

Estudio, modelización y análisis de la estructura mediante SAP2000
de la Karłowicz Philharmonic Hall del estudio Barozzi Veiga en
Szczecin

AUTOR:

ARTUR VOLOBUEV

TUTOR ACADÉMICO:

DAVID GALLARDO LLOPIS

Dpto. de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

RESUMEN

Con este trabajo fin de grado se pretende analizar una estructura compleja, compuesta por elementos planos de hormigón armado, y elementos de acero estructural lineales, mediante el programa informático de cálculo de estructuras SAP2000. El edificio que se ha escogido para el análisis es el Filarmónico de Mieczyslaw Karłowicz, diseñado por el estudio de los arquitectos Fabrizio Barozzi y Alberto Veiga, y construido en 2015 en Szczecin, Polonia. El edificio ha sido ganador del Mies Van der Rohe Award del año 2015, uno de los premios más importantes en el campo de la arquitectura. Se llevará a cabo el predimensionado de la estructura, y el posterior estudio de su respuesta con el fin de desvelar el comportamiento de las distintas tipologías constructivas y su respuesta bajo las cargas.

Palabras clave: Mies van der Rohe Award | estructura | análisis | SAP2000

ABSTRACT

This TFG (investigation work of the last year of studies) is focused on the analysis of a complex structure, composed of reinforced concrete and structural steel elements. The building that has been chosen for the analysis is the Philharmonic Hall named after Mieczyslaw Karłowicz, in Szczecin, Poland, designed by the architectural studio of Fabrizio Barozzi and Alberto Veiga. In 2015 the project of the building won the Mies van der Rohe award, one of the most prestigious awards in the field of architecture. The building will be modelled using AutoCAD and then the deformations of the structure will be analysed using a structural calculus program SAP2000.

Keywords: Mies van der Rohe Award | structure | analysis | SAP2000

RESUM

Amb aquest treball fi de grau es pretén analitzar una estructura complexa, composta per elements plans de formigó armat, i elements d'acer estructural lineals, mitjançant el programa informàtic de càlcul d'estructures SAP2000. L'edifici que s'ha escollit per a l'anàlisi és el Filharmònic de Mieczyslaw Karłowicz, dissenyat per l'estudi dels arquitectes Fabrizio Barozzi i Alberto Veiga, i construït el 2015 a Szczecin, Polònia. L'edifici ha estat guanyador del Mies Van der Rohe Award de l'any 2015, un dels premis més importants en el camp de l'arquitectura. Es durà a terme el predimensionat de l'estructura, i el posterior estudi de la seua resposta per tal de desvetllar el comportament de les diferents tipologies constructives i la seua resposta sota les càrregues.

Paraules clau: Mies van der Rohe Award | estructura | anàlisi | SAP2000

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
RESUM	1
La estructura y la arquitectura	4
OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	5
FABRIZIO BAROZZI Y ALBERTO VEIGA	6
Arquitectos	6
Obras	7
LA FILARMÓNICA DE MIECZYSLAW KARLOWICZ	11
Localización	11
Composición	14
Funcionalidad	15
Modulación	16
Materialidad	17
Construcción	18
Cubierta	19
La estructura	19
MODELO ESTRUCTURAL	20
El modelo de cálculo	20
Elementos modelizados	20
Propiedades de los materiales	23
Prescripciones aplicables	23
ASIGNACIÓN DE CARGAS	24
CARGAS PERMANENTES	24
Cargas permanentes de superficie	24
Cargas permanentes lineales	25
CARGAS VARIABLES	26
Cargas de uso (EN SAP2000-SCU)	27
Nieve	28
Viento	30
Cargas sísmicas	31
COMBINACIONES	32
Hipótesis de carga	32

ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA	33
Ajustes de modelo estructural	33
Exportación a SAP2000	33
Asignación de las secciones	34
Asignación de cargas.....	34
Visualización de las cargas asignadas.....	35
Ajustes previos al cálculo	35
ANÁLISIS DEL MODELO ESTRUCTURAL	37
Deformada general	37
Peritación.....	42
Ajustes de la estructura	44
Estructura final	45
CONCLUSIÓN	46
AGRADECIMIENTOS	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
Textos	48
Imágenes	49
Documentos técnicos	48
Programas de cálculo.....	48

INTRODUCCIÓN

La estructura y la arquitectura

En la arquitectura el diseño y la estructura están muy vinculados, como resultado del proceso creativo propio del nacimiento, desarrollo y ejecución de un proyecto. Se trata de la realidad en la cual el espacio, la estructura y la forma son la arquitectura en sí, lo cual da la solución a cualquier programa propuesto por el lugar.

La estructura busca sustentar la arquitectura, mientras el diseño arquitectónico es lo que determina la forma de los elementos estructurales, por ello ambos forman un único proyecto. La estructura permite, con las combinaciones de los materiales ya conocidos, y, a veces, materiales nuevos, una infinidad de formas. Con el paso del tiempo, la ingeniería y la arquitectura se van fusionando, permitiendo que los proyectos tengan una gran complejidad, pero a su vez sean ágiles a la hora de ejecutarlos.

De esta manera, el paso del tiempo ha permitido una creatividad sin límites, liberando al arquitecto y así permitiéndole diseñar y construir con formas, antes imposibles. La correspondencia entre la estructura y la función es la clave del proceso, por el cual los espacios, propuestos por el proyecto, ya no tienen que ir anclados al sistema estructural que habrá que proponer por motivos constructivos.

