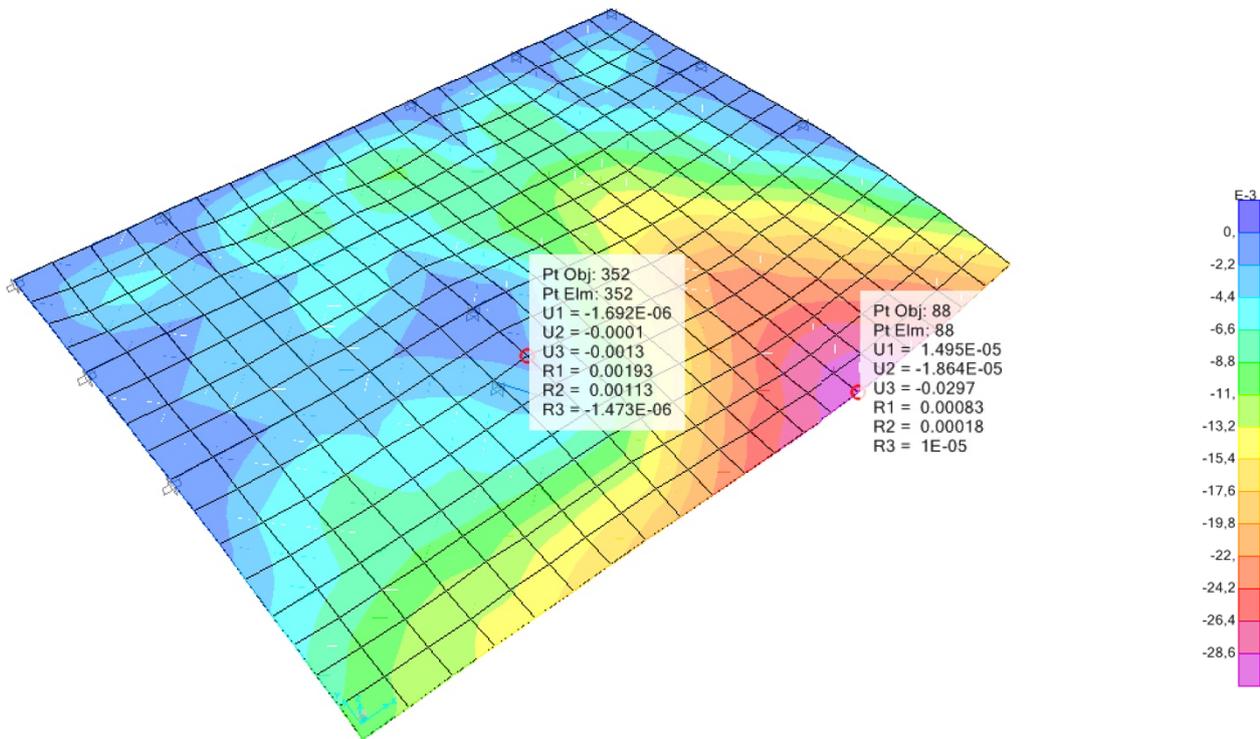


Imagen 51. Forjado planta baja, ventana "Deformed Shape"(SCU) de SAP2000

Flecha relativa Δy

$$\Delta y = 0,0297 - 0,0013 = 0,0284 \text{ m} = 2,84 \text{ cm}$$

Flecha máxima permitida

$$1/350 \cdot 2x = 1/350 \cdot (2 \cdot 5,46) = 0,0312 \text{ m} = 3,12 \text{ cm}$$

Cumplimiento a deformación

Como $2,84 < 3,12$ la estructura metálica del forjado de planta baja **cumple** la limitación de deformación vertical establecida en el CTE DB SE, según el confort de los usuarios.

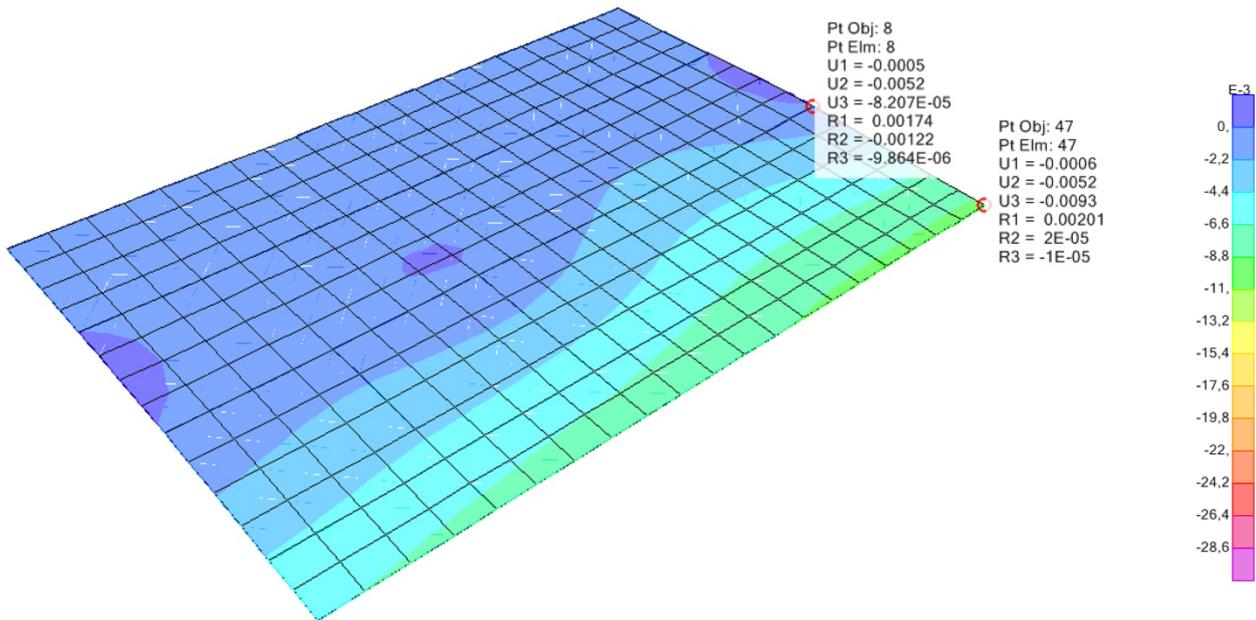


Imagen 52. Forjado cubierta, ventana "Deformed Shape"(SCU) de SAP2000

Flecha relativa Δy

$$\Delta y = 0,0093 - 0,000082 = 0,00922 \text{ m} = 0,922 \text{ cm}$$

Flecha máxima permitida

$$1/350 \cdot 2x = 1/350 \cdot (2 \cdot 3,49) = 0,0199 \text{ m} = 1,99 \text{ cm}$$

Cumplimiento a deformación

Como $0,922 < 1,99$ la estructura metálica del forjado de cubierta **cumple** la limitación de deformación vertical establecida en el CTE DB SE, según el confort de los usuarios.

Apariencia de la obra

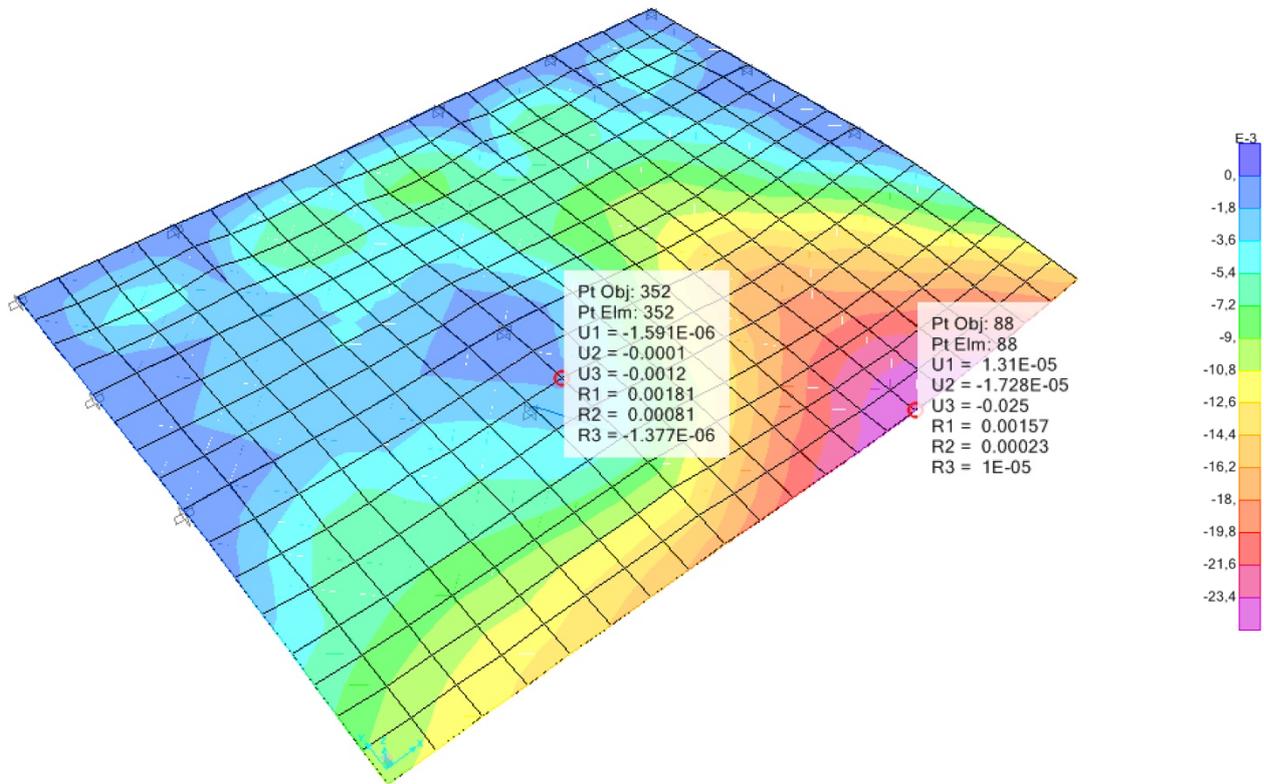


Imagen 53. Forjado planta baja, ventana "Deformed Shape"(ELSqpu) de SAP2000

Flecha relativa Δy

$$\Delta y = 0,025 - 0,0012 = 0,0238 \text{ m} = 2,38 \text{ cm}$$

Flecha máxima permitida

$$1/300 \cdot 2x = 1/300 \cdot (2 \cdot 5,46) = 0,0364 \text{ m} = 3,64 \text{ cm}$$

Cumplimiento a deformación

Como $2,38 < 3,64$ la estructura metálica del forjado de planta baja **cumple** la limitación de deformación vertical establecida en el CTE DB SE, según apariencia de la obra.

