



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



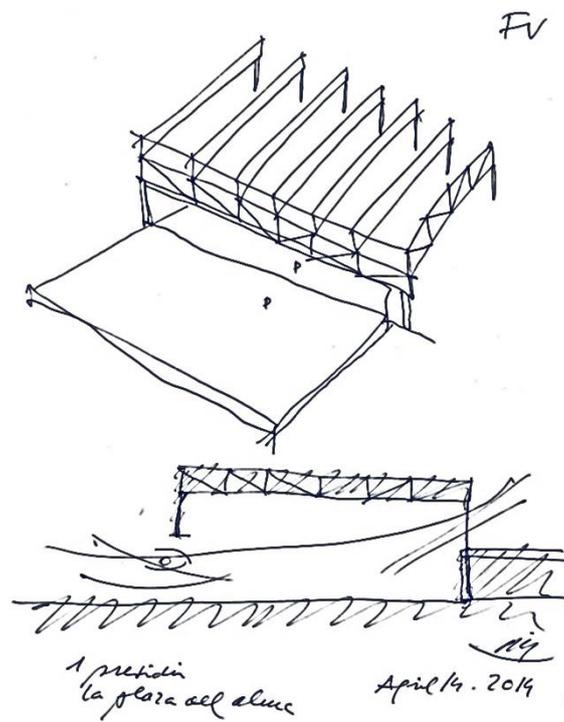
ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR  
D'ARQUITECTURA

Estudio, análisis y modelización mediante **SAP2000** de la estructura del  
**Pabellón Polideportivo y Aulario de la Universidad Francisco de  
Vitoria - Alberto Campo Baeza**

Trabajo Final de Grado | Grado en Fundamentos de la Arquitectura | 2021/2022

**Autora** Verónica Durán Pallarés

**Tutor** David Gallardo Llopis



Dedicado a Cris, por abrirnos camino  
desde segundo de carrera.  
A Arancha por ser compañera  
de batallas.

# Índice

<b>01_Análisis arquitectónico</b>	<b>7</b>
01.1 Análisis del arquitecto	7
01.2 Análisis de la obra   Pabellón Polideportivo y Aulario de la Universidad Francisco de Vitoria	13
<b>02_Análisis estructural y constructivo</b>	<b>23</b>
02.1 Definición del sistema estructural	23
02.2 Construcción	25
<b>03_Modelo de análisis</b>	<b>29</b>
03.1 Geometría en AutoCAD	29
03.2 Inserción de materiales y secciones en SAP2000	34
03.3 Condiciones de enlace en SAP2000	39
03.4 Inserción de cargas en SAP2000	40
03.5 Combinación de acciones	64
03.5.1 Inserción de combinaciones en SAP 2000	68
<b>04_Resultados de deformación</b>	<b>69</b>
04.1 Comprobación de flechas relativas	70
04.2 Comprobación de desplomes	75
<b>05_Resultados de resistencia</b>	<b>77</b>
05.1 Peritación de elementos metálicos	77
<b>06_Conclusiones</b>	<b>81</b>
<b>07_Bibliografía</b>	<b>83</b>
<b>08_Índice de tablas</b>	<b>84</b>
<b>09_Índice de figuras</b>	<b>85</b>

# Estudio, análisis y modelización mediante SAP2000 de la estructura del Pabellón Polideportivo y Aulario de la Universidad Francisco de Vitoria

—  
**Alberto Campo Baeza**

## Resumen

El objetivo de este trabajo es estudiar, analizar y comprobar la validez de la estructura de un edificio representativo de la arquitectura contemporánea mediante el programa de cálculo SAP2000.

La obra de estudio es El Pabellón y Aulario de la Universidad Francisco de Vitoria, ubicado en Pozuelo, Madrid, es un edificio proyectado por el arquitecto Alberto Campo Baeza en 2012 y finalizado en el año 2017.

El Pabellón y el Aulario de la Universidad Francisco de Vitoria se compone de dos cajas con estructuras diferentes, que se unen por la planta baja configurando un único edificio. En esta obra, encontraremos dos tipos de estructura: por un lado, la estructura de acero en el volumen principal y por otro lado el aulario, la planta baja y sótanos realizados con estructura de hormigón armado.

Se analizan las geometrías que conforman el edificio mediante la herramienta AutoCAD. A partir de los resultados del análisis se extraen conclusiones sobre la validez del modelo y la respuesta estructural del edificio.

## Palabras clave

SAP2000 | Análisis estructural | Campo Baeza | Pabellón polideportivo | Estructura metálica | Estructura de hormigón

# Estudi, anàlisi y modelització mitjançant SAP2000 de l'estructura del Pabelló Poliesportiu y Aulari de l'universitat Francisco de Vitoria

-  
**Alberto Campo Baeza**

## Resum

L'objectiu d'aquest treball és analitzar, estudiar i comprovar la validesa de l'estructura d'un edifici representatiu de l'arquitectura contemporània mitjançant el programa de càlcul SAP2000.

L'obra d'estudi es El pabelló y Aulari de l'universitat Francisco de Vitoria, ubicat a Pozuelo, Madrid, és un edifici projectat per l'arquitecte Alberto CampoBaeza a 2012 y finalitzat a l'any 2017.

El Pavelló i l'Aulari de la Universitat Francesc de Vitòria es compon de dues caixes amb estructures diferents, que s'uneixen per la planta baixa configurant un únic edifici. En aquesta obra, trobarem dos tipus d'estructura: d'una banda, l'estructura d'acer en el volum principal i d'altra banda l'aulari i la planta baixa i soterranis realitzats amb estructura de formigó armat.

S'analitzen les geometries que conformen l'edifici mitjançant l'eina AutoCad. A partir dels resultats de l'anàlisi s'extrauen conclusions sobre la validesa del model i la resposta estructural de l'edifici.

## Paraules clau

SAP2000 | Anàlisi estructural | Campo Baeza | Estructura metàl·lica | Estructura de formigó

# Study, analysis and modeling using SAP2000 of the structure of the Sports Pavilion and Lecture Hall of the Francisco de Vitoria University

-

**Alberto Campo Baeza**

## **Abstract**

The objective of this dissertation is to study, analyze and check the validity of the structure of a building that represents contemporary architecture using the SAP2000 calculation program.

The building is The Pavilion and Lecture Hall of the Francisco de Vitoria University, located y Pozuelo, Madrid, it is a building projected by the architect Alberto Campo Baeza in 2012 and completed in 2017.

The Pavilion and the Lecture Hall of the Francisco de Vitoria University are made up of two boxes with different structures, which are joined on the ground floor to form a single building. In this work, we will find two types of structure: on the one hand, the steel structure in the main volume and on the other hand, the lecture hall, the ground floor and basements made of reinforced concrete structure.

The geometries that make up the building are analyzed using the Autocad tool. From the results of the analysis, conclusions are drawn about the validity of the model and the structural answer of the building.

## **Keywords**

SAP2000 | Structural analysis | Campo Baeza | Steel structure | Concrete structure

## 01\_Análisis arquitectónico

### 01.1 Análisis del arquitecto



Figura 1. Alberto Campo Baeza. (s.f.). [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/biografia/>

El arquitecto Alberto Campo Baeza es originario de Valladolid, donde su abuelo ejercía como arquitecto. A partir de los 2 años, se trasladó a Cádiz por motivos laborales de sus progenitores, lugar dónde descubrió la importancia de la luz sobre la arquitectura. Heredó de su padre, que era cirujano, la capacidad de análisis y de su madre la determinación de dedicarse a la arquitectura.

Posteriormente, en Madrid, comenzó a estudiar arquitectura en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura (ETSAM). Durante su etapa universitaria, tuvo prestigiosos e ilustres profesores tales como Alejandro de la Sota y Julio Cano Lasso, logrando terminar su carrera y ejercer como profesor en la ETSAM con tan solo 30 años. Su etapa docente estuvo caracterizada por su movilidad internacional, impartiendo clase en grandes universidades de todo el mundo, como la Universidad de Pennsylvania, Kansas y Washington D.C., entre muchas otras. Además, realizó dos estancias como investigador en la Universidad de Nueva York.

A lo largo de su carrera, ha recibido importantes reconocimientos como son el “Gold Lion”, “Tessenow Gold Medal”, “Arnold W. Brunner Memorial Prize”, etc. Asimismo, sus proyectos han sido muy reconocidos como es el caso de las Casas de Turégano y de Blás, ambas en Madrid, el Centro e Innovación Tecnológica, situado en Mallorca, el Museo de la Memoria de Andalucía, en Granada, etc., exponiendo su trabajo en lugares emblemáticos como la en la prestigiosa MA Gallery de Toto en Tokyo y la Academia Americana de Artes y Letras.

Ha publicado numerosos libros de texto como “La Idea Construida”, “Principia Architectonica” o “Poetica Architectonica”. Algunos de ellos cuentan ya con más de 30 ediciones y traducciones a varios idiomas como inglés o chino.

Todos sus éxitos cosechados responden a su lema de considerar la arquitectura como idea constructiva, atribuyendo a la luz y a la gravedad como los principales materiales que conforman el tiempo y el espacio respectivamente.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Riera Ojeda, O. (Ed.). (2015). Campo Baeza: Complete Works. Thames & Hudson.

A través de su obra se puede ver que entiende la arquitectura de una manera muy especial. Para él, la arquitectura es la labor más hermosa del mundo. Ordenar los territorios, las ciudades, las casas. La arquitectura es ordenar con la cabeza y la razón es el instrumento principal con el que tenemos que trabajar para establecer ese orden. Define su arquitectura como sencilla, sobria o austera, fundamentada en la herencia modernista de los grandes arquitectos españoles, Alejandro de la Sota, Sáenz de Oiza, Coderch, etc., de los cuales hereda el carácter de la arquitectura lacónico, esto es breve y conciso, pero nunca minimalista.

Según analiza Jesús Aparicio en *El alquimista del espacio* podemos encontrar 4 miradas sobre la arquitectura de Campo Baeza:

#### A. La mirada del arquitecto sobre la función y el lugar.

Alberto Campo Baeza lanza una doble mirada en la que la abstracción intelectual se combina sabiamente con la experiencia sensorial. En sus espacios construidos pensando en el ser humano, se incorpora esta doble visión combinando universalidad, geometría, proporción y particularidad. Siguiendo estas ideas, la arquitectura de Campo Baeza representa e interpreta simultáneamente tanto la función que cumple como el lugar en el que se encuentra, considerando al lugar como una posibilidad única e irreplicable. Algunas de sus obras más canónicas son el resultado de una comprensión idónea de lugares que no son precisamente idílicos. El trabajo de los buenos arquitectos organiza las funciones y construye la armonía en el lugar si no existía previamente, y en el caso de los lugares privilegiados, subraya su belleza. En la obra de Campo Baeza encontramos numerosos ejemplos de cómo realizar esta tarea nada sencilla.

Uno de ellos es la Casa Blas en Madrid, del año 2000, esta casa es una respuesta al lugar en el que se asienta. En lo alto de una colina al suroeste de Madrid con espléndidas vistas a la sierra. Se crea una caja de cristal en un plano que mira al horizonte donde se albergan los espacios de día y los separa de la caja de hormigón en la que se encuentran los espacios más privados. También, en el IES Drago en Cádiz, del año 1992, situada en un contexto urbano, combina una función que requiere concentración con la condición innegable de su situación frente al mar.



Figura 2. Callejas, J. (2000). Casa Blas. [Fotografía].  
<https://www.campobaeza.com/es/blas-house/>



Figura 3. Callejas, J. (1992). IES Drago. [Fotografía].  
<https://www.campobaeza.com/es/drago-public-school/>

## B. El orden de la materia: estructura, geometría y luz.

Hay un triple orden en la arquitectura de Campo Baeza. El de la estructura, el de la geometría y el de la luz. El primero pertenece a la cualidad resistente del material, el segundo, se lleva a cabo según una abstracción de la geometría y el tercero experimenta con el material y las posibilidades de la naturaleza. De cualquier manera, todos construyen un orden común: el orden del espacio arquitectónico. Tras analizar las variables constantes del proyecto como la función y lugar, luz y gravedad, Campo Baeza diseña una arquitectura de geometría y estructura, de formas puras creadas por y para el hombre. La geometría que define las líneas de la estructura en la arquitectura de Campo Baeza está caracterizada por una gran sobriedad material. Por esto, no es extraño que sus paredes estén hechas con ladrillo tosco, revestido y pintado de blanco y que los suelos sean de piedra de Cabra, en color arena claro.

Una de sus grandes obras maestras, la Casa Turégano, proyectada en 1998, genera su estructura a partir de la luz y el lugar. La casa se sitúa en un volumen cúbico de 9 metros cuyo perímetro es el resultado de las solicitaciones lumínicas y topográficas. Otros ejemplos en los que la luz y la geometría conviven con intensidad comparable son el museo NMAC, proyectado en 2006, o la guardería Benetton, del año 2007.

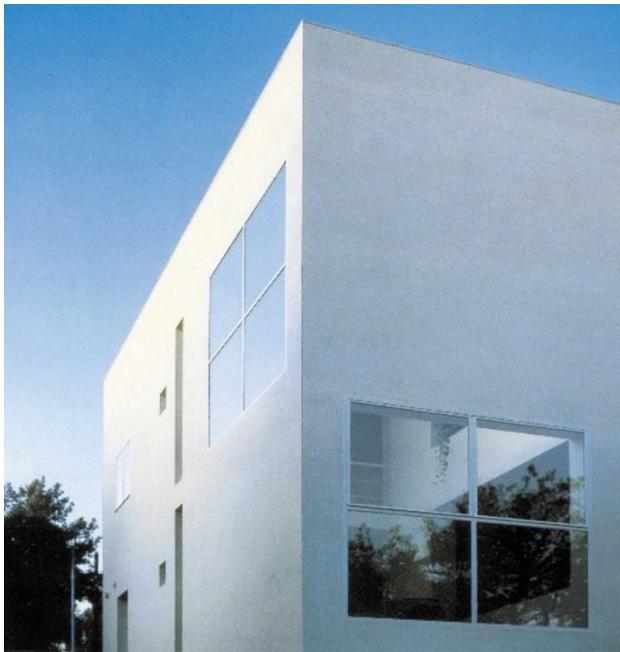


Figura 5. Suzuki, H, EACB. (1988). Casa Turégano [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/turegano-house/>

C.



Figura 4. Suzuki, H, Zanta, M. (1988). Guardería Benetton [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/turegano-house/>

### C.Cajas, Planos y recintos.

Las obras de Campo Baeza se componen de 3 elementos distintos que varían según las sensaciones que pretende conseguir en el espacio. La caja se caracteriza por construirse con un volumen puro que suele ser cúbico, dota con ella al espacio de un cambio de escala que se construye con la dimensión vertical, la cual se muestra mediante la luz que la recorre. Estas cajas a veces se revelan hacia el exterior como un espacio único que constituye el proyecto y otras quedan ocultas alternándose con la edificación. Otro espacio propio de la obra de Campo Baeza es el plano horizontal de suelo sin bordes. Si la caja es el espacio de la extensión vertical y de la luz, el plano es el espacio de la extensión horizontal y de la mirada: el espacio del hombre.

En este sentido encontramos ejemplos de planos como la nueva sede del Grupo SM, proyectada en el año 2003, o la Casa del Infinito (2014), obras en las que destacan los elementos horizontales que se extienden hasta el infinito. También el Consejo Consultivo de Castilla y León, del año 2012, en el que encontramos dentro del recinto de piedra, la caja de vidrio.



Figura 7. Callejas, J. (2012). Consejo Consultivo de Castilla y León. [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/offices-zamora/>

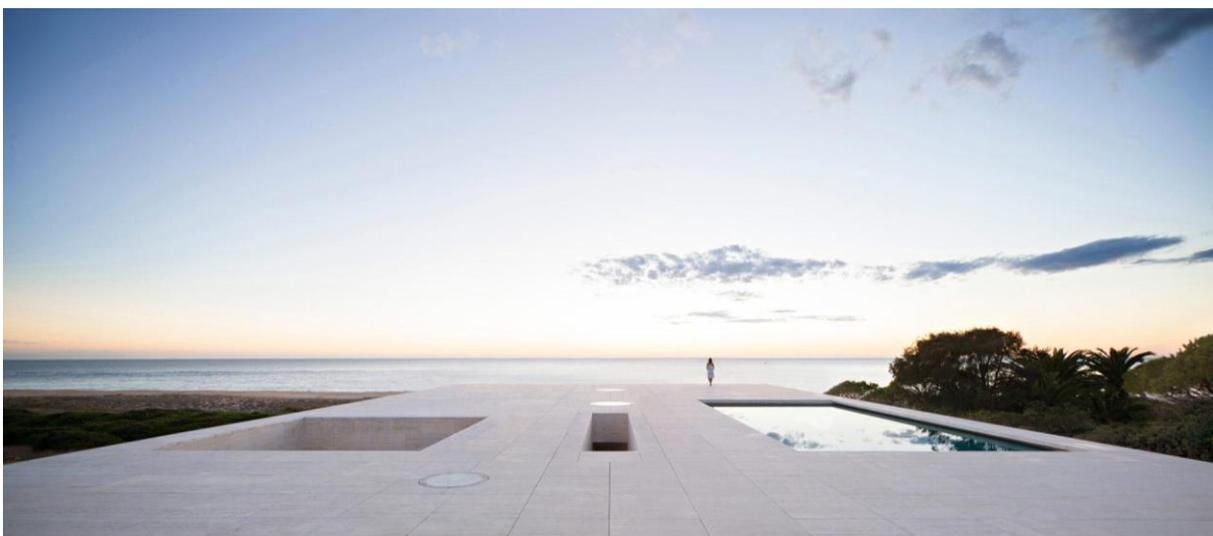


Figura 6. Callejas, J. (2014). Casa del Infinito. [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/house-infinite/>

#### D. Compacidad y expansión

Alberto Campo Baeza decide la administración de los espacios con una espléndida sobriedad. Existen una clara división en todos sus proyectos entre el espacio servido y el espacio de servicio. El primero aparece siempre generoso en sus dimensiones, con otra escala, sin ser caprichoso, dota de sentido a todo el conjunto. Estos son los espacios que mejor resumen su arquitectura.

Estos generosos y medidos espacios servidos suelen ser vestíbulos de edificios públicos, como el Ayuntamiento de Fene o la Caja de ahorros de Granada. Patios, como el que aparece en el Museo de la memoria de Andalucía (2010). O espacios entre dos planos que ofrecen una vista en la distancia, existentes en la última planta de la Torre Telefónica o en el edificio de SM.

Con referencia a las casas, los espacios se convierten en espléndidos en su calidad y dimensiones como zonas de estar o el espacio sombreado entre dos patios luminosos en la Casa Gaspar o la Casa Guerrero, o en el espacio vital sobre el campo de golf en la Casa Asencio, o el que da al río Hudson en Olnick Spanu.



Figura 9. Callejas, J. (2010). Patio del Museo de la Memoria de Andalucía, Granada. [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/andalucias-museum-memory/>



Figura 8. Callejas, J., Suzuki, H. (2008). Vistas al río Hudson de la Casa Olnick Spanu, Nueva York. [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/olnick-spanu-house/>

Todas estas miradas resultan en una obra que trasciende la expresión de una época y un lugar porque pertenece a lo universal y a lo eterno. De esta manera, las cualidades explícitas de luz, vista, cerramiento y peso se convierten no solo en el lenguaje de los proyectos, sino su sustancia misma. Campo Baeza ha conseguido desarrollar una arquitectura con un lenguaje propio, personal e impersonal. Un lenguaje arquitectónico autónomo y no contextual, sin embargo, logra establecer una relación poderosa con su entorno. De hecho, parece que la naturaleza elemental de la arquitectura permite al arquitecto involucrar el lugar como parte de su composición.

Según David Chipperfield en *Beautiful Isolation*, la obra de Campo Baeza provoca una seducción en el espectador consecuencia de la forma explícita en la que se plasman sus intenciones, no dejando lugar a confusión. En cada edificio, anuncia sus intenciones y las resuelve de forma clara y directa, transmitiéndola a los usuarios en la experiencia de estar dentro del edificio. Además, la poderosa relación con el entorno y el contexto del edificio permite al arquitecto involucrar al lugar como parte de su composición, tanto de manera tangible como inefable. Estas ideas Campo Baeza las consigue con muy pocos elementos que utiliza para abstraer, subrayar o transformar un lugar: una caja, un plano o un marco. Estos austeros y económicos elementos arquitectónicos construidos logran sus objetivos eficazmente y son el “más con menos” al que el arquitecto se suele referir.

*“Propongo una Arquitectura **ESENCIAL** de **IDEA**, **LUZ** y **ESPACIO**. De idea construida, materializada en espacios esenciales animados por la Luz. Una Arquitectura que tiene en la **IDEA** su origen, en la **LUZ** su primer material, en el **ESPACIO ESENCIAL** la voluntad de conseguir el **MÁS CON MENOS**.”*  
(Campo Baeza, 2010)

## 01.2 Análisis de la obra | Pabellón Polideportivo y Aulario de la Universidad Francisco de Vitoria



Figura 10. Callejas, J. (2016). Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

### DATOS TÉCNICOS

Arquitecto: Alberto Campo Baeza.  
Situación: Pozuelo, Madrid, Spain.  
Cliente: Universidad Francisco de Vitoria (UFV).  
Proyecto: 2012.  
Construcción: 2016.  
Superficie: 9.000m<sup>2</sup>.  
Estructura: Andrés Rubio Morán.  
Ingeniería: Úrculo Ingenieros.  
Aparejador: Francisco Melchor Gallego.  
Consultor vidrios: José Pablo Calvo Busello.  
Constructor: Clásica Urbana.  
Project manager: Francisco Navarro Sánchez.  
Fotógrafo: Javier Callejas.<sup>2</sup>

El Pabellón Polideportivo y Aulario de la Universidad Francisco de Vitoria fue proyectado por Alberto Campo Baeza en Pozuelo de Alarcón en 2012. Se trata de un edificio de gran sobriedad volumétrica que se alinea con la ordenación del campus en el que se encuentra, pero que destaca por cómo Campo Baeza trabajó con luz y consiguió crear un polideportivo muy luminoso, algo muy poco común en esta tipología de edificios.

Volumétricamente, el edificio está compuesto por un zócalo rectangular de 50x70 metros, que contiene la planta baja al completo, de la cual crecen dos cajas separadas entre sí por un “patio alto” que funciona como punto clave para introducir luz en la calle-corredor de acceso, mediante unos lucernarios que generan una idea de continuidad con el exterior. En las dos cajas superiores se observa una diferenciación en cuanto a materialidad, siendo una más opaca y otra más transparente, como en su funcionalidad; la primera y menor de ellas se enfoca en las zonas más dedicadas a la docencia, acoge el aulario y las salas de trabajo, y la segunda alberga los usos deportivos.

<sup>2</sup> Datos extraídos de <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>.

Poniendo atención a la segunda y la más interesante de las cajas, ya que es el volumen principal del proyecto, se puede percibir que el tema central a la hora de diseñar este polideportivo era la luz y generar una caja transparente muy luminosa, tal y como Campo Baeza lo describe en su página: “Un gran espacio diáfano hecho de luz”. Se trata de una caja de luz translúcida de dimensiones 60x50x12 metros que además de incluir los usos de pistas deportivas, gimnasios, salas polivalentes, piscina, también se puede utilizar como gran sala de usos múltiples y reuniones vinculados con actividades universitarias.



Figura 11. Callejas, J. (2016). Pista deportiva como “gran caja de luz”. Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

Se trata de una pieza ligera proyectada con dos fachadas translúcidas a norte, que permiten pasar la cantidad luz necesaria hacia el interior de una manera uniforme gracias a la materialidad. Las otras dos fachadas a sur, a pesar de que la primera intención fue realizarlas igualmente translúcidas, se realizan opacas ya que era necesario tener una cierta sostenibilidad, y se forran de paneles acústicos que tienen la propiedad de absorber la cantidad adecuada de ruido en una zona diáfana destinada a un uso tan ruidoso como el deporte.

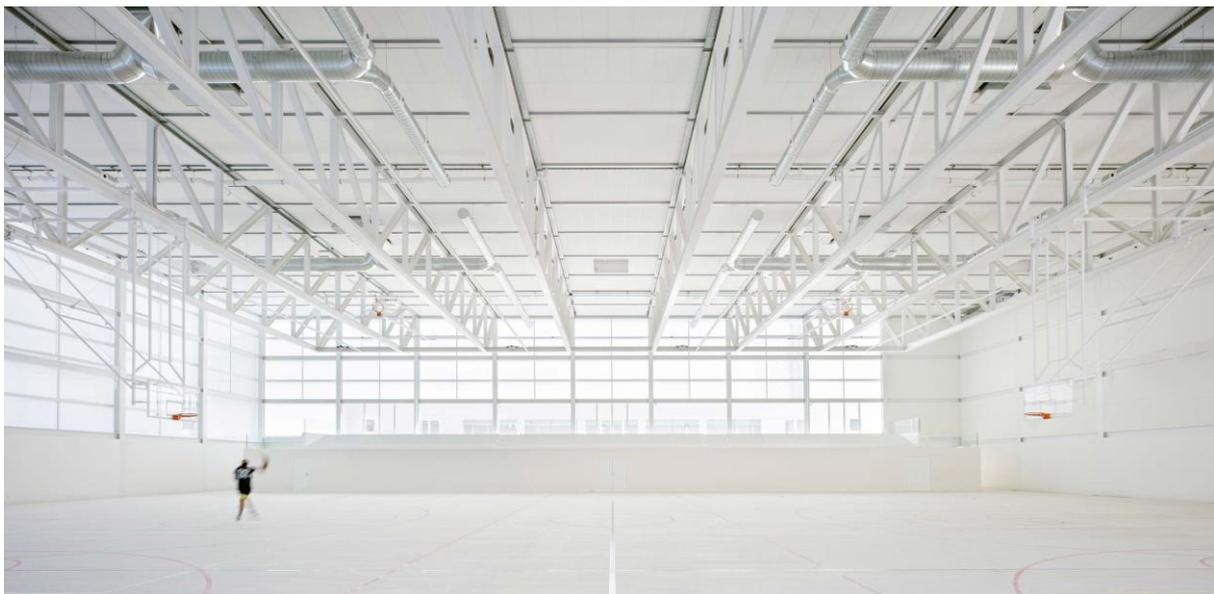


Figura 12. Callejas, J. (2016). Pista deportiva del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

Además, para potenciar el efecto de luminosidad en el interior del pabellón, se decide pintar todos los elementos (estructura, cerramientos y suelo) de color blanco, color con el que Campo Baeza trabaja en muchas de sus obras ya que potencia los efectos de la luz, la atrapa y la refleja.



Figura 13. Callejas, J. (2016). Fachada norte de la pista deportiva del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

Otra de las intenciones que se buscaba en este proyecto, es la sensación de ligereza en un espacio tan grande como el que se nos presenta. Por esta razón, juega con dos materiales: el hormigón para configurar los espacios estáticos definidos por una función de manera más pesada (planta baja y caja de docencia) y el acero que se utiliza para representar la ligereza de un espacio dinámico y polivalente (caja deportiva).

Gracias al uso de la estructura de acero en el pabellón, complementa su trabajo realizado con las fachadas traslúcidas con la luz, a través de una banda de vidrio transparente que abre en la parte baja que permite el paso de más luz y establece la relación entre el interior y el exterior del edificio. También potencia la sensación de ligereza con eliminando el pilar de la esquina (al igual que realizó en el Consejo Consultivo de Castilla y León en Zamora) ya que recibe menos carga.



Figura 14. Callejas, J. (2016). Esquina de la Pista deportiva del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

Se trata de un proyecto de contrastes y relaciones en el que podemos ver muchas de las características propias de la arquitectura de Campo Baeza, y detalles con los que el arquitecto consigue crear una obra de sensaciones con los elementos más simples y siempre buscando el “más con el menos”.