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

Una obra como la Filarmónica de Mieczyslaw Karłowicz está cargada de simbolismo para la ciudad donde se ejecuta, al ser una sustitución de un edificio destruido en los bombardeos de segunda guerra mundial. Cuenta con una formalidad muy compleja, y tipologías estructurales mixtas, por lo cual se ha considerado como un edificio muy interesante para analizar. Con este trabajo no solo se busca conocer el comportamiento de la estructura, y también descubrir más sobre esta obra y sus arquitectos.

Se busca analizar como la estructura y las formas arquitectónicas están directamente ligadas, y ver su correspondencia. De esta manera se podrá entender como los arquitectos, siguiendo su línea de pensamiento, le dieron la solución proyectual y constructiva. Así se verá como los distintos elementos estructurales trabajan en conjunto.

Este trabajo busca la comprensión del funcionamiento de la estructura elegida, sus distintos comportamientos en situaciones diversas como son las combinaciones de cargas establecidas. Con toda esta información recopilada y estudiada, se procederá a obtener unas conclusiones con todos los cálculos realizados y resultados obtenidos a través del cálculo la estructura del edificio.

Para conseguir este objetivo y organizar el trabajo se propone una metodología comentada a continuación:

1. Se realiza un estudio de los arquitectos y su obra para conocer los aspectos por lo que se rigen al desarrollar un proyecto. Con este análisis podremos conocer más a fondo los sistemas constructivos y estructurales utilizados en sus obras, además de otros aspectos como los compositivos y del propio entorno, determinantes para su desarrollo.
2. Centrándose en la obra elegida, se recopila toda la información posible para conocer a fondo el edificio. Para ello se utilizan distintas fuentes y materiales los cuales incluyen las publicaciones, los planos, textos y toda la información técnica necesaria.
3. Con dicha información se procede a modelar el edificio, ciñéndose lo máximo posible a la realidad, teniendo en cuenta los datos obtenidos anteriormente. Para ello se utilizan los programas informáticos AutoCAD y SAP2000, mediante cuales se crea un modelo cual se analiza por el método de los elementos finitos. Con el modelo completo y todos los parámetros correspondientes y sus respectivas cargas, se realiza el estudio del comportamiento de la estructura.
4. Al tener todo modelado y analizado, se procede a la obtención de resultados, con los que se puede determinar el comportamiento de cada uno de los elementos y de la estructura globalmente.
5. En último lugar se sacarán unas conclusiones que permitirán analizar la validez de las decisiones tomadas por los arquitectos.

FABRIZIO BAROZZI Y ALBERTO VEIGA

Arquitectos

Fabrizio Barozzi es un arquitecto italiano que, junto con Alberto Veiga, español, fundaron su estudio de arquitectura Barozzi Veiga. Desde su fundación en 2004, el equipo ha sido distinguido con numerosos premios por varios proyectos.

Fabrizio Barozzi (1976) nació en Rovereto, Italia, y había estudiado en el Instituto Universitario di Architettura di Venezia, la escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla y en *la Ecole d'Architecture* de París. Además de ser arquitecto, ejerce como profesor en distintas escuelas de arquitectura alrededor del mundo.



Imagen 1 Fabrizio Barozzi y Alberto Veiga

Alberto Veiga (1973) creció en Santiago de Compostela, España. Estudió arquitectura en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Navarra, además, al igual que Barozzi, es profesor en varias escuelas de arquitectura, y conferenciante.

El estudio tiene sede en Barcelona, donde ellos, junto a un equipo multidisciplinar desarrollan los distintos proyectos encargados para obras de gran magnitud en Europa. Sus proyectos muestran líneas claras y limpias junto con sobriedad. Se definen como un estudio que busca expresar lo máximo con lo mínimo, buscando siempre el equilibrio en sus obras.

La obra elegida para el análisis en este trabajo es la filarmónica Mieczyslaw Karłowicz, la cual recibió el Premio Mies van der Rohe de Arquitectura Europea en el año 2015. Dicho edificio está definido en profundidad más adelante.

Obras

Bundner Kunstmuseum

Uno de los proyectos más destacados del equipo Barozzi Veiga es la ampliación de Bundner Kunstmuseum o Museo de Arte de Girones en Suiza. Construido en 2016, es un edificio donde se consigue una trama rígida junto con un diseño minimalista, reflejado directamente en su estructura. La cohesión con el entorno se consigue a través del tratamiento de los jardines exteriores.

El programa se desarrolla en espacios expositivos repartidos en las 4 plantas sobre la rasante de acceso público y 3 sótanos designados a las exposiciones.



Imagen 2 Bundner Kunstmuseum

Sede de D.O Ribera del Duero

Otro de los proyectos es la ampliación de la Sede de Consejo Regulador de la Denominación Ribera del Duero. Encargado en 2011, proyecto integra una antigua sede del consejo con un edificio nuevo de arquitectura vanguardista. El resultado es un complejo nuevo que representa el pasado y el futuro, la tradición y la modernidad, de la Ribera del Duero, comarca elaboradora de prestigio internacional.

Situado en un entorno de alto valor histórico, cerca de las murallas medievales del burgo de Roa, no busca la reconstruir un edificio antiguo, sino de manera contemporánea, situar un hito arquitectónico que se armonice con el entorno.

Los edificios que componen el complejo son la torre y los edificios anexos. Estos cumplen la función de oficinas, auditorios, archivos y almacenes. En el resto de la parcela podemos encontrar una plaza-mirador, espacios verdes y zonas de aparcamiento.