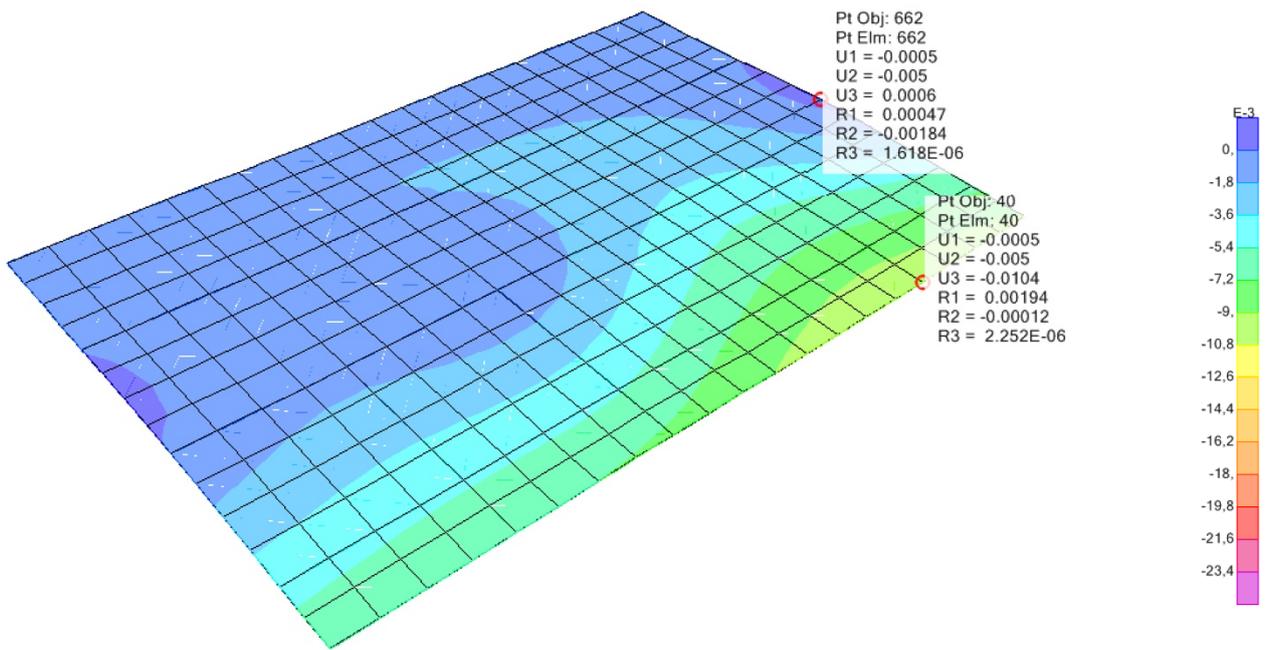


Imagen 54. Forjado cubierta, ventana "Deformed Shape"(ELSqup) de SAP2000

Flecha relativa Δy

$$\Delta y = 0,0104 - 0,0006 = 0,0098 \text{ m} = 0,98 \text{ cm}$$

Flecha máxima permitida

$$1/300 \cdot 2x = 1/300 \cdot (2 \cdot 5,039) = 0,0336 \text{ m} = 3,36 \text{ cm}$$

Cumplimiento a deformación

Como $0,98 < 3,36$ la estructura metálica del forjado de cubierta **cumple** la limitación de deformación vertical establecida en el CTE DB SE, según apariencia de la obra.

9.1.2. Comprobación a flecha horizontal

En cuanto a la comprobación de los desplazamientos laterales de la estructura, bajo la acción de las cargas de viento, se utilizan únicamente las hipótesis SCVx y SCVy.

El CTE DB SE en el apartado 4.3.3.2 (desplazamientos horizontales) establece el límite del desplome total en 1/500 y el desplome local en 1/250.