Figura 15. Pista deportiva del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>



Figura 16. Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

## SITUACIÓN

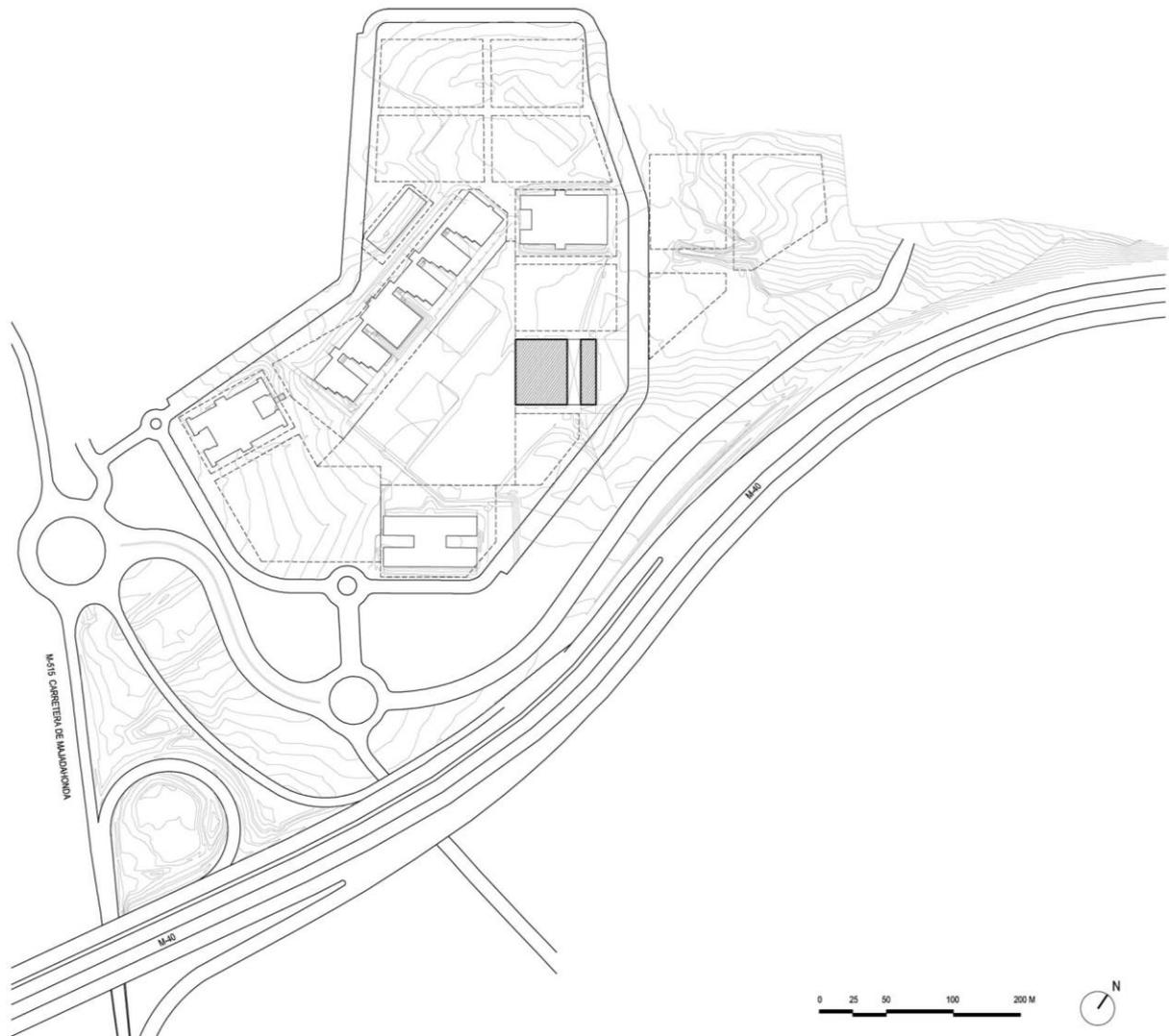


Figura 17. Plano de situación del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV ubicado en Pozuelo de Alarcón (Madrid).  
<https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

### PLANTA -1

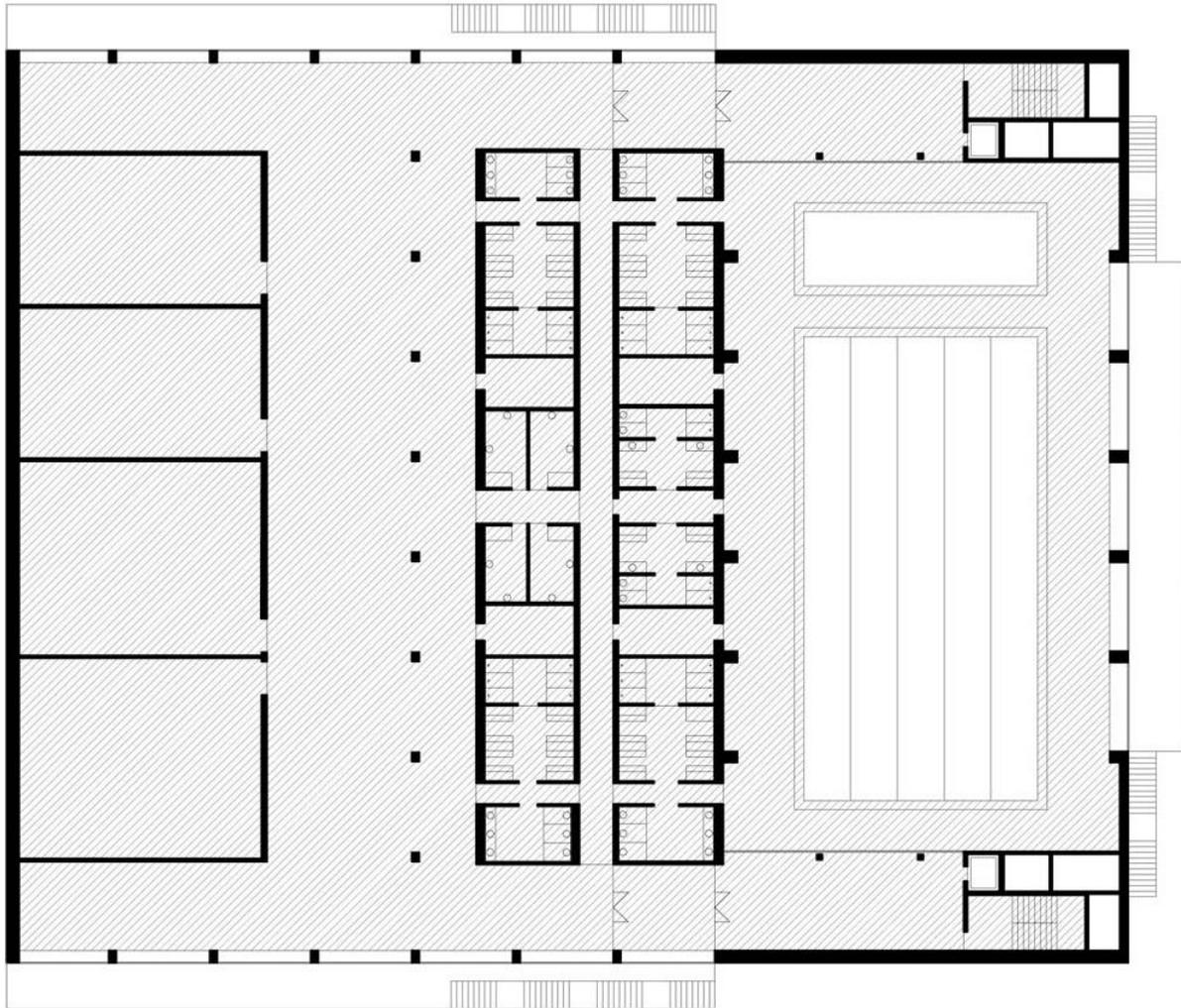


Figura 18. Planta -1 del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

### PLANTA 0

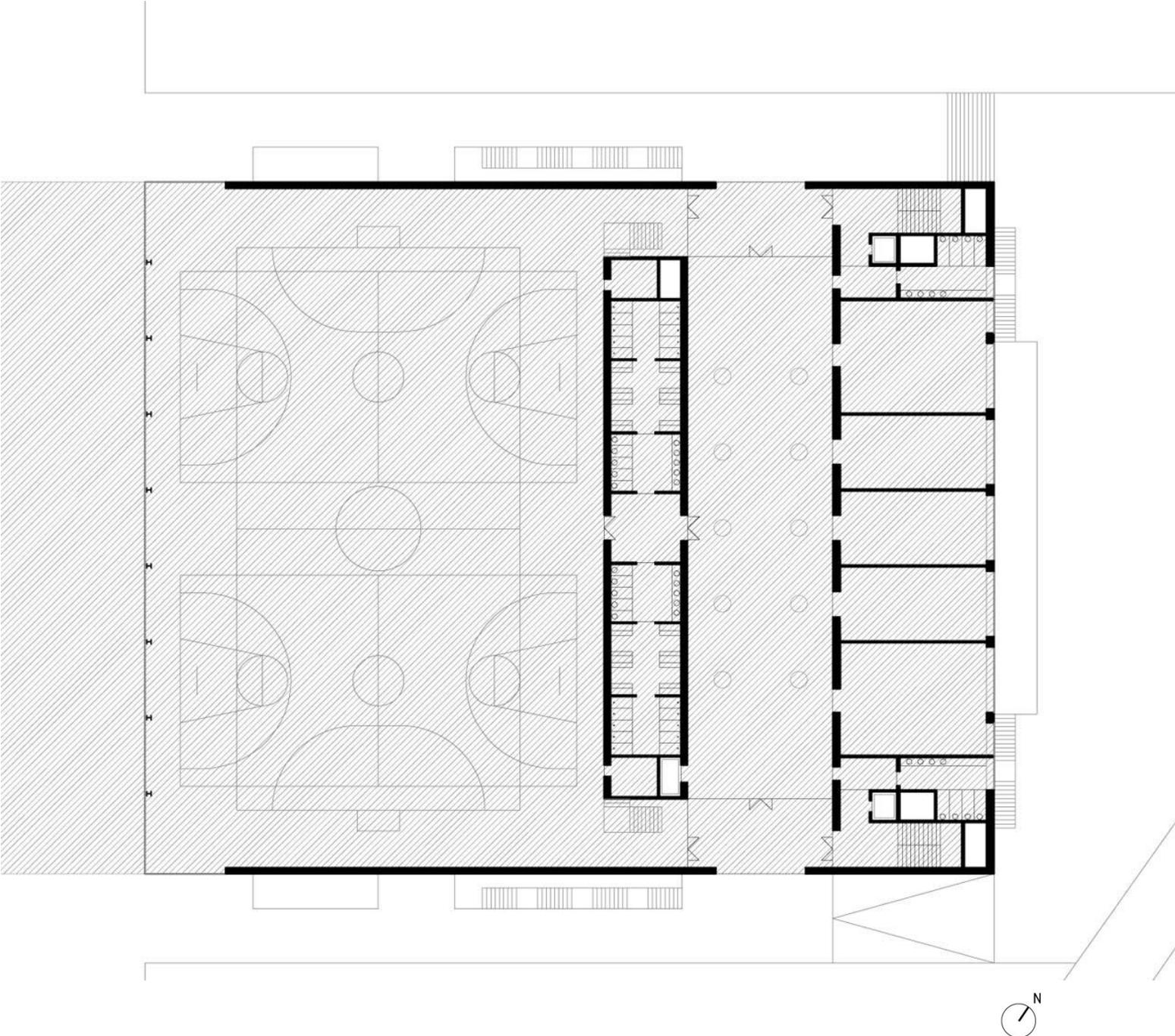


Figura 19.Planta 0 del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

**PLANTA +1**

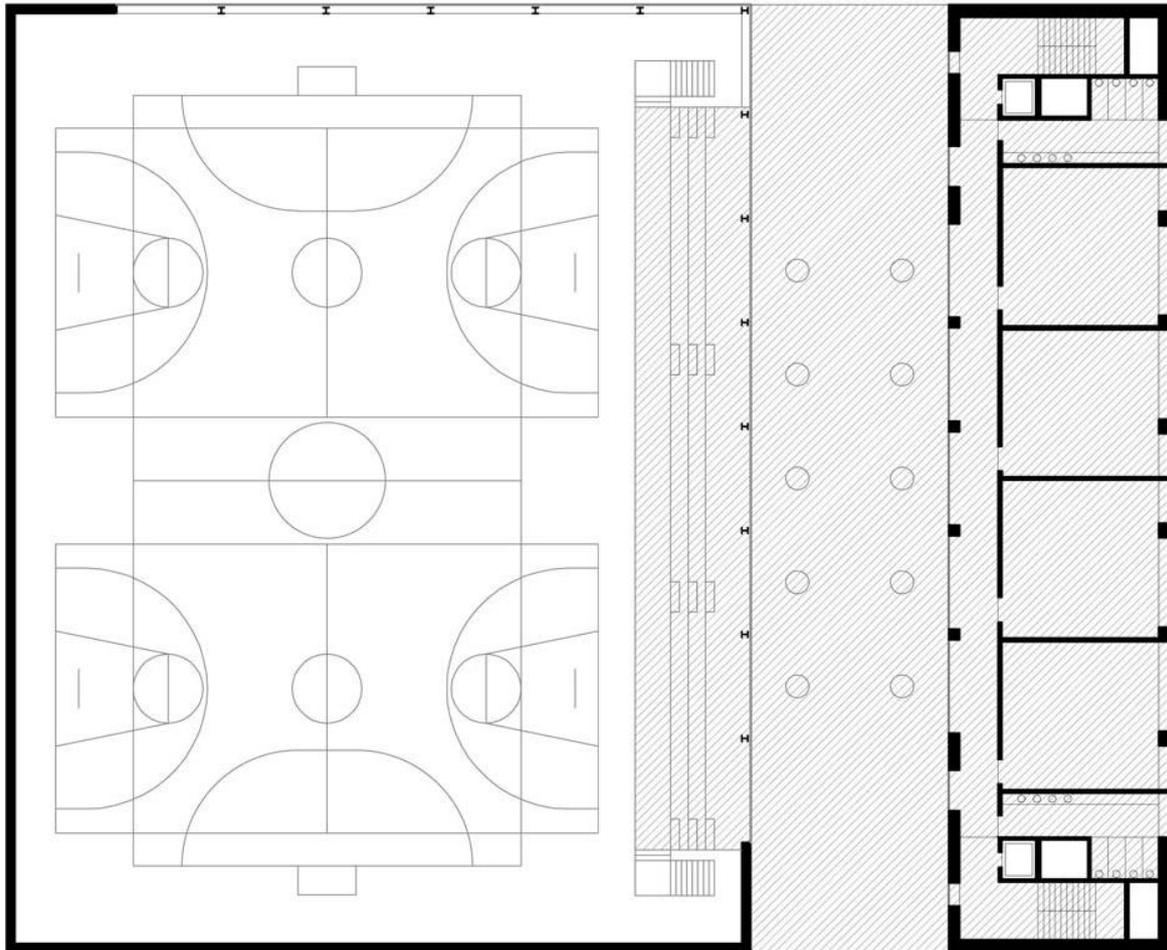


Figura 20.Planta +1 del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

### ALZADO NOROESTE

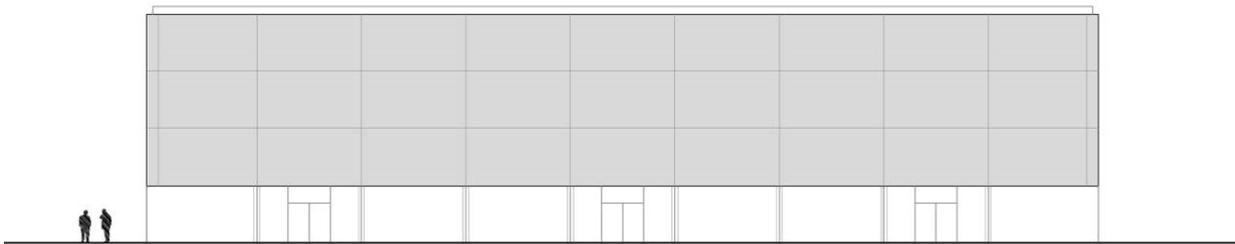


Figura 21. Alzado Noroeste del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

### ALZADO SUROESTE

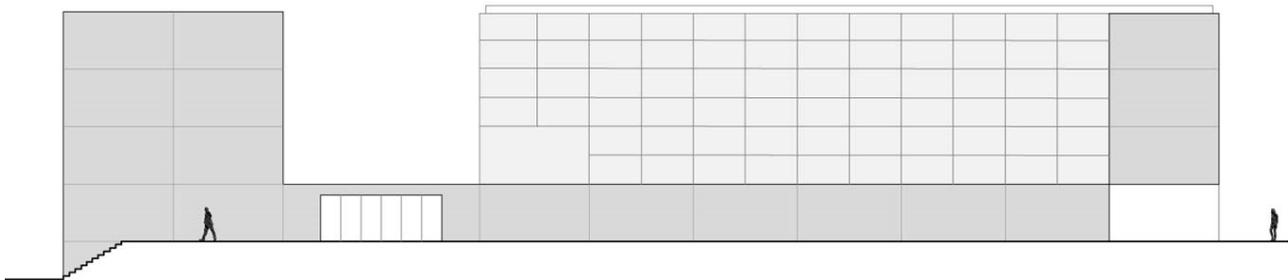


Figura 22. Alzado suroeste del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

### SECCIÓN LONGITUDINAL

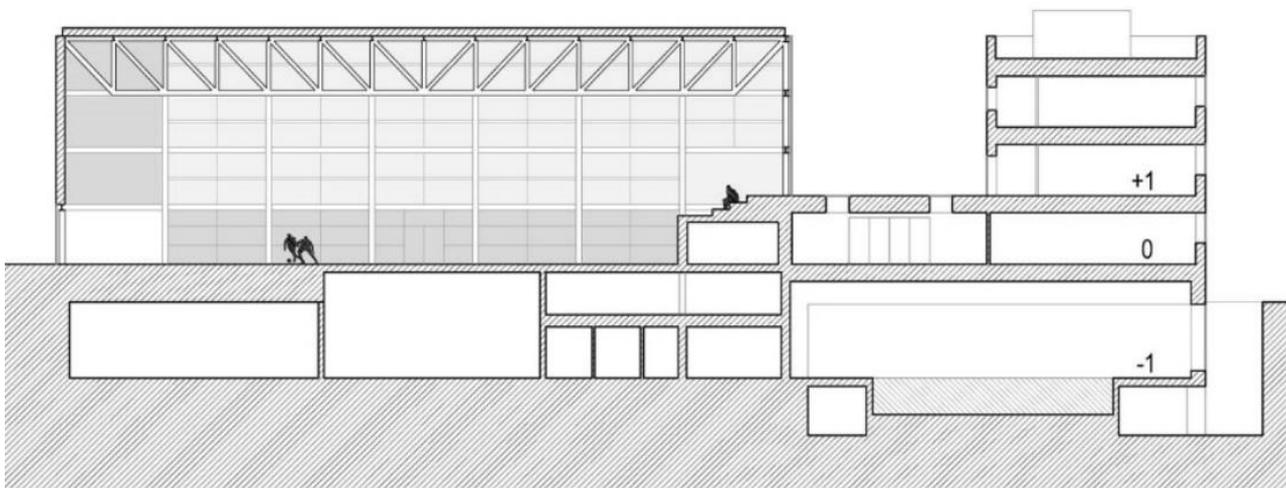


Figura 23. Sección longitudinal del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

## 02\_Análisis estructural y constructivo

### 02.1 Definición del sistema estructural

Como se ha explicado anteriormente, el Pabellón y el Aulario de la Universidad Francisco de Vitoria se compone de dos cajas con estructuras diferentes, que se unen por la planta baja configurando un único edificio. En esta obra, encontraremos dos tipos de estructura: por un lado, la estructura de acero en el volumen principal y por otro lado el aulario y la planta baja y sótanos realizados con estructura de hormigón armado.

La estructura del pabellón polideportivo está compuesta por una retícula de pilares y vigas de acero en las fachadas y cerchas de gran canto, 2,85 metros también de acero, en las cubiertas. Estas cerchas, calculadas por Andrés Rubio consiguen cubrir grandes luces sin apoyos intermedios y transmiten una sensación de ligereza al espacio. Esta decisión de utilizar el acero y elementos finos viene dada a partir de la búsqueda para encontrar la solución más sencilla, lógica y económica, además permite que el edificio del pabellón se conecte con el exterior de una forma muy directa y limpia creando una sensación interior-exterior agradable. A pesar de la intención de realizar esta zona del proyecto con materiales ligeros, el graderío del pabellón finalmente se realiza con una losa de hormigón armado HA-35 de 25 centímetros de espesor.

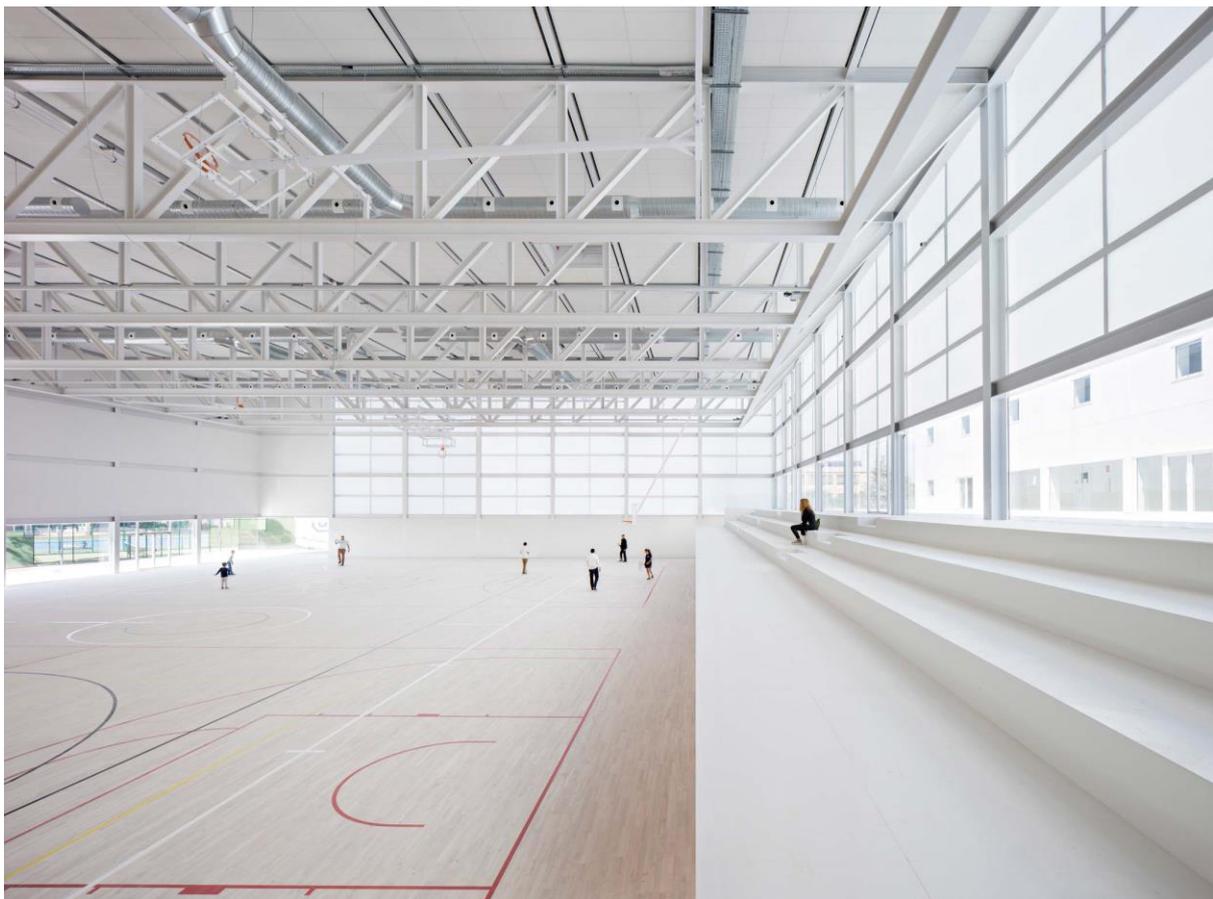


Figura 24. Callejas, J. (2016). Pista deportiva y graderío del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

En la zona del aulario, la planta baja y los sótanos se decide utilizar una solución más pesada y estable como es el hormigón armado, según Campo Baeza: “la piedra del siglo XX”.

Esta dualidad estructural, genera un contraste entre las distintas zonas, enfrentando lo pesado y lo ligero, el hormigón y el acero. En esta segunda parte encontramos varios tipos de forjados: en la planta sótano encontramos un forjado unidireccional de viguetas pretensadas, y en las plantas de la caja del aulario y planta baja encontramos forjados reticulares con bloque aligerante perdido. Es interesante mencionar en la parte del proyecto realizada en hormigón, la solución llevada a cabo en la zona de la piscina, en la que se tenían que cubrir grandes luces sin apoyos, para ello se plantean vigas de gran canto de 2 metros apoyadas sobre los pilares del aulario, los cuales tienen una dimensión de 100 x 60 centímetros.



Figura 25. Callejas, J. (2016). Piscina del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

## 02.2 Construcción

Como ya se ha comentado anteriormente la dualidad estructural que podemos encontrar en este proyecto, en el que se enfrentan lo pesado y lo ligero, el hormigón y el acero. Al igual que en la estructura esta dualidad se refleja en el resto de los materiales.

CUADRO DE CARACTERISTICAS					
MATERIALES				COEFICIENTES	
HORMIGON	CIMENTACIÓN	HA-25/P/20/IIa	$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$	1.50	0 a 1.50 (1)
	MUROS EN CONTACTO CON EL TERRENO	HA-35/B/20/IIa	$f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$		
	RESTO DE ESTRUCTURA	HA-35/B/20/I			
ACERO	CORRUGADO (2)	B-500S	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	1.15	
	LAMINADO	S 275	$f_y = 275 \text{ N/mm}^2$	1.05	
CONTROL ESTADISTICO-NORMAL				Minoración resistencia	Mayoración de acciones
OBSERVACIONES (1) VALORES LIMITES SEGUN TIPO DE ACCIONES/COMBINACIONES (EHE, Art.12-CTE DB-SE, Art 4) (2) CON SELLO CIETSID					

Figura 26. Cuadro de materiales empleados en el Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

Fijándonos en las distintas fachadas del edificio encontramos distintos sistemas que reflejan las ideas del proyecto. En la caja del aulario encontramos una fachada compuesta por paneles prefabricados de GRC acabados en color blanco sobre bastidores metálicos, doble capa de aislamiento térmico de fibra de vidrio hidrofugado y trasdosado de playa de cartón-yeso. Se trata de una fachada que transmite una sensación opaca y pesada, al igual que la estructura de hormigón que lo sustenta.



Figura 27. Callejas, J. (2016). Fachada opaca del Aulario en contraposición de la fachada transparente de la pista deportiva del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

Por otro lado, en la caja del polideportivo el sistema de la fachada es mucho más ligera; por un lado, tenemos las dos fachadas opacas hacia el sur, realizadas también de panel de GCR aligerado y forradas de un sistema de paneles acústicos Ecophon, de la casa Saint Gobain, que dota al espacio diáfano de unas propiedades fónicas muy buenas, el mismo sistema se utiliza en los techos. Las dos fachadas al norte se realizan con vidrio translúcido en la parte superior y transparente en la parte inferior, utilizando un sistema de vidrio doble con cámara de aire pegado con una lámina de butiral, Sistema Climalit Stadip Butiral, con este tipo de vidrio conseguía una esquina muy limpia y continua.



Figura 28. Callejas, J. (2016). Encuentro fachadas y esquina del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

En general, se trata de un proyecto ejecutado con muchísima precisión, definido con mucho detalle, algo que se refleja en la calidad de la obra y los efectos que consigue transmitir con ella.



Figura 29. Callejas, J. (2016). Colocación cerchas Pabellón UFV. [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

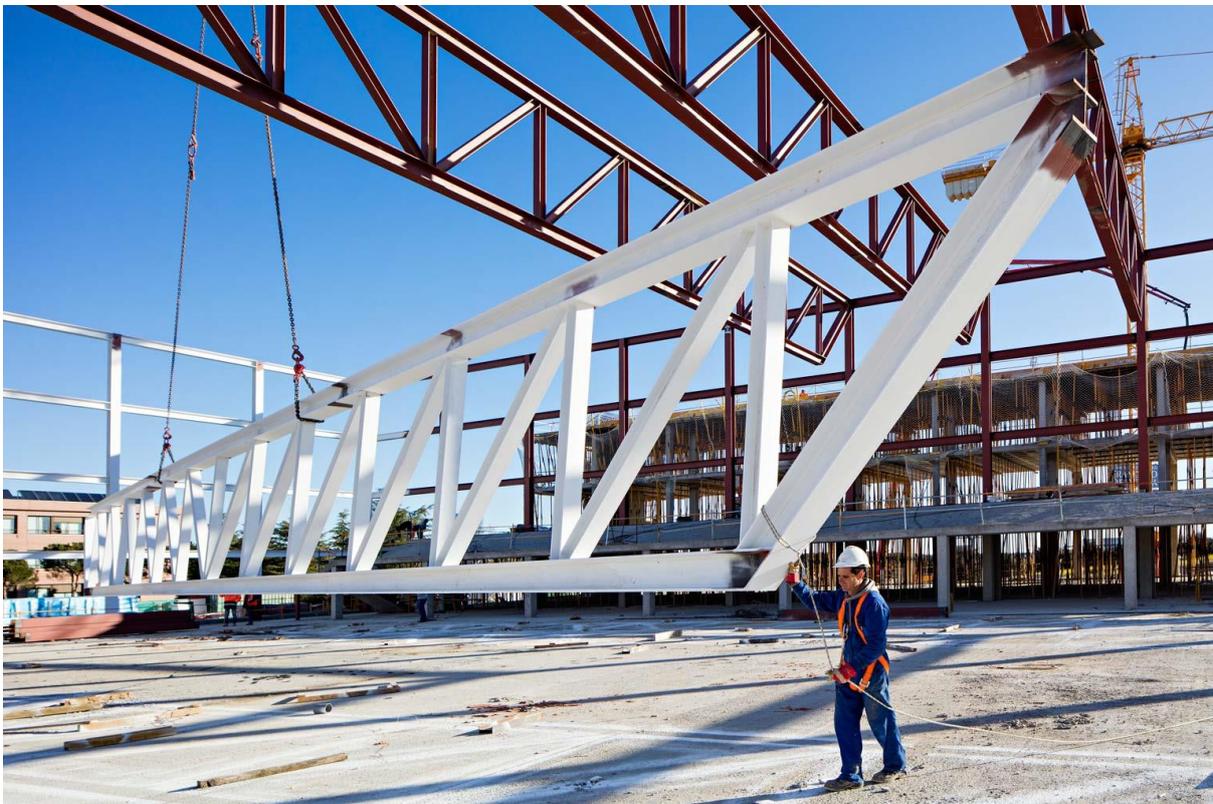


Figura 30. Callejas, J. (2016). Colocación cerchas Pabellón UFV. [Fotografía]. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>



Figura 31. Callejas, J. (2016). Esquina estructura metálica Pabellón UFV. [Fotografía].  
<https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>

## 03\_Modelo de análisis

### 03.1 Geometría en AutoCAD

Para la realización de la geometría del Pabellón Polideportivo y Aulario de la Universidad Francisco de Vitoria se ha utilizado el software AutoCAD, desarrollado por Autodesk. El modelo se ha desarrollado mediante las entidades de dibujo “línea” y “3dcara”. Utilizando líneas para representar elementos lineales y elementos finitos planos para los elementos superficiales.

Se ha realizado la geometría del edificio a partir de la planimetría existente de la manera más rigurosa posible. El modelo no debe fijar la realidad visual sino la realidad estructural, y esta es la que refleja correctamente la conectividad del modelo. Se debe poner especial atención a todas las conexiones entre elementos y asegurar las conexiones correctas.

Para realizar el modelo se parte de ejes que se sitúan a un módulo de 5,40 metros en ambas direcciones y otros intermedios que van variando en su distancia. A partir de estas dimensiones se han ido dibujando los elementos lineales en primer lugar, utilizando dimensiones exactas.

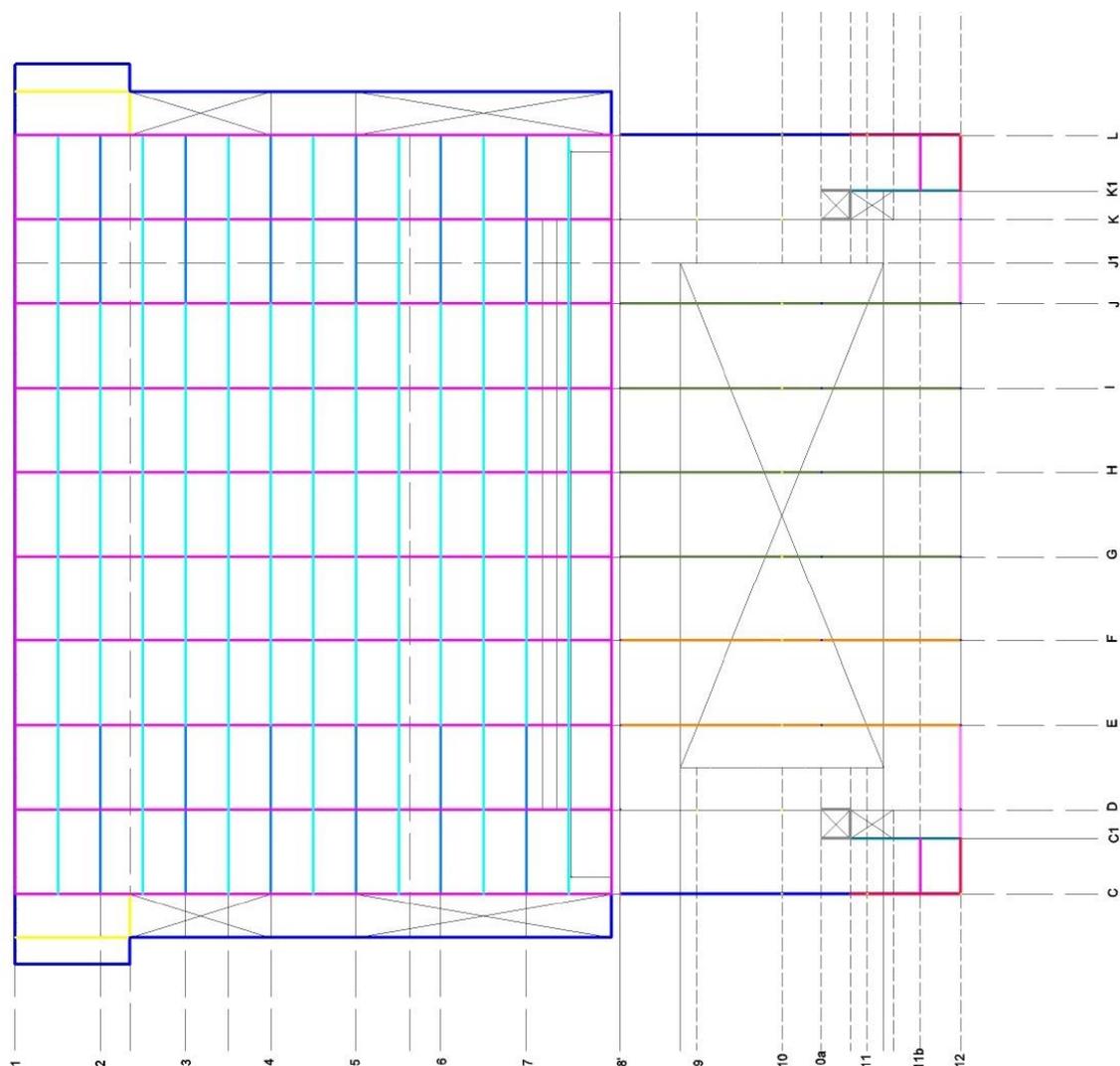


Figura 32. Ejes de partida para el desarrollo del modelo de cálculo. [Extraído de AutoCAD].