Imagen 3 Sede del Ribera del Duero

Solo House

Construida en 2014, En Cretas, España, en el proyecto de Solo House se trata de una vivienda que consta de cuatro volúmenes conectados en un conjunto por el zócalo común, cada uno con su programa distinto. Ubicada en río Matarraña, en una zona de pinar, la vivienda se contrasta con sus formas geométricas contra el entorno natural. Una plataforma de base define la vivienda sobre la cual se colocan las diferentes zonas, y a la cual se accede por un camino a través de un bosque de pinos.

Su forma extravagante, llena de líneas rectas, le da una apariencia única a esta vivienda. El empleo de hormigón como material visto, permite el uso de los moldes, que le dan el carácter especial a través de las vetas del encofrado. Además de ello, las formas triangulares moduladas, consiguen una composición diferenciadora. Una de las características que hacen valiosa la espacialidad es la altura de 5'50m, y los ventanales de techo a suelo que crean espacio muy luminoso con una relación con el entorno excepcional.



Imagen 4 Solo House

Museo Cantonal de Bellas Artes de Lausana

Es la obra más reciente del estudio Barozzi Veiga, del año 2019. Es un proyecto de museo situado en el centro de la ciudad, cerca de la estación de tren. El proyecto busca fusionar el arte con el ferrocarril.

Se trata de un edificio longitudinal paralelo a las vías de ferrocarril, que se define por líneas claras. Con ello se consigue una mezcla entre el carácter industrial y las formas definidas del volumen. El edificio también establece un nexo con la plaza pública colindante, haciendo que la planta baja sea una prolongación de la misma.

El edificio cuenta con 3 plantas con los vestíbulos que unen las tres. Los espacios comunes del edificio tienen luz natural gracias a los lucernarios ubicados en el techo de la última planta. La planta baja se utiliza como espacio público, con usos comunes que incluyen una librería, un restaurante y un auditorio. Las exposiciones permanentes y temporales se protegen ubicándolas en las plantas altas del edificio.



Imagen 5 Museo Cantonal de Lausana

LA FILARMÓNICA DE MIECZYSLAW KARLOWICZ

Localización

La *Filarmónica de Mieczyslaw Karłowicz de Szczecin*, está situada en el antiguo solar de la *Konzerthaus* de Franz Schwechten, construido en 1884. Este edificio fue destruido durante los bombardeos en la Segunda Guerra Mundial, y el solar quedó vacío hasta la construcción de Filarmónico. El solar tiene 3800m² y está ubicado cerca del centro histórico, entre las calles Jana Matejki y la calle Malopolska.

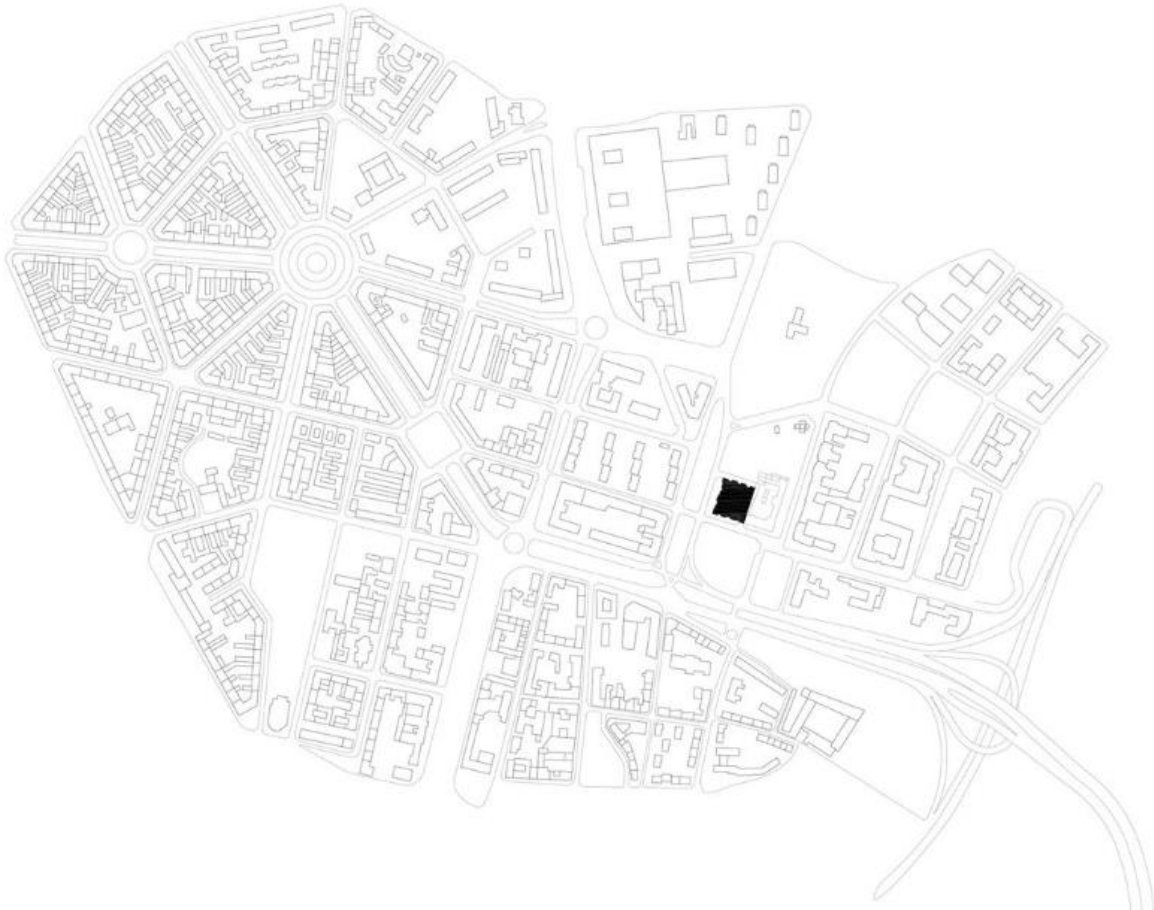


Imagen 6 Plano de situación

La filarmónica de Mieczyslaw Karłowicz se diseñó por el estudio Barozzi Veiga en el año 2014. El equipo desarrolló un proyecto con carácter que representase el espíritu de la antigua filarmónica y que de por sí fuese un edificio representativo.