Comprobación desplome total

$$1/500 \cdot 12,8 = 0,0256 \text{ m} = 2,56 \text{ cm}$$

ELSvx+

$U1 = 0,82 \text{ cm} < 2,56 \text{ cm}$, **cumple**

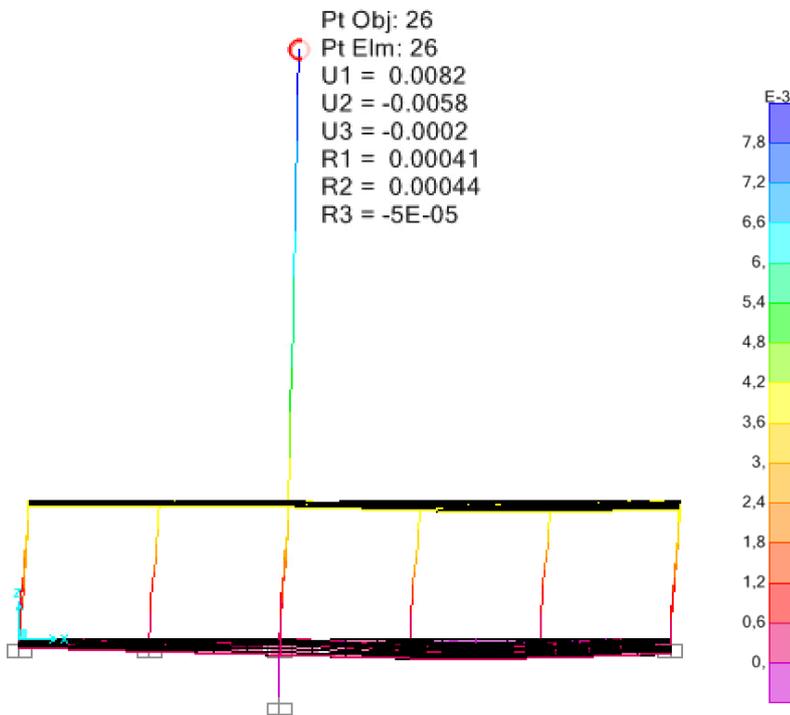


Imagen 55. Ventana "Deformed Shape"(ELSvx+) de SAP2000

ELSvx-

$U1 = |-0,45| \text{ cm} < 2,56 \text{ cm}$, **cumple**

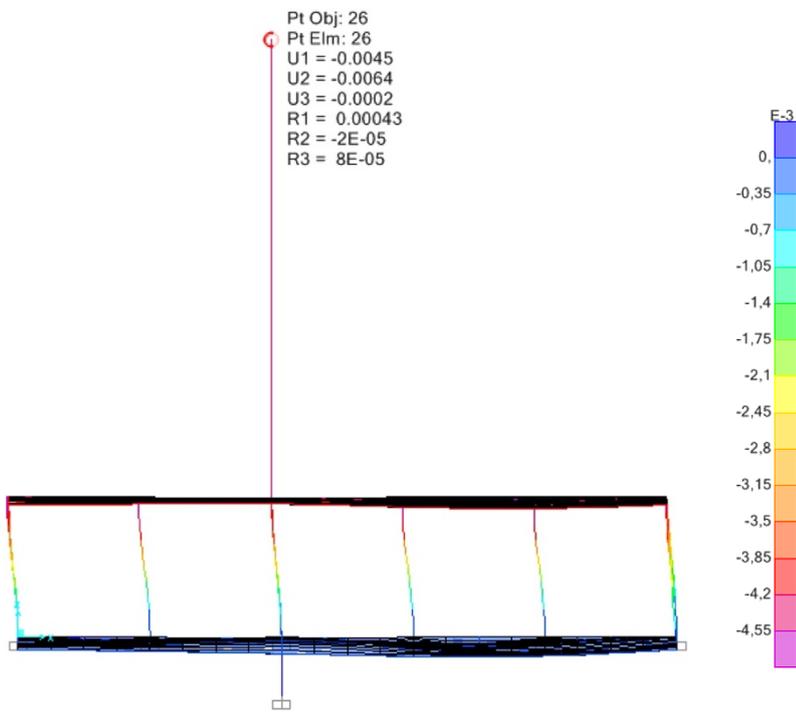


Imagen 56. Ventana "Deformed Shape"(ELSvx-) de SAP2000

ELSVy+

$U1 = 0,37 \text{ cm} < 2,56 \text{ cm}$, **cumple**

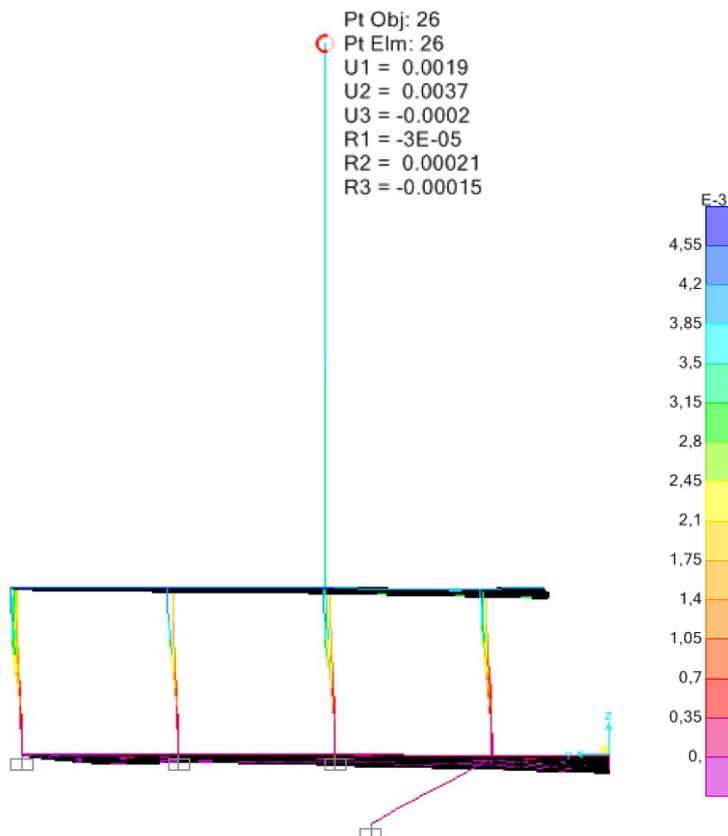


Imagen 57. Ventana "Deformed Shape"(ELSVy+) de SAP2000

ELSVy-

$U1 = |-1,59| \text{ cm} < 2,56 \text{ cm}$, **cumple**

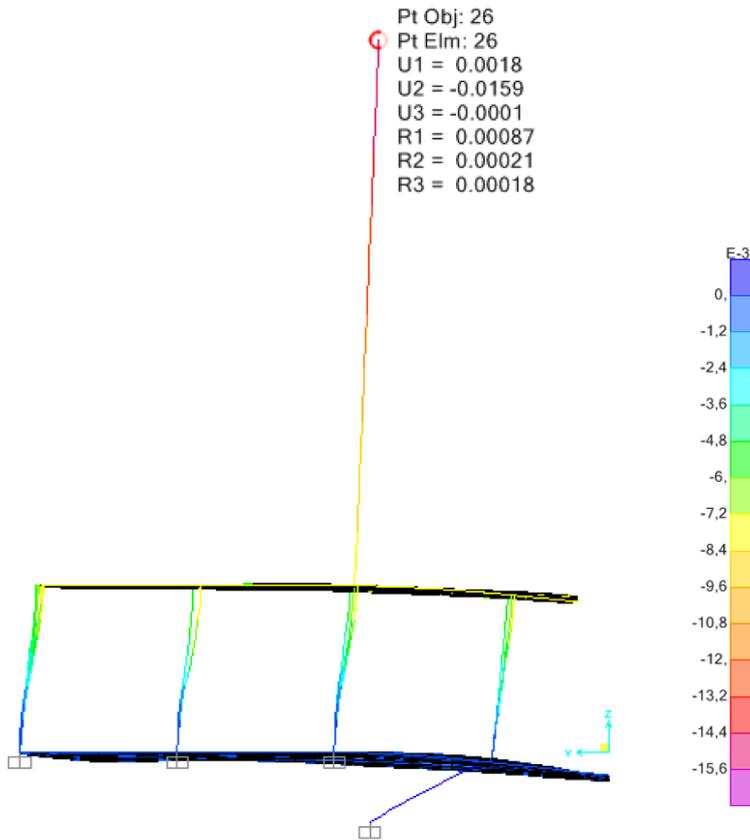


Imagen 58. Ventana "Deformed Shape"(ELSVy-) de SAP2000

Comprobación desplome local

$1/250 \cdot 3,20 = 0,0128 \text{ m} = 1,28 \text{ cm}$

ELSVx+

$U1 = 0,4 \text{ cm} < 1,28 \text{ cm}$, **cumple**

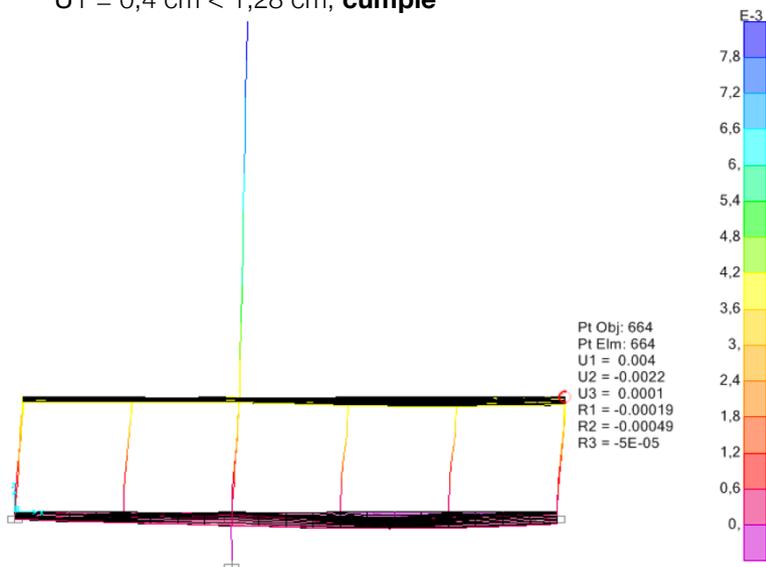


Imagen 59. Ventana "Deformed Shape"(ELSVx+) de SAP2000

ELSVx-

$U1 = |-0,45| \text{ cm} < 1,28 \text{ cm}$, **cumple**

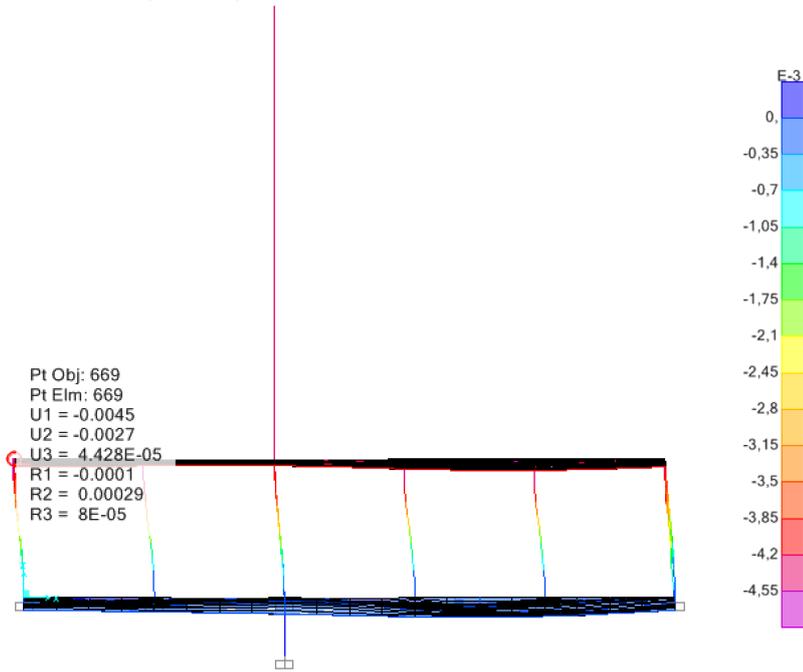


Imagen 60. Ventana "Deformed Shape"(ELSVx-) de SAP2000

ELSVy+

$U1 = 0,42 \text{ cm} < 1,28 \text{ cm}$, **cumple**

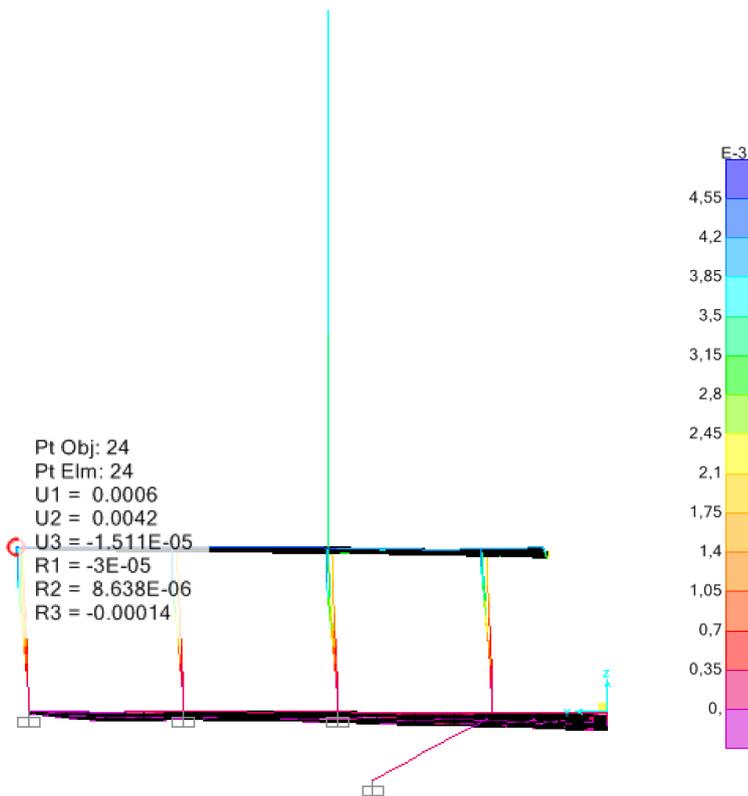
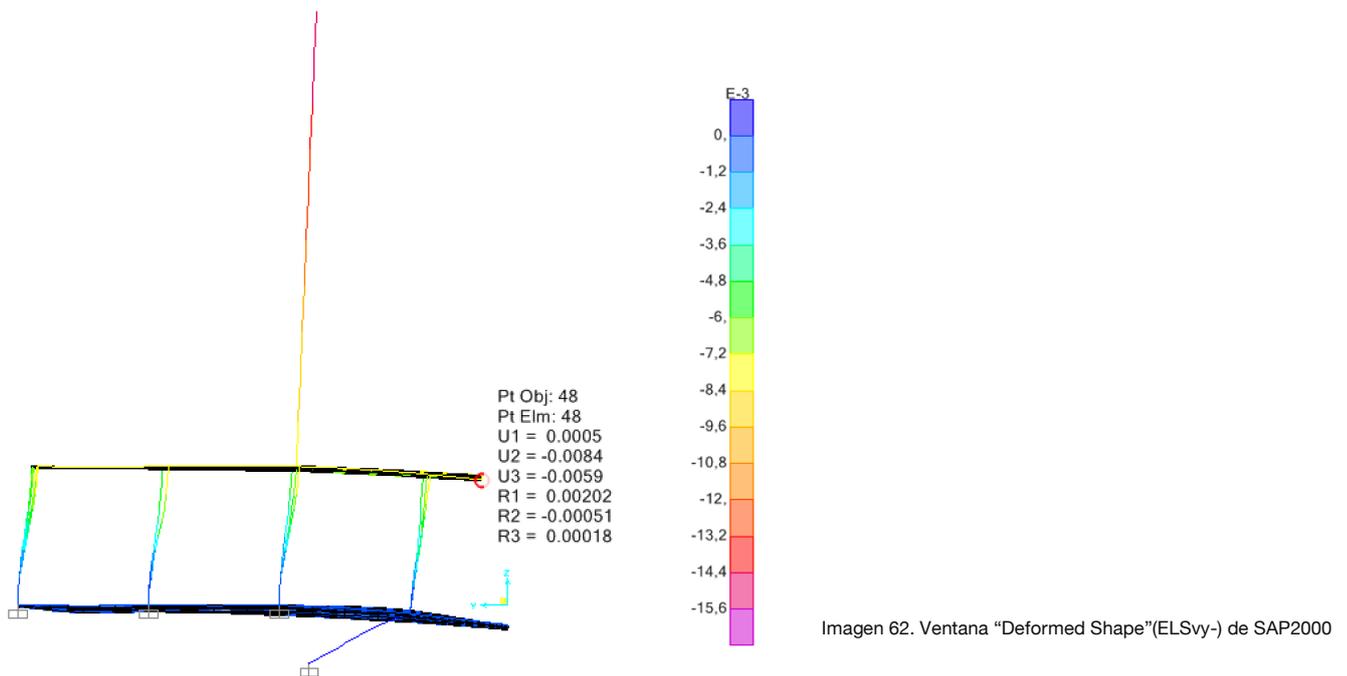


Imagen 61. Ventana "Deformed Shape"(ELSVy+) de SAP2000

ELS_{vy}-

$U1 = |-0,84| \text{ cm} < 1,28 \text{ cm}$, **cumple**



9.2. Resultados de resistencia

9.2.2. Dimensionado de los elementos.

El programa SAP2000 realiza de manera automática la comprobación a resistencia de los elementos estructurales metálicos por medio del menú *Design – Steel frame design – Start design/ Check of structure*.

Tras dicho cálculo el programa refleja los resultados en una escala de colores según el grado de saturación de las diferentes barras. Esta escala hace referencia a un porcentaje en tanto por uno del trabajo a resistencia. Dicho porcentaje se obtiene de la suma de los valores de la saturación ocasionados por el axil, la flexión principal y la flexión secundaria.