Para modelar los pilares y vigas tanto metálicas como de hormigón, al tratarse de elementos lineales se ha utilizado el comando “LÍNEA” situándola en sus ejes. Para modelar los forjados, al tratarse de elementos superficiales se ha utilizado el comando “3DCARA”. Todos los elementos del forjado tienen que estar en el mismo nivel por esto se elige un nivel representativo de todos. En todos los casos se han considerado sus caras superiores, excepto en el volumen del pabellón polideportivo que se cierra con un forjado ultraligero. La cercha es la protagonista por esto el nivel representativo será el de sus ejes. De esta forma se obtiene una mayor precisión para reflejar la realidad de conexiones.

Se dibujan los elementos de las mismas características agrupados en distintas capas en AutoCAD, así al importar el modelo a SAP2000 aparecerán como grupos directamente. Para la realización de las capas se deben realizar las mínimas posibles, pero tantas como sean necesarias para manejar elementos de diferentes características de categoría equivalente. Al existir muchos tipos de secciones diferentes en pilares y vigas de hormigón, difícilmente seleccionables mediante una ventana en SAP2000, se opta por crear las diferentes capas en AutoCAD para cada tipo de sección. Las capas correspondientes a todos los elementos lineales son:

 stBarras HEB 140	 stPilares H30x25	 stVigas H25x40
 stBarras HEB 160	 stPilares H30x30	 stVigas H30x35
 stBarras HEB 180	 stPilares H30x35	 stVigas H30x55
 stBarras HEB 300	 stPilares H30x40	 stVigas H40x25
 stPHC 100.4	 stPilares H30x50	 stVigas H50x75
	 stPilares H35x45	 stVigas H50x100
	 stPilares H40x60	 stVigas H50x200
	 stPilares H40x65	 stVigas H60x50
	 stPilares H90x60	 stVigas H60x240
	 stPilares H100x60	 stVigas H65x63
		 stVigas H65x75

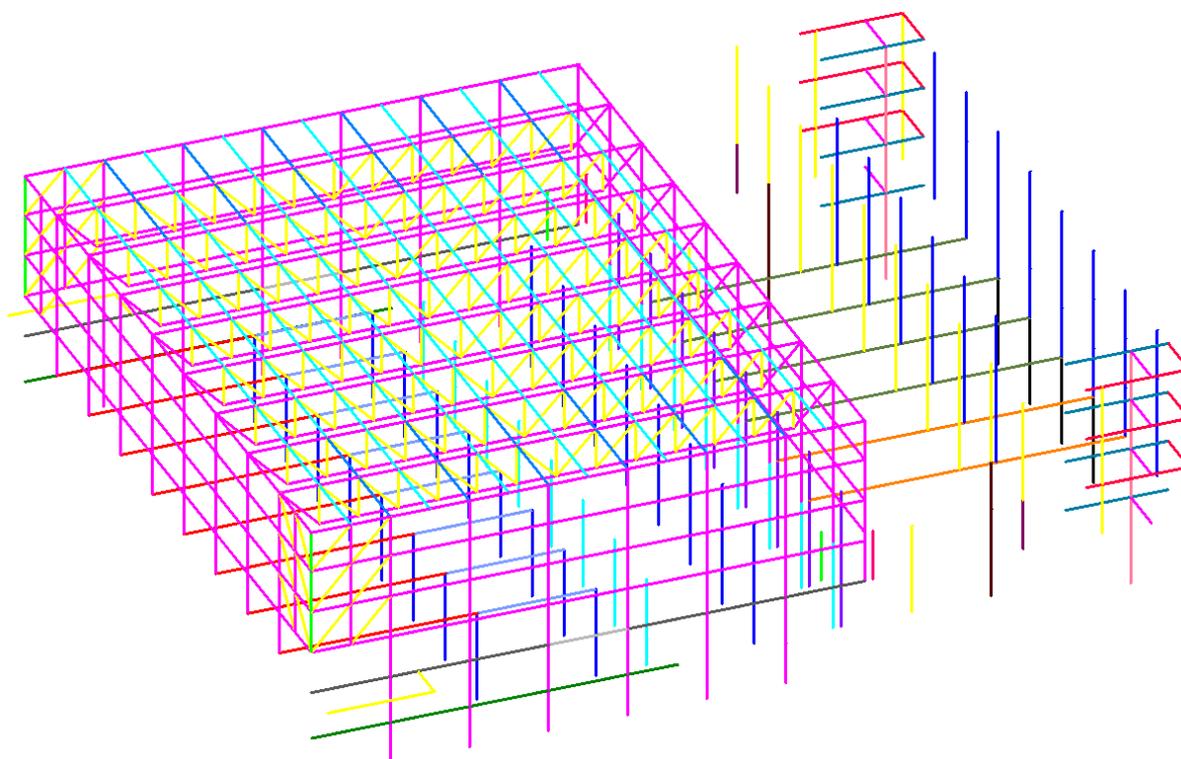


Figura 33. Elementos lineales del modelo de cálculo. [Extraído de AutoCAD].

Las capas correspondientes a todos los elementos finitos son:

- stF. Semirres.Pretens. 1
- stF. Semirres.Pretens. 2
- stForj Losa 25 cm
- stForj Losa 30 cm
  
- stForj Reticular 25+5
- stMuro 45 cm
- stMuro 60 cm
- stMuro ascensor 25 cm

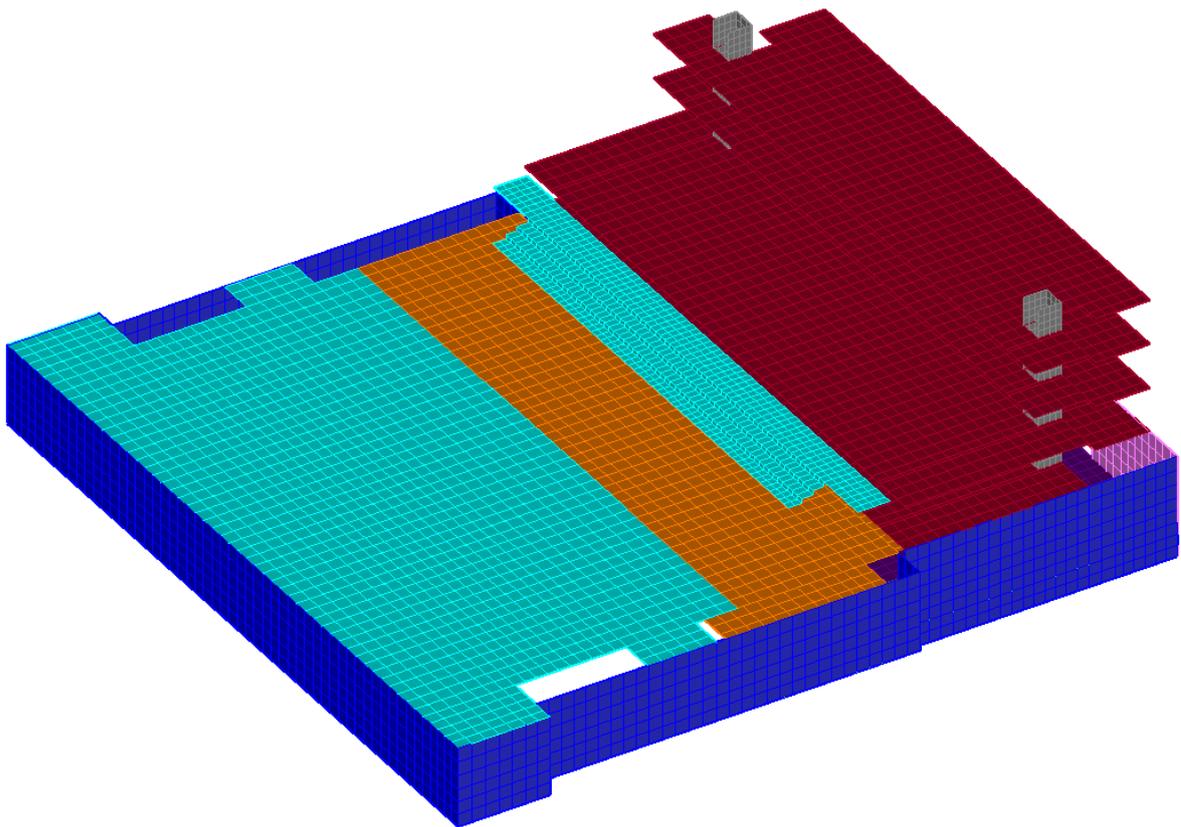


Figura 34. Elementos finitos del modelo de cálculo. [Extraído de AutoCAD].

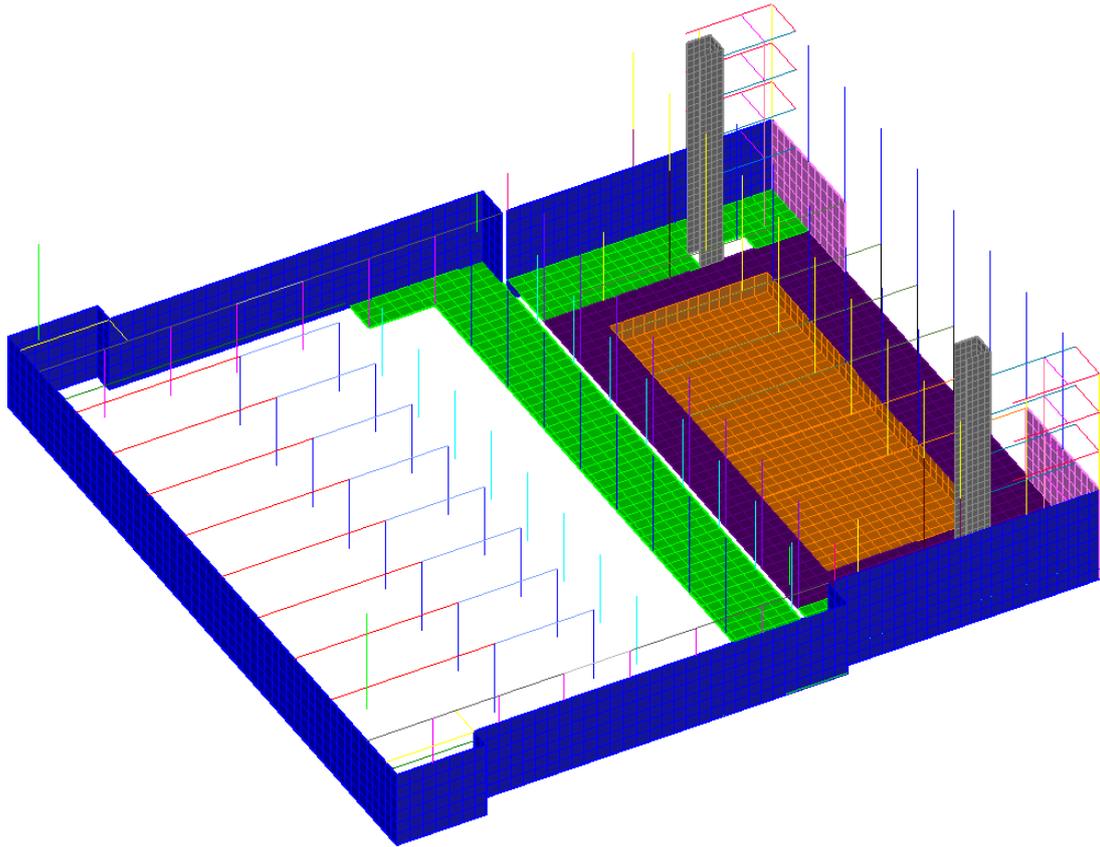


Figura 35. Modelo de cálculo del Pabellón y Aulario de la UFV. Planta sótano. [Extraído de AutoCAD].

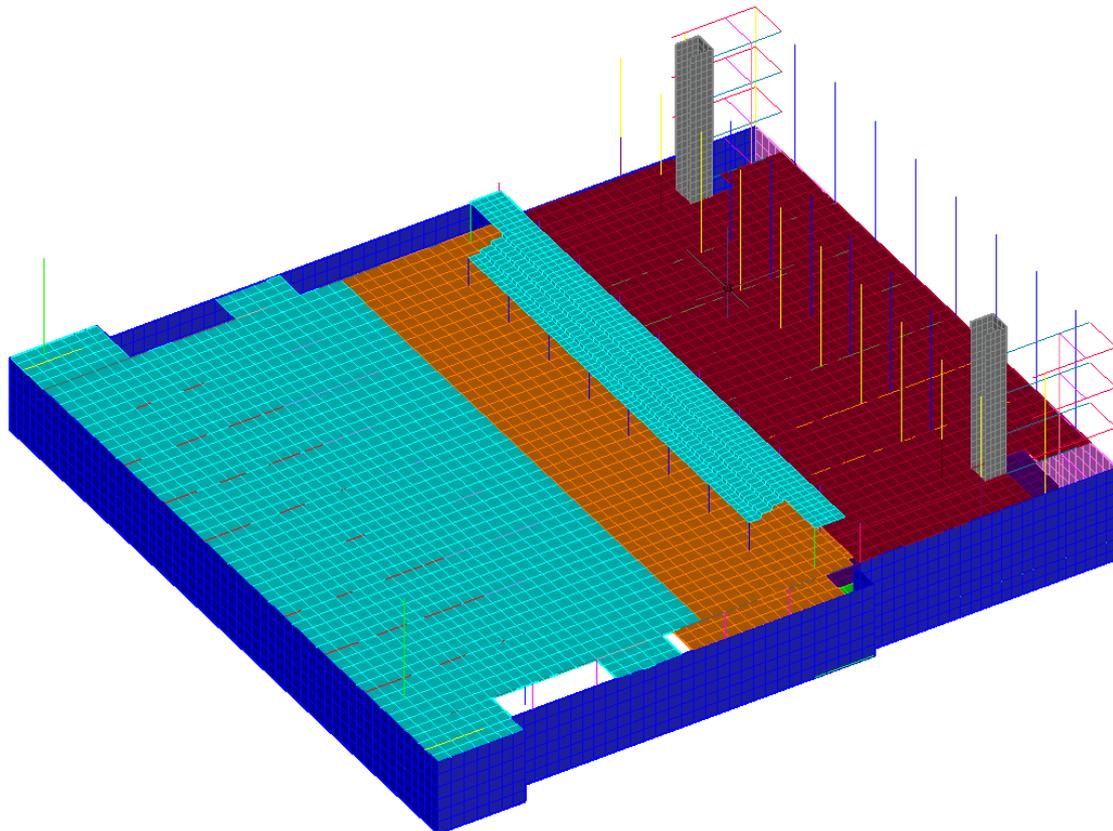


Figura 36. Modelo de cálculo del Pabellón y Aulario de la UFV. Planta baja. [Extraído de AutoCAD].

Existe una junta estructural entre el volumen del pabellón polideportivo y el aulario, la distancia entre ejes de pilares duplicados es 0,55 metros. Se ha decidido dejar la separación real en el modelo de cálculo de AutoCAD provocando esto que funcionen como dos edificios diferentes en SAP2000.

En AutoCAD se ejecuta la aplicación "SAPDXF". Las barras y elementos finitos se han dibujado orientados en la misma dirección (la normal va hacia arriba). En caso de que algún elemento no esté orientado en esta dirección la aplicación "SAPDXF" corrige este error para evitar problemas en la posterior obtención de resultados. Pueden llegar a producirse esfuerzos nulos donde no los hay en caso de que haya orientaciones cambiadas. En este modelo al ejecutarse la aplicación 136 líneas han sido volteadas para orientarse verticalmente hacia arriba. "SAPDXF" también crea el archivo de extensión (.dxf) que nos permite insertar la geometría en SAP2000.

### Resultado final del modelo de Autocad

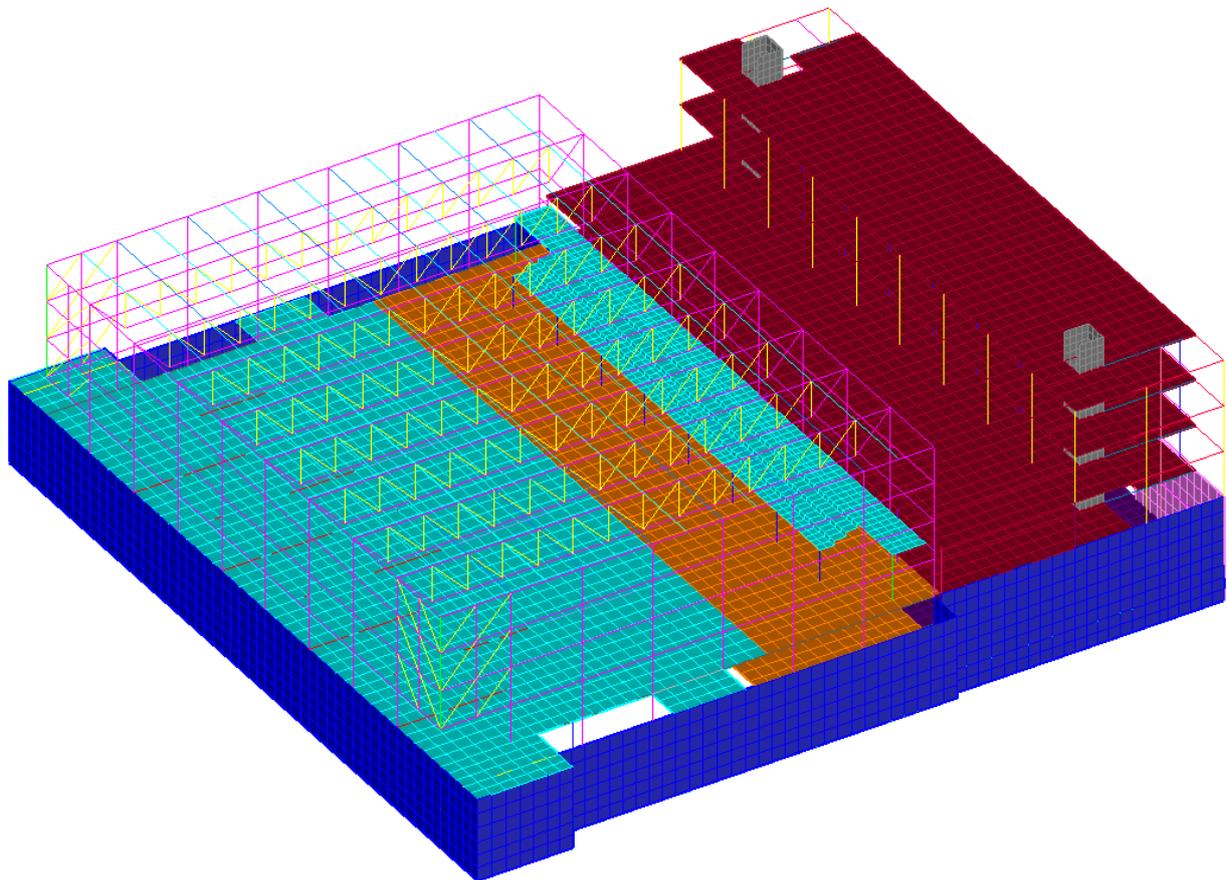


Figura 37. Modelo de cálculo completo del Pabellón y Aulario de la UFV. [Extraído de AutoCAD].

### 03.2 Inserción de materiales y secciones en SAP2000

En primer lugar, se procede a la importación de las distintas capas a SAP2000. Se han seleccionado las unidades (KN, m, C). Al ser versión v21 se pueden importar todas a la vez sin necesidad de hacerlo capa a capa ni de tener que renombrarlas. Se ha indicado en cada caso si la capa estaba formada por elementos lineales (Frame) o por elementos finitos (Shell).

Se utiliza una plantilla de SAP en la que se definen previamente las características de los materiales más comunes, como son hormigón y acero, con los cuales queda definido todo el proyecto.

Después de importadas las capas de AutoCAD, se han definido grupos de SAP que agrupan elementos de forma que facilitan el trabajo con el modelo, estos son:

grPABELLON  
grAULARIO  
grPlanta -1  
grPlanta 0  
grPlanta +1  
grSTMetalica

Para definir la sección de barras (Frames) se puede crear una sección arbitraria mediante *Add Frame Section* o se puede importar una sección normalizada desde un prontuario mediante *"Import ..."*. En este modelo se utilizan ambos métodos para la definición de secciones.

Se realiza la importación de las distintas capas al programa SAP2000. La orientación que hace por defecto SAP2000 es en la que se optimiza al máximo la inercia del perfil. Por esto los perfiles suelen estar bien orientados para sacar partido a su inercia fuerte (en diagonales y horizontales). Pero cuando el elemento es vertical no hay una orientación por defecto correcta.

#### ASIGNACIÓN SECCIONES ELEMENTOS LINEALES

Define > Section Properties > Frame Sections > Import New Property

Se ha utilizado este menú para importar una sección normalizada desde un prontuario en este caso Euro.pro. Se han importado todas las secciones metálicas de acero S-275 HEB.

Define > Section Properties > Frame Sections > Add New Property

Se ha utilizado este menú para crear una nueva sección arbitraria que no se encuentra definida en ningún prontuario. En este caso se han creado todas las secciones de pilares y vigas de hormigón H-35, las secciones metálicas de acero S-275 2UPN120 y tubo cuadrado PHC 120.4.

Assign > Frame > Frame Sections

#### ASIGNACIÓN SECCIONES ELEMENTOS FINITOS

Para crear secciones para elementos finitos se accede al menú Define > Section Properties > Area Sections > Add New Section.

Posteriormente, para asignar estas secciones a los elementos deseados se selecciona el menú Assign > Area > Sections

### FORJADOS DE HORMIGÓN LOSAS MACIZAS

Para definir forjados de losa maciza de Hormigón se ha accedido a este menú y se ha añadido tanto a espesor de membrana como de inercia el espesor de la losa maciza. Gracias a las tablas de equivalencia de forjado Excel obtenemos los Property Modifiers que habrá que aplicar a los forjados en SAP 2000 para dotarlo de las características necesarias.



Figura 38. Detalle forjado unidireccional de viguetas. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>.

### FORJADO VIGUETAS 1 (INTEREJE 70 cm)

EQUIVALENCIA FORJADO RETICULAR/NERVIOS (VIGUETAS) - LOSA (MATERIAL HORMIGON)			
RETICULAR (25+5)x84	<b>CANTO TOTAL</b>	<b>30,00</b>	cm
	<b>ALTO CAPA COMPRESION</b>	<b>5,00</b>	cm
	<b>INTEREJE</b>	<b>84,00</b>	cm
	<b>ANCHO NERVIOS</b>	<b>12,00</b>	cm
	<b>FACTOR ABACOS MACIZADOS</b>	<b>0,11</b>	
	<b>CENTRO DE GRAVEDAD</b>	21,25	cm
	<b>INERCIA POR METRO</b>	66517,86	cm <sup>4</sup>
	<b>AREA POR METRO</b>	857,14	cm <sup>2</sup>
	<b>PESO BOVEDILLAS/M2</b>	<b>1,00</b>	[kN/m <sup>2</sup> ]
	<b>UNIDIRECCIONAL</b>	<b>SI</b>	
LOSA MACIZA	<b>MEMBRANE (AREA)</b>	<b>0,0857</b>	m
	<b>BENDING (INERCIA)</b>	<b>0,1999</b>	m
PROPERTY MODIFIER	<b>FLEXIÓN SECUNDARIA (M22, V23)</b>	<b>0,0157</b>	
	<b>AXIL SECUNDARIO (F22)</b>	<b>0,5833</b>	
	<b>PESO PROPIO (MASS + WEIGHT)</b>	<b>1,4667</b>	

Tabla 1. Equivalencia forjado unidireccional de viguetas 1. [Extraído de Excel de David Gallardo Llopis].

**FORJADO VIGUETAS 2 (INTEREJE 84 cm)**

<b>EQUIVALENCIA FORJADO RETICULAR/NERVIOS (VIGUETAS) - LOSA (MATERIAL HORMIGON)</b>			
<b>RETICULAR (25+5)x70</b>	<b>CANTO TOTAL</b>	<b>30,00</b>	cm
	<b>ALTO CAPA COMPRESION</b>	<b>5,00</b>	cm
	<b>INTEREJE</b>	<b>70,00</b>	cm
	<b>ANCHO NERVIO</b>	<b>12,00</b>	cm
	<b>FACTOR ABACOS MACIZADOS</b>	<b>0,11</b>	
	<b>CENTRO DE GRAVEDAD</b>	20,58	cm
	<b>INERCIA POR METRO</b>	75286,17	cm <sup>4</sup>
	<b>AREA POR METRO</b>	928,57	cm <sup>2</sup>
	<b>PESO BOVEDILLAS/M2</b>	<b>1,00</b>	[kN/m <sup>2</sup> ]
	<b>UNIDIRECCIONAL</b>	<b>SI</b>	
<b>LOSA MACIZA</b>	<b>MEMBRANE (AREA)</b>	<b>0,0929</b>	m
	<b>BENDING (INERCIA)</b>	<b>0,2083</b>	m
<b>PROPERTY MODIFIER</b>	<b>FLEXIÓN SECUNDARIA (M22, V23)</b>	<b>0,0138</b>	
	<b>AXIL SECUNDARIO (F22)</b>	<b>0,5385</b>	
	<b>PESO PROPIO (MASS + WEIGHT)</b>	<b>1,4308</b>	

Tabla 2. Equivalencia forjado unidireccional de viguetas 2. [Extraído de Excel de David Gallardo Llopis].

### FORJADOS DE HORMIGÓN ALIGERADOS

Para definir forjados aligerados se ha utilizado una tabla de equivalencias de forjado a la cual se han añadido datos de espesores según la sección y nos ha dado los valores de espesor de membrana e inercia que posteriormente se han añadido a SAP2000.

Se ha hecho que el mallado del modelo de EF coincida con las partes macizas y aligeradas de forma que se crean dos secciones para cada parte. La primera con características de losa maciza del grosor total de cada forjado y la segunda se le da la sección de aligeramiento completo utilizando los valores que nos da la tabla. Se diferencian en dos secciones la losa maciza y la aligerada. Aunque se trate de un forjado reticular aligerado, las propiedades de las partes macizas son las de una losa maciza.

Dirección longitudinal tm y tb  
 Dirección transversal “Set Modifiers...”

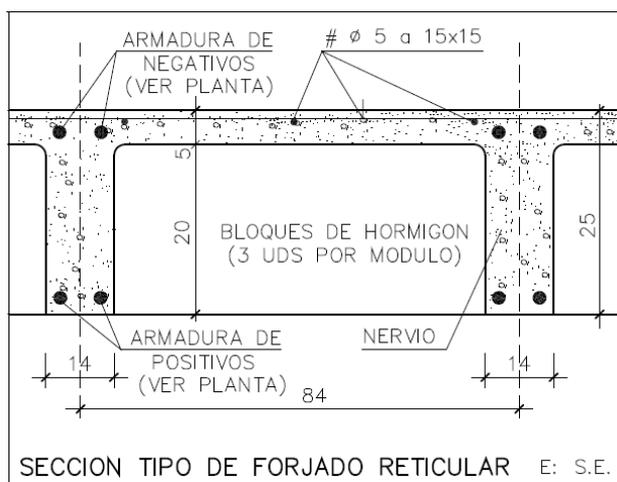


Figura 39. Detalle de forjado reticular. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>.

EQUIVALENCIA FORJADO RETICULAR/NERVIOS (VIGUETAS) - LOSA (MATERIAL HORMIGON)			
RETICULAR (20+5)x84	CANTO TOTAL	25,00	cm
	ALTO CAPA COMPRESION	5,00	cm
	INTEREJE	84,00	cm
	ANCHO NERVIO	14,00	cm
	FACTOR ABACOS MACIZADOS	0,11	
	CENTRO DE GRAVEDAD	17,50	cm
	INERCIA POR METRO	43402,78	cm4
	AREA POR METRO	833,33	cm2
	PESO BOVEDILLAS/M2	0,00	[kN/m2]
	UNIDIRECCIONAL	NO	
LOSA MACIZA	MEMBRANE (AREA)	0,0833	m
	BENDING (INERCIA)	0,1733	m
PROPERTY MODIFIER	PESO PROPIO (MASS + WEIGHT)	1,3333	ZONA ALIGERADA
		1,5167	PROMEDIO GEN.

Tabla 3. Equivalencia forjado reticular. [Extraído de David Gallardo Llopis].