La Filarmónica cuenta con una sala sinfónica con capacidad para unas 1000 personas y una sala de música de cámara con 250 plazas. También cuenta con una sala expositiva donde se realizan distintas actividades. Se trata de un diseño con líneas rectas, que hace presente el volumen cerrado que constituye el edificio. La cubierta que tiene unas inclinaciones pronunciadas, consigue crear un efecto representativo y diferenciador, con que hace la referencia a una trama de los tejados a doble agua de la ciudad. Esta forma del tejado viene de la necesidad de hacer frente a las fuertes nevadas de la época invernal. Es un manifiesto del lenguaje arquitectónico creado en respuesta a la realidad del clima del lugar.



Imagen 7 Fotografía desde el exterior

Los techos siguen un patrón inspirado en el expresionismo europeo, que, junto a la materialidad, le dotan de distintas expresiones, con mayor o menor opacidad. La simplicidad de los exteriores continua en el interior, donde vemos las líneas minimalistas, que a su vez crean importantes juegos de volumen. Compuesto por formas geométricas básicas, pero gracias a su gran escala, el interior del edificio se percibe de una manera casi alienígena, pero, a su vez, es muy racional y permite ubicar los usos necesarios del edificio sin perder el espacio útil.

Al igual que con proyectos anteriores del estudio, El Filarmónico de Szczecin está diseñado con un cierto grado de autonomía formal, tratando de construir un edificio que sea una parte específica de su contexto, pero al mismo tiempo independiente de él. Este edificio se integra con su entorno con la formalidad que tiene, pero se diferencia con su tratamiento de la materialidad y color.



Imagen 8 El entorno cercano

Como ya se comentó, la cubierta con su pronunciada inclinación la diferencia del resto de las construcciones, siendo esta una corona colocada sobre la estructura principal del edificio. El conjunto consigue crear un edificio de carácter autónomo, pero cuidadosamente colocado en su entorno.



Imagen 9 El edificio en la trama urbana

Composición

La composición del edificio consiste de perímetro cuadrado en el cual se pueden encontrar espacios principales, de servicio y núcleos de comunicación. El espacio que tiene la riqueza espacial máxima del edificio es el hall central que soluciona todo el programa de los recorridos dentro de la filarmónica. El público entra al edificio a través de este hall, y la comunicación vertical hace posible el acceso a todas las instalaciones de edificio.



Imagen 10 Vestíbulo de la entrada



Imagen 11 Vista de escalera

Refiriéndonos al volumen exterior, encontramos un cubo cubierto por un gran número de techos a dos aguas de pendiente muy pronunciada. Muchos de estos se usan como lucernarios haciendo aún más visible la verticalidad del edificio.

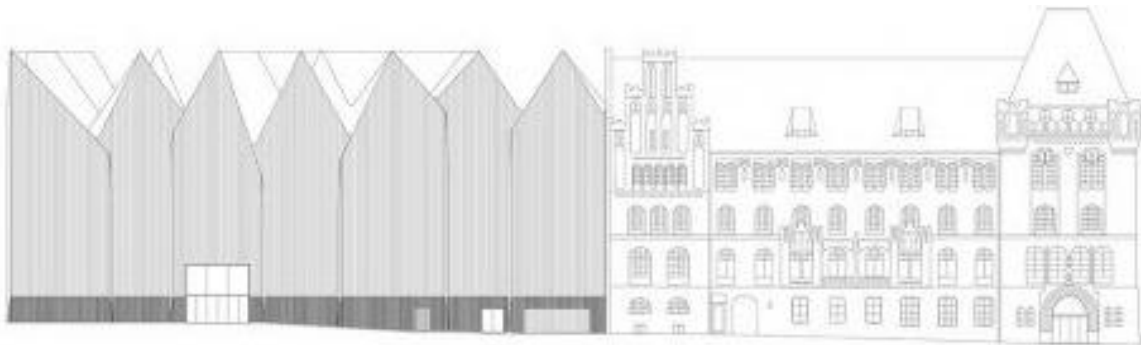


Imagen 12 Alzado del edificio

Funcionalidad

Los principales espacios son una sala de música de cámara y una sala sinfónica, situados en el corazón del edificio. En el perímetro se ubican los espacios de servicio como camerinos, aseos, salas anexas y los núcleos de comunicación. Con esto se reserva toda la parte central a los espacios protagonistas.