De esta manera cuando la suma de estos es superior a la unidad significa que dicho elemento no cumple a resistencia. Esto no significa que el elemento se rompa sino que no cumple con los coeficientes definidos en el programa, que son los mismos de la norma de aplicación.

Predimensionado estructural metálica:

StCodal: perfil tubular circular #90.5

StMénsulas: sección compuesta por un perfil HEB200 y un perfil HEB360 de sección variable

StPilares: perfil HEB200 / perfil 2UPN100 en cajón / perfil tubular circular #200.7

StVigas: perfil HEB200 / perfil HEB220 / perfil IPE550

StViguetas: perfil tubular rectangular #100.60.3

StVigas compuestas: perfil HEB200 y perfil en T

Después de la primera peritación obtenemos los siguientes resultados

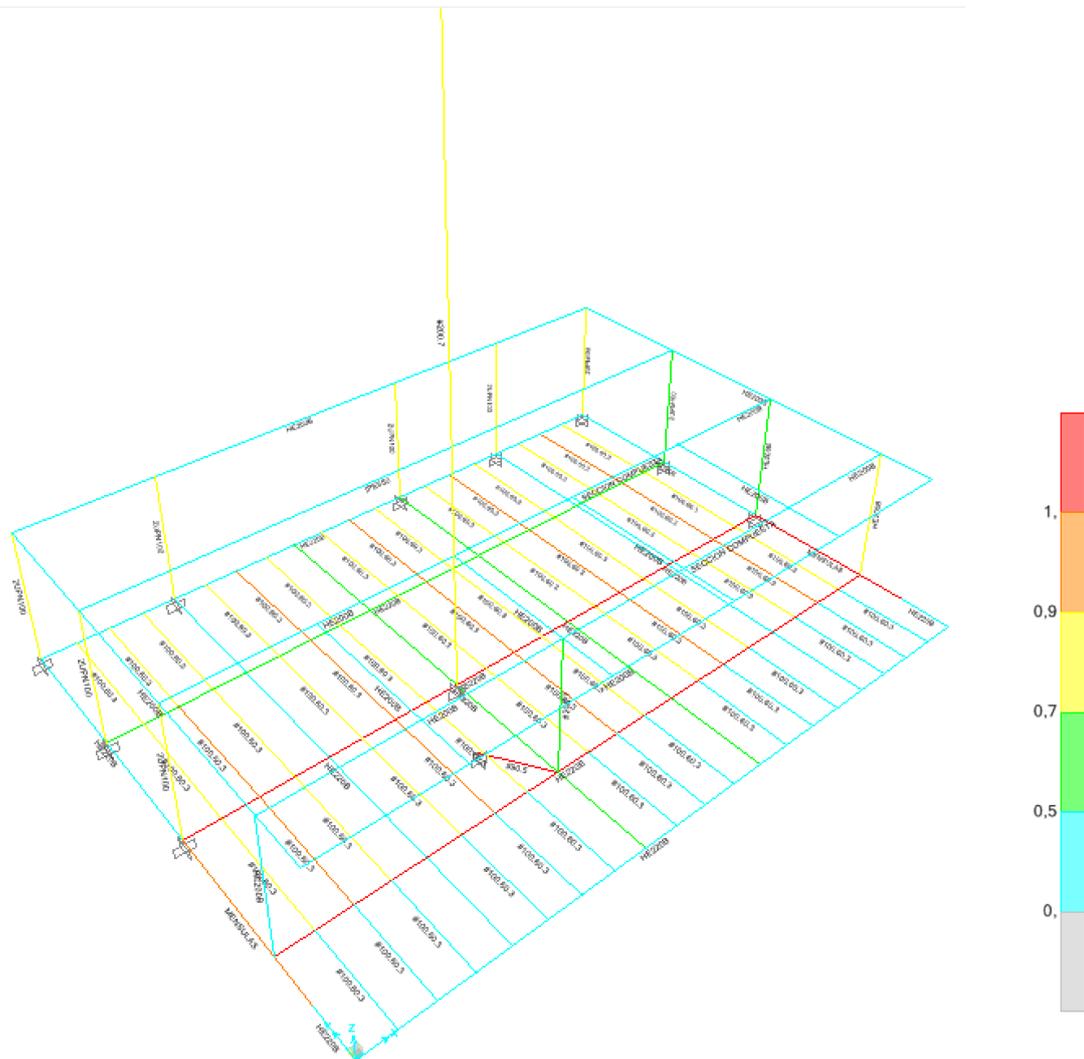


Imagen 63. Resultados de resistencia estructura completa de SAP2000

Cuando se comprueba a resistencia utilizando el menú Design/Check en SAP2000, la plantilla tiene activado por defecto comprobar también a flecha. Sin embargo esta limitación a flecha es un poco diferente de la del CTE ya que el programa utiliza las limitaciones del Euro código, por este motivo tras la primera peritación algunas barras no cumplen a flecha. Para evitar esto tenemos que seleccionar todas las barras y en la ventana que se despliega del menú Start Steel **Design/Check** of Structure seleccionar la opción View/Revise Overwrites nos aparece una ventana en la que podemos desactivar la comprobación de flecha en la peritación de SAP2000.

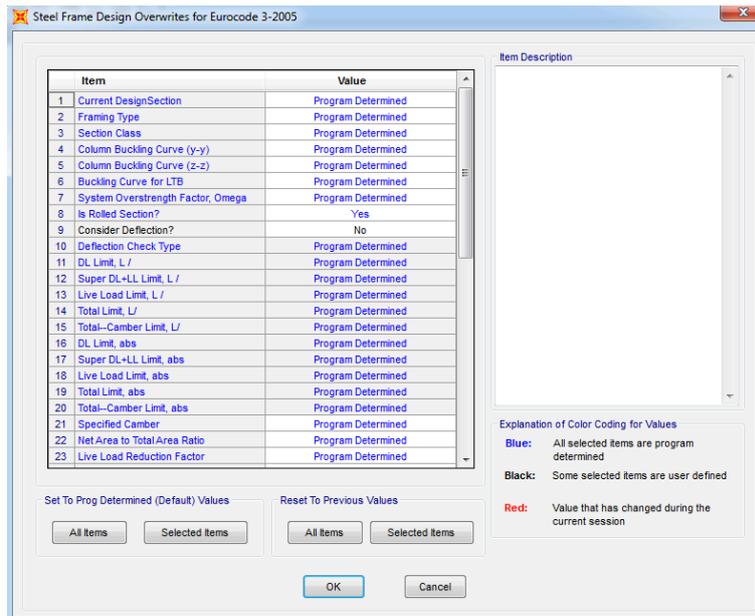


Imagen 64. Ventana "Steel Frame Design Overwrites for Eurocode 3-2005" de SAP2000

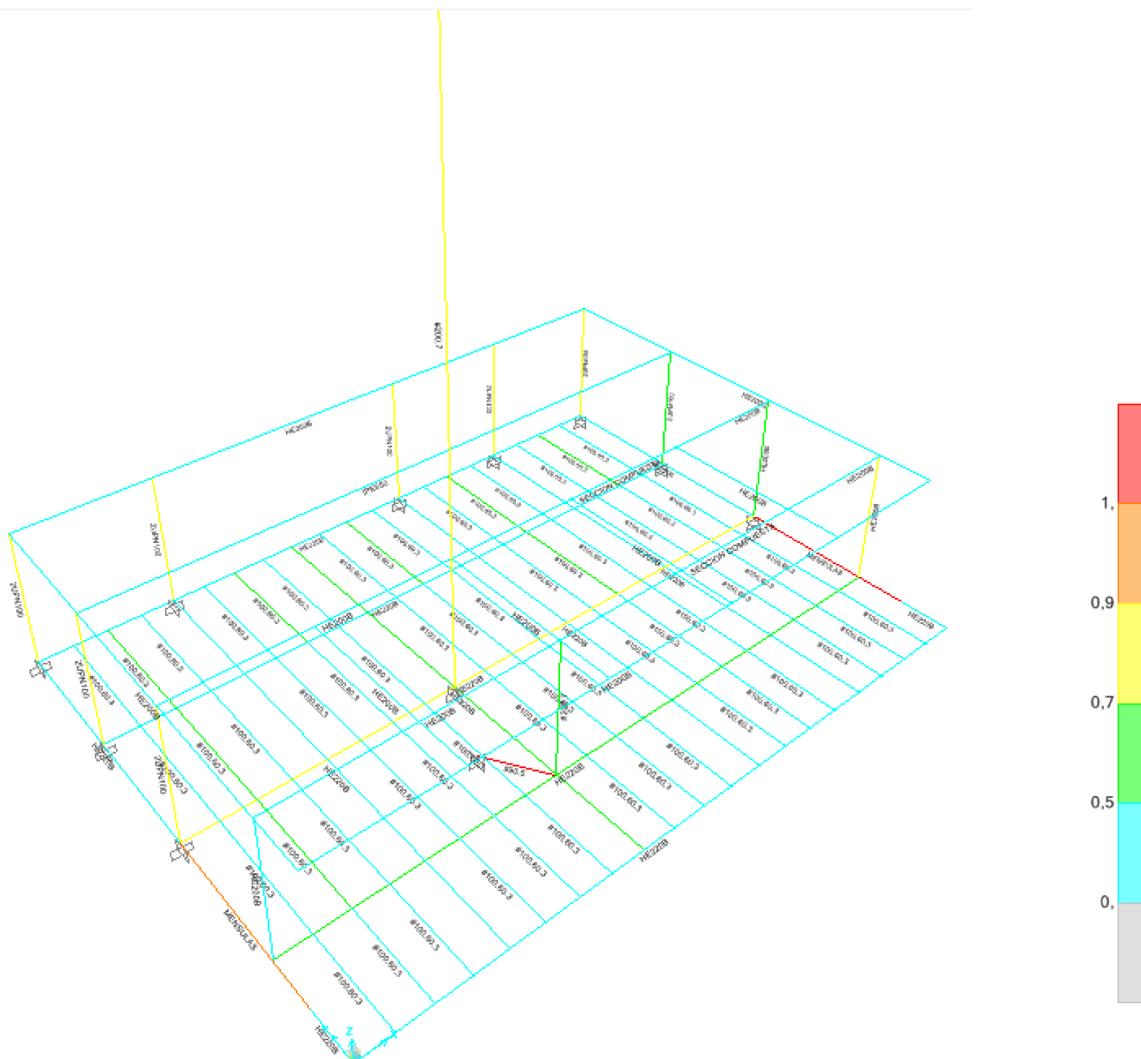


Imagen 65. Resultados 2º peritación de la estructura completa de SAP2000

Como se puede observar en la imagen los elementos de color rojo no cumplen a resistencia y están situados en los grupos de StMénsulas y StCodal.