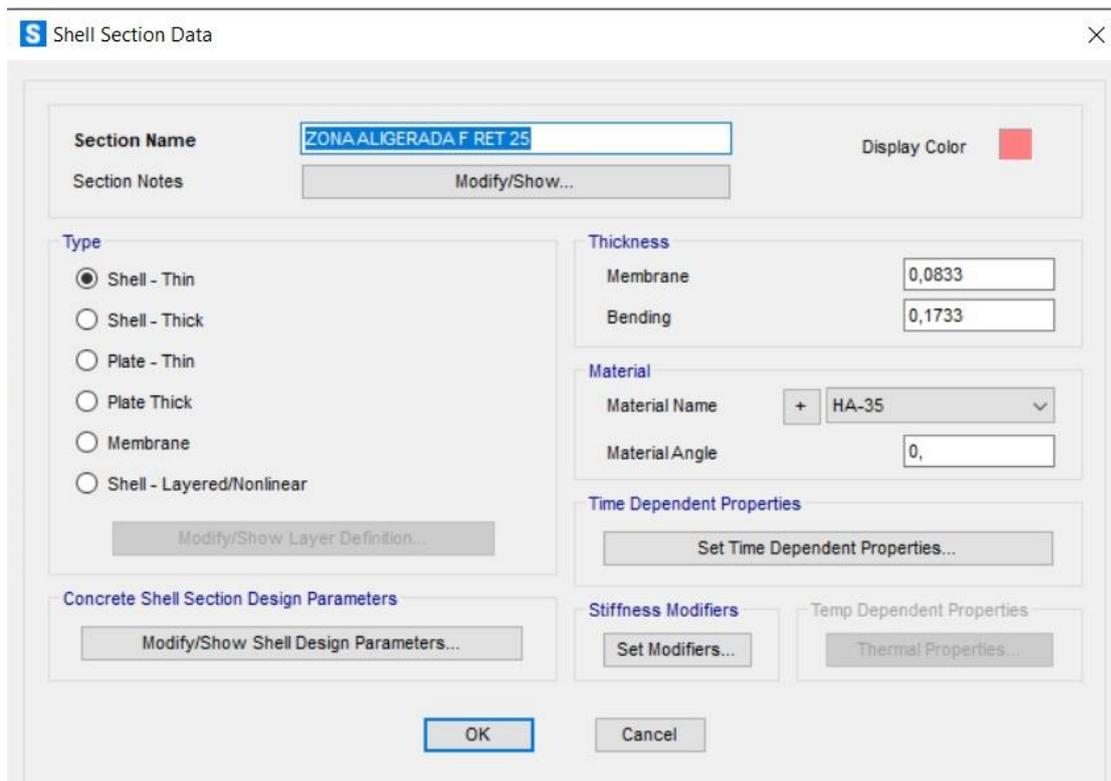


Figura 40. Aplicación de los Property Modifiers para zona aligerada en forjado reticular en SAP 2000. [Extraído de SAP 2000]

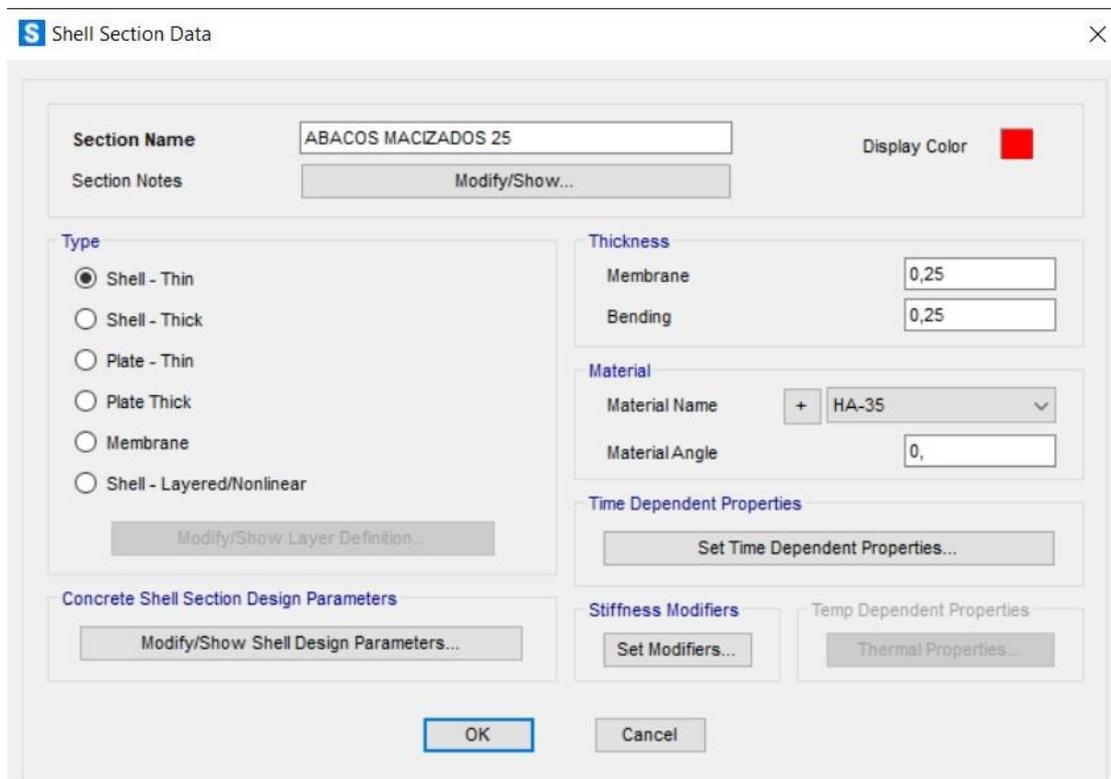


Figura 41. Aplicación de los Property Modifiers para ábacos macizados en forjado reticular en SAP 2000. [Extraído de SAP 2000]

### 03.3 Condiciones de enlace en SAP2000

Previamente al cálculo del modelo del edificio, se han tenido en cuenta una serie de condiciones de enlace en los nudos de la estructura. Se trata de un edificio cimentado sobre zapatas de hormigón, por tanto, todos los nudos de la base han sido empotrados. Se han asignado a todos los nudos de los elementos finitos y elementos lineales que apoyan sobre el suelo restricciones de movimientos y giros mediante el menú Assign > Joint > Restraints...

Para el presente trabajo sólo se calcula la estructura y no la cimentación, por esto se empotran los nudos de la losa del fondo de la piscina.

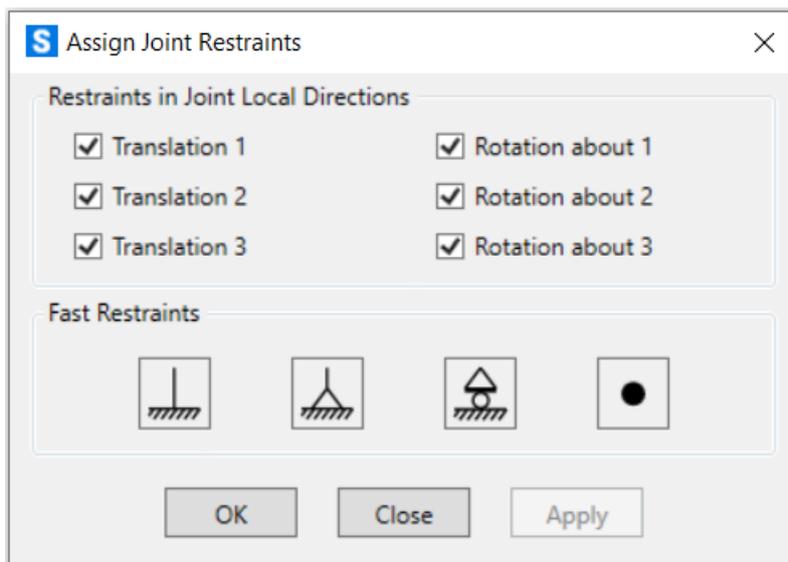


Figura 42. Cuadro de restricciones para un empotramiento. [Extraído de SAP 2000]

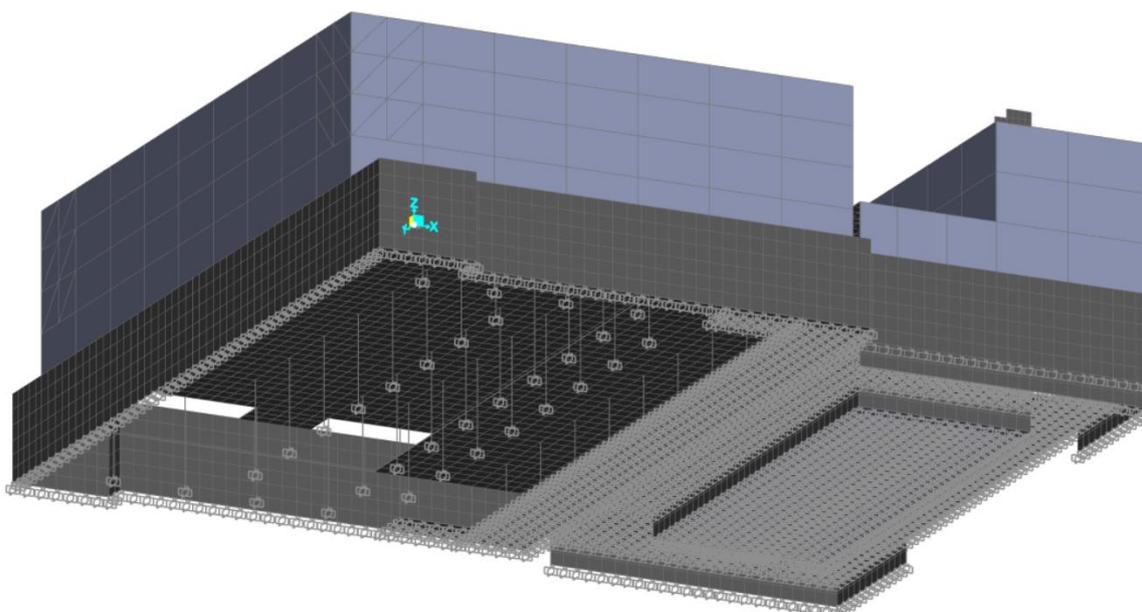


Figura 43. Empotramientos asignados a la base del modelo. [Extraído de SAP 2000]

### 03.4 Inserción de cargas en SAP2000

Se ha realizado una estimación de las cargas a las que estaría sometida la estructura del edificio. Según la información obtenida se han definido consultando catálogos comerciales o siguiendo el Documento Básico de Seguridad Estructural-Acciones en la edificación (DBSE-AE). Según se indica en el mismo las acciones se clasifican por su variación en el tiempo en:

Acciones permanentes (G): Son aquellas que actúan en todo instante sobre el edificio con posición constante. Su magnitud puede ser constante (como el peso propio de los elementos constructivos o las acciones y empujes del terreno) o no (como las acciones reológicas o el pretensado), pero con variación despreciable o tendiendo monótonamente hasta un valor límite.

Acciones variables (Q): Son aquellas que pueden actuar o no sobre el edificio, como las debidas al uso o las acciones climáticas.

Acciones accidentales (A): Son aquellas cuya probabilidad de ocurrencia es pequeña, pero de gran importancia, como sismo, incendio, impacto o explosión.

#### CARGAS PERMANENTES (G)

##### DEAD | Peso propio

El peso propio es únicamente el de los elementos estructurales, por lo tanto, no se tiene que aplicar en la estimación de acciones, ya que la introducción de estas cargas es estimada por SAP2000 automáticamente al definir los materiales y secciones previamente. No será necesario asignar ninguna carga adicional.

##### CMP | Carga Muerta Permanente

Se trata del peso propio del resto de cargas permanentes no estructurales. En este caso corresponde al peso de solados, falsos techos, cubiertas, tabiquería, instalaciones y fachadas. Estos pesos se han obtenido tanto del Anejo C del DB SE-AE como de catálogos comerciales. En este proyecto se dispone de una información detallada sobre tipos de materiales, pero se realizará una simplificación eligiendo valores medios para la aplicación de cargas al modelo en SAP 2000.

##### **Solados**

S1: Solado pista deportiva: Pavimento deportivo continuo de poliuretano autonivelante pulastic classic 110 de Sika sobre manta de caucho de 9 mm. [0,15 KN/m<sup>2</sup>]

S2: Solado aislado gimnasio. Pavimento deportivo continuo de poliuretano autonivelante pulastic classic 110 de Sika sobre manta de caucho de 9 mm. [0,15 KN/m<sup>2</sup>]

S3: Solado general aulario y zonas comunes. Pavimento pétreo tipo Quarella de 20 mm. [1,5 KN/m<sup>2</sup>]

S4: Solado vestuarios. Pavimento de gres antideslizante. [1 KN/m<sup>2</sup>]

S5: Solado playa de piscina. Pavimento gres antideslizante. [1 KN/m<sup>2</sup>]

S6: Solado graderío Polideportivo. Aplacado cerámico gran formado Maxfine Titanium White de 4 mm. [1 KN/m<sup>2</sup>]

S7: Solado cuartos técnicos e instalaciones. Pavimento continuo hormigón pulido de 15 cm. [1 KN/m<sup>2</sup>]

S8: Solado Azotea Aulario. Pavimento losa filtrante. (8 cm de aislamiento de poliestireno extrusionado + 3,5 cm de mortero poroso). [1,5 KN/m<sup>2</sup>]

S9: Solado patio alto. Pavimento flotante de baldosas de hormigón de 5 cm. [1,5 KN/m<sup>2</sup>]

S10: Solado patio exteriores y urbanización. Pavimento continuo hormigón gris acabado lavado de 15 cm. [1,5 KN/m<sup>2</sup>]

$$q_{\text{solados1}} = 0,15 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{\text{solados2}} = 1,50 \text{ KN/m}^2$$

### Techos

T1: Techo Polideportivo. Techo absorbente resistente a impacto tipo Ecophon Super G Plus A, de 4 cm de espesor. [6-10 Kg/m<sup>2</sup> = 0,06-0,1 KN/m<sup>2</sup>]

T2: Techo piscina. Sistema Ecophon higiene performance A C3 de 40 mm de espesor. [5 kg/m<sup>2</sup> = 0,05 KN/m<sup>2</sup>]

T3: Techo Aulas, oficinas y gimnasio. Falso techo acústico registrable tipo Ecophon Focus A. [3-4 Kg/m<sup>2</sup> = 0,03-0,04 KN/m<sup>2</sup>]

T4: Techo vestuarios. Sistema Armstrong Hydroboard. [3,5 Kg/m<sup>2</sup> = 0,35 KN/m<sup>2</sup>]

T5: Techo aseos. Sistema Ecophon Higiene performance A C1 de 20 mm de espesor. [3-4 Kg/m<sup>2</sup> = 0,03-0,04 KN/m<sup>2</sup>]

T6: Techo cocina. Sistema Ecophon Higiene Foodtec A C3. [3 Kg/m<sup>2</sup> = 0,03 KN/m<sup>2</sup>]

T7: Techo continuo de cartón yeso con perfilera oculta de 15 mm. [0,15 KN/m<sup>2</sup>]

T8: Techo de Hormigón (S/Estructura) con guarnecido y enlucido de yeso. [0,15 KN/m<sup>2</sup>]

T9: Techo vestíbulo. Placa acústica Knauf de cartón yeso tipo cleaneo con perforación continua, 12,5 mm de espesor. [0,15 KN/m<sup>2</sup>]

T10: Techo continuo exterior formado por placa tipo Knauf aquapanel o similar con perfilera oculta de 15 mm de espesor. [0,15 KN/m<sup>2</sup>]

$$q_{\text{techos}} = 0,30 \text{ KN/m}^2$$

## Cubiertas

- Cubierta pista deportiva

Cubierta tipo Deck. Sistema Membrana FPO vista con fijación mecánica tipo Sika Golden Package. Las cubiertas tipo Deck destacan por su facilidad y rapidez de montaje, su fácil mantenimiento y su ligereza. El peso de una cubierta Deck no supera los 25 kg/m<sup>2</sup>. No tiene juntas, por lo que se reduce el riesgo de filtraciones de agua. 0,25 KN/m<sup>2</sup>.

$$q_{\text{cubierta1}} = 0,25 \text{ KN/m}^2$$

- Cubierta Aulario

Cubierta tipo losa filtrante, Sistema membrana FPO no adherida tipo Golden package [1,50 KN/m<sup>2</sup>] + Hormigón formación de pendientes. [1KN/m<sup>2</sup>]

$$q_{\text{cubierta2}} = 2,50 \text{ KN/m}^2$$

## Tabiquería

Aulario: 6 cm (60mm) aislamiento + doble placa de yeso de 15 milímetros. 0,5 KN/m<sup>2</sup>

$$q_{\text{tabiquería}} = 0,5 \text{ KN/m}^2$$

## Instalaciones

Según CTE: peso propio de equipos e instalaciones fijas debe definirse de acuerdo con los valores aportados por los suministradores.

$$q_{\text{instalaciones}} = 2 \text{ o } 3 \text{ KN/m}^2 \text{ según sean más o menos pesadas}$$

## Fachada Planta baja pista polideportiva

Están formadas por doble acristalamiento transparente de suelo a techo con carpintería de acero. Según la tabla C.2 del Anejo C del DB SE-AE: vidriera (incluida carpintería) vidrio normal de 5 mm de espesor = 0,25 KN/m<sup>2</sup>, en este caso al ser doble 0,5 KN/m<sup>2</sup>.

$$q_{\text{fachadas1}} = 0,5 \text{ KN/m}^2$$

## Fachadas pista polideportiva

Las fachadas de la pista polideportiva están constituidas por paneles GRC Stud-Frame y son autoportantes. Están formados por una cáscara de GRC y un bastidor compuesto por montantes y travesaños de acero galvanizado que lo sujeta. Su peso varía entre los 50-65 kg/m<sup>2</sup>. Tiene un espesor estándar de 12 cm. + aislante térmico panel fibra de vidrio hidrofugada (4 cm) + cámara de aire de 15 cm + aislante térmico panel rígido de fibra de vidrio hidrofugada de 6 cm + placa de cartón yeso resistente a impacto tipo pladur "GD" de 1,5 cm + trasdosado panel absorbente acústico tipo Ekophon Akusto Wall A de 4 cm. [2 KN/m<sup>2</sup>]

$$q_{\text{fachadas}} = 2 \text{ KN/m}^2$$

## Fachadas aulario

Las fachadas del aulario son muy parecidas a la de la pista deportiva con las excepciones de que la cámara de aire es del 20 cm, de que la placa de cartón yeso es de 70 mm de espesor y el acabado es un zócalo de protección aplacado Quarella Flair Sabbia sobre la placa de cartón yeso. [2 KN/m<sup>2</sup>]

$$q_{\text{fachadas}} = 2 \text{ KN/m}^2$$

Tabla C.1 Peso específico aparente de materiales de construcción

Materiales y elementos	Peso específico aparente kN/m <sup>3</sup>	Materiales y elementos	Peso específico aparente kN/m <sup>3</sup>
<b>Materiales de albañilería</b>		<b>Madera</b>	
Arenisca	21,0 a 27,0	Aserrada, tipos C14 a C40	3,5 a 5,0
Basalto	27,0 a 31,0	Laminada encolada	3,7 a 4,4
Calizas compactas, mármoles	28,0	Tablero contrachapado	5,0
Diorita, gneis	30,0	Tablero cartón gris	8,0
Granito	27,0 a 30,0	Aglomerado con cemento	12,0
Sienita, diorita, pórfido	28,0	Tablero de fibras	8,0 a 10,0
Terracota compacta	21,0 a 27,0	Tablero ligero	4,0
<b>Fábricas</b>		<b>Metales</b>	
Bloque hueco de cemento	13,0 a 16,0	Acero	77,0 a 78,5
Bloque hueco de yeso	10,0	Aluminio	27,0
Ladrillo cerámico macizo	18,0	Bronce	83,0 a 85,0
Ladrillo cerámico perforado	15,0	Cobre	87,0 a 89,0
Ladrillo cerámico hueco	12,0	Estaño	74,0
Ladrillo silicocalcáreo	20,0	Hierro colado	71,0 a 72,5
<b>Mampostería con mortero</b>		Hierro forjado	76,0
de arenisca	24,0	Latón	83,0 a 85,0
de basalto	27,0	Plomo	112,0 a 114,0
de caliza compacta	26,0	Zinc	71,0 a 72,0
de granito	26,0	<b>Plásticos y orgánicos</b>	
<b>Sillería</b>		Caucho en plancha	17,0
de arenisca	26,0	Lámina acrílica	12,0
de arenisca o caliza porosas	24,0	Linóleo en plancha	12,0
de basalto	30,0	Mástico en plancha	21,0
de caliza compacta o mármol	28,0	Poliestireno expandido	0,3
de granito	28,0	<b>Otros</b>	
<b>Hormigones y morteros</b>		Adobe	16,0
Hormigón ligero	9,0 a 20,0	Asfalto	24,0
Hormigón normal <sup>(1)</sup>	24,0	Baldosa cerámica	18,0
Hormigón pesado	> 28,0	Baldosa de gres	19,0
Mortero de cemento	19,0 a 23,0	Papel	11,0
Mortero de yeso	12,0 a 28,0	Pizarra	29,0
Mortero de cemento y cal	18,0 a 20,0	Vidrio	25,0
Mortero de cal	12,0 a 18,0		

<sup>(1)</sup> En hormigón armado con armados usuales o fresco aumenta 1 kN/m<sup>3</sup>

Tabla 4. Tabla C.1 del Anejo C del DBSE-AE del Código Técnico de la Edificación.

Tabla C.2 Peso por unidad de superficie de elementos de cobertura

Materiales y elementos	Peso kN/m <sup>2</sup>	Materiales y elementos	Peso kN/m <sup>2</sup>
Aislante (lana de vidrio o roca)		Tablero de madera, 25 mm espesor	0,15
por cada 10 mm de espesor	0,02	Tablero de rasilla, una hoja	
Chapas grecadas, canto 80 mm,		una hoja sin revestir	0,40
Acero 0,8 mm espesor	0,12	una hoja más tendido de yeso	0,50
Aluminio, 0 8 mm espesor	0,04	Tejas planas (sin enlistonado)	
Plomo, 1,5 mm espesor	0,18	ligeras (24 kg/pieza)	0,30
Zinc, 1,2 mm espesor	0,10	corrientes (3,0 kg/pieza)	0,40
Cartón embreado, por capa	0,05	pesadas (3,6 kg/pieza)	0,50
Enlistonado	0,05	Tejas curvas (sin enlistonado)	
Hoja de plástico armada, 1,2 mm	0,02	ligeras (1,6 kg/pieza)	0,40
Pizarra, sin enlistonado		corrientes (2,0 kg/pieza)	0,50
solape simple	0,20	pesadas (2,4 kg/pieza)	0,60
solape doble	0,30	Vidriera (incluida la carpintería)	
Placas de fibrocemento, 6 mm espesor	0,18	vidrio normal, 5 mm espesor	0,25
		vidrio armado, 6 mm espesor	0,35

Tabla 5.Tabla C.2 del Anejo C del DBSE-AE del Código Técnico de la Edificación.

Tabla C.5 Peso propio de elementos constructivos

Elemento	Peso
<b>Forjados</b>	kN / m <sup>2</sup>
Chapa grecada con capa de hormigón; grueso total < 0,12 m	2
Forjado unidireccional, luces de hasta 5 m; grueso total < 0,28 m	3
Forjado uni o bidireccional; grueso total < 0,30 m	4
Forjado bidireccional, grueso total < 0,35 m	5
Losa maciza de hormigón, grueso total 0,20 m	5
<b>Cerramientos y particiones</b> (para una altura libre del orden de 3,0 m) incluso enlucido	kN / m
Tablero o tabique simple; grueso total < 0,09 m	3
Tabicón u hoja simple de albañilería; grueso total < 0,14 m	5
Hoja de albañilería exterior y tabique interior; grueso total < 0,25 m	7
<b>Solados</b> (incluyendo material de agarre)	kN / m <sup>2</sup>
Lámina pegada o moqueta; grueso total < 0,03 m	0,5
Pavimento de madera, cerámico o hidráulico sobre plastón; grueso total < 0,08 m	1,0
Placas de piedra, o peldañeado; grueso total < 0,15 m	1,5
<b>Cubierta, sobre forjado</b> (peso en proyección horizontal)	kN / m <sup>2</sup>
Faldones de chapa, tablero o paneles ligeros	1,0
Faldones de placas, teja o pizarra	2,0
Faldones de teja sobre tableros y tabiques palomeros	3,0
Cubierta plana, recrecido, con impermeabilización vista protegida	1,5
Cubierta plana, a la catalana o invertida con acabado de grava	2,5
<b>Rellenos</b>	kN / m <sup>3</sup>
Agua en aljibes o piscinas	10
Terreno , como en jardineras, incluyendo material de drenaje <sup>(1)</sup>	20

<sup>(1)</sup> El peso total debe tener en cuenta la posible desviación de grueso respecto a lo indicado en planos.

Tabla 6.Tabla C.5 del Anejo C del DBSE-AE del Código Técnico de la Edificación.

**CARGAS VARIABLES (Q)****SCU | Sobrecarga de uso**

Según la Tabla 3.1 del DBSE.AE, la sobrecarga de uso es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso. De la siguiente tabla se obtienen los valores:

**Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso**

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m <sup>2</sup> ]	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 <sup>(1)</sup>
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente <sup>(2)</sup>			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación <sup>(3)</sup>	G1 <sup>(7)</sup>	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 <sup>(4)(6)</sup>	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) <sup>(5)</sup>	0,4 <sup>(4)</sup>	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Tabla 7. Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso del DB SE-AE.

La zona del aulario se trata de una zona con mesas y sillas por lo que se aplica la subcategoría de uso **C1**. Se aplicará una carga uniforme de **3 KN/m<sup>2</sup>**.

La cubierta del aulario se trata de una cubierta con inclinación inferior a 20° por lo que se considerará la subcategoría de uso **G1**. Se aplicará una carga de **1 KN/m<sup>2</sup>**.

Para la zona del patio alto se considerará la subcategoría de uso **C3**, ya que se trata de una zona de hall que permite el libre movimiento de las personas. Se aplicará una carga de **5 KN/m<sup>2</sup>**.

Tanto la zona de pista deportiva como la de gimnasio son zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas, por lo tanto, les corresponde la subcategoría de uso **C4**. Se aplicará una carga uniforme de **5 KN/m<sup>2</sup>**.

En la cubierta de la pista deportiva se considera la subcategoría de uso **G1**, al tratarse de una cubierta ligera (Tipo Desk) sobre correas. Se aplicará una carga de **0,40 KN/m<sup>2</sup>**.

## SCV | Viento

Según el Anejo D. del DBSE-AE la acción de viento, en general 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, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción.

$C_p$  el coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie; un valor negativo indica succión.

La presión dinámica del viento  $q_b$ , se define con la expresión:

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2$$

siendo:

$\delta$  la densidad del aire, que depende, entre otros factores, de la altitud, de la temperatura ambiental y de la fracción de agua en suspensión. Puede adoptarse  $1,25 \text{ Kg/m}^3$ .  $v_b$  el valor básico de la velocidad del viento en cada localidad se obtiene de la figura D.1 del DBSE-AE. Madrid se encuentra en la Zona A.  $v_b = 26 \text{ m/s}$ .

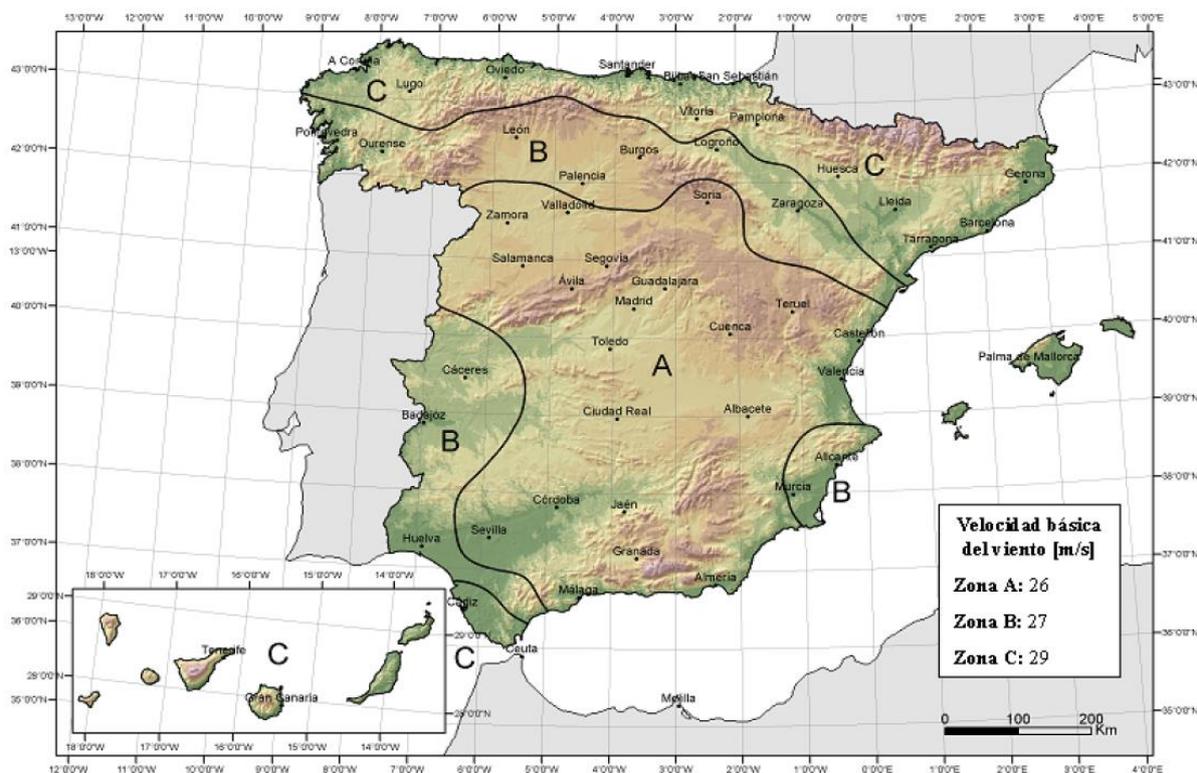


Figura D.1 Valor básico de la velocidad del viento,  $v_b$

Figura 44. Figura D.1 Valor básico de la velocidad del viento,  $v_b$  del DBSE-AE del CTE.

$$q_b = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 26^2 = 422,5 \text{ N/m}^2 = \mathbf{0,4225 \text{ KN/m}^2}$$

El **coeficiente de exposición,  $C_e$** , para alturas sobre el terreno,  $z$ , no mayores de 200 m, se determina con la expresión:

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

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

siendo  $k$ ,  $L$ ,  $Z$  parámetros característicos de cada tipo de entorno, según la tabla D.2. Se considera un grado de aspereza **III** puesto que el edificio se encuentra en la periferia de Madrid. La altura de referencia del edificio es de 12 metros respecto a la rasante.

$$F = 0,19 \cdot \ln ( 12 / 0,05 ) = 1,0413$$

$$C_e = 1,0413 \cdot (1,0413 + 7 \cdot 0,19) = \mathbf{2,47}$$

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 8. Tabla D.2 Coeficientes para tipo de entorno del DBSE-AE.

El valor del **coeficiente eólico o de presión,  $C_p$** , se obtiene de diferentes formas según si la construcción son edificios de pisos o naves y construcciones diáfnas. En este proyecto se divide en dos partes al estar compuesto de dos volúmenes principales, el pabellón polideportivo y el aulario.

### Aulario

El aulario es considerado como un edificio de pisos de dimensiones 11,40 x 49,20 metros.

$$\text{Esbeltez 1} = h / l = 12 / 11,40 = 1,053 \text{ m}$$

$$\text{Esbeltez 2} = h / l = 12 / 49,20 = 0,244 \text{ m}$$

De la Table 3.5 del DBSE-AE y del lado de la seguridad, tomamos para el valor de esbeltez 1: 1,25. Obtenemos un coeficiente eólico de presión,  **$C_p = 0,8$**  y un coeficiente eólico de succión,  **$C_s = -0,5$** . Como valor de esbeltez 2: 0,25, del cual obtenemos un coeficiente eólico de presión,  **$C_p = 0,7$**  y un coeficiente eólico de succión  **$C_s = -0,3$** .

Tabla 3.5. Coeficiente eólico en edificios de pisos

	Esbeltez en el plano paralelo al viento					
	< 0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	≥ 5,00
Coeficiente eólico de presión, $c_p$	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Coeficiente eólico de succión, $c_s$	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7

Tabla 9. Tabla 3.5 Coeficiente eólico en edificios de pisos del DBSE-AE.