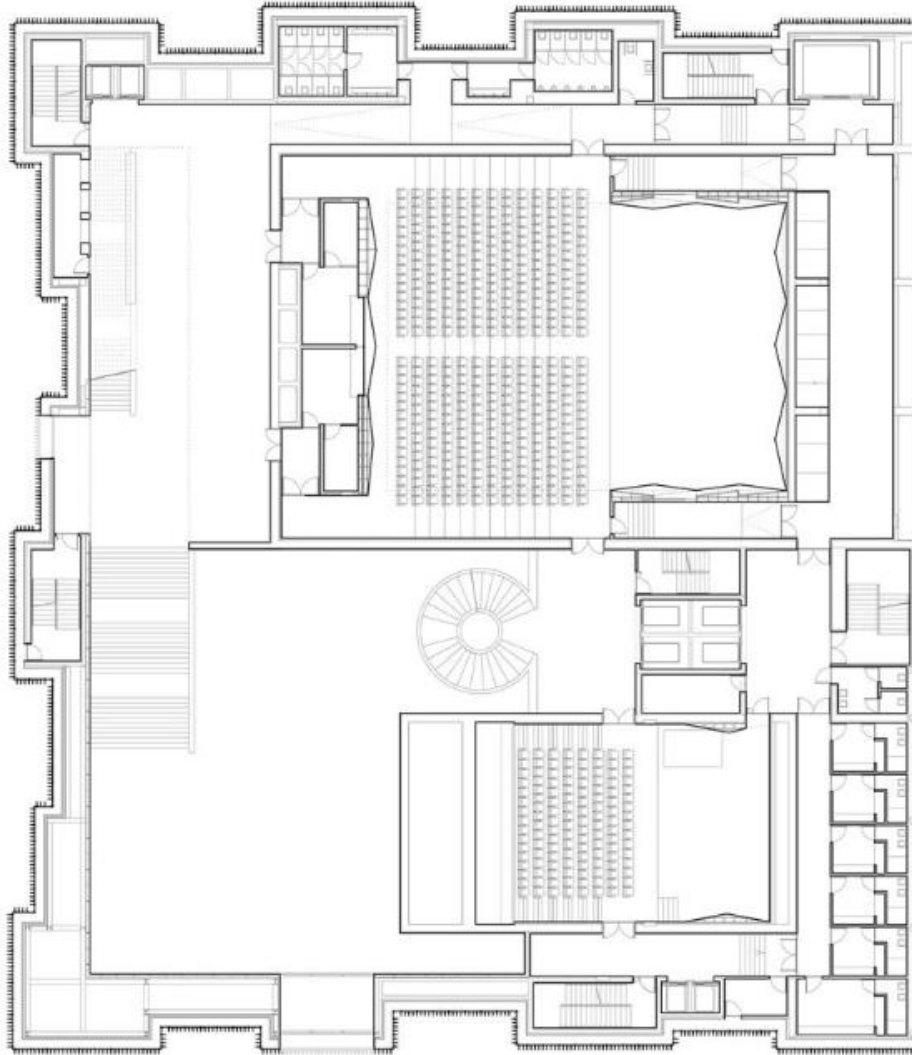


Imagen 13 Planta del edificio

Comunicación vertical se realiza mediante dos escaleras principales: una recta de dos tramos, y otra de caracol para acceso a los salones. Las escaleras secundarias sirven como rutas de evacuación, y acceso del personal, y se ubican en 5 torres que rodean los espacios abiertos al público.