StMénsulas

Ménsula 1

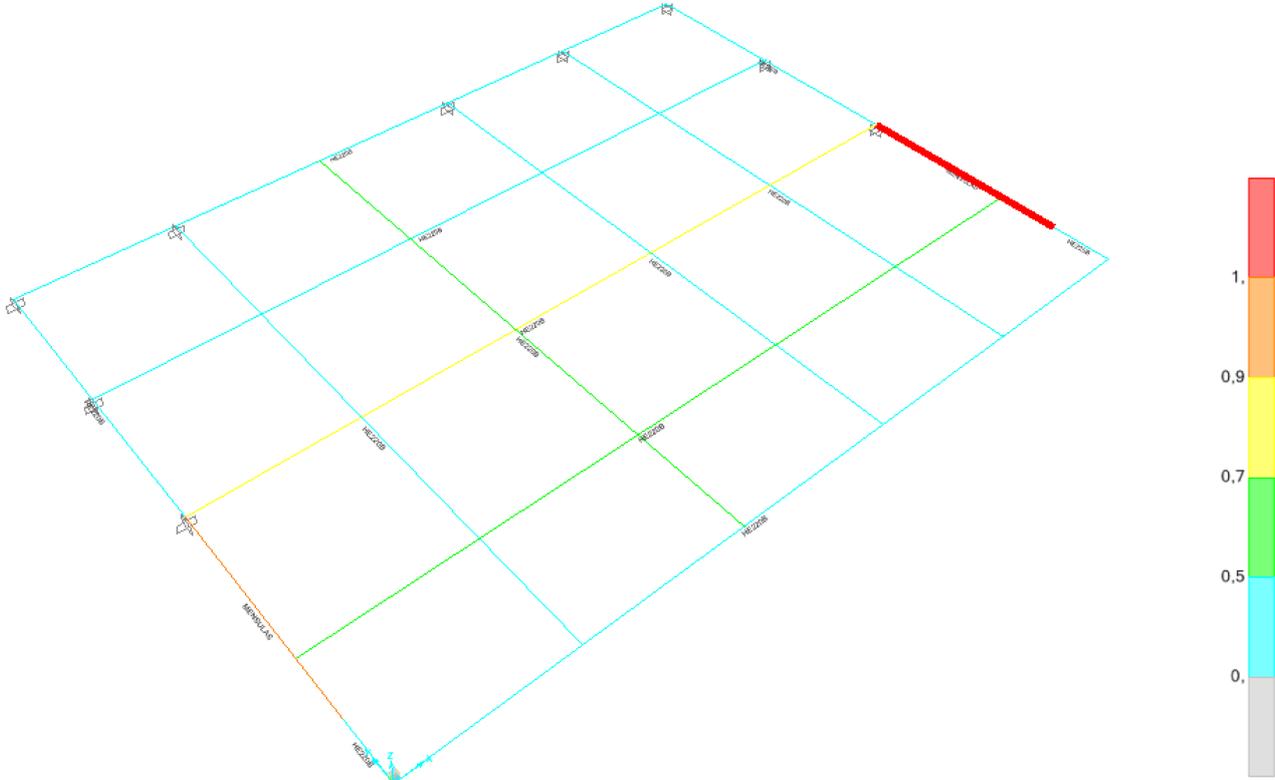


Imagen 66. Resultados de resistencia ménsula 1 de SAP2000

Steel Stress Check Information (Eurocode 3-2005)

Frame ID: 105 Analysis Section: MENSULAS
 Design Code: Eurocode 3-2005 Design Section: MENSULAS

COMBO ID	STATION LOC	----MOMENT RATIO	INTERACTION CHECK =	AXL + B-MAJ + B-MIN	--MAJ-SHR-- RATIO	---MIN-SHR- RATIO
ELUunvy+	2,45	0,783 (C)	=	0,010 + 0,772 + 0,000	0,188	0,000
ELUunvy+	2,80	0,750 (C)	=	0,010 + 0,739 + 0,000	0,181	0,000
ELUunvy+	3,15	0,719 (C)	=	0,010 + 0,709 + 0,000	0,174	0,000
ELUunvy+	3,15	0,720 (C)	=	0,010 + 0,709 + 0,000	0,178	0,000
ELUunvy+	3,50	0,749 (C)	=	0,010 + 0,738 + 0,000	0,171	0,000
ELUunvy+	3,85	0,832 (C)	=	0,010 + 0,822 + 0,000	0,166	0,000
ELUunvy-	0,00	1,331 (T)	=	0,000 + 1,330 + 0,000	0,080	0,000

Strength
 Deflection

Stylesheet: Default

Imagen 67. Ménsula 1, ventana "Steel Stress Check Information" de SAP2000

Para resolver este incumplimiento se ha cambiado la sección variable de las ménsulas por una sección compuesta por un HEB220 y $\frac{1}{2}$ HEB300 y el resultado es, como se observa en la siguiente imagen, que ambas ménsulas trabajan mejor con esta nueva sección.

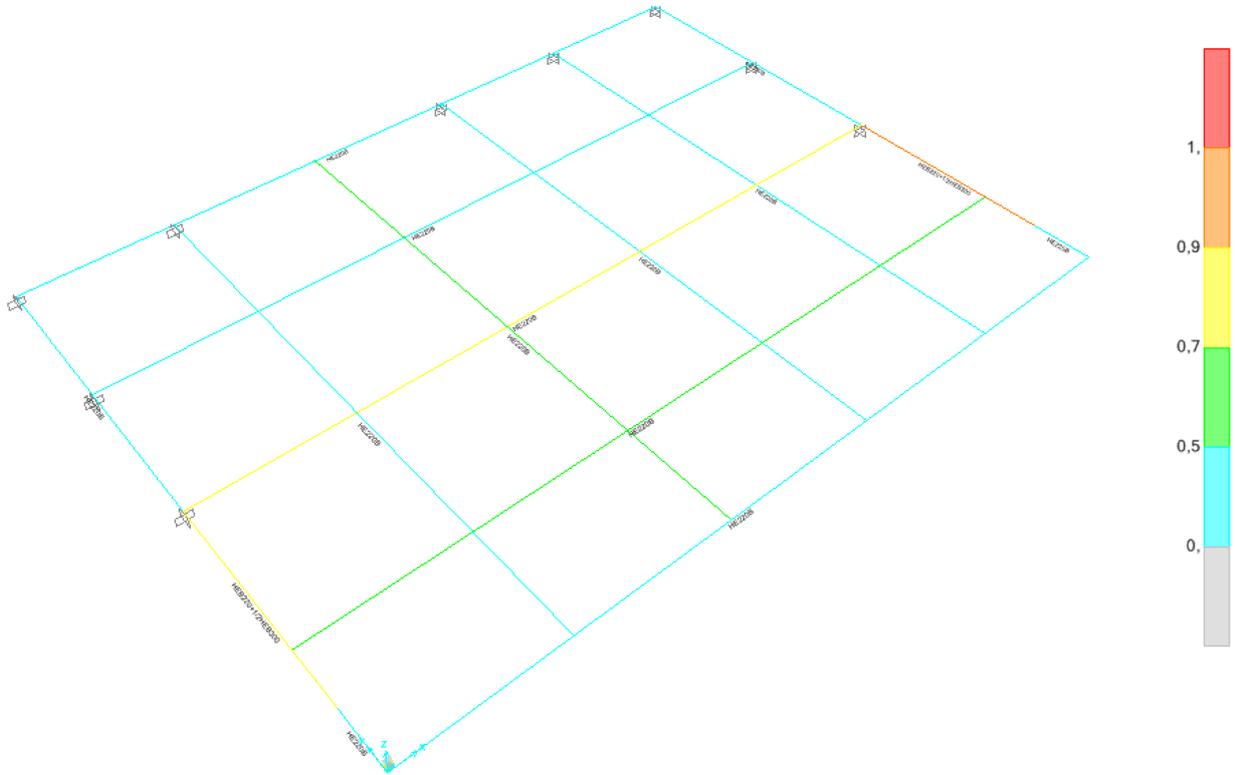


Imagen 68. Resultados de resistencia ménsulas de SAP2000

StCodal

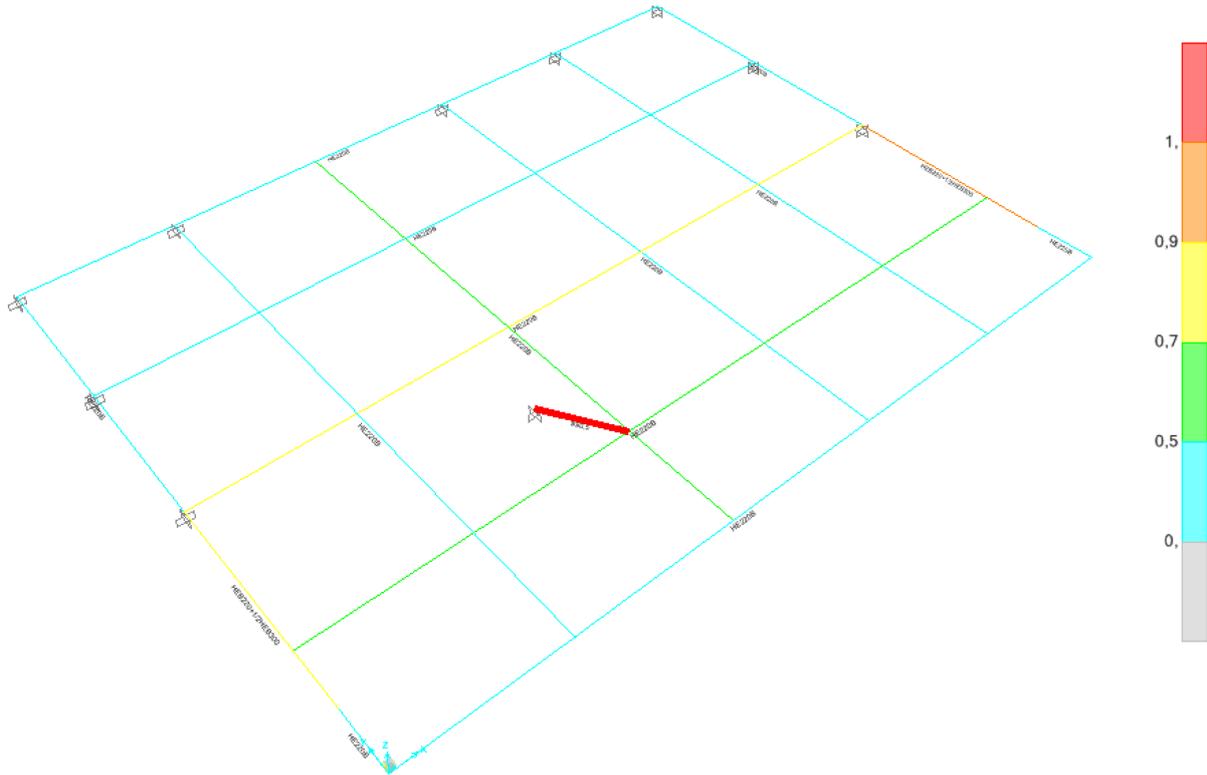


Imagen 69. Resultados de resistencia codal de SAP2000

Steel Stress Check Information (Eurocode 3-2005)