Obtenemos dos valores de viento para cada grupo de fachadas:

#### Fachadas Noroeste y Sureste

$$Q_{e,aulario,presión} = Q_b \cdot C_e \cdot C_p = 0,4225 \cdot 2,47 \cdot 0,8 = 0,497 = 0,5 \text{ KN/m}^2$$

$$Q_{e,aulario,succión} = Q_b \cdot C_e \cdot C_s = 0,4225 \cdot 2,47 \cdot (-0,5) = -0,522 \text{ KN/m}^2$$

#### Fachadas Noreste y Suroeste

$$Q_{e,aulario,presión} = Q_b \cdot C_e \cdot C_p = 0,4225 \cdot 2,47 \cdot 0,7 = 0,73 \text{ KN/m}^2$$

$$Q_{e,aulario,succión} = Q_b \cdot C_e \cdot C_s = 0,4225 \cdot 2,47 \cdot (-0,3) = -0,313 \text{ KN/m}^2$$

#### Pabellón polideportivo

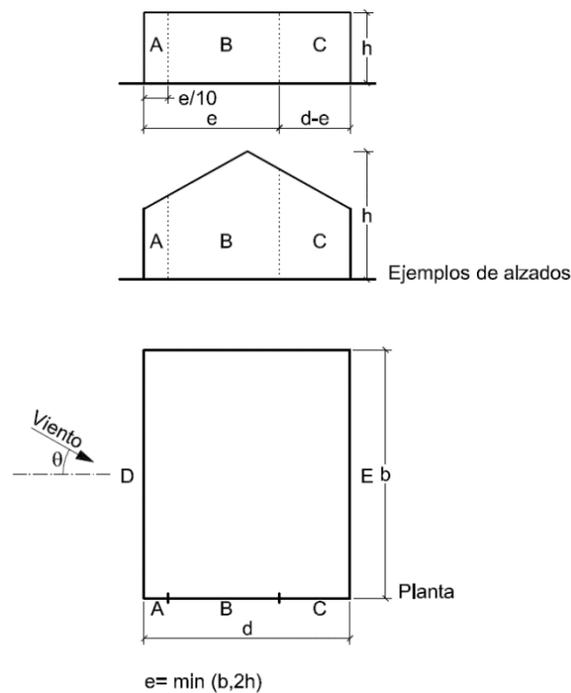
El pabellón polideportivo es considerado como una construcción diáfana de dimensiones 38,40 x 49,20 metros.

$$\text{Esbeltez 1} = h / l = 12 \text{ m} / 38,40 \text{ m} = 0,313$$

$$\text{Esbeltez 2} = h / l = 12 \text{ m} / 49,20 \text{ m} = 0,244$$

Para la obtención de los coeficientes de presión exterior,  $C_{pe}$ , se ha recurrido al Anejo D del DBSE-AE, más concretamente a las Tablas D.3 referente a paramentos verticales y D.4 referente a cubiertas planas. Estos valores de coeficiente de presión están diferenciados por zonas para un edificio de geometría rectangular.

Tabla D.3 Paramentos verticales



A (m <sup>2</sup> )	h/d	Zona (según figura), -45° < θ < 45°				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	“	“	“	“	-0,5
	≤ 0,25	“	“	“	0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	“	“	“	“	-0,5
	≤ 0,25	“	“	“	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	“	“	“	“	-0,5
	≤ 0,25	“	“	“	0,7	-0,3
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	“	“	“	“	-0,5
	≤ 0,25	“	“	“	“	-0,3

Tabla 10. Tabla D.3 Valores de c<sub>pe</sub> para paramentos verticales del DBSE-AE del Código Técnico de la Edificación.

Para la esbeltez 1 (0,313) se interpola entre el caso de esbeltez 0,25 y el caso de esbeltez 1, se obtienen los siguientes resultados:

h/d	A	B	C	D	E
0,313	-1	-0,8	-	0,71	-0,32

Tabla 11. Valores de c<sub>pe</sub> interpolados para la esbeltez 1 (0,313). [Elaboración propia]

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_{pe}$$

Esbeltez 1:

**ZONA A**

$$q_e = 0,4225 \cdot 2,47 \cdot -1 = -1,05 \text{ KN/m}^2$$

**ZONA B**

$$q_e = 0,4225 \cdot 2,47 \cdot -0,8 = -0,835 \text{ KN/m}^2$$

**ZONA C**

-

**ZONA D**

$$q_e = 0,4225 \cdot 2,47 \cdot 0,71 = 0,74 \text{ KN/m}^2$$

**ZONA E**

$$q_e = 0,4225 \cdot 2,47 \cdot -0,32 = -0,34 \text{ KN/m}^2$$

Esbeltez 2:

**ZONA A**

$$q_e = 0,4225 \cdot 2,47 \cdot -1,2 = -1,25 \text{ KN/m}^2$$

**ZONA B**

$$q_e = 0,4225 \cdot 2,47 \cdot -0,8 = -0,835 \text{ KN/m}^2$$

**ZONA C**

-

**ZONA D**

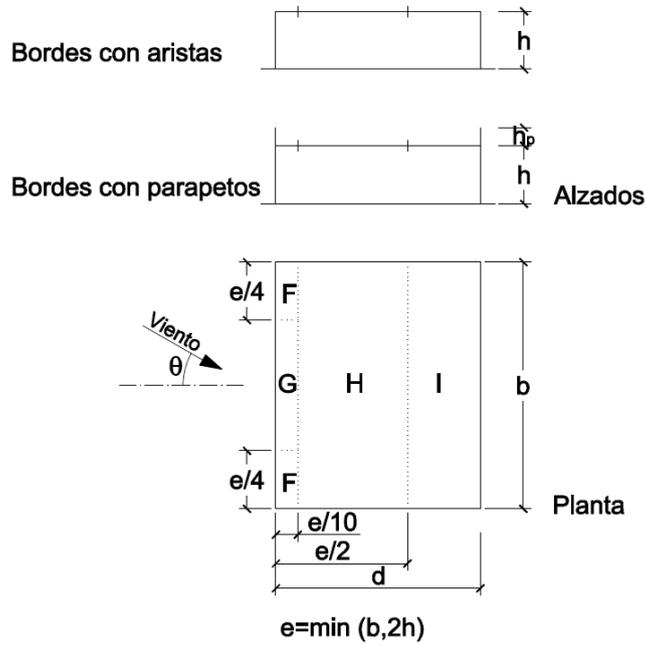
$$q_e = 0,4225 \cdot 2,47 \cdot 0,7 = 0,73 \text{ KN/m}^2$$

**ZONA E**

$$q_e = 0,4225 \cdot 2,47 \cdot -0,3 = -0,313 \text{ KN/m}^2$$

La zona D equivale a la fachada que recibe presión y la zona E a la fachada que recibe succión. Las zonas A, B y C son efectos de arrastre lateral, estos no son fundamentales, salvo en edificios muy esbeltos. Por lo tanto, solo se van a considerar presión y succión para cada esbeltez.

Tabla D.4 Cubiertas planas:



$h_p/h$	A (m <sup>2</sup> )	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$				
		F	G	H	I	
Bordes con aristas	$\geq 10$	-1,8	-1,2	-0,7	0,2 -0,2	
	$\leq 1$	-2,5	-2,0	-1,2	0,2 -0,2	
Con parapetos	0,025	$\geq 10$	-1,6	-1,1	-0,7	0,2 -0,2
		$\leq 1$	-2,2	-1,8	-1,2	0,2 -0,2
	0,05	$\geq 10$	-1,4	-0,9	-0,7	0,2 -0,2
		$\leq 1$	-2,0	-1,6	-1,2	0,2 -0,2
0,10	$\geq 10$	-1,2	-0,8	-0,7	0,2 -0,2	
	$\leq 1$	-1,8	-1,4	-1,2	0,2 -0,2	

Nota: Se considerarán cubiertas planas aquellas con una pendiente no superior a 5°

Tabla 12. Tabla D.4 Valores de  $c_{pe}$  para cubiertas planas del DBSE-AE del Código Técnico de la Edificación.

La cubierta de la pista deportiva dispone de bordes con aristas y  $e = \min(49,20 \text{ m}, 24 \text{ m}) = 24 \text{ metros}$ .

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_{pe}$$

#### ZONA F

$$q_e = 0,4225 \cdot 2,47 \cdot -1,8 = -1,88 \text{ KN/m}^2$$

#### ZONA G

$$q_e = 0,4225 \cdot 2,47 \cdot -1,2 = -1,25 \text{ KN/m}^2$$

#### ZONA H

$$q_e = 0,4225 \cdot 2,47 \cdot -0,7 = -0,73 \text{ KN/m}^2$$

#### ZONA I

$$q_e = 0,4225 \cdot 2,47 \cdot 0,2 = 0,21 \text{ KN/m}^2$$

$$q_e = 0,4225 \cdot 2,47 \cdot -0,2 = -0,21 \text{ KN/m}^2$$

De la zona I se considera solo la succión y se desprecia la presión, ya que la carga de succión es la más desfavorable en el caso de cubiertas ligeras.

Para determinar el coeficiente de presión exterior,  $C_{pe}$ , a aplicar en el modelo de SAP2000 se realiza una media ponderada, esto es el resultado de la superficie relativa de cada zona.

$$c_{pe, \text{ promedio}} = [ c_F \cdot e/2 \cdot e/10 + c_G \cdot (b-e/2) \cdot e/10 + c_H \cdot (e/2-e/10) \cdot b + c_I \cdot (d-e/2) \cdot b ] / [ d \cdot b ]$$

$$c_{pe, \text{ promedio}} = [-1,8 \cdot (24/2) \cdot (24/10) + -1,2 \cdot (49,20 - 24/2) \cdot (24/10) + -0,73 \cdot (24/2 - 24/10) \cdot 49,20 + -0,2 \cdot (38,40 - 24/2) \cdot 49,20] / [38,40 \cdot 49,20]$$

$$c_{pe, \text{ promedio}} = -763,542 / 1889,28 = -0,4$$

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_{pe}$$

$$q_e = 0,4225 \cdot 2,47 \cdot -0,4 = -0,417 \text{ KN/m}^2$$

**SCN | Nieve**

Según el DB SE-AE apartado 3.5.1 Determinación de la carga de nieve, se puede tomar como valor de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal,  $q_n$ :

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

siendo:

$\mu$  el coeficiente de forma de la cubierta

$s_k$  el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal

Como indica el apartado 3.5.2 Carga de nieve sobre un terreno horizontal, el valor de la sobrecarga de nieve sobre un terreno horizontal,  $s_k$ , para capitales de provincia y ciudades autónomas se puede tomar de la tabla 3.8. En nuestro caso el edificio de estudio se encuentra en el municipio de Madrid, por tanto, tomamos  $s_k = 0,6$  kN/m<sup>2</sup>.

**Tabla 3.8 Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas**

Capital	Altitud m	$s_k$ kN/m <sup>2</sup>	Capital	Altitud m	$s_k$ kN/m <sup>2</sup>	Capital	Altitud m	$s_k$ kN/m <sup>2</sup>
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / <i>Alacant</i>	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	SanSebas- tián/ <i>Donostia</i>	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	820	0,4	Santander	1.000	0,7
Badajoz	180	0,2	León	150	1,2	Segovia	10	0,2
Barcelona	0	0,4	Lérida / <i>Lleida</i>	380	0,5	Sevilla	1.090	0,9
Bilbao / <i>Bilbo</i>	0	0,3	Logroño	470	0,6	Soria	0	0,4
Burgos	860	0,6	Lugo	660	0,7	Tarragona	0	0,2
Cáceres	440	0,4	Madrid	0	0,6	Tenerife	950	0,9
Cádiz	0	0,2	Málaga	40	0,2	Teruel	550	0,5
Castellón	640	0,2	Murcia	130	0,2	Toledo	0	0,2
Ciudad Real	100	0,6	Orense / <i>Ourense</i>	230	0,4	Valencia/ <i>València</i>	690	0,4
Córdoba	0	0,2	Oviedo	740	0,5	Valladolid	520	0,7
Coruña / <i>A Coruña</i>	1.010	0,3	Palencia	0	0,4	Vitoria / <i>Gasteiz</i>	650	0,4
Cuenca	70	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Zamora	210	0,5
Gerona / <i>Girona</i>	690	0,4	Palmas, Las	450	0,2	Zaragoza	0	0,2
Granada	0	0,5	Pamplona/ <i>Iruña</i>	0	0,7	Ceuta y Melilla	0	0,2

Tabla 13. Tabla 3.8. Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas del DB SE-AE.

Para la determinación del coeficiente de forma de cada uno de ellos, se aplicarán sucesivamente las siguientes reglas:

En un faldón limitado inferiormente por cornisas o limatesas, y en el que no hay impedimento al deslizamiento de la nieve, el coeficiente de forma tiene el valor de 1 para cubiertas con inclinación menor o igual que 30°

La cubierta de la pista deportiva es plana y no transitable y la cubierta del aulario es plana transitable. El factor de forma para cubiertas planas es  $\mu = 1$ , por lo tanto:

$$q_n = \mu \cdot s_k = 0,6 \cdot 1 = 0,6 \text{ KN/m}^2$$

## CARGAS ACCIDENTALES (A)

### SIS | Sismo

Según la norma sismorresistente NC SE-02, la norma no es de aplicación en las edificaciones de importancia normal o especial cuando la aceleración sísmica básica  $a_b$  sea inferior a  $0,04g$ , siendo  $g$  la aceleración de la gravedad. Ya que Madrid, ciudad donde se sitúa nuestro proyecto, tiene una aceleración sísmica  $a_b < 0,04g$ , se considera que está fuera de peligro sísmico.

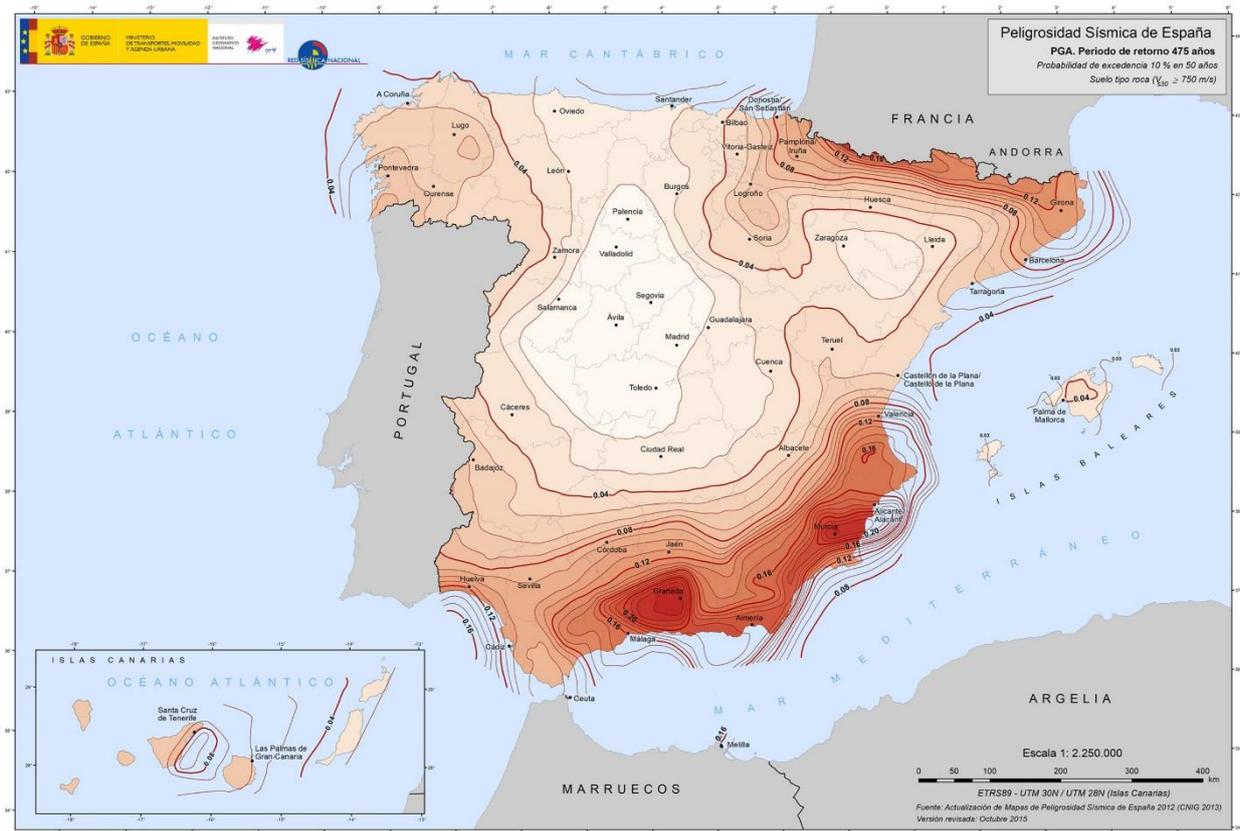


Figura 45. Mapa de peligrosidad sísmica de España 2015 (en valores de aceleración). <https://www.ign.es/web/mapas-sismicidad>.

En el siguiente resumen se muestran las cargas que se aplicarán sobre el modelo.

## CARGAS PERMANENTES (G)

### CMP | Cargas Muertas Permanentes

Solados	$q_{\text{solados1}} = 0,15 \text{ KN/m}^2$ $q_{\text{solados2}} = 1,50 \text{ KN/m}^2$
Techos	$q_{\text{techos}} = 0,30 \text{ KN/m}^2$
Cubierta pista deportiva	$q_{\text{cubierta1}} = 0,25 \text{ KN/m}^2$
Cubierta aulario	$q_{\text{cubierta2}} = 2,50 \text{ KN/m}^2$
Tabiquería	$q_{\text{tabiquería}} = 0,50 \text{ KN/m}^2$
Instalaciones	$q_{\text{instalaciones}} = 2 \text{ KN/m}^2$
Fachada planta baja pista polideportiva	$q_{\text{fachada1}} = 0,5 \text{ KN/m}^2$
Fachadas pista polideportiva y aulario	$q_{\text{fachada2}} = 2 \text{ KN/m}^2$

## CARGAS VARIABLES (Q)

### SCU | Sobrecarga de Uso

Zona Aulario	$q_u = 3,00 \text{ KN/m}^2$
Patio alto	$q_u = 5,00 \text{ KN/m}^2$
Pista deportiva y gimnasio	$q_u = 5,00 \text{ KN/m}^2$
Cubierta pista deportiva	$q_u = 0,40 \text{ KN/m}^2$
Cubierta aulario	$q_u = 1,00 \text{ KN/m}^2$

### SCN | Sobrecarga de Nieve

Cubiertas planas	$q_n = 0,60 \text{ KN/m}^2$
------------------	-----------------------------

### SCV | Sobrecarga de viento

Fachadas Noroeste y Sureste Aulario	$q_{v,\text{presión}} = 0,5 \text{ KN/m}^2$ $q_{v,\text{succión}} = - 0,55 \text{ KN/m}^2$
Fachadas Noreste y Suroeste Aulario	$q_{v,\text{presión}} = 0,75 \text{ KN/m}^2$ $q_{v,\text{succión}} = - 0,35 \text{ KN/m}^2$
Fachadas Noroeste y Sureste Pista deportiva	$q_{v,\text{presión}} = 0,75 \text{ KN/m}^2$ $q_{v,\text{succión}} = - 0,35 \text{ KN/m}^2$
Fachadas Noroeste y Sureste Pista deportiva	$q_{v,\text{presión}} = 0,75 \text{ KN/m}^2$ $q_{v,\text{succión}} = - 0,35 \text{ KN/m}^2$
Cubierta pista deportiva	$q_v = - 0,45 \text{ KN/m}^2$

**Aplicación de cargas superficiales**

Las cargas superficiales se asignan a elementos finitos. Se aplican mediante el menú  
Assing > Area Loads > Uniform (Shell)

**Aplicación de cargas lineales**

Las cargas superficiales se asignan a elementos lineales. Se aplican mediante el menú  
Assing > Frame Loads > *Distributed...*

A continuación, se muestran de manera gráfica las acciones sobre el modelo de cálculo simplificado. Se ha utilizado el menú Display > Show Object Load Assigns > Area. En el mismo se puede elegir cada tipo de carga por separado, en este caso, CMP, SCU, SCVp, SCVs.

### CMP | Cargas Muertas Permanentes

#### Planta -1

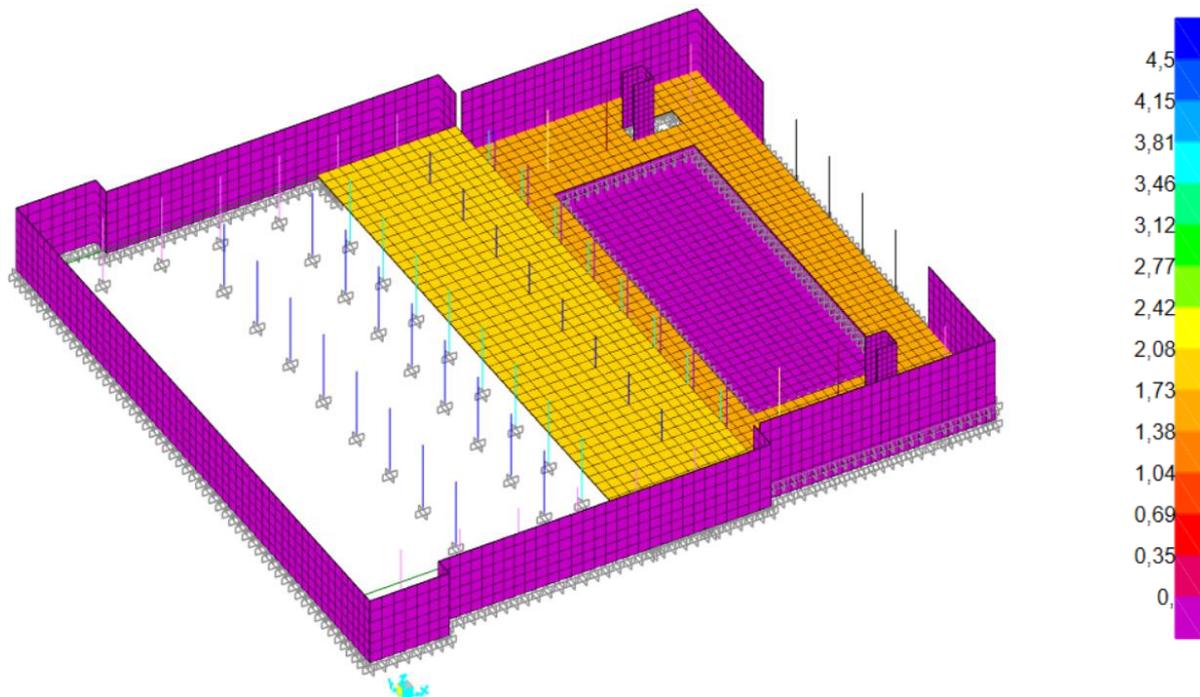


Figura 46. Cargas de la hipótesis CMP aplicadas a la Planta -1 del modelo. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m²]

#### Planta 0

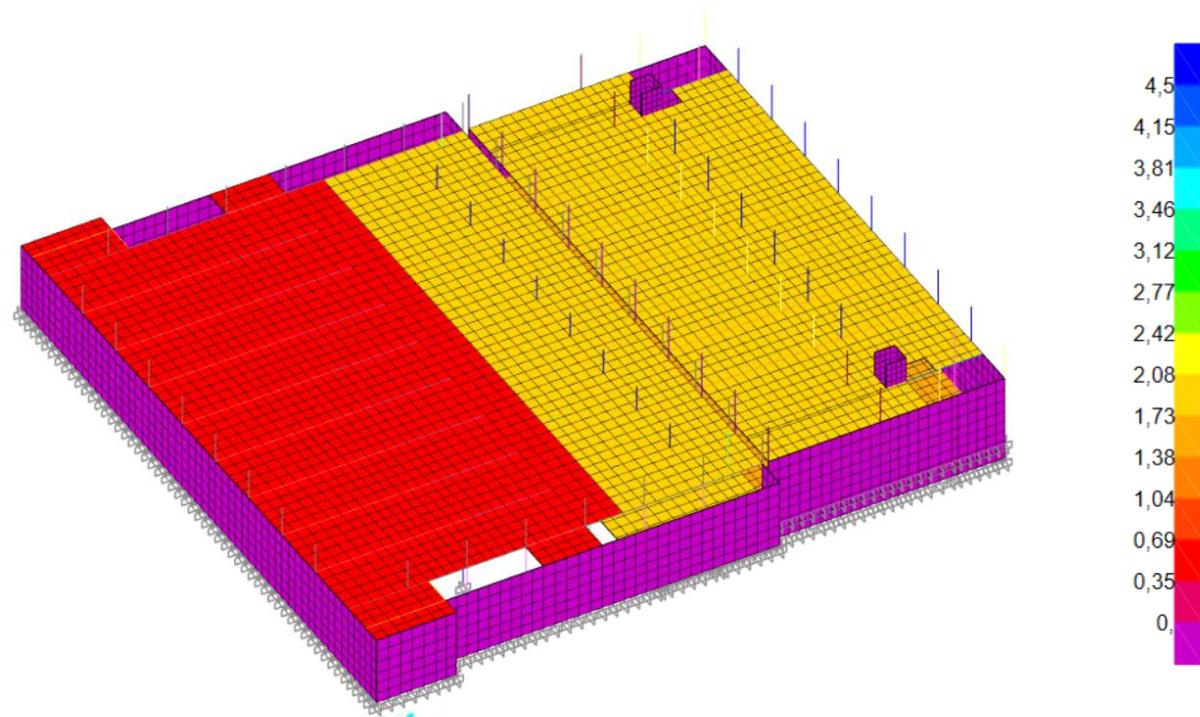


Figura 47. Cargas de la hipótesis CMP aplicadas a la Planta 0 del modelo. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m²]

**Planta +1**

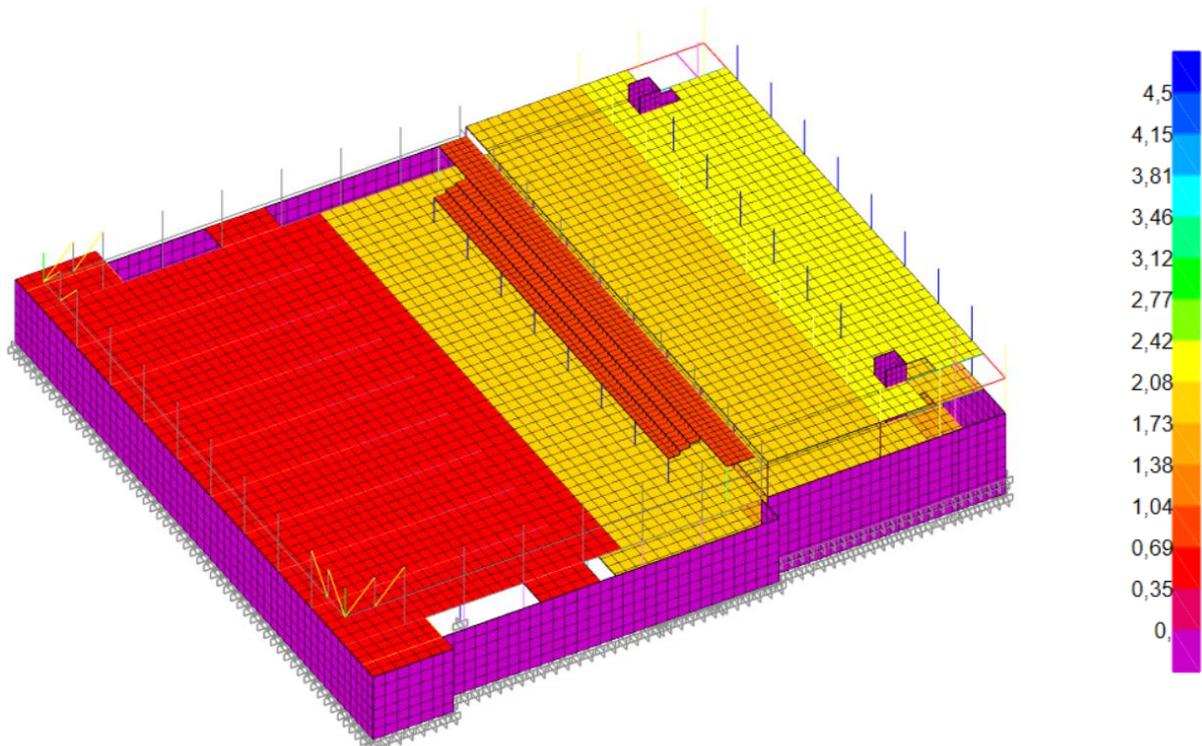


Figura 48. Cargas de la hipótesis CMP aplicadas a la Planta +1 del modelo. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m²]

**Planta cubiertas**

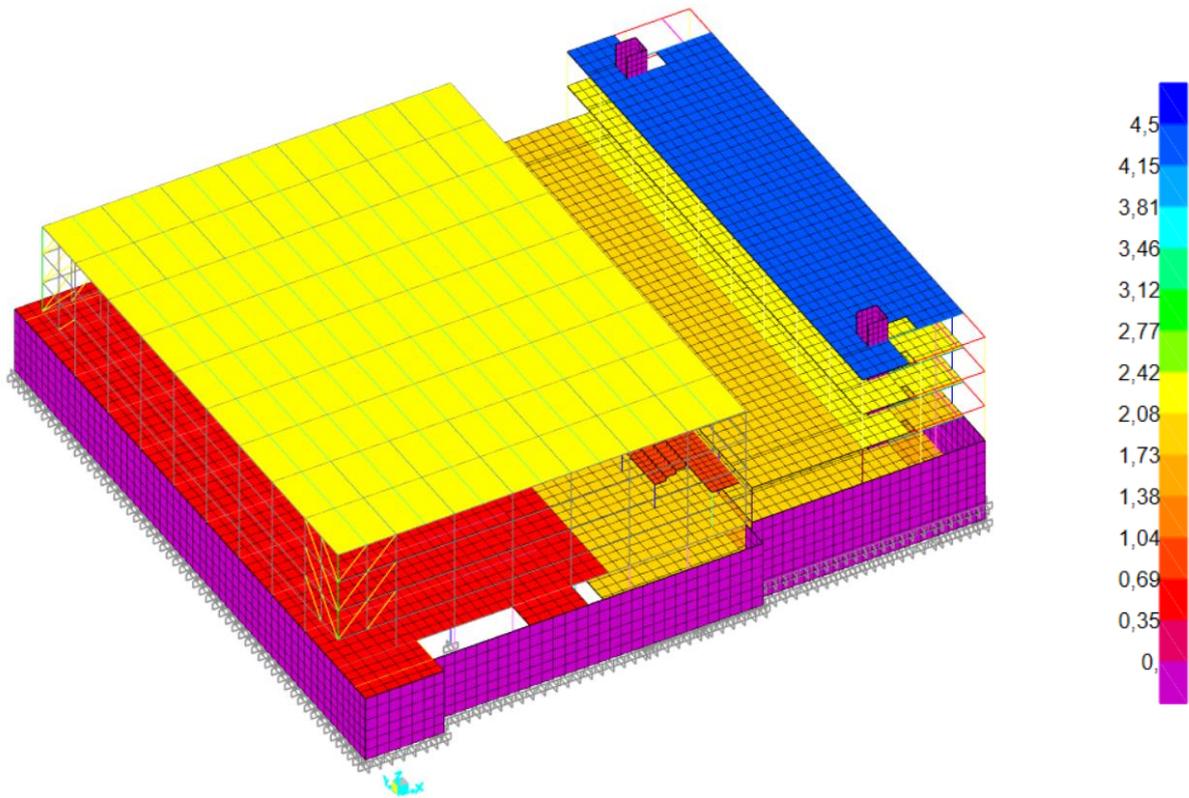


Figura 49. Cargas de la hipótesis CMP aplicadas al modelo completo. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m²]