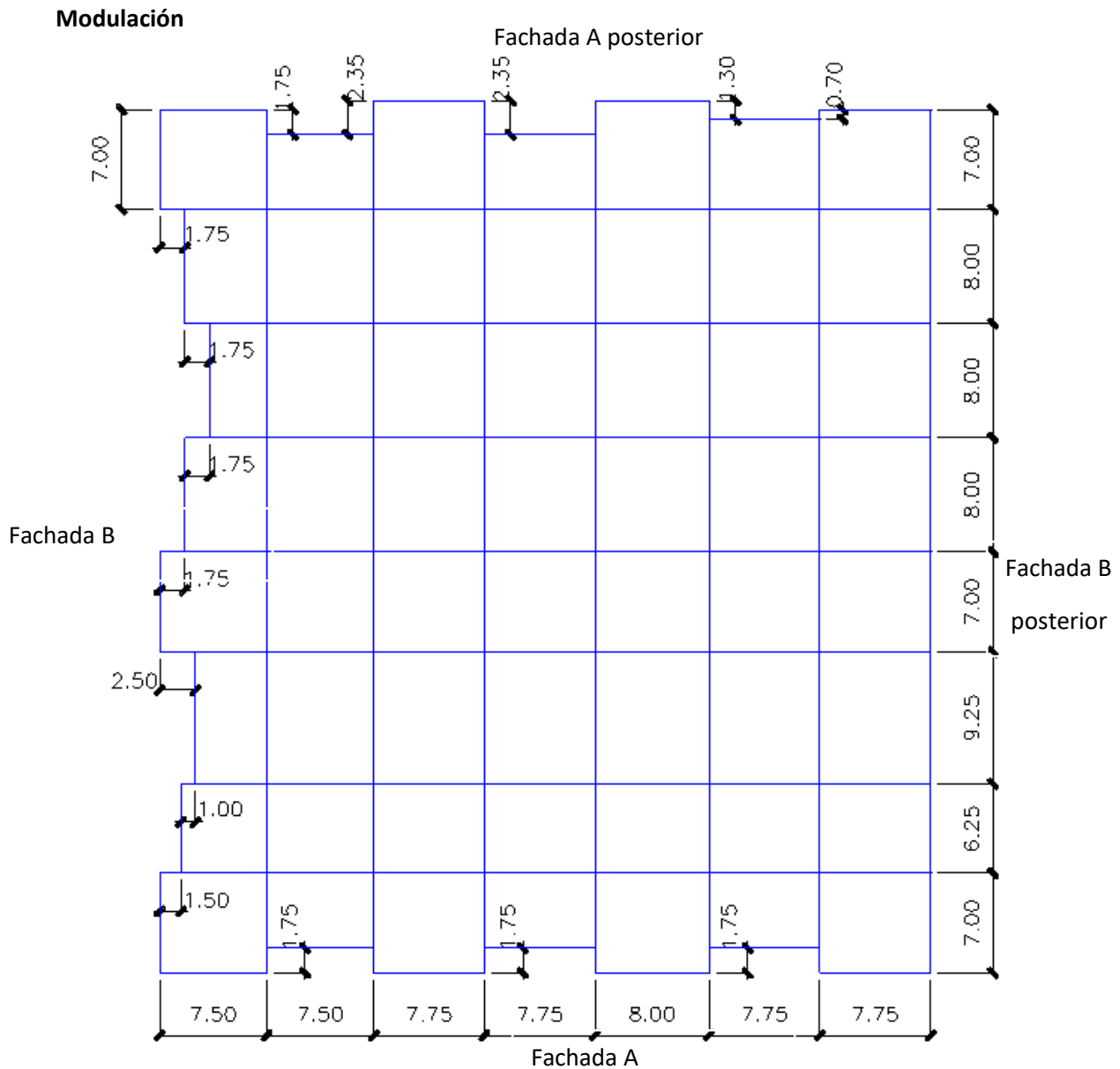


Imagen 14 Modulación del edificio

El edificio está modulado en una retícula rectangular de 7 x 8 módulos.

A pesar de que en principio parecía partir del módulo cuadrado de 8 x 8 metros, en realidad por motivos constructivos y de diseño se han variado y ahora los valores de modulación se encuentran entre 6,25m y 9,25 como se puede observar en la gráfica.

La fachada de 7 módulos se denomina como fachada A y la fachada de 8 módulos se denomina como fachada B.

Materialidad

Los materiales estructurales utilizados son hormigón y acero. Los revestimientos exteriores se componen de un muro cortina de aluminio y vidrio. La estructura del edificio está construida con muros portantes de hormigón armado para ejecutar el volumen principal y estructura metálica para sustentar el perímetro de la sala de entrada. Los techos del todo el edificio se componen por una malla espacial de los elementos metálicos, recubierta de paneles aislantes con chapa grecada.

El revestimiento está formado por paneles vidriados sobre una estructura de aluminio que da un cierto juego con la opacidad, como si se tratara de una malla con tela, sin llegar a desvelar lo que ocurre en el interior.



Imagen 15 Vista exterior



Imagen 16 Vista exterior

La estructura del techo está ejecutada con cerchas metálicas, lo cual permite una modulación, pero no quita la expresividad que se busca a dar al edificio. La manera de disposición de los perfiles metálicos en la cubierta permite a que este elemento trabaje a cargas como si fuera una cercha tridimensional. Las dimensiones importantes, donde el grosor de la malla llega a 5 metros, permiten su comportamiento estructural excepcional. La geometría de este elemento se describe a continuación y se puede ver en la imagen 29.

Los interiores son austeros a excepción del tratamiento de la sala sinfónica, en la cual están decorados en colores dorados y con carácter más clásico, lo que se contrapone al resto del edificio. La sala principal está tratada de manera diferente al resto del edificio, ya que es el corazón de la filarmónica. Los materiales de revestimiento de sala son la madera y los aplacados recubiertos de pan de oro, con una fragmentación adecuada para la correcta acústica de la sala.

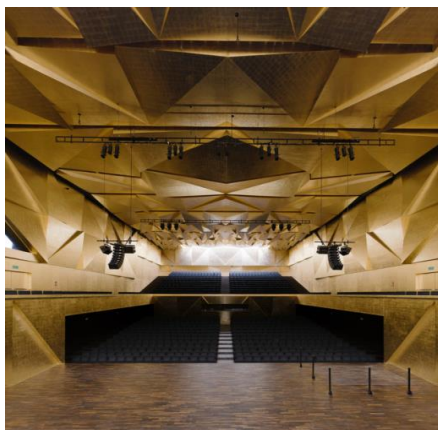


Imagen 17 Salón de actos



Imagen 18 Escalera y salón de cámara

Construcción

El edificio se ejecutó con estructura de hormigón en situ, la cual fue pintada de blanco y revestida con vidrio blanco, a la cual después se le añade la estructura de los elementos metálicos que rodea el hall central. Las importantes medidas de espacios libres, uso de vidrios y color blanco de todos los elementos portantes llega a crear un efecto de ligereza del edificio, a pesar de que la mayoría de las cargas se recoge por muros portantes de hormigón ciego.



Imagen 19 Principio de construcción



Imagen 20 Elementos de hormigón ejecutados



Imagen 21 Elementos metálicos



Imagen 22 Ejecución de la cubierta

Cubierta

La cubierta está resuelta por un sistema de perfiles metálicos con la geometría adecuada para resistir las cargas y también colocar los materiales necesarios para el correcto aislamiento térmico del edificio. En el espacio que se crea dentro del techo se ubican las instalaciones del edificio y las pasarelas de acceso a estas instalaciones.



Imagen 23 Estructura de techo



Imagen 24 Frontón de la cubierta

La estructura

El esqueleto de la filarmónica de Szczecin está constituido por distintas tipologías. En su mayoría los elementos estructurales son muros y forjados de hormigón armado. Estas piezas masivas seccionan los interiores y dotan de gran resistencia al edificio. Esta tipología estructural está reforzada por pilares metálicos colocados en los puntos críticos.