Frame ID: 21 Analysis Section: #90.5
 Design Code: Eurocode 3-2005 Design Section: #90.5

COMBO ID	STATION LOC	----MOMENT RATIO	INTERACTION CHECK =	AXL + B-MAJ + B-MIN	---MAJ-SHR---MIN-SHR- / RATIO	RATIO
ELUvy-	1,25	0,818 (C)	=	0,775 + 0,043 + 0,002	0,000	0,000
ELUvy-	2,50	0,818 (C)	=	0,775 + 0,043 + 0,002	0,002	0,000
ELUunvy+	0,00	2,910 (C)	=	2,653 + 0,256 + 0,025	0,000	0,003
ELUunvy+	1,25	2,913 (C)	=	2,652 + 0,256 + 0,050	0,001	0,003
ELUunvy+	2,50	2,912 (C)	=	2,652 + 0,256 + 0,050	0,002	0,003
ELUunvy-	0,00	3,171 (C)	=	2,859 + 0,311 + 0,026	0,000	0,003
ELUunvy-	1,25	3,174 (C)	=	2,858 + 0,311 + 0,051	0,002	0,003

Buttons: Modify/Show Overwrites (Overwrites), Display Details for Selected Item (Summary, Flexure, Envelope), Display Complete Details (Tabular Data), Stylesheet: Default, Table Format File, Strength (selected), Deflection, OK, Cancel.

Imagen 70. Codal, ventana "Steel Stress Check Information" de SAP2000

En el caso del codal se observa como el factor de saturación de la barra es 3 veces mayor que el permitido por la norma, por este motivo es conveniente incrementar considerablemente el diámetro y el grosor de la sección. Se va a cambiar el perfil tubular circular de #90.5 por uno de #120.15.

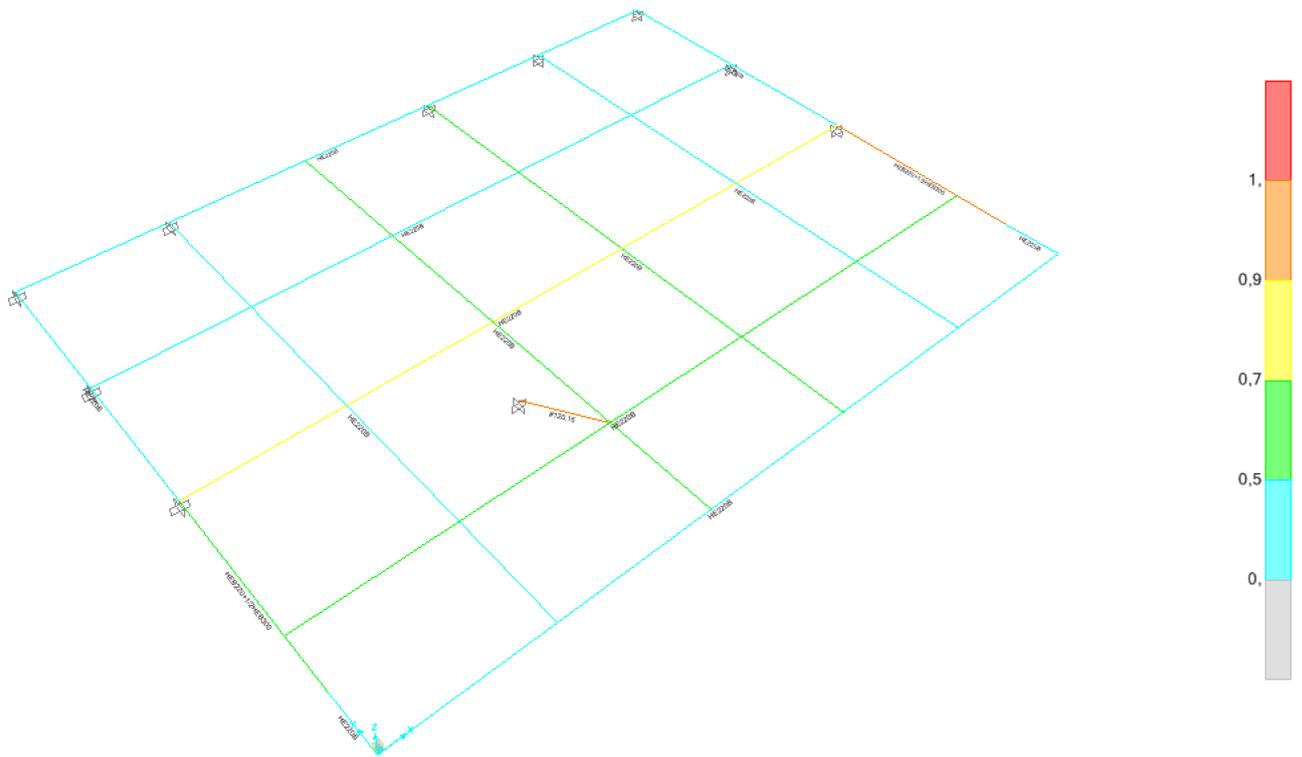


Imagen 71. Resultados de resistencia codal de SAP2000

A pesar de que el codal ya cumple, su sección es considerable. Por este motivo vamos a probar que ocurre con el modelo si lo eliminamos y lo sustituimos por una ménsula como la de los extremos en dicho punto.

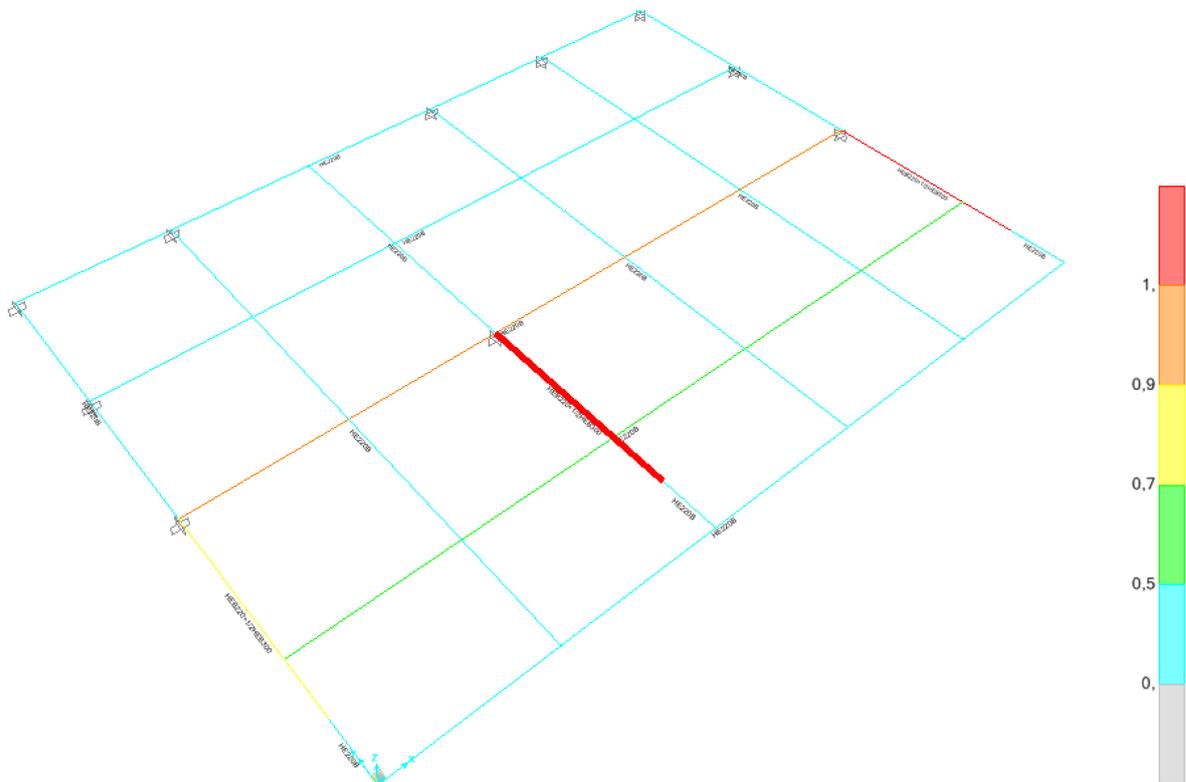


Imagen 72. Resultados de resistencia estructura sin codal de SAP2000

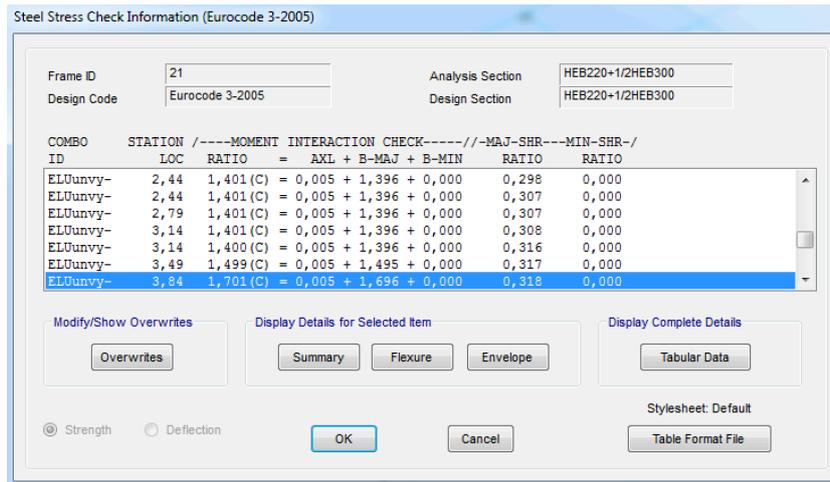


Imagen 73. Ménsula intermedia, ventana "Steel Stress Check Information" de SAP2000

Como observamos en la imagen anterior, la sección compuesta no sería suficiente para satisfacer las limitaciones a resistencia con unos valores que rondan el 170 %, además haría que la ménsula 1 dejara de cumplir por lo que este cambio no supone una mejora en el comportamiento de la estructura, sino lo contrario ya que habría que redimensionar dos barras y esto seguramente resultaría mas costoso. Por lo que resulta más económico y eficaz mantener el codal aunque hayamos aumentado considerablemente su sección. De manera que el dimensionado final de los elementos es el siguiente:

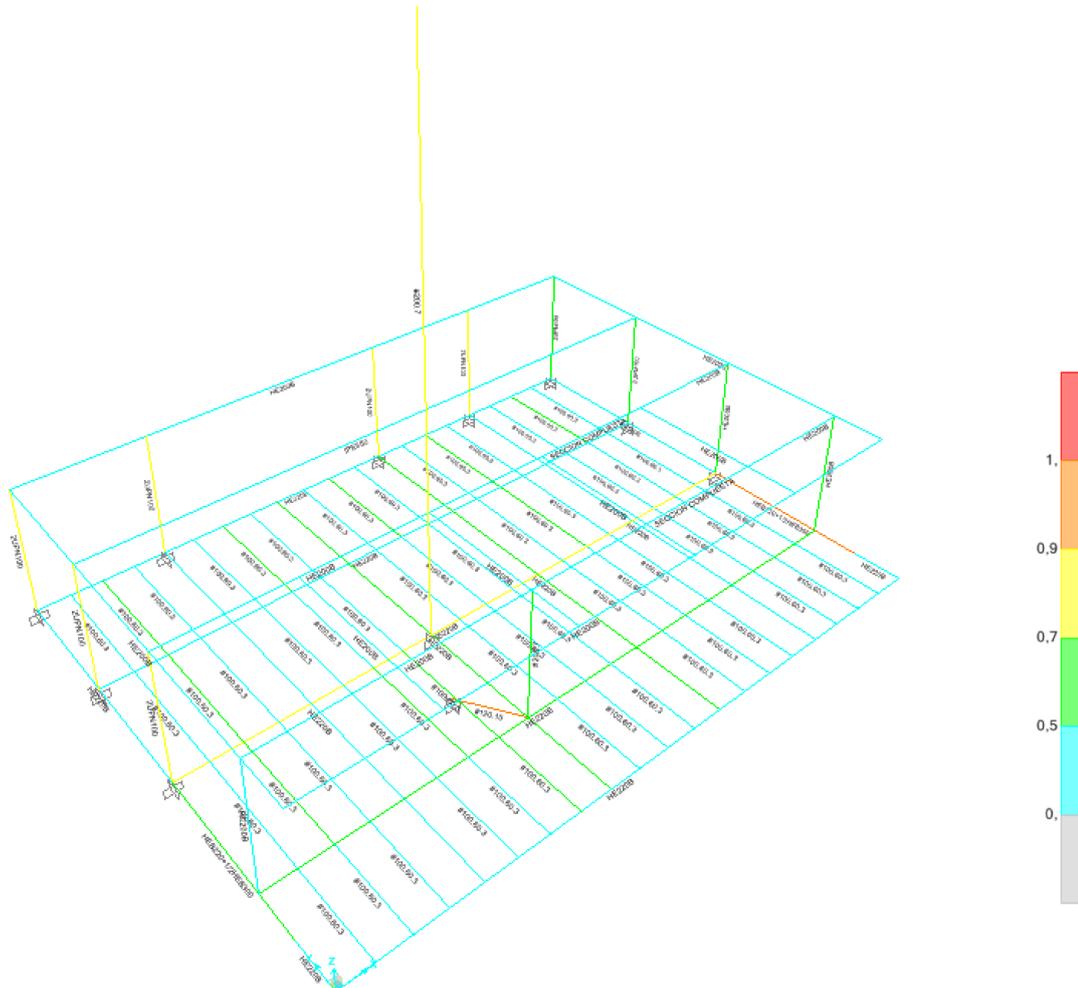


Imagen 74. Resultados de resistencia estructura completa de SAP2000

10. Dimensionado final de los elementos de la estructura metálica

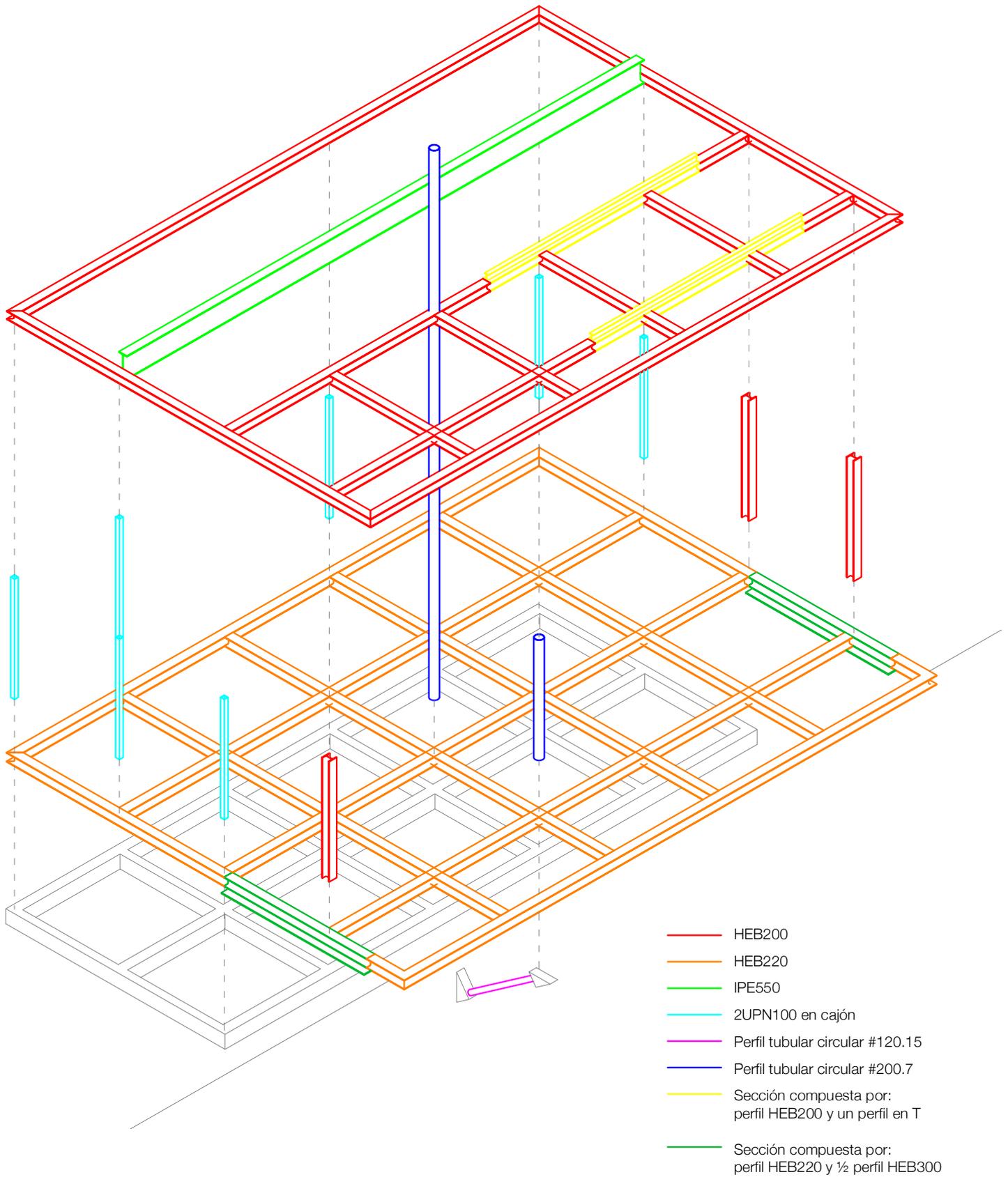


Imagen 75. Axonometría dimensionado final de la estructura con codal de Autocad

11. Conclusiones

En este trabajo se ha estudiado y analizado el comportamiento estructural del edificio del muelle y café en el puerto de Alicante del arquitecto Javier García-Solera. Ha resultado de gran interés el desarrollo de este trabajo ya que se ha indagado a fondo en los diferentes aspectos formales que dieron lugar a la ejecución de esta emblemática obra del panorama español, la cual se caracteriza por estar resuelta con una estructura metálica clave para resolver este pequeño pero singular edificio.

Cabe considerar que a pesar de haber predimensionado el modelo con las secciones que se utilizaron en su momento para llevar a cabo la ejecución del edificio, información obtenida del libro "Construyendo Barcos", algunos elementos principalmente los que constituyen el forjado del plano del suelo no cumplen satisfactoriamente las exigencias que establece el CTE en cuanto a deformación y resistencia. Seguramente no cumple a estas limitaciones actuales debido a que cuando entró en vigor la aplicación del CTE en el año 2006, este edificio ya había sido construido y probablemente cumpliría los requerimientos de una norma anterior la cual sería un poco menos restrictiva. Esto no quiere decir que los elementos que no cumplen se rompan sino que no cumplen con los coeficientes que están definidos en el programa (norma de aplicación).

El análisis estructural se ha llevado a cabo por medio del programa de cálculo SAP2000. Para ello se ha generado un modelo simplificado de la estructura del edificio, mediante líneas y elementos finitos, en el software Autocad. Con este modelo se ha tratado de reproducir lo más fidedignamente posible la geometría del edificio con tal de poder tener un dominio de la estructura que estamos analizando.

Utilizando el programa SAP2000 hemos podido dimensionar las secciones que forman la estructura del edificio de estudio. Para la comprobación tanto a deformación como a resistencia ha resultado muy útil que el programa nos de información del comportamiento de la estructura mediante una escala cromática.

El SAP2000 es una herramienta flexible que no presupone prácticamente nada, por este motivo hay que usarla teniendo conciencia de lo que estamos haciendo en cada momento. Esto implica que debemos tener un conocimiento básico de cómo funcionan las estructuras. Gracias a esto ha sido posible conocer con mayor profundidad cómo trabajan ciertos materiales, que secciones es más conveniente utilizar en ciertos casos e incluso se ha podido indagar en la normativa española obteniendo información tanto del DB SE como del DB SE AE, así como de la norma sismorresistente NCSE-02.

Con este trabajo se ha hecho evidente lo importante que es el sistema estructural en un proyecto, como se ha podido ver en el edificio de estudio, estructura y arquitectura están fuertemente relacionadas llegando a condicionar decisiones proyectuales.

Finalmente cabe mencionar como este trabajo autónomo en el que se ha analizado y calculado una estructura me ha ayudado a ampliar mis conocimientos acerca del cálculo estructural y la herramienta utilizada para ello, SAP2000. Ha resultado de gran utilidad trabajar en este campo, ya que el cálculo de estructuras es un instrumento muy importante a la hora de tomar decisiones estructurales y arquitectónicas, así como de llevar a cabo futuros proyectos ya sea en la elaboración del TFM como en el ámbito laboral.

Bibliografía

Libros, revistas y monografías

Arquitecturas de Autor: Works Javier García-Solera (2002), n.21. Navarra: T6 ediciones. ETS Arquitectura. Universidad de Navarra.

Documentos de arquitectura: Javier García-Solera (2000), n. 45. Almería: Colegio de Arquitectos de Almería

GARCÍA-SOLERA VERA, J. (2005). *Construyendo Barcos*. Valencia: Papeles de Arquitectura, D.L.

JORDÁ SUCH, C. et al. (2017). *Industrias*. Valencia: Editorial UPV.