**SCU | Sobrecarga de Uso**

**Planta -1**

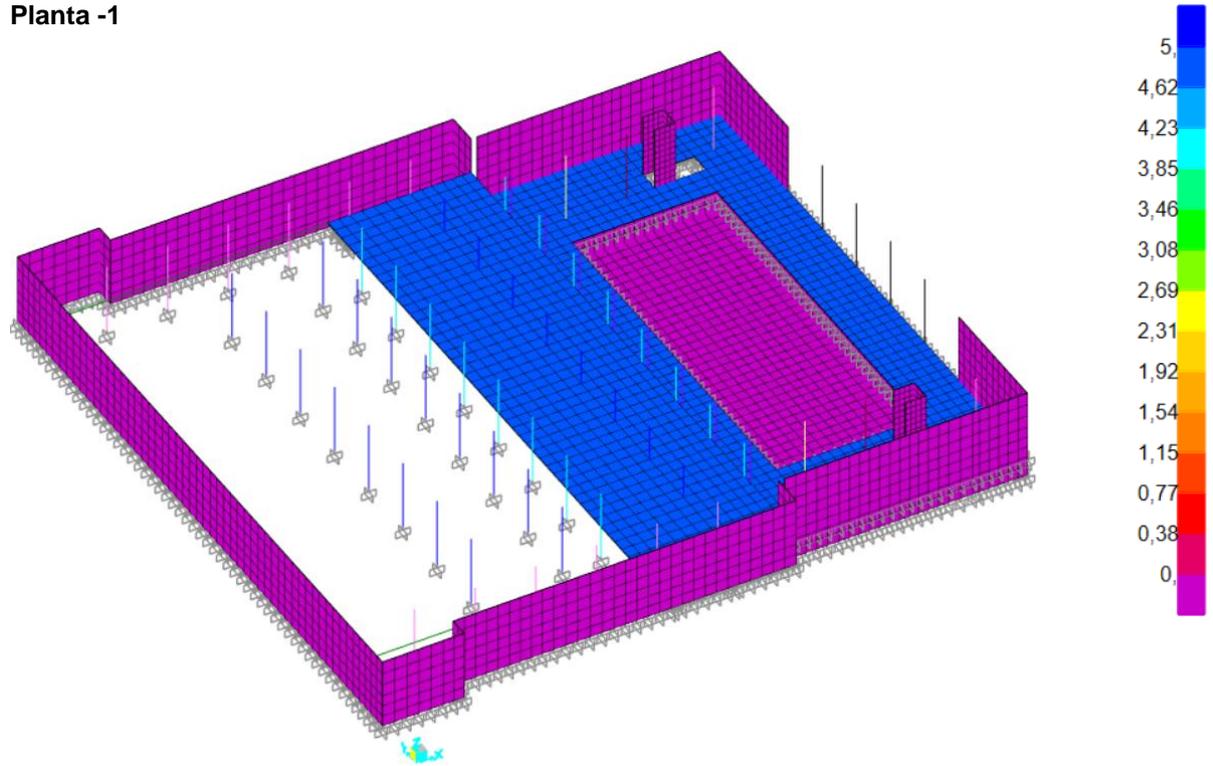


Figura 50. Cargas de la hipótesis SCU aplicadas a la Planta -1 del modelo. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m²]

**Planta 0**

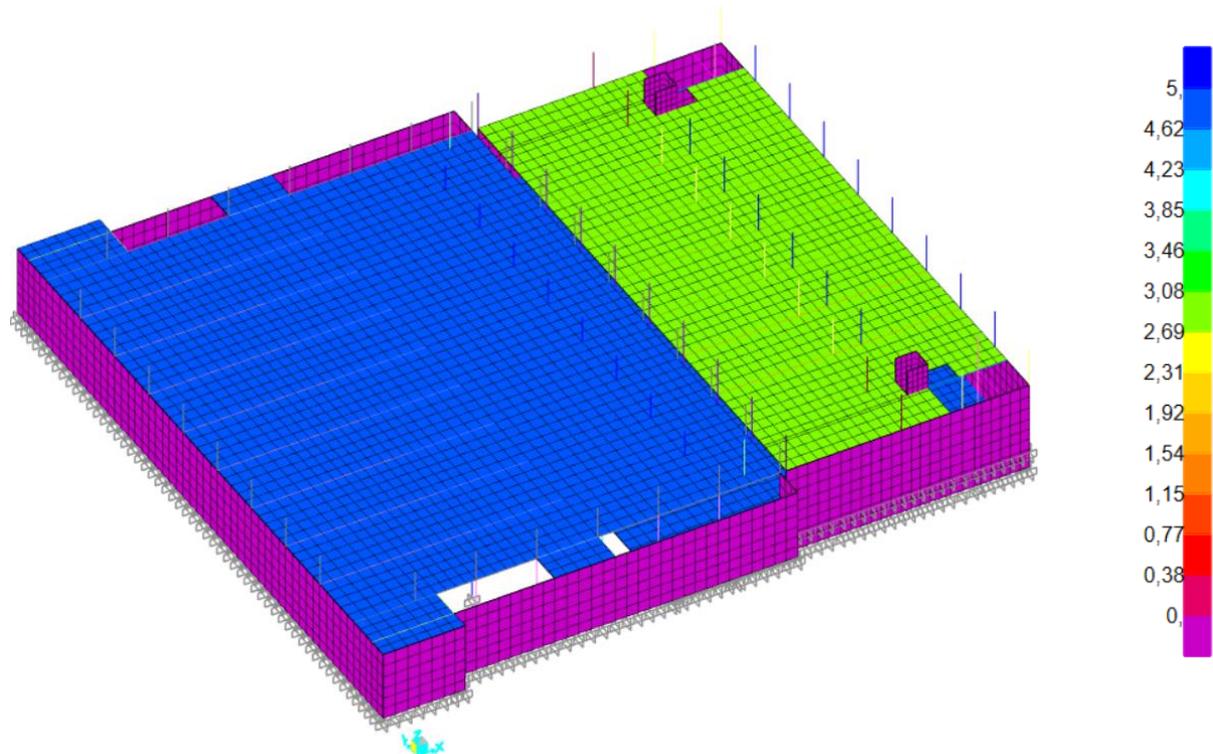


Figura 51. Cargas de la hipótesis SCU aplicadas a la Planta 0 del modelo. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m²]

**Planta +1**

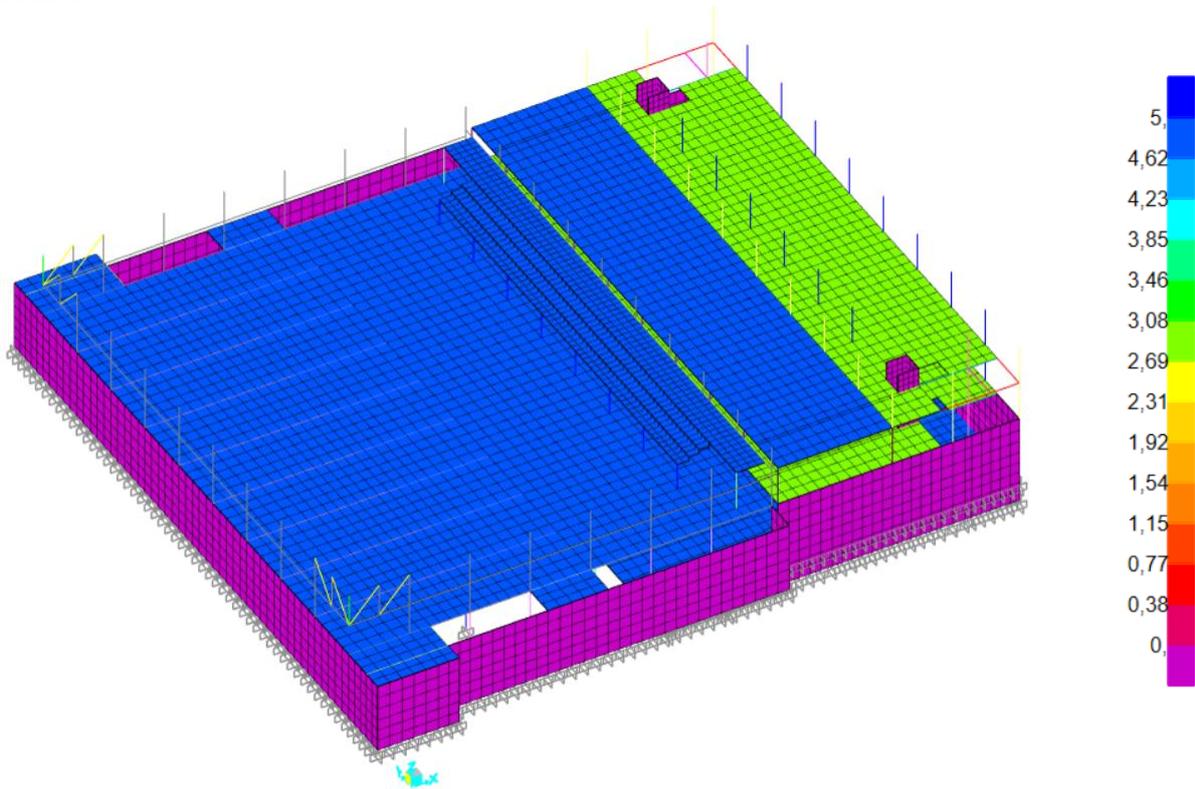


Figura 52. Cargas de la hipótesis SCU aplicadas a la Planta +1 del modelo. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m²]

**Planta cubiertas**

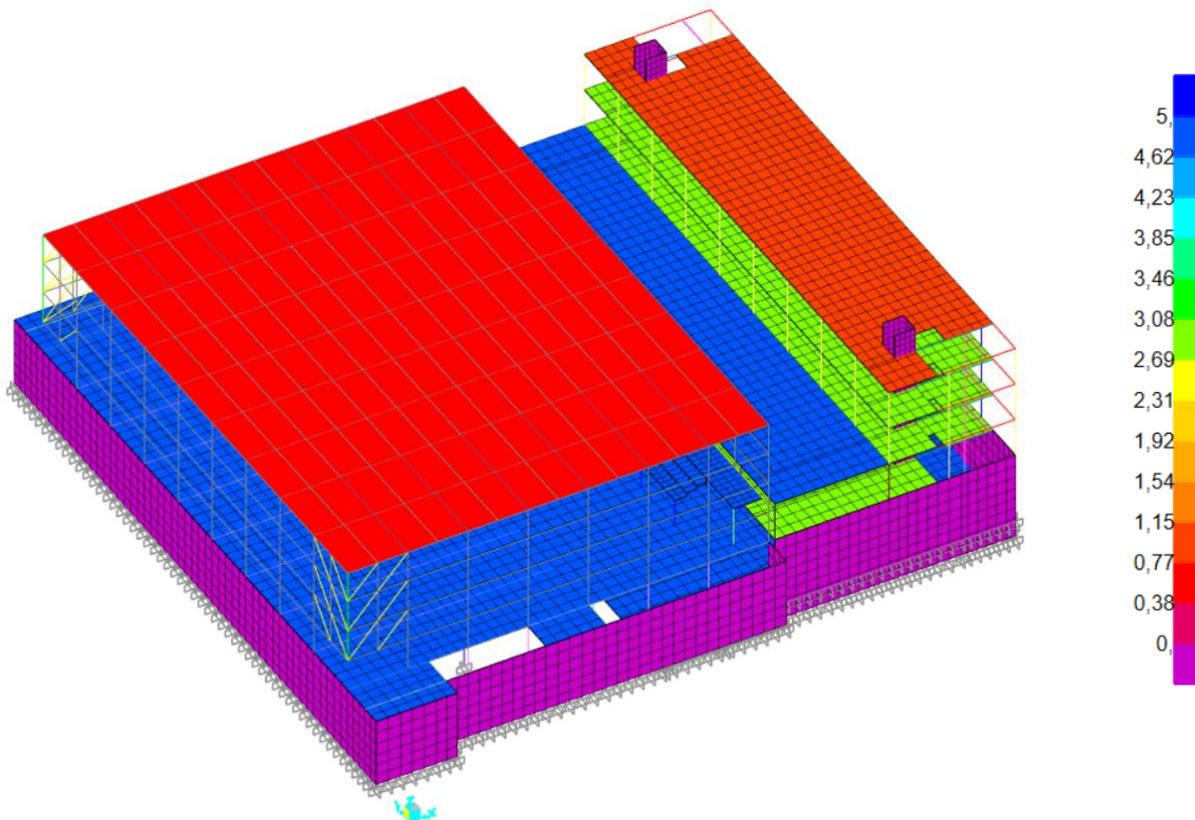


Figura 53. Cargas de la hipótesis SCU aplicadas al modelo completo. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m²]

**SCV | Sobrecarga de Viento**  
**SCVx presión**

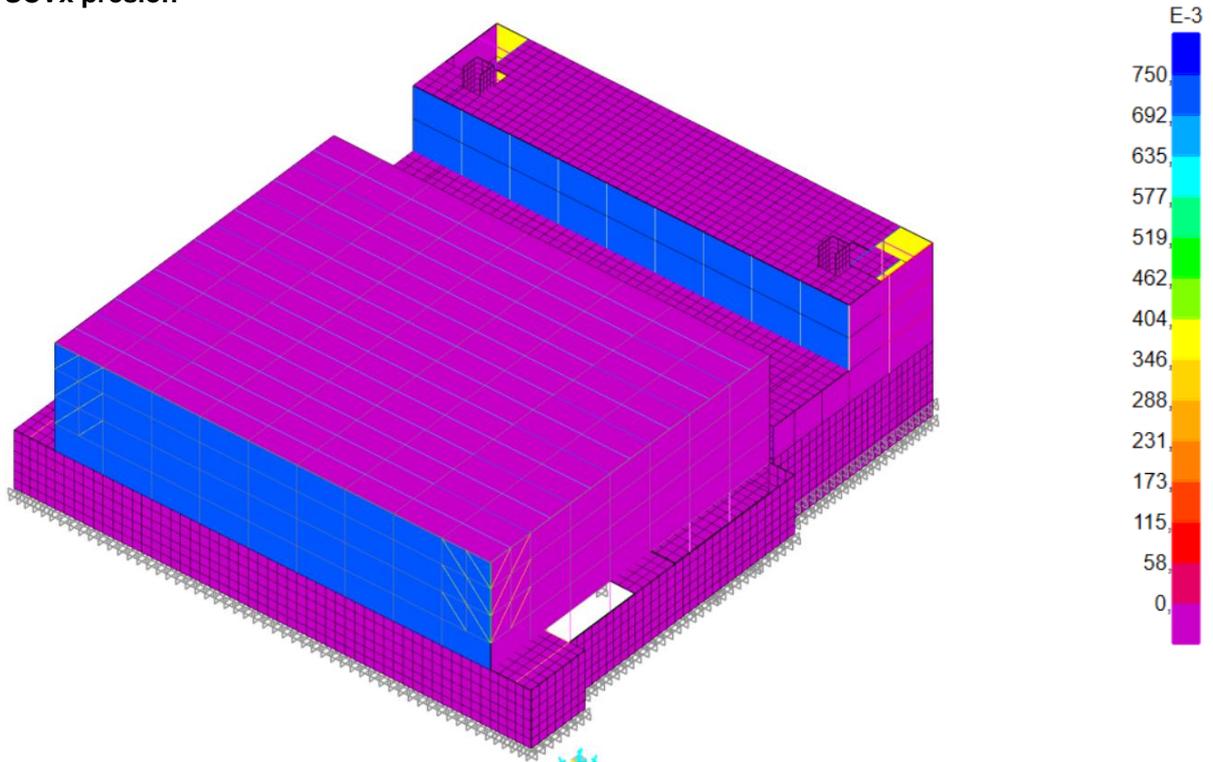


Figura 54. Cargas de la hipótesis SCV aplicadas a las fachadas en la dirección X a presión. [Extraído de SAP 2000]  
[Unidades: KN/m<sup>2</sup>]

**SCVx succión**

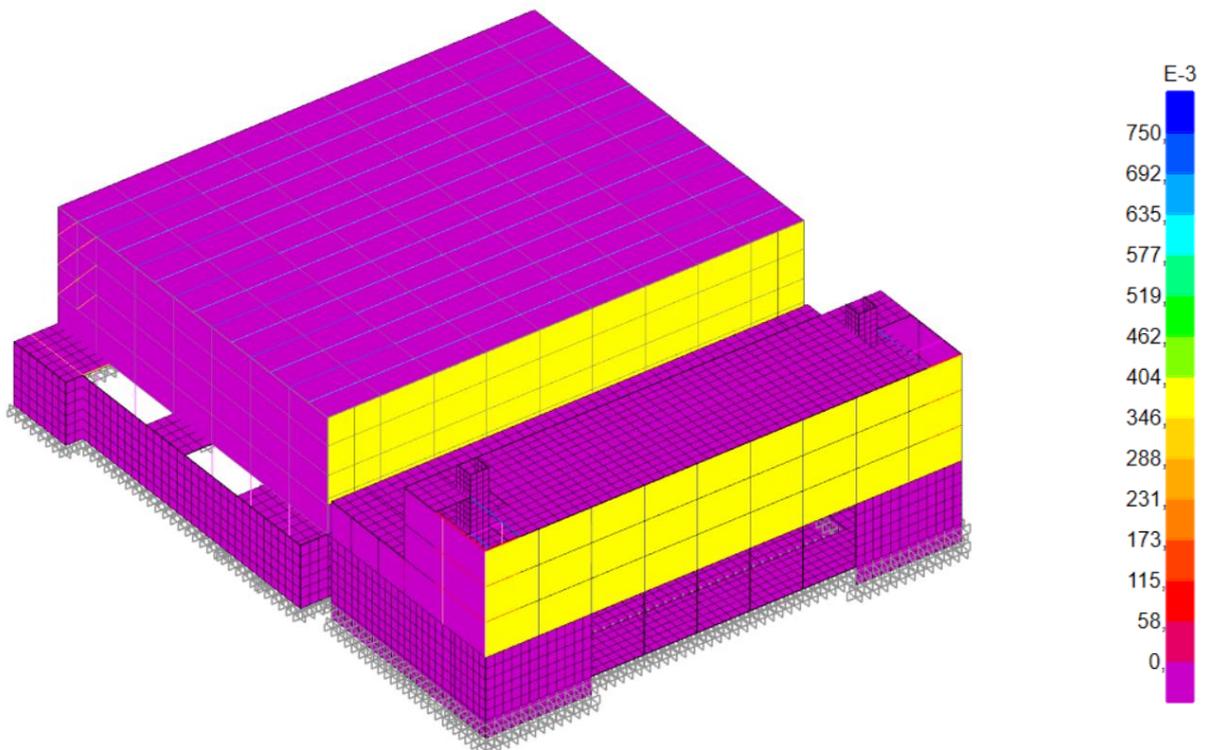


Figura 55. Cargas de la hipótesis SCV aplicadas a las fachadas en la dirección X a succión. [Extraído de SAP 2000]  
[Unidades: KN/m<sup>2</sup>]

**SCVy presión**

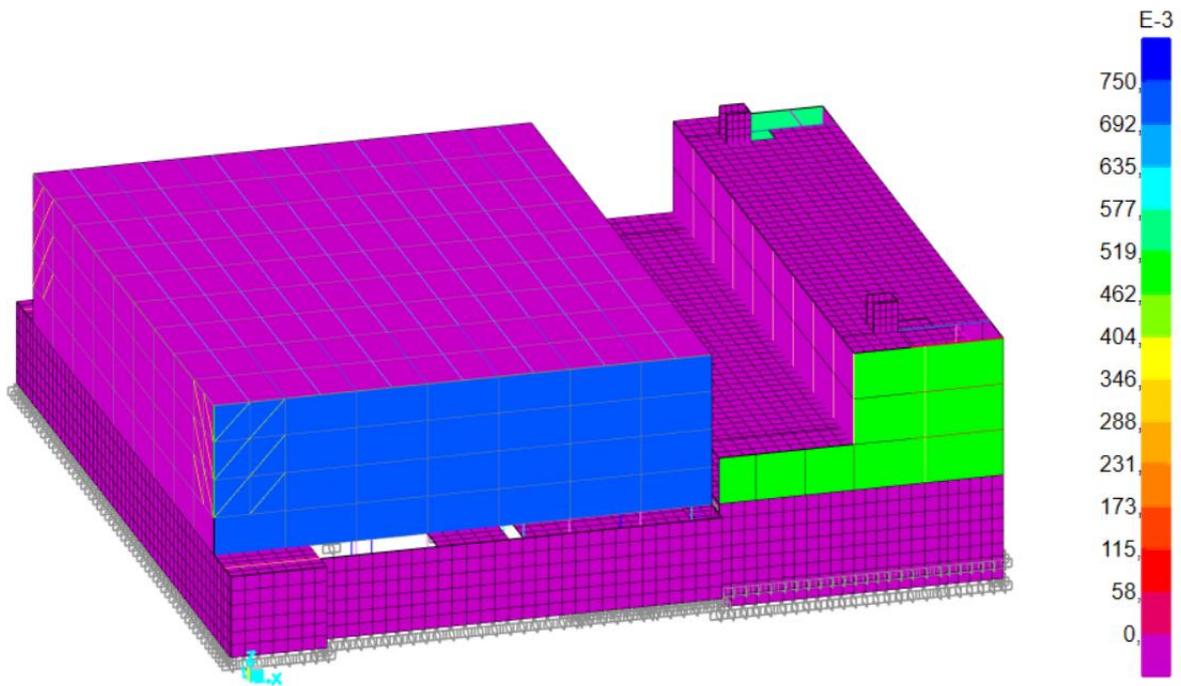


Figura 56. Cargas de la hipótesis SCV aplicadas a las fachadas en la dirección Y a presión. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m<sup>2</sup>]

**SCVy succión**

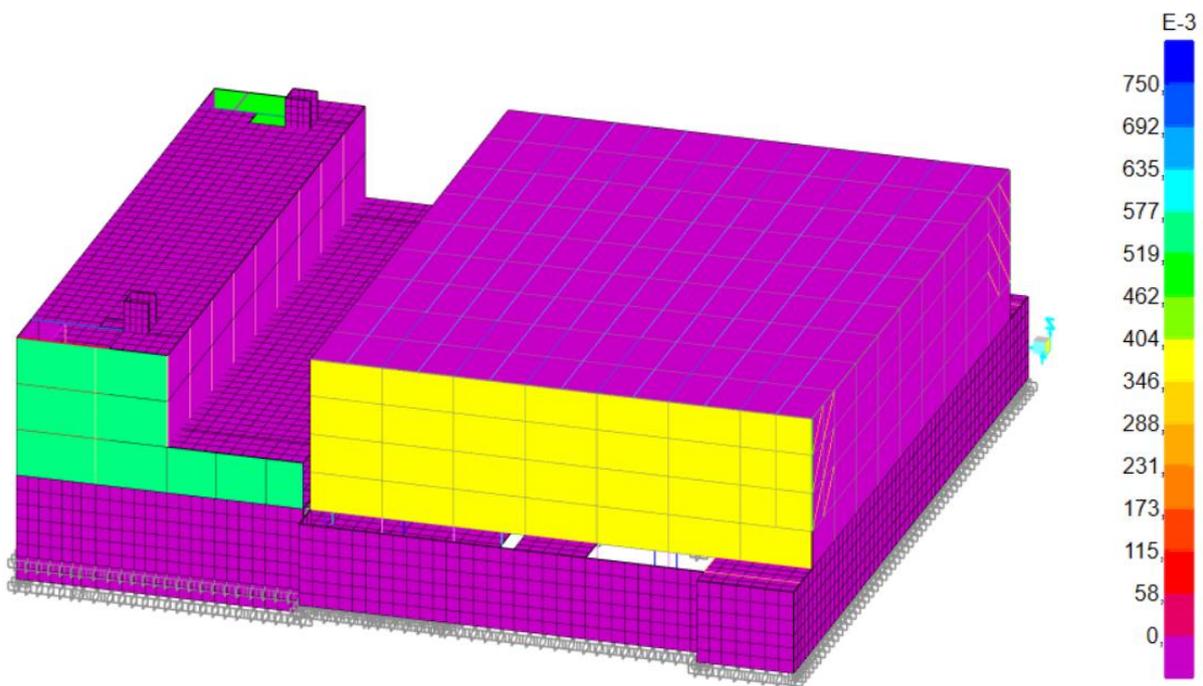


Figura 57. Cargas de la hipótesis SCV aplicadas a las fachadas en la dirección Y a succión. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m<sup>2</sup>]

**SCVx succión en cubierta**

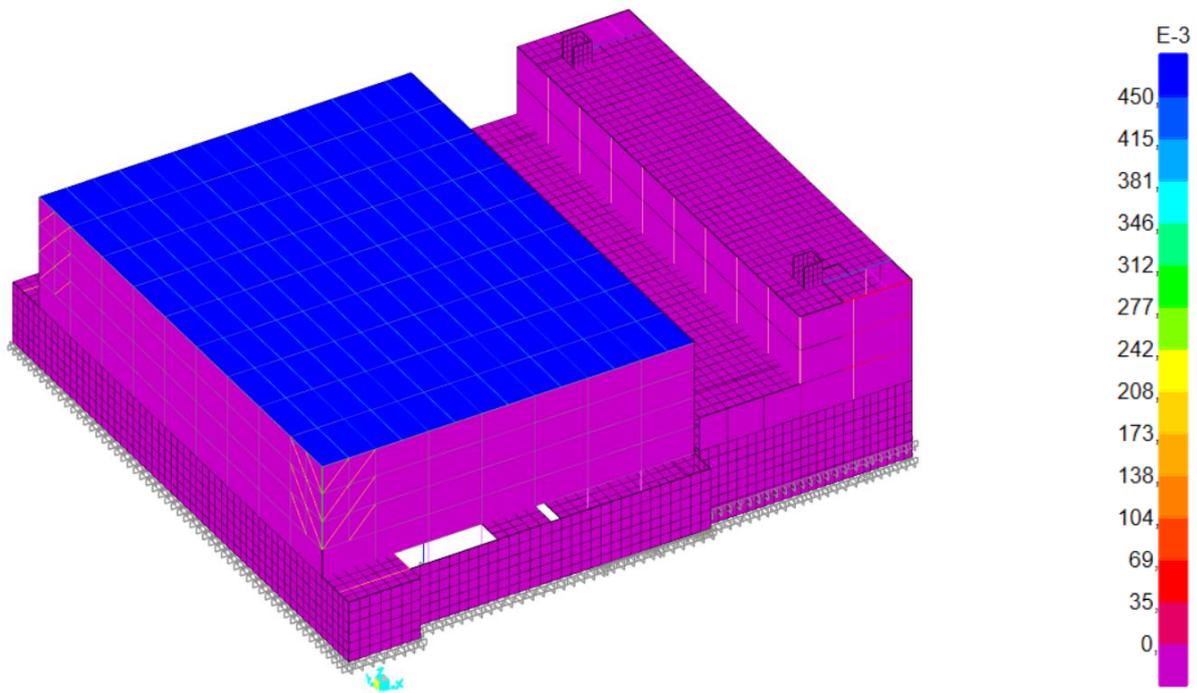


Figura 58. Cargas de la hipótesis SCV aplicadas a cubierta de la pista deportiva en la dirección Z a succión. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m²]

**SCN | Sobrecarga de Nieve  
Planta Cubiertas**

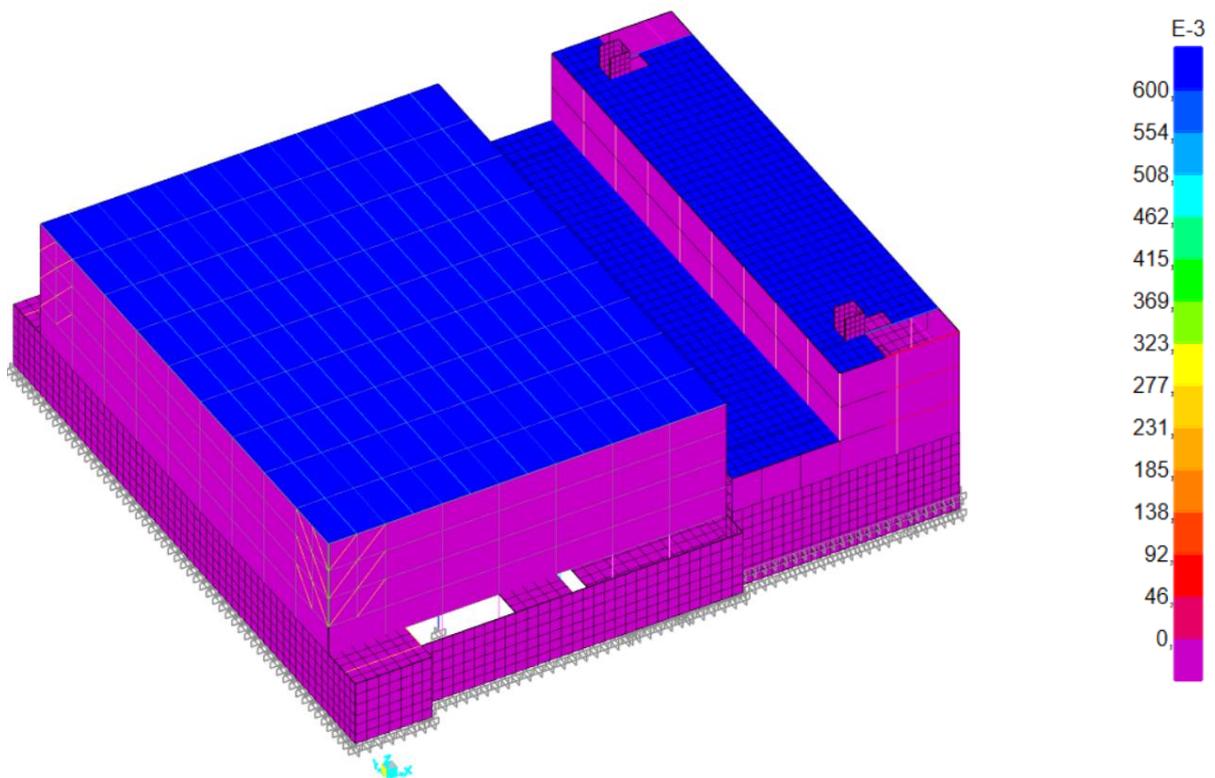


Figura 59. Cargas de la hipótesis SCN aplicadas a las cubiertas del modelo. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m²]

### 03.5 Combinación de acciones

Debido al comportamiento lineal de la estructura, se elaboran las combinaciones de acciones según el apartado 4.2.2 Combinación de acciones del Documento Básico de Seguridad Estructural (DB-SE) del CTE. Las combinaciones se componen de hipótesis de carga y de coeficientes de ponderación. Como se ha visto anteriormente, las acciones asignadas a la estructura son:

#### ACCIONES PERMANENTES (G)

DEAD | Peso Propio

CMP | Cargas Muertas Permanentes

#### ACCIONES VARIABLES (Q)

SCU | Sobrecarga de Uso

SCN | Sobrecarga de nieve en cubierta

SCV | Sobrecarga de viento [SCVp | Presión, SCVs | Succión]

Se distingue entre combinaciones de acciones para estados límite últimos (ELU) y para estados límite de servicio (ELS). Los estados límite últimos son aquellos en los que al ser sobrepasados la estructura puede colapsar. Los estados límite de servicio son aquellos que de ser rebasados producen una pérdida de funcionalidad y deterioro de la estructura. Estos son reparables mientras que los estados límite últimos pueden generar situaciones extremadamente graves.