En los espacios que necesitan una luz mayor, o un tratamiento diferente, se utiliza estructura metálica, como, por ejemplo, en el caso del hall en el cual se necesita un amplio espacio abierto. Para llegar a una rigidez importante, podemos observar uso común de los elementos rigidizados, cruces de San Andrés y cerchas de distintas tipologías. Una de las tipologías de cercha más pronunciadas en el edificio es la estructura espacial que forma la cubierta. Dicha estructura se comporta como una cercha de gran canto y consigue también la forma de los tejados inclinados que caracterizan al edificio.



Imagen 25 Perfiles rigidizados en alma



Imagen 26 Cerchas vistas a través de la fachada

MODELO ESTRUCTURAL

El modelo de cálculo

Hay que tener en cuenta que para el correcto cálculo estructural se simplifica la estructura a un modelo de elementos finitos. Esto permite un método matemático rápido y sencillo de que se aproxima al máximo a la realidad.

Con el fin de analizar el comportamiento de la estructura, primero se modeliza la geometría de los elementos en el programa de dibujo técnico AutoCAD, y luego se importa el modelo en el programa de cálculo estructural SAP2000 para el análisis del edificio en su totalidad.

Elementos modelizados

Se simplifica la modelización de la estructura asumiendo el comportamiento de sótano como un sólido rígido, por lo cual se prescinde de su modelado. Para levantar el resto de edificio, para el dibujo de los elementos de superficie se utiliza la herramienta de mallado que crea los elementos que posteriormente se puedan analizar en el programa de cálculo. En este caso son 3d caras de AutoCAD.

Elementos lineales necesarios para modelar pilares, vigas, viguetas, cerchas y cruces de San Andrés se modelizan con una línea simple. Es importante tener mucho cuidado en los encuentros de la geometría de los elementos, ya que cada error que pasa desapercibido en esta fase se verá posteriormente. En ciertos casos será necesario repetir partes de modelo y todos los pasos de asignación de las propiedades y cargas en el programa de análisis estructural