MARTÍ ARÍS, C. et al. (2007). *Deados. Javier García-Solera. Spanish Architecture*. Almería: Colegio de Arquitectos de Almería.

PEDRERÓ MUÑOZ, A. et al. (2015). *Edificio Germán Bernácer del dibujo y de la obra*. Alicante: Universidad de Alicante.

GALLARDO LLOPIS, D. (2015). *Introducción a SAP2000 para arquitectura*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Recursos en red

AENOR (2009). *Código Técnico de la edificación: Documento Básico de Seguridad Estructural*. CTE DB-SE. Madrid: AENOR

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE.pdf> [Consulta: 25 de julio]

AENOR (2009). *Código Técnico de la edificación: Documento Básico de Seguridad Estructural Acciones en la Edificación*. CTE DB-SE AE. Madrid: AENOR

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-AE.pdf> [Consulta: 27 de julio]

Detail revista de arquitectura y detalles constructivos – Fachadas (2001), n.1.

https://pt.slideshare.net/nata2488/fachadas-revista-de-arquitectura-y-detalles-constructivos?next_slideshow=1

España. (NCSE-02) Norma de Construcción Sismorresistente: parte general y edificación. *BOE*, 11 de octubre de 2002, n. 244, p. 35899-35967.

<http://www.websismo.csic.es/pdfs/NormaconstruccionNCSE02BOE.pdf> [Consulta: 5 de agosto]

GALLEGO, S. Y GARCÍA REDONDO, M (2016). “Javier García-Solera Vera. Casa con invernadero en Lomahermosa” en *Mi primera vez*, 30 de septiembre.

<http://www.miprimavez.es/2014/10/javier-garcia-solera-vera/> [Consulta: 8 de junio de 2018]

GARCÍA-SOLERA VERA, J. (2000). “El aprender gustoso. Texto escrito con motivo de la concesión a Javier García-Solera del premio a la trayectoria profesional del COACV” en *VIAarquitectura*. https://www.viaarquitectura.net/01_prem/01p-056.htm [Consulta: 8 de junio de 2018]

Informes de la construcción: muelle y edificio de servicios en el puerto de Alicante (2004), vol. 55, n. 489.

<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/409/482> [Consulta: 10 de junio de 2018]

MARCOS, C. Y LLORENS, S. (2012). *Entrevista a Javier García-Solera*. Alicante: Universidad de Alicante.

https://www.researchgate.net/publication/282006454_ENTREVISTA_A_JAVIER_GARCIA-SOLERA [Consulta: 10 de junio]

Índice de imágenes

Imagen 1. Javier García-Solera Vera.

Fuente: <https://arqa.ucuenca.edu.ec/wp-content/uploads/2013/09/imagen-03.png>

Imagen 2. Cuaderno de dibujos de Javier García-Solera, detalle del voladizo del Noray

Fuente: construyendo barcos. Ed. Papeles de arquitectura, D.L. 2005.

Imagen 3. Edificio Quorum I, Alicante, 2006-2010.

Fuente: vacarquitectura.es/edificio-quorum-i/

Imagen 4. Edificio de oficinas Benigar, Alicante, 2004-2006.

Fuente: vacarquitectura.es/edificio-de-oficinas-benigar/

Imagen 5. Café del puerto de Alicante, 2004-2006.

Fuente: <https://www.via-arquitectura.net/ara07/036-ara07.htm>

Imagen 6. Instituto L'Alluser, Mutxamel, 2004-2005-2009.

Fuente: www.estructurasingulares.com/en/projects/ies-lallusser/

Imagen 7. Vista exterior Noray café bar. Fotografía propia.

Imagen 8. Encuentro cubierta terraza con el interior. Fotografía propia.

Imagen 9. Vista lateral del edificio. Fotografía propia.

Imagen 10. Proceso de ejecución de la obra.

Fuente: Construyendo barcos. Ed. Papeles de arquitectura, D.L. 2005, p.73.

Imagen 11. Proceso de ejecución de la obra.

Fuente: Construyendo barcos. Ed. Papeles de arquitectura, D.L. 2005, p.73.

Imagen 12. Proceso de ejecución de la obra.

Fuente: Construyendo barcos. Ed. Papeles de arquitectura, D.L. 2005, p.73.

Imagen 13. Planta constructiva. Elaboración propia a partir de los planos que aparecen en el libro Construyendo barcos. Ed. Papeles de arquitectura, D.L. 2005, p. 85.

Imagen 14. Sección dique de contención. Elaboración propia a partir de los planos que aparecen en el libro Construyendo barcos. Ed. Papeles de arquitectura, D.L. 2005, p. 61.

Imagen 15. Placas de anclaje y tomas de tierra. Elaboración propia a partir de los planos que aparecen en el libro Construyendo barcos. Ed. Papeles de arquitectura, D.L. 2005, p. 59.

Imagen 16. Planta baja. Elaboración propia a partir de los planos que aparecen en el libro Construyendo barcos. Ed. Papeles de arquitectura, D.L. 2005, p. 62.

Imagen 17. Cubierta. Elaboración propia a partir de los planos que aparecen en el libro Construyendo barcos. Ed. Papeles de arquitectura, D.L. 2005, p. 64.

Imagen 18. Axonometría explosionada de la estructura. Elaboración propia.

Imagen 19. Detalle canalón cubierta. Elaboración propia a partir de los planos que aparecen en el libro Construyendo barcos. Ed. Papeles de arquitectura, D.L. 2005, p. 100.

Imagen 20. Modelo líneas de Autocad.

- Imagen 21.** Modelo completo de Autocad.
- Imagen 22.** Capas de Autocad.
- Imagen 23.** Modelo de SAP2000.
- Imagen 24.** Propiedades del acero definido de SAP2000.
- Imagen 25.** Propiedades de la sección definida para el perfil HEB-160 de SAP2000.
- Imagen 26.** Propiedades de la sección definida para el perfil HEB-200 de SAP2000.
- Imagen 27.** Propiedades de la sección definida para el perfil IPE-550 de SAP2000.
- Imagen 28.** Propiedades de la sección definida para el perfil tubular 200.7 mms de SAP2000.
- Imagen 29.** Propiedades de la sección definida para el perfil tubular 90.5 mms de SAP2000.
- Imagen 30.** Propiedades de la sección compuesta por perfil HEB-200 y perfil en T de SAP2000.
- Imagen 31.** Propiedades de la sección definida para el perfil 2UPN-100 en cajón de SAP2000.
- Imagen 32.** Propiedades de la sección definida para el perfil 100.60.3 mms de SAP2000.
- Imagen 33.** Propiedades de la sección definida para el perfil HEB-360 de sección variable de SAP2000.
- Imagen 34.** Equivalencia forjados de Excel.
- Imagen 35.** Propiedades de la sección definida para el panel sándwich del forjado de cubierta de SAP2000.
- Imagen 36.** Propiedades de la sección definida para el entarimado de madera del forjado del plano del suelo de SAP2000.
- Imagen 37.** Restricciones de nudos de SAP2000.
- Imagen 38.** Zonas climáticas de invierno de CTE DB SE-AE.
- Imagen 39.** Valor básico de la velocidad del viento, v_b de CTE DB SE-AE.
- Imagen 40.** Mapa de peligrosidad sísmica de NCSE-02.
- Imagen 41.** Coeficiente 1 para el método simplificado de cálculo de NCSE-02.
- Imagen 42.** Valor carga sísmica de Excel.
- Imagen 43.** Ventana "Define Load Patterns" de SAP2000.
- Imagen 44.** Ventana "Define Load Combinations" de SAP2000.
- Imagen 45.** Ventana "Load Combination data" de SAP2000.
- Imagen 46.** Ventana "Load Combination data" de SAP2000
- Imagen 47.** Forjado planta baja, ventana "Deformed Shape"(ELSint) de SAP2000

Imagen 48. Forjado planta baja, ventana “Deformed Shape”(ELSint) de SAP2000

Imagen 49. Forjado cubierta, ventana “Deformed Shape”(ELSint) de SAP2000

Imagen 50. Forjado planta baja, ventana “Deformed Shape”(SCU) de SAP2000

Imagen 51. Forjado planta baja, ventana “Deformed Shape”(SCU) de SAP2000

Imagen 52. Forjado cubierta, ventana “Deformed Shape”(SCU) de SAP2000

Imagen 53. Forjado planta baja, ventana “Deformed Shape”(ELSqpu) de SAP2000

Imagen 54. Forjado cubierta, ventana “Deformed Shape”(ELSqpu) de SAP2000

Imagen 55. Ventana “Deformed Shape”(ELSvx+) de SAP2000.

Imagen 56. Ventana “Deformed Shape”(ELSvx-) de SAP2000.

Imagen 57. Ventana “Deformed Shape”(ELSvy+) de SAP2000.

Imagen 58. Ventana “Deformed Shape”(ELSvy-) de SAP2000.

Imagen 59. Ventana “Deformed Shape”(ELSvx+) de SAP2000.

Imagen 60. Ventana “Deformed Shape”(ELSvx-) de SAP2000.

Imagen 61. Ventana “Deformed Shape”(ELSvy+) de SAP2000.

Imagen 62. Ventana “Deformed Shape”(ELSvy-) de SAP2000.

Imagen 63. Resultados de resistencia estructura completa de SAP2000.

Imagen 64. Ventana “Steel Frame Design Overwrites for Eurocode 3-2005” de SAP2000.

Imagen 65. Resultados 2º peritación de la estructura completa de SAP2000.

Imagen 66. Resultados de resistencia ménsula 1 de SAP2000.

Imagen 67. Ménsula 1, ventana “Steel Stress Check Information” de SAP2000.

Imagen 68. Resultados de resistencia ménsulas de SAP2000.

Imagen 69. Resultados de resistencia codal de SAP2000.

Imagen 70. Codal, ventana “Steel Stress Check Information” de SAP2000.

Imagen 71. Resultados de resistencia codal de SAP2000.

Imagen 72. Resultados de resistencia estructura sin codal de SAP2000.

Imagen 73. Ménsula intermedia, ventana “Steel Stress Check Information” de SAP2000.

Imagen 74. Resultados de resistencia estructura completa de SAP2000.

Imagen 75. Axonometría dimensionado final de la estructura con codal de Autocad.

Índice de tablas

Tabla 1. Espesor máximo de chapas de CTE DB SE-AE

Tabla 2. Valores característicos de las sobrecargas de uso de CTE DB SE-AE

Tabla 3. Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal de CTE DB SE-AE

Tabla 4. Coeficientes para tipo de entorno de CTE DB SE-AE

Tabla 5. Paramentos verticales de CTE DB SE-AE

Tabla 6. Marquesinas a un agua de CTE DB SE-AE

Tabla 7. Coeficientes del terreno de NCSE-02

Tabla 8. Valores del coeficiente de respuesta de NCSE-02

Tabla 9. Coeficientes de simultaneidad (Ψ) de NCSE-02