Se tienen en cuenta los coeficientes de simultaneidad  $\psi$ , que son coeficientes que minoran las cargas considerando la menor probabilidad de que los valores máximos de varias cargas se den simultáneamente.

$\psi_0$  valor de combinación, el cual considera la pequeña probabilidad de que dos acciones actúen simultáneamente.

$\psi_1$  valor frecuente, el valor de la acción que será sobrepasado durante un período de corta duración.

$\psi_2$  valor cuasi permanente, la fracción de la carga que se considera permanente en la estructura.

#### ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS (ELU)

Coefficientes de mayoración de cargas  $\gamma = 1'35$  para acciones permanentes y  $\gamma = 1'50$  para acciones variables. Se pueden dar 3 situaciones:

Combinación de acciones para **situación persistente o transitoria**:

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

El valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondiente a una **situación extraordinaria** se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + A_d + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

En los casos en los que la **acción accidental sea la acción sísmica**, todas las acciones variables concomitantes se tendrán en cuenta con su valor casi permanente, según la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

En este trabajo se tendrán en cuenta las combinaciones de acciones para situaciones persistentes o transitorias, ya que estas quedan del lado de la seguridad respecto a situaciones extraordinarias. No se tendrán en cuenta las combinaciones para acción sísmica dado que la ubicación del proyecto se considera fuera de peligro sísmico. Los valores de cada uno de los factores requeridos en estas expresiones se recogen en las tablas 4.1 coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ ) para las acciones y 4.2 Coeficientes de simultaneidad ( $\psi$ ).

**Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ ) para las acciones**

Tipo de verificación <sup>(1)</sup>	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
<b>Resistencia</b>	Permanente	1,35	0,80
	Peso propio, peso del terreno		
	Empuje del terreno		
	Presión del agua		
	Variable	1,50	0
<b>Estabilidad</b>		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente	1,10	0,90
	Peso propio, peso del terreno		
	Empuje del terreno		
	Presión del agua		
	Variable	1,50	0

<sup>(1)</sup> Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Tabla 14. Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad para las acciones del CTE-DB-SE

**Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad ( $\psi$ )**

	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
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 $\leq$ 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

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

Tabla 15. Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad del CTE-DB-SE

**COMBINACIONES ELU**

ELUp	$1'35 \cdot G$
ELUqpu	$1'35 \cdot G + 1'5 \cdot 0'6 \cdot SCU$
ELUu	$1'35 \cdot G + 1'5 \cdot SCU$
ELUn	$1'35 \cdot G + 1'5 \cdot SCN$
ELUyx+	$1'35 \cdot G + 1'5 \cdot SCVx$
ELUvx-	$1'35 \cdot G - 1'5 \cdot SCVx$
ELUvy+	$1'35 \cdot G + 1'5 \cdot SCVy$
ELUvy-	$1'35 \cdot G - 1'5 \cdot SCVy$
ELUunvx+	$1'35 \cdot G + 1'5 \cdot SCU + 1'5 \cdot 0'5 \cdot SCN + 1'5 \cdot 0'6 \cdot SCVx$
ELUunvx-	$1'35 \cdot G + 1'5 \cdot SCU + 1'5 \cdot 0'5 \cdot SCN - 1'5 \cdot 0'6 \cdot SCVx$
ELUnuvx+	$1'35 \cdot G + 1'5 \cdot SCN + 1'5 \cdot 0'7 \cdot SCU + 1'5 \cdot 0'6 \cdot SCVx$
ELUnuvx-	$1'35 \cdot G + 1'5 \cdot SCN + 1'5 \cdot 0'7 \cdot SCU - 1'5 \cdot 0'6 \cdot SCVx$
ELUvx+un	$1'35 \cdot G + 1'5 \cdot SCVx + 1'5 \cdot 0'7 \cdot SCU + 1'5 \cdot 0'5 \cdot SCN$
ELUvx-un	$1'35 \cdot G - 1'5 \cdot SCVx + 1'5 \cdot 0'7 \cdot SCU + 1'5 \cdot 0'5 \cdot SCN$
ELUunvy+	$1'35 \cdot G + 1'5 \cdot SCU + 1'5 \cdot 0'5 \cdot SCN + 1'5 \cdot 0'6 \cdot SCVy$
ELUunvy-	$1'35 \cdot G + 1'5 \cdot SCU + 1'5 \cdot 0'5 \cdot SCN - 1'5 \cdot 0'6 \cdot SCVy$
ELUnuvy+	$1'35 \cdot G + 1'5 \cdot SCN + 1'5 \cdot 0'7 \cdot SCU + 1'5 \cdot 0'6 \cdot SCVy$
ELUnuvy-	$1'35 \cdot G + 1'5 \cdot SCN + 1'5 \cdot 0'7 \cdot SCU - 1'5 \cdot 0'6 \cdot SCVy$
ELUvy+un	$1'35 \cdot G + 1'5 \cdot SCVy + 1'5 \cdot 0'7 \cdot SCU + 1'5 \cdot 0'5 \cdot SCN$
ELUvy-un	$1'35 \cdot G - 1'5 \cdot SCVy + 1'5 \cdot 0'7 \cdot SCU + 1'5 \cdot 0'5 \cdot SCN$

**ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO (ELS)**

La norma considera la adopción de un coeficiente de mayoración de cargas  $\gamma = 1$  y combinaciones para las 3 siguientes situaciones:

Para **acciones de corta duración con efectos irreversibles**, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado característica, a partir de la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Los efectos debidos a las **acciones de corta duración que pueden resultar reversibles** se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado frecuente, a partir de la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Los efectos debidos a las **acciones de larga duración** se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado casi permanente, a partir de la expresión

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

**COMBINACIONES ELS**

ELSp	$1 \cdot G$
ELSqu	$1 \cdot G + 1 \cdot 0'6 \cdot SCU$
ELSu	$1 \cdot G + 1 \cdot SCU$
ELSn	$1 \cdot G + 1 \cdot SCN$
ELsvx+	$1 \cdot G + 1 \cdot SCVx$
ELsvx-	$1 \cdot G + 1 \cdot SCVx$
ELsvy+	$1 \cdot G + 1 \cdot SCVy$
ELsvy-	$1 \cdot G + 1 \cdot SCVy$
ELsintcon	$1 \cdot 0,5 \cdot CMP + 1 \cdot SCU$

### 03.5.1 Inserción de combinaciones en SAP 2000

Para establecer el cálculo de manera lineal se selecciona el menú *Define > Load Cases... > Linear Static*. Las hipótesis de carga se definen mediante el menú *Define > Load Patterns...*

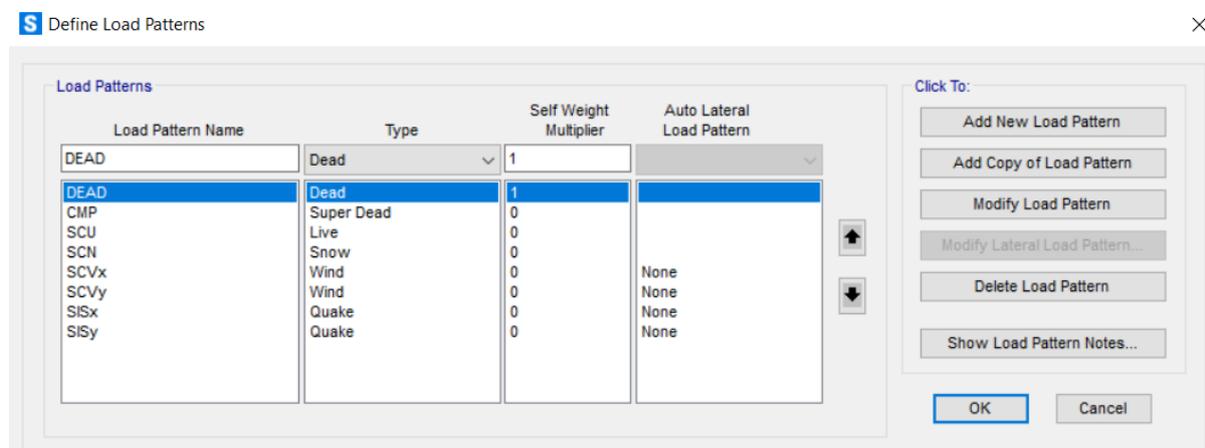


Figura 60. Cuadro de diálogo hipótesis de carga. [Extraído de SAP 2000]

Una vez definidas todas las combinaciones de acciones para el cálculo lineal de la estructura, para introducirlas en SAP 2000 se utiliza el menú *Define > Load Combinations*. A continuación, aparece el cuadro de diálogo de definición de una de las combinaciones (ELUqp).

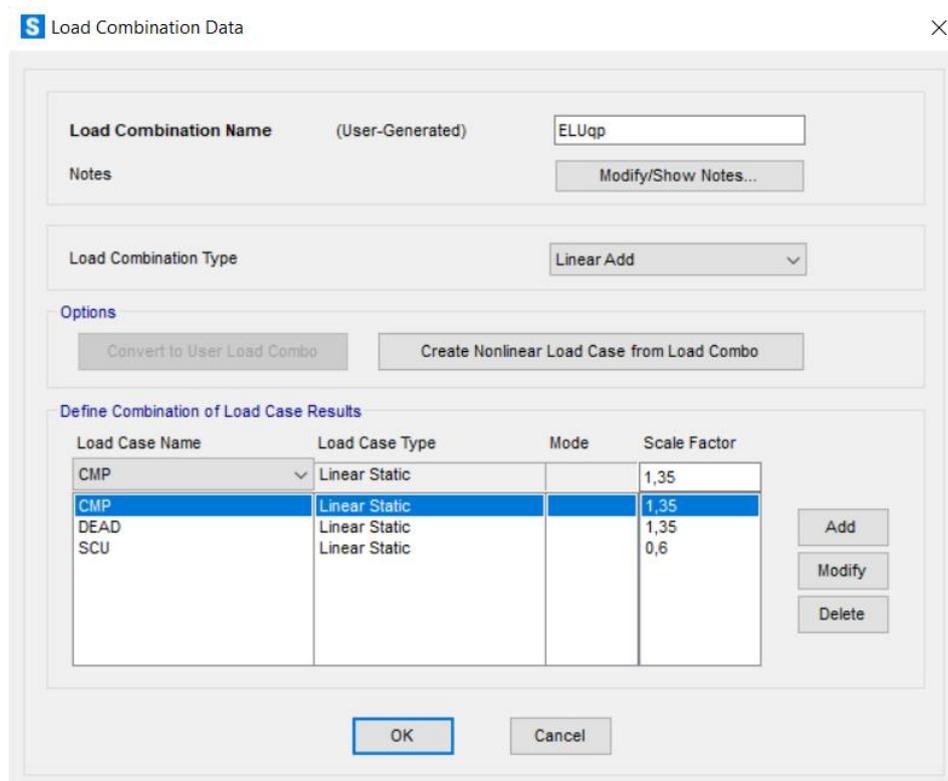


Figura 61. Cuadro de diálogo introducción de la combinación ELUqp. [Extraído de SAP 2000]

## 04\_ Resultados de deformación

Una vez han sido introducidos los datos de hipótesis, cargas, secciones, condiciones de enlace y combinaciones de acciones vistos anteriormente en el programa SAP 2000, se procede al cálculo del modelo estructural mediante el menú *Analyze > Run Analysis*.

Como se ha visto a lo largo del trabajo, el edificio de análisis presenta una dualidad estructural, esto es, estructura mixta de acero y hormigón. El acero y el hormigón en el caso de flecha con el tiempo se comportan de forma diferente. Por un lado, la flecha inicial que se produce en el acero cuando la estructura entra en carga es directa, ya que es un material que no presenta un reajuste molecular con el tiempo. Una vez se produce la flecha, ésta permanece inalterada si no cambian las cargas o condiciones de enlace. Por otro lado, el hormigón no tiene una respuesta real elástica ni lineal, sufre una flecha diferida, es un material que se readapta con el tiempo teniendo una curva de adaptación que puede durar incluso años.

El análisis de la estructura que se lleva a cabo es a partir del cálculo de tipo elástico y lineal, esto es, movimientos de la estructura elásticos e instantáneos. No proporciona una deformación diferida con el tiempo. Esto permite asociar una deformación a cada una de las hipótesis de acciones consideradas, y por tanto obtener las deformaciones para cada combinación como suma de las deformaciones debidas a cada hipótesis. El análisis de deformaciones es el primero que se lleva a cabo, para seguir así el método de cálculo utilizado por el programa, ya que este, mediante las matrices de rigideces primero calcula las deformaciones de la estructura (ELS), y a partir de estas, los esfuerzos en todos sus puntos (ELU).

Una vez realizado este análisis, mediante el menú *Display > Show Deformed Shape...* a través del cuadro de diálogo que se abre se pueden ajustar la combinación para la que se muestra la deformada de la estructura, la escala de las deformaciones mostradas o la escala de colores para el dibujo de líneas de contorno que muestran los valores de los desplazamientos en cada punto de la estructura.

En este apartado se comprueba que la estructura tiene un comportamiento apto de manera que no se superan los valores límite admisible relacionados con las deformaciones según lo establecido en el apartado *SE 2 Aptitud de Servicio del Documento Básico - Seguridad Estructural (DB-SE) del Código Técnico de la Edificación (CTE)*.

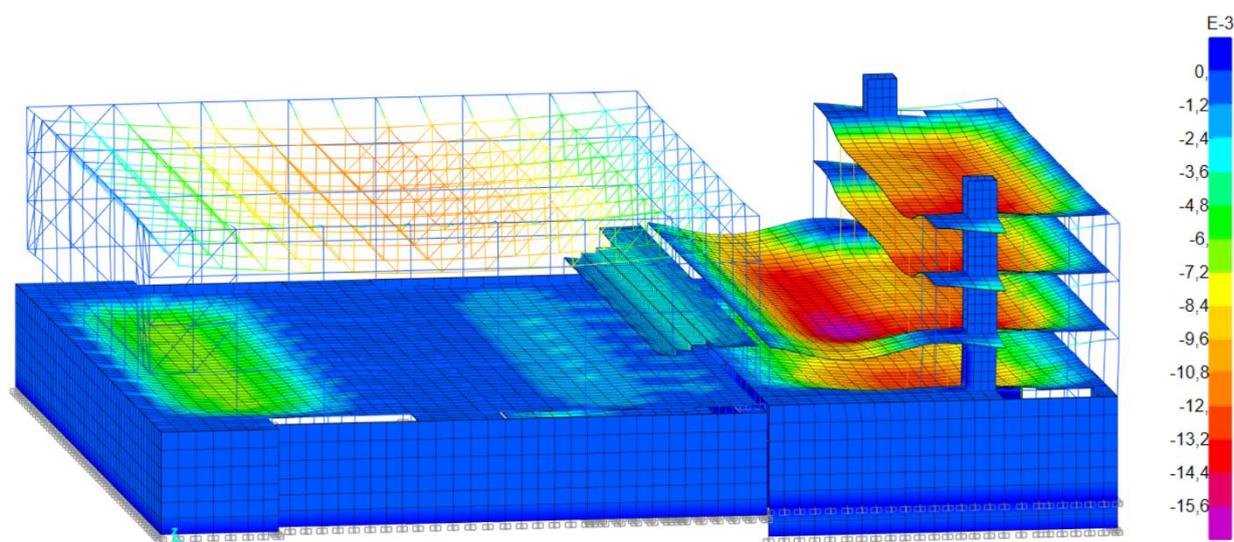


Figura 62. Deformada general. [Extraída de SAP 2000] [Unidades: m]

#### 04.1 Comprobación de flechas relativas

La primera comprobación que se ha realizado del modelo estructural es la flecha, es decir, el cumplimiento de una deformación máxima de la estructura según el *Código técnico de la edificación*. Es recomendable realizar primero esta comprobación y después la de resistencia, ya que en el caso de que se tengan que realizar modificaciones por falta de capacidad resistente, los cambios serán hacia la búsqueda de mayor rigidez, que siempre implica una menor deformación.

Según el apartado 4.3.3.1 Flechas del Documento Básico de Seguridad Estructural (DBSE) del CTE, existen 3 comprobaciones:

##### Integridad de los elementos constructivos

Se debe a la integridad de elementos constructivos tales como tabiques. Se tiene que comprobar en aquella combinación ELS que cuente todas las deformaciones que se producen después de ejecutado el elemento. Vamos a comprobar la integridad constructiva de los elementos en la combinación ELSintcon. **1/500**

##### Confort de los usuarios

Cuando se considere el confort de los usuarios, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando solamente las acciones de corta duración, la flecha relativa, es menor que **1/350**. Se va a supervisar la deformación que se produce como consecuencia de la sobrecarga de uso. Vamos a comprobar el confort de los usuarios en la hipótesis de SCU.

##### Apariencia de la obra

El ojo humano no es capaz de observar pendiente hasta que esta sobrepasa 1/300, por tanto, la limitación determina que, ante cualquier combinación de acciones casi permanente, la flecha relativa debe ser menor de **1/300** de la luz. Siendo la flecha relativa la diferencia de movimiento vertical entre dos puntos y la luz el doble de la distancia horizontal entre ellos. Vamos a comprobar la apariencia de la obra en la hipótesis ELSqpu, esto es, todas las permanentes incluyendo el peso propio de la estructura, más toda la carga muerta permanente, más la fracción de la sobrecarga de uso.

Las condiciones anteriores deben verificarse entre dos puntos cualesquiera de la planta, tomando como luz el doble de la distancia entre ellos. En general, será suficiente realizar dicha comprobación en dos direcciones ortogonales.

## ESTRUCTURA METÁLICA

Para comprobar la flecha máxima en la estructura metálica se ha observado la deformada para detectar el movimiento máximo de la estructura. Este movimiento máximo sucede en las cerchas, en el centro de vano entre apoyos. Las cerchas tienen función de cubierta, por esto no es necesario comprobar las limitaciones de integridad de los elementos constructivos ni el de confort de los usuarios, únicamente se comprueba la limitación de **apariencia de la obra**.

$$dz_1 = 41,30 \text{ mm}$$

$$dz_2 = 2,90 \text{ mm}$$

$$\Delta dz = 42,40 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia} = 18,90 \text{ m}$$

$$f < L/300; L / f > 300; 2 \cdot 18,90 \cdot 10^3 / 42,40 = 892 > 300$$

La flecha cumple la limitación ampliamente, por lo que el dimensionado de los elementos de acero es correcto. En la siguiente imagen se observa la deformada de la cercha en sección.

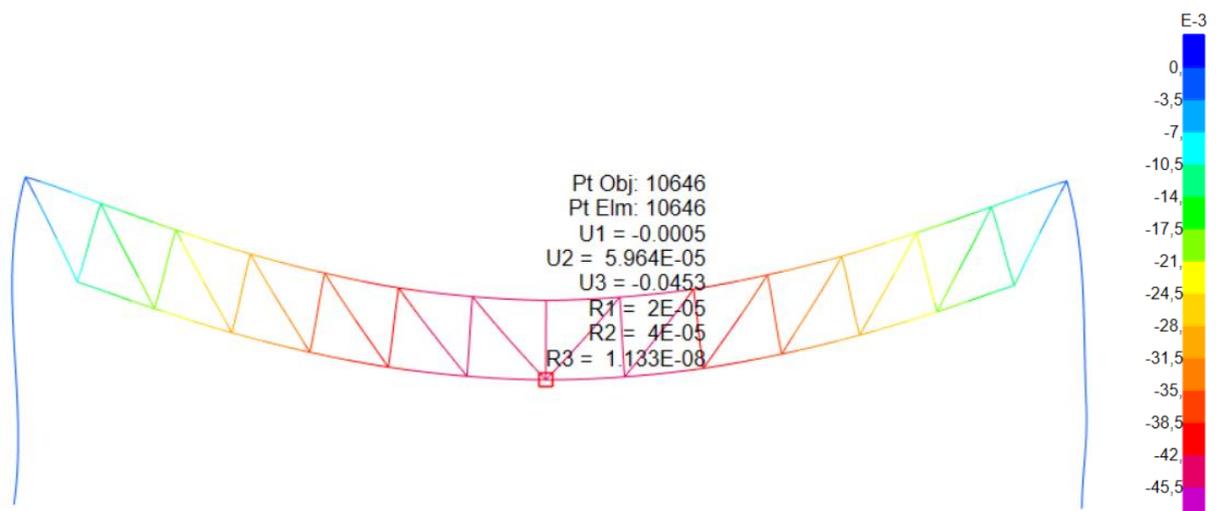


Figura 63. Deformaciones ocasionadas por la combinación de cargas ELSqpu en la estructura metálica del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: m]

## ESTRUCTURA DE HORMIGÓN

Como se puede observar en la deformada general, la zona más afectada del proyecto en la estructura de hormigón es el patio alto. Se comprueban las limitaciones de integridad de los elementos constructivos, confort de los usuarios y apariencia de la obra.

### Integridad de los elementos constructivos

Se va a comprobar la integridad constructiva de los elementos en la combinación ELSintcon.

$$dz_1 = 22,5 \text{ mm}$$

$$dz_2 = 11,2 \text{ mm}$$

$$\Delta dz = -11,3 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia} = 4,66 \text{ m}$$

$$f < L/300; \quad L/f > 300; \quad 2 \cdot 4,66 \cdot 10^3 / 11,3 = 825 > 500$$

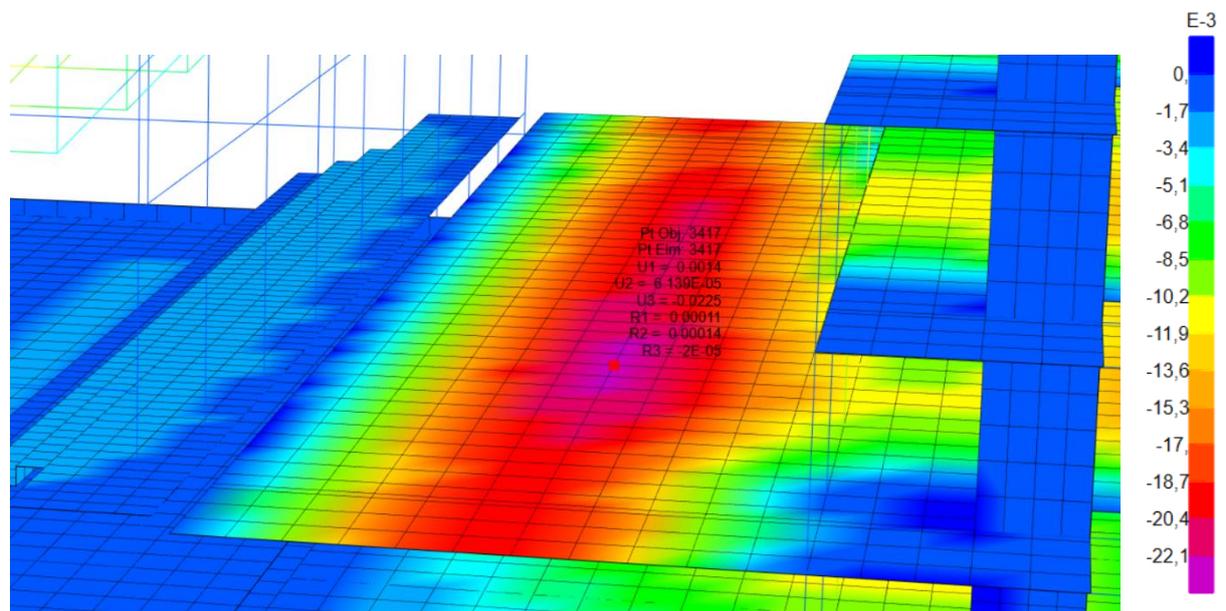


Figura 64. Deformaciones ocasionadas por la combinación de cargas ELSintcon en el forjado del patio alto del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: m]

Como se observa, se cumple ampliamente la limitación impuesta para la integridad de los elementos constructivos.

### Confort de los usuarios

Se ha comprobado esta limitación en el caso más desfavorable del edificio, concretamente en la zona del patio alto. Se va a comprobar el confort de los usuarios en la hipótesis de SCU.

$$dz_1 = 3,2 \text{ mm}$$

$$dz_2 = 8,5 \text{ mm}$$

$$\Delta dz = 5,3 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia} = 4,66 \text{ m}$$

$$f < L/300; \quad L / f > 300; \quad 2 \cdot 4,66 \cdot 10^3 / 5,3 = 1758 > 350$$

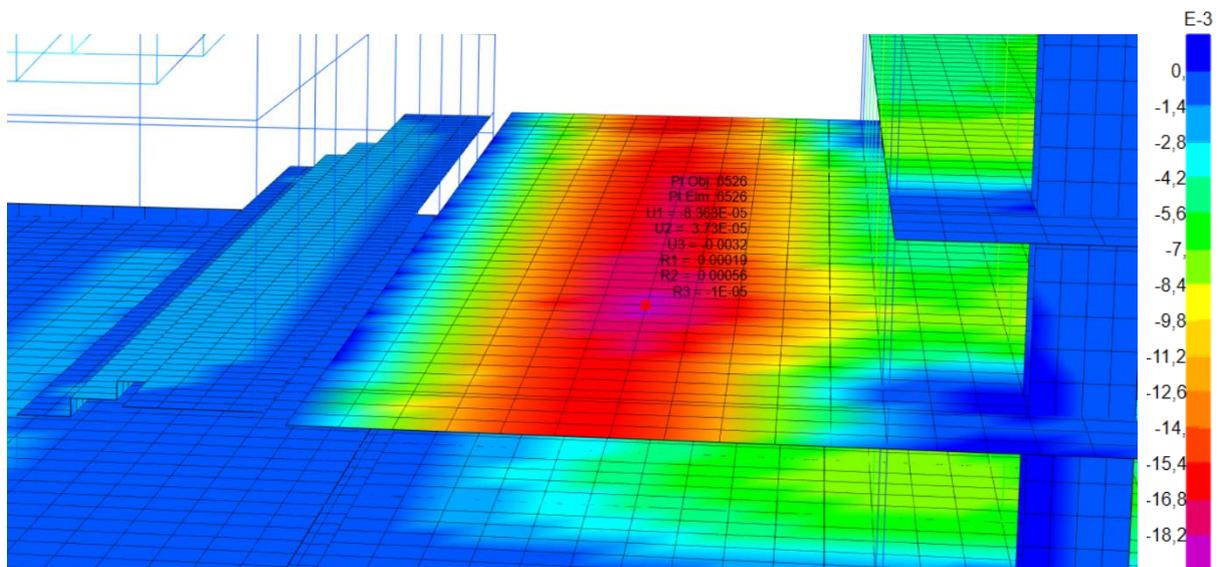


Figura 65. Deformaciones ocasionadas por la combinación de cargas SCU en el patio alto del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: m]

Se cumple generosamente la limitación de confort de los usuarios. Ya que la flecha encontrada en este punto es del orden de 3,2 milímetros, esta condición era muy probable, puesto que tiene una magnitud muy pequeña si se tienen en cuenta las grandes luces del edificio.

### Apariencia de la obra

Se ha comprobado esta limitación en el caso más desfavorable del edificio, también se da para esta combinación en el patio alto. Se va a comprobar la apariencia de la obra en la hipótesis ELSqpu.

$$dz_1 = 35,4 \text{ mm}$$

$$dz_2 = 25,2 \text{ mm}$$

$$\Delta dz = 10,2 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia} = 4,46 \text{ m}$$

$$f < L/300; \quad L / f > 300; \quad 2 \cdot 4,46 \cdot 10^3 / 10,2 = 875 > 300$$

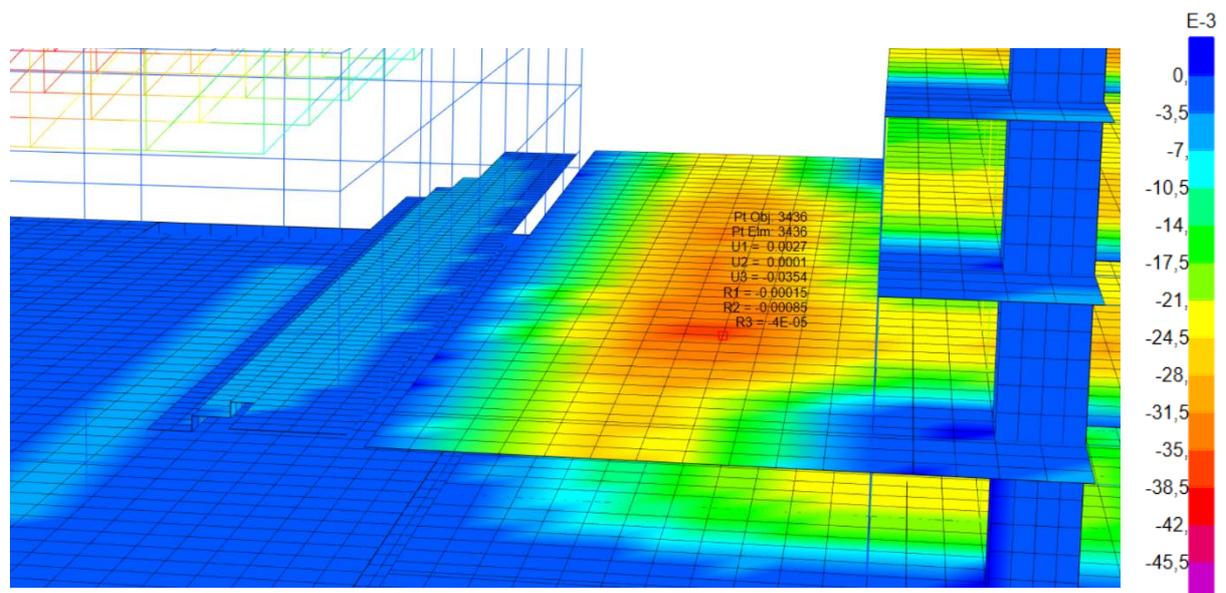


Figura 66. Deformaciones ocasionadas por la combinación de cargas ELSqpu en el patio alto del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: m]

Como se observa, se cumple la limitación impuesta para la apariencia de la obra.

### 04.2 Comprobación de desplomes

El edificio se moverá horizontalmente tanto por cargas verticales no simétricas, como por acciones del viento. Se comprueban desplomes laterales solo por acciones de viento. Se observan las deformaciones sufridas por la estructura en las deformadas horizontales generales, de acuerdo con las direcciones principales X e Y. La hipótesis de viento que añade más movimiento en su dirección es ELSvy+.

#### ELSVx+

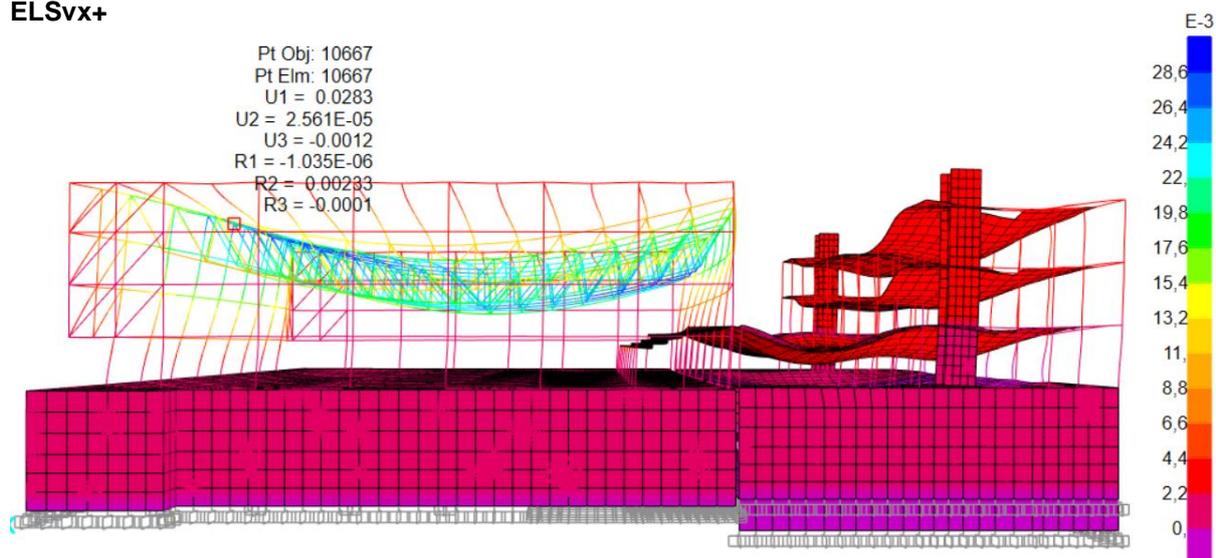


Figura 67. Máximo desplome en el eje X debidos a la hipótesis ELSvx+. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: m]

#### ELSVy+

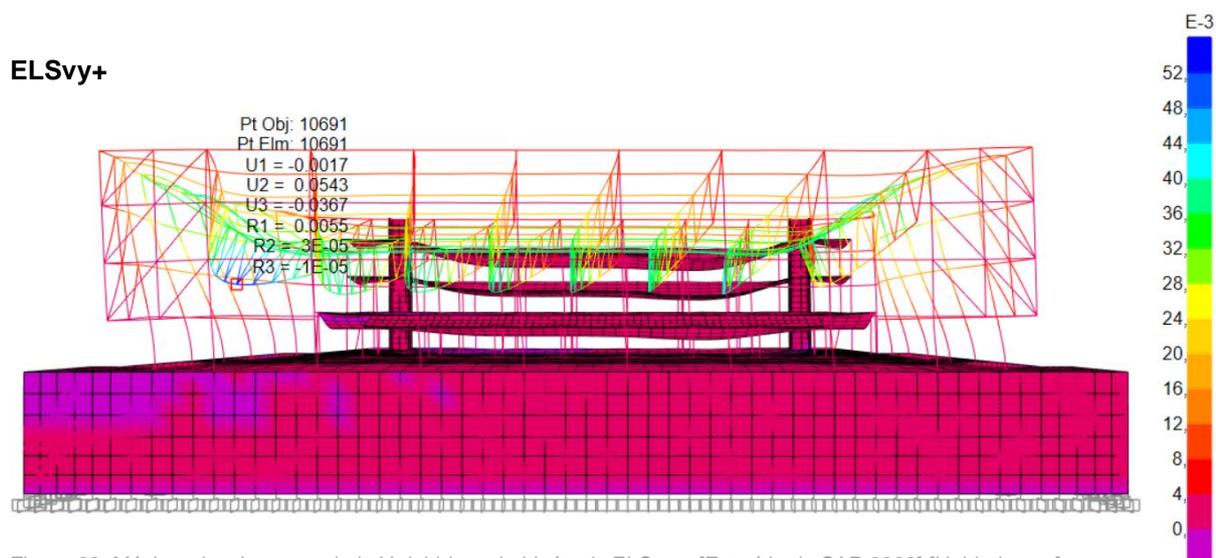


Figura 68. Máximo desplome en el eje Y debidos a la hipótesis ELSvy+. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: m]

Según el apartado 4.3.3.2 Desplazamientos horizontales del Documento Básico de Seguridad Estructural (DBSE), se han de cumplir dos criterios, el de integridad de elementos constructivos y apariencia de la obra.

Para considerar la **integridad de los elementos constructivos** susceptibles de ser dañados por desplazamientos horizontales, en nuestro caso fachadas rígidas, el edificio se comprueba de manera global,  $1/500$  de la altura total del edificio y de manera local,  $1/250$  de la altura de la planta, en cualquier planta. Se procede a calcular la más restrictiva de las dos, esta es, la limitación **1/500**, si cumple cumplirán también los desplomes locales.

### Desplome total

$$\Delta dy < h / k; \quad h / \Delta dy > k; \quad 12000 \text{ mm} / 54,3 \text{ mm} = 221 > \mathbf{500}$$

Para considerar la **apariencia de la obra**, se admite que la estructura global tiene suficiente rigidez lateral, si frente a cualquier combinación de acciones casi permanente, el desplome relativo es menor que **1/250**. Del lado de la seguridad, se ha tomado la carga completa de viento, al no haberse dispuesto una combinación especial de viento. Se aplicará a la combinación ELS<sub>qu</sub>.

$$\Delta dx < h / k; \quad h / \Delta dx > k; \quad 12000 \text{ mm} / 54,3 \text{ mm} = 221 > \mathbf{250}$$

Los puntos más desfavorables de desplome se dan en las cerchas metálicas, estas no cumplen la limitación de desplome, mientras que la estructura de hormigón sí.

## 05\_ Resultados de resistencia

### 05.1 Peritación de elementos metálicos

Se pueden comprobar a resistencia las barras estructurales metálicas con SAP 2000 de manera automática. La diferencia con el cálculo manual reside en que el programa analiza todas las combinaciones por separado de manera que una barra cumple si supera todos los estados de carga de forma aislada, no la envolvente de estos. Mediante el menú Start Steel Design /Check of Structure > Select Design Combos seleccionamos la lista de combinaciones que queremos que compruebe. Se comprueban todas las combinaciones ELU, excepto las de sismo y la envolvente ELU.

Del lado de la seguridad, mediante el menú Start Steel Design /Check of Structure > View/Revise Preferences aparece el cuadro de diálogo Steel Frame Design Preferences for Eurocode 3 y se supone el edificio traslacional.

Para comprobar la estructura se pulsa el menú Design-Steel Frame Design > Start Design/Check of Structure. SAP 2000 presenta una escala de colores con el grado de saturación de las barras. Las barras que están en color cian están por debajo del 50% de saturación, se podrían reducir sus secciones. Las verdes están entre el 50% y el 70%, las amarillas entre 70% y 90% y naranjas entre 90% y 100% del nivel de saturación. Las barras rojas están por encima del nivel de saturación, esto no quiere decir que se rompan si no que no cumplen los coeficientes de seguridad establecidos en la norma.

También se puede mostrar el factor de saturación de manera desglosada, ofreciendo el valor de la saturación debida a axil, a la flexión principal, a la flexión secundaria y al cortante, la suma de todos estos valores es la que debe de ser inferior a la unidad. En la siguiente figura se muestran los resultados de la primera peritación:

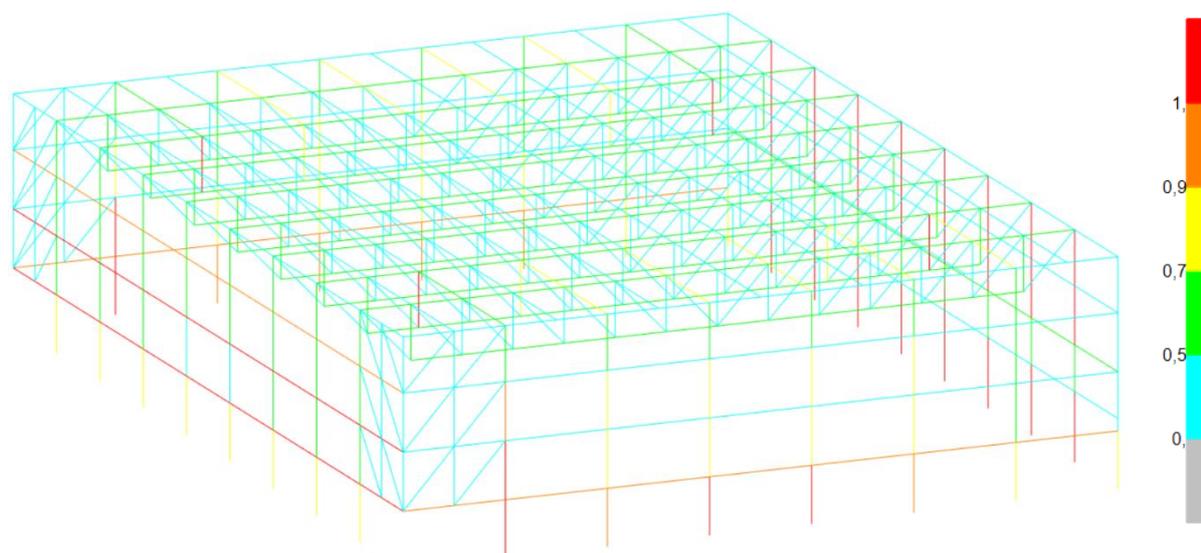


Figura 69. Peritación de la estructura metálica del modelo. [Extraído de SAP 2000]

De esta primera peritación de la estructura se extrae que no cumplen a resistencia 44 elementos de los siguientes grupos:

StBarras HEB 300  
StBarras HEB 180



Figura 70. Barras de la estructura metálica que no cumplen a resistencia. [Extraído de SAP 2000]

Se pueden mostrar los factores correspondientes a cada barra desde el menú Start Steel Design /Check of Structure > Display Design Info.

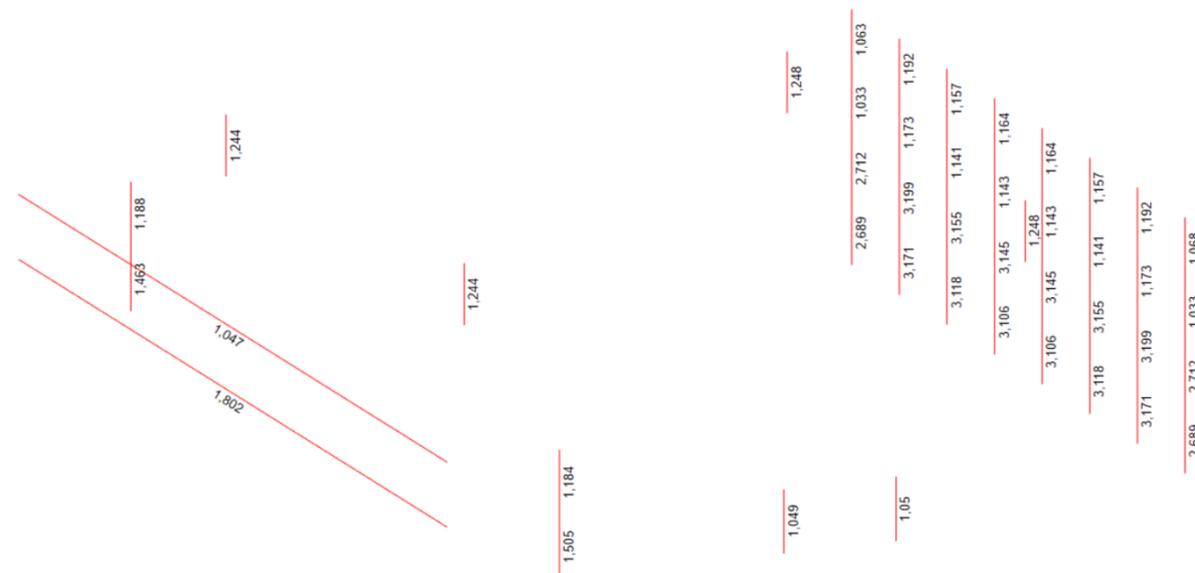


Figura 71. Factores sobre las barras de la estructura metálica que no cumplen a resistencia. [Extraído de SAP 2000]

Mediante el menú Start Steel Design /Check of Structure > View/Revise Overwrites se pueden modificar diferentes aspectos sobre la estructura metálica que el programa interpreta mal.

En primer lugar, dentro del cuadro de diálogo se accede a la opción 3 Section Class. Los perfiles metálicos pueden ser de clase 1, 2, 3 o 4. Los perfiles IPE y HEB son de clase 1, esto es que su momento último de resistencia es plástico, no elástico, siendo esta la más resistente. El programa por defecto establece la Clase 3 para todos los perfiles, se modifica a Clase 1.

Por otro lado, algunos de estos elementos han sido modelizados con una única línea, el programa establece por defecto la longitud total de estas barras como longitud de pandeo, sin tener en cuenta arriostramientos transversales. Por esto, se ha impuesto que se reduzca el pandeo con un coeficiente establecido en función de las subdivisiones reales de cada barra. Las barras horizontales se subdividen en 12 partes,  $1/12 = 0,083$ , las barras verticales con mayor longitud se subdividen en 4 partes,  $1/4 = 0,25$ . En las barras del interior de las cerchas se puede despreciar el pandeo ya que existen barras diagonales que evitan el pandeo lateral.

Los puntos 24 Unbraced Length Ratio (Major), 25 Unbraced Length Ratio (Minor), 26 Unbraced Length Ratio (LTB), son los hacen referencia a la longitud libre de arriostramiento. Se modifican estos valores y se vuelve a calcular con estas condiciones.

Ya cumplen, puesto que dan factores de saturación por debajo de la unidad.

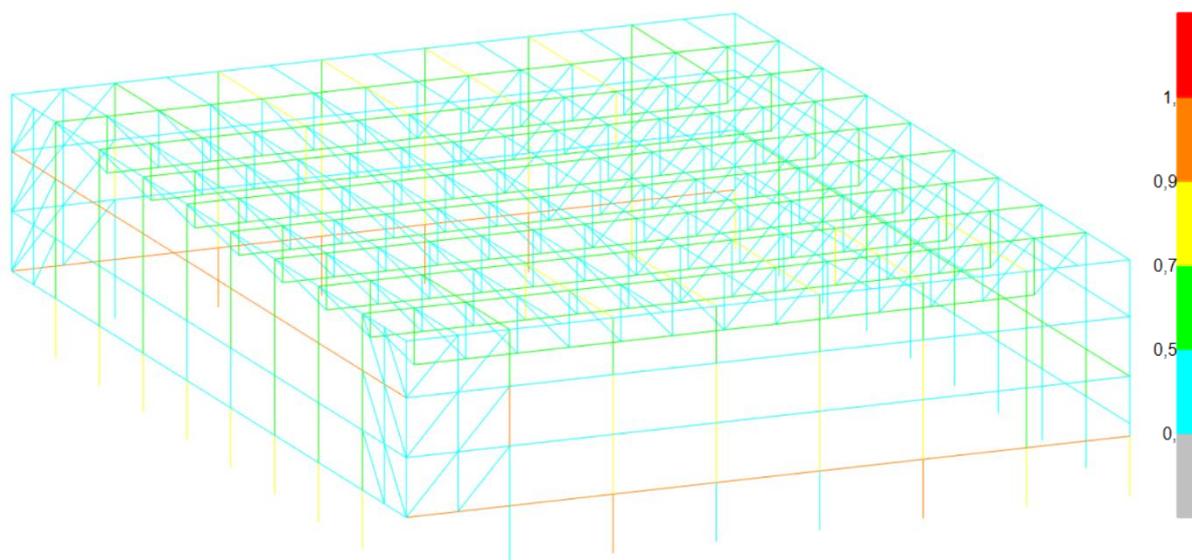


Figura 72. Barras de la estructura metálica. [Extraído de SAP 2000]



## 06\_Conclusiones

Las Estructuras no son sólo el cálculo de dichas Estructuras, no sólo transmiten cargas, sino que la estructura establece el orden del espacio. Hacer el estudio de la obra del Alberto Campo Baeza y descubrir todas sus miradas hacia la arquitectura ha sido muy inspirador. Descubrir una arquitectura al servicio del lugar, de su geometría, del hombre. De los materiales en contacto con la naturaleza, del uso de la luz. La precisión y rigor con la que lleva a cabo su obra.

En cuanto a la estructura del edificio, en principio, se observaba que podría haber sido de un único material, hormigón u acero, pero tras realizar el análisis del pensamiento del arquitecto cobra sentido la dualidad estructural que se presenta ya que acompaña a la dualidad de usos.

La parte más compleja de este trabajo ha sido el análisis de la obra, ya que, debido a la precisión y rigor de Campo Baeza aporta una gran cantidad de datos de fácil acceso en su página web. Llegar a la simplificación de todos estos datos para llevar a cabo la modelización, ha sido un proceso muy largo y complejo pero que me ha ayudado a entender el edificio en profundidad.

A partir de la introducción del modelo en SAP 2000, el trabajo se ha vuelto mucho más sencillo, en parte gracias al trabajo de jerarquización por capas realizado con anterioridad en AutoCAD y a la organización de grupos que ofrece SAP 2000.

En cuanto a los resultados de deformaciones, el edificio cumple muy bien a flechas relativas, al tratarse de un edificio de grandes luces podría parecer que la flecha vertical sería importante, pero sí que cumple. Sin embargo, no se cumplen desplomes. Se ha supuesto un grado de exposición III (zona rural accidentada con algunos obstáculos aislados) y se obtiene un coeficiente de exposición  $ce=2,47$ . Quizá en el proyecto supusieron un grado de exposición IV (zona urbana en general) con el que se obtiene  $Ce=1,9$ , de esta forma tampoco cumpliría, pero por muy poco, así que puede que el proyecto original no cumpla a viento en Y.

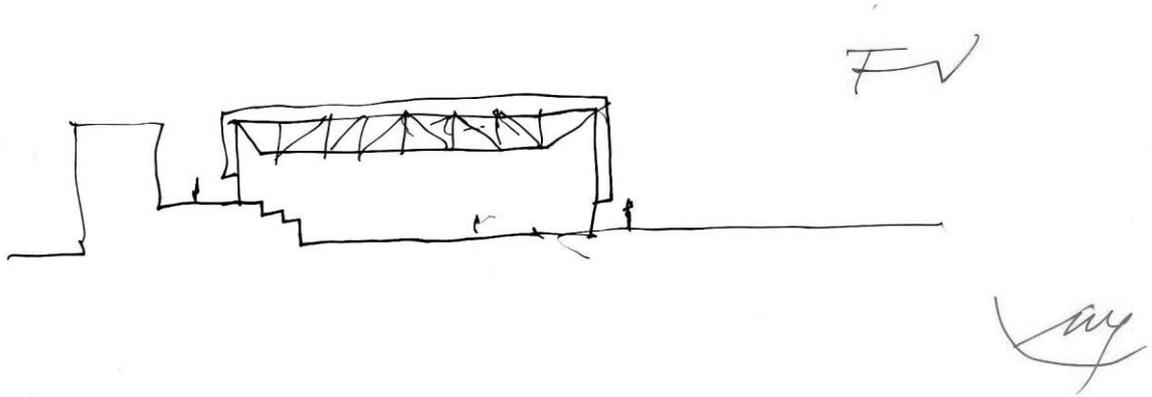
En cuanto a los resultados de resistencia, se ha realizado la peritación metálica y se ha podido observar que todas las barras cumplen tras modificar valores que se ajustan a la realidad estructural del edificio y que el programa SAP 2000 no interpreta bien.

El trabajo de analizar y dimensionar una estructura mixta de acero y hormigón ha permitido tener un acercamiento con los dos principales materiales estructurales de la actualidad. La realización de este trabajo también me ha permitido tener la oportunidad de aprender a utilizar un programa tan interesante y útil como SAP 2000, que espero seguir utilizando y aprendiendo en el futuro.

Por último, como resumen de este trabajo me quedo con estas dos ideas transmitidas por Campo Baeza:

“La ESTRUCTURA, la estructura portante, más que sólo transmitir las cargas del edificio a la tierra por causa de la ineludible gravedad, lo que verdaderamente transmite es el orden del espacio, establece el orden del espacio, construye espacio. La estructura no solo SOPORTA, no sólo AGUANTA, sino que RESUENA, SUENA como un instrumento musical cuando es acordado por el aire.” (Campo Baeza, 2010).

“Y así será falsa la libertad del arquitecto que, olvidado de la estructura, concite sólo formas a las que, una vez definidas, añadiera o mandara añadir una estructura capaz de soportarlas.” (Campo Baeza, 2010)



7/9 octubre de 2016

## 07\_Bibliografía

Aparicio, Jesús. (2010). El alquimista del Espacio. En Campo Baeza: Complete Works. Thames & Hudson.

Campo Baeza, A. (Ed.). (2010). La estructura de la estructura (1.<sup>a</sup> ed.). Nobuko.

Campo Baeza, A. (1999). La Idea Construida: La Arquitectura a la Luz de Las Palabras. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.

Campo Baeza, A. (2017). Pabellón Polideportivo y Aulario de la Universidad Francisco de Vitoria. Consultado en página web del arquitecto. <https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/>. [Consulta: noviembre de 2021].

Campo Baeza, A. (2014). Principia Architectonica (4.<sup>a</sup> ed.). Maireia libros.

Chipperfield, David. (2010). Beautiful Isolation. En Campo Baeza: Complete Works. Thames & Hudson.

Gallardo Llopis, David. (2015). Introducción a SAP2000 para arquitectura. Universidad Politécnica de Valencia.

Ministerio de Fomento. (2009). Documento Básico SE - Seguridad Estructural. In Código Técnico de la Edificación.

Ministerio de Fomento. (2009). Documento Básico SE - AE Seguridad Estructural Acciones en la Edificación. In Código Técnico de la Edificación.

Mimbrero, D. para tectónica. (2019). Pabellón Polideportivo y Aulario de la Universidad Francisco de Vitoria. <https://tectonica.archi/projects/pabellon-polideportivo-y-aulario-de-la-universidad-francisco-de-vitoria/>. [Consulta: agosto de 2021].

Riera Ojeda, O. (Ed.). (2015). Campo Baeza: Complete Works. Thames & Hudson.

## 08\_Índice de tablas

Tabla 1. Equivalencia forjado unidireccional de viguetas 1. [Extraído de Excel de David Gallardo Llopis].	35
Tabla 2. Equivalencia forjado unidireccional de viguetas 2. [Extraído de Excel de David Gallardo Llopis].	36
Tabla 3. Equivalencia forjado reticular. [Extraído de David Gallardo Llopis].	37
Tabla 4. Tabla C.1 del Anejo C del DBSE-AE del Código Técnico de la Edificación.	43
Tabla 5. Tabla C.2 del Anejo C del DBSE-AE del Código Técnico de la Edificación.	44
Tabla 6. Tabla C.5 del Anejo C del DBSE-AE del Código Técnico de la Edificación.	44
Tabla 7. Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso del DB SE-AE.	45
Tabla 8. Tabla D.2 Coeficientes para tipo de entorno del DBSE-AE.	47
Tabla 9. Tabla 3.5 Coeficiente eólico en edificios de pisos del DBSE-AE.	48
Tabla 10. Tabla D.3 Valores de $c_{pe}$ para paramentos verticales del DBSE-AE del Código Técnico de la Edificación.	49
Tabla 11. Valores de $c_{pe}$ interpolados para la esbeltez 1 (0,313). [Elaboración propia]	49
Tabla 12. Tabla D.4 Valores de $c_{pe}$ para cubiertas planas del DBSE-AE del Código Técnico de la Edificación.	51
Tabla 13. Tabla 3.8. Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas del DB SE-AE.	53
Tabla 14. Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad para las acciones del CTE-DB-SE	65
Tabla 15. Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad del CTE-DB-SE	65

## 09\_Índice de figuras

Figura 1. Alberto Campo Baeza. (s.f.). [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/biografia/">https://www.campobaeza.com/es/biografia/</a>	7
Figura 2. Callejas, J. (2000). Casa Blas. [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/blas-house/">https://www.campobaeza.com/es/blas-house/</a>	8
Figura 3. Callejas, J. (1992). IES Drago. [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/drago-public-school/">https://www.campobaeza.com/es/drago-public-school/</a>	8
Figura 4. Suzuki, H, Zanta, M. (1988). Guardería Benetton [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/turegano-house/">https://www.campobaeza.com/es/turegano-house/</a>	9
Figura 5. Suzuki, H, EACB. (1988). Casa Turégano [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/turegano-house/">https://www.campobaeza.com/es/turegano-house/</a>	9
Figura 6. Callejas, J. (2014). Casa del Infinito. [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/house-infinite/">https://www.campobaeza.com/es/house-infinite/</a>	10
Figura 7. Callejas, J. (2012). Consejo Consultivo de Castilla y León. [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/offices-zamora/">https://www.campobaeza.com/es/offices-zamora/</a>	10
Figura 8. Callejas, J., Suzuki, H. (2008). Vistas al río Hudson de la Casa Olnick Spanu, Nueva York. [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/olnick-spanu-house/">https://www.campobaeza.com/es/olnick-spanu-house/</a>	11
Figura 9. Callejas, J. (2010). Patio del Museo de la Memoria de Andalucía, Granada. [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/andalucias-museum-memory/">https://www.campobaeza.com/es/andalucias-museum-memory/</a>	11
Figura 10. Callejas, J. (2016). Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	13
Figura 11. Callejas, J. (2016). Pista deportiva como “gran caja de luz”. Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	14
Figura 12. Callejas, J. (2016). Pista deportiva del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	14
Figura 13. Callejas, J. (2016). Fachada norte de la pista deportiva del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	15
Figura 14. Callejas, J. (2016). Esquina de la Pista deportiva del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	16
Figura 15. Pista deportiva del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	17
Figura 16. Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	17
Figura 17. Plano de situación del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV ubicado en Pozuelo de Alcorcón (Madrid). <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	18
Figura 18. Planta -1 del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	19
Figura 19. Planta 0 del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	20
Figura 20. Planta +1 del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	21
Figura 21. Alzado Noroeste del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	22
Figura 22. Alzado suroeste del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	22
Figura 23. Sección longitudinal del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	22
Figura 24. Callejas, J. (2016). Pista deportiva y graderío del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	23
Figura 25. Callejas, J. (2016). Piscina del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	24
Figura 26. Cuadro de materiales empleados en el Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	25

Figura 27. Callejas, J. (2016). Fachada opaca del Aulario en contraposición de la fachada transparente de la pista deportiva del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	25
Figura 28. Callejas, J. (2016). Encuentro fachadas y esquina del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	26
Figura 29. Callejas, J. (2016). Colocación cerchas Pabellón UFV. [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	27
Figura 30. Callejas, J. (2016). Colocación cerchas Pabellón UFV. [Fotografía]. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a>	27
Figura 31. Callejas, J. (2016). Esquina estructura metálica Pabellón UFV. [Fotografía].	28
Figura 32. Ejes de partida para el desarrollo del modelo de cálculo. [Extraído de AutoCAD].	29
Figura 33. Elementos lineales del modelo de cálculo. [Extraído de AutoCAD].	30
Figura 34. Elementos finitos del modelo de cálculo. [Extraído de AutoCAD].	31
Figura 35. Modelo de cálculo del Pabellón y Aulario de la UFV. Planta sótano. [Extraído de AutoCAD].	32
Figura 36. Modelo de cálculo del Pabellón y Aulario de la UFV. Planta baja. [Extraído de AutoCAD].	32
Figura 37. Modelo de cálculo completo del Pabellón y Aulario de la UFV. [Extraído de AutoCAD].	33
Figura 38. Detalle forjado unidireccional de viguetas. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a> .	35
Figura 39. Detalle de forjado reticular. <a href="https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/">https://www.campobaeza.com/es/sports-pavilion-university/</a> .	37
Figura 40. Aplicación de los Property Modifiers para zona aligerada en forjado reticular en SAP 2000. [Extraído de SAP 2000]	38
Figura 41. Aplicación de los Property Modifiers para ábacos macizados en forjado reticular en SAP 2000. [Extraído de SAP 2000]	38
Figura 42. Cuadro de restricciones para un empotramiento. [Extraído de SAP 2000]	39
Figura 43. Empotramientos asignados a la base del modelo. [Extraído de SAP 2000]	39
Figura 44. Figura D.1 Valor básico de la velocidad del viento, $v_b$ del DBSE-AE del CTE.	46
Figura 45. Mapa de peligrosidad sísmica de España 2015 (en valores de aceleración). <a href="https://www.ign.es/web/mapas-sismicidad">https://www.ign.es/web/mapas-sismicidad</a> .	54
Figura 46. Cargas de la hipótesis CMP aplicadas a la Planta -1 del modelo. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m <sup>2</sup> ]	57
Figura 47. Cargas de la hipótesis CMP aplicadas a la Planta 0 del modelo. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m <sup>2</sup> ]	57
Figura 48. Cargas de la hipótesis CMP aplicadas a la Planta +1 del modelo. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m <sup>2</sup> ]	58
Figura 49. Cargas de la hipótesis CMP aplicadas al modelo completo. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m <sup>2</sup> ]	58
Figura 50. Cargas de la hipótesis SCU aplicadas a la Planta -1 del modelo. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m <sup>2</sup> ]	59
Figura 51. Cargas de la hipótesis SCU aplicadas a la Planta 0 del modelo. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m <sup>2</sup> ]	59
Figura 52. Cargas de la hipótesis SCU aplicadas a la Planta +1 del modelo. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m <sup>2</sup> ]	60
Figura 53. Cargas de la hipótesis SCU aplicadas al modelo completo. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m <sup>2</sup> ]	60
Figura 54. Cargas de la hipótesis SCV aplicadas a las fachadas en la dirección X a presión. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m <sup>2</sup> ]	61
Figura 55. Cargas de la hipótesis SCV aplicadas a las fachadas en la dirección X a succión. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m <sup>2</sup> ]	61
Figura 56. Cargas de la hipótesis SCV aplicadas a las fachadas en la dirección Y a presión. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m <sup>2</sup> ]	62
Figura 57. Cargas de la hipótesis SCV aplicadas a las fachadas en la dirección Y a succión. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m <sup>2</sup> ]	62

Figura 58. Cargas de la hipótesis SCV aplicadas a cubierta de la pista deportiva en la dirección Z a succión. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m <sup>2</sup> ]	63
Figura 59. Cargas de la hipótesis SCN aplicadas a las cubiertas del modelo. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: KN/m <sup>2</sup> ]	63
Figura 60. Cuadro de diálogo hipótesis de carga. [Extraído de SAP 2000]	68
Figura 61. Cuadro de diálogo introducción de la combinación ELUqp. [Extraído de SAP 2000]	68
Figura 62. Deformada general. [Extraída de SAP 2000] [Unidades: m]	69
Figura 63. Deformaciones ocasionadas por la combinación de cargas ELSqpu en la estructura metálica del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: m]	71
Figura 64. Deformaciones ocasionadas por la combinación de cargas ELSintcon en el forjado del patio alto del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: m]	72
Figura 65. Deformaciones ocasionadas por la combinación de cargas SCU en el patio alto del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: m]	73
Figura 66. Deformaciones ocasionadas por la combinación de cargas ELSqpu en el patio alto del Pabellón Polideportivo y Aulario de la UFV. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: m]	74
Figura 67. Máximo desplome en el eje X debidos a la hipótesis ELSvx+. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: m]	75
Figura 68. Máximo desplome en el eje Y debidos a la hipótesis ELSvy+. [Extraído de SAP 2000] [Unidades: m]	75
Figura 69. Peritación de la estructura metálica del modelo. [Extraído de SAP 2000]	77
Figura 70. Barras de la estructura metálica que no cumplen a resistencia. [Extraído de SAP 2000]	78
Figura 71. Factores sobre las barras de la estructura metálica que no cumplen a resistencia. [Extraído de SAP 2000]	78
Figura 72. Barras de la estructura metálica. [Extraído de SAP 2000]	79