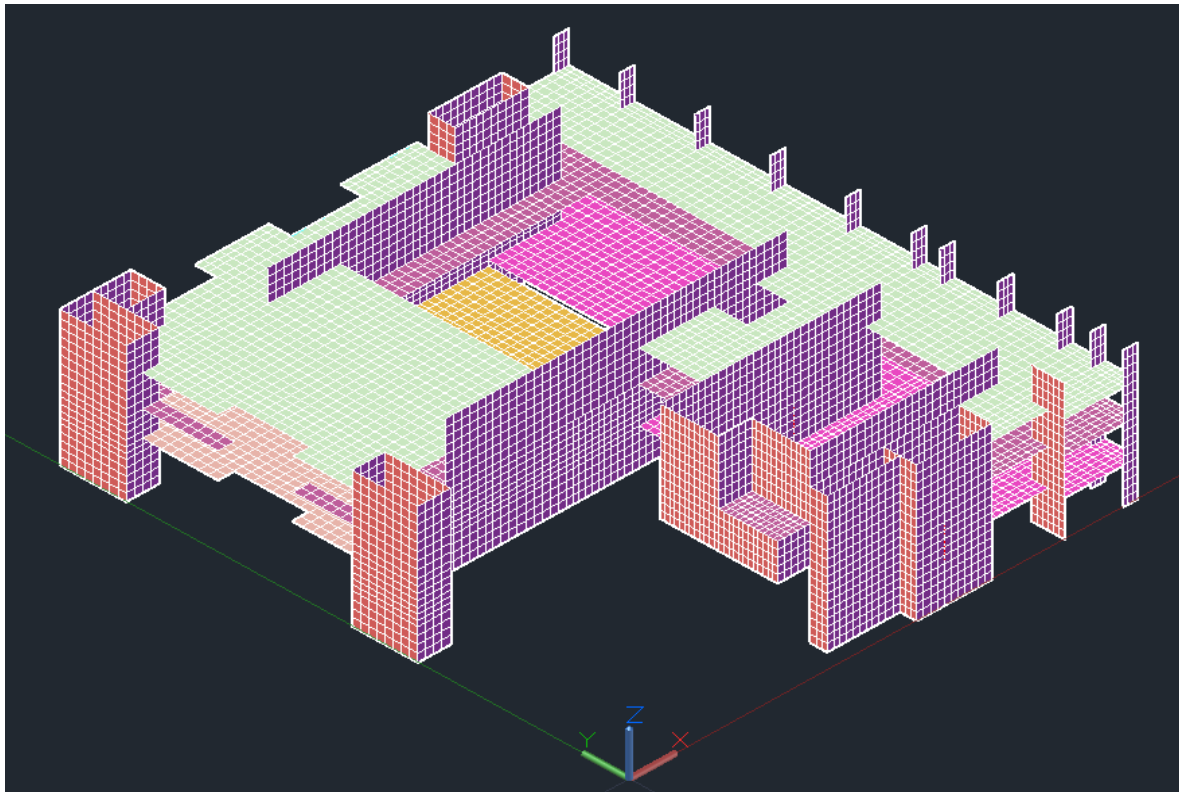


Imagen 27 Elementos de hormigón

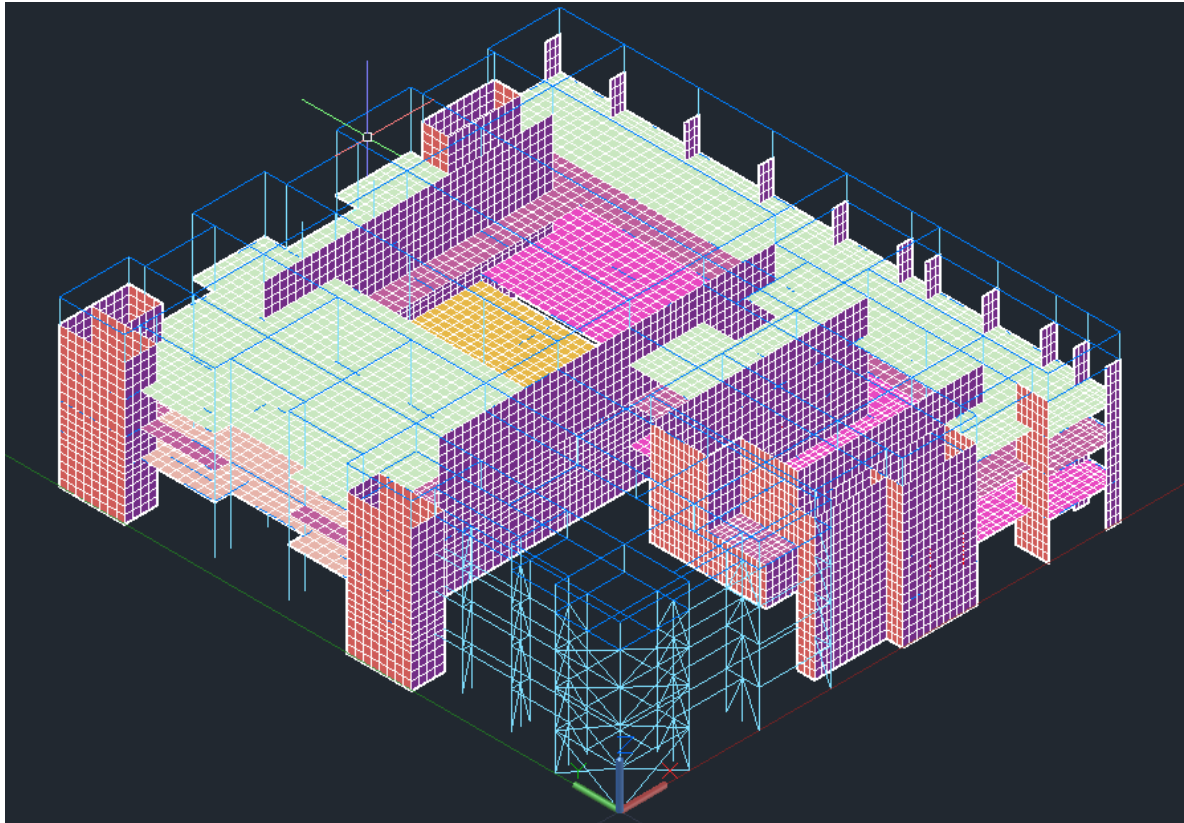


Imagen 28 Elementos de acero

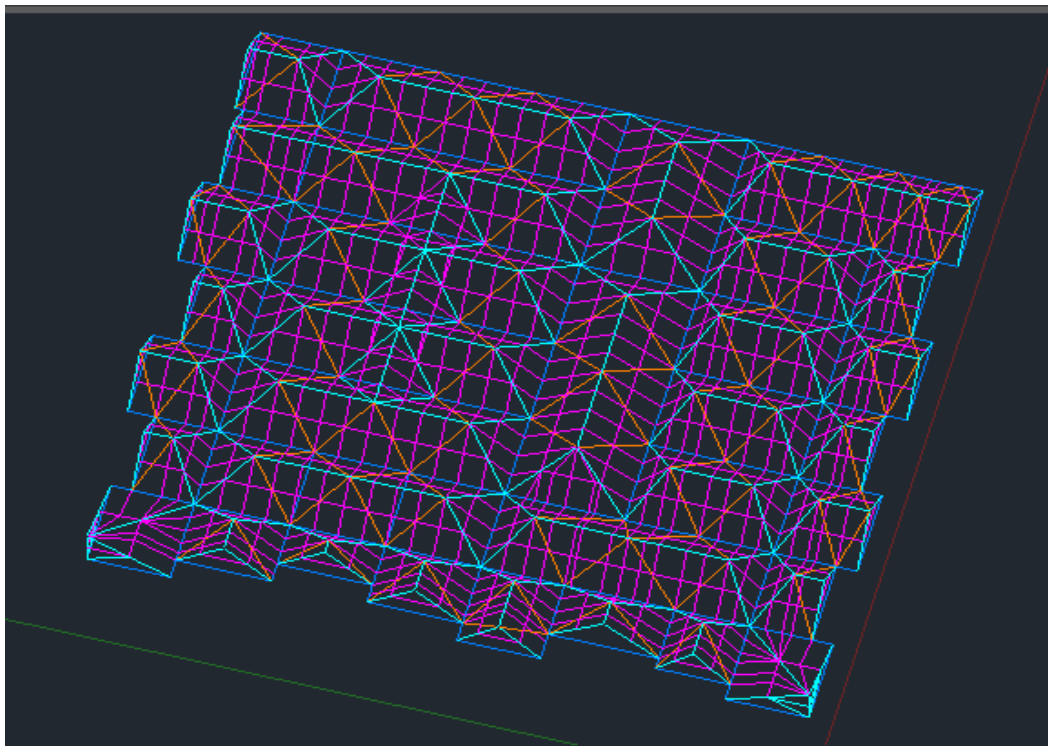


Imagen 29 La estructura de techo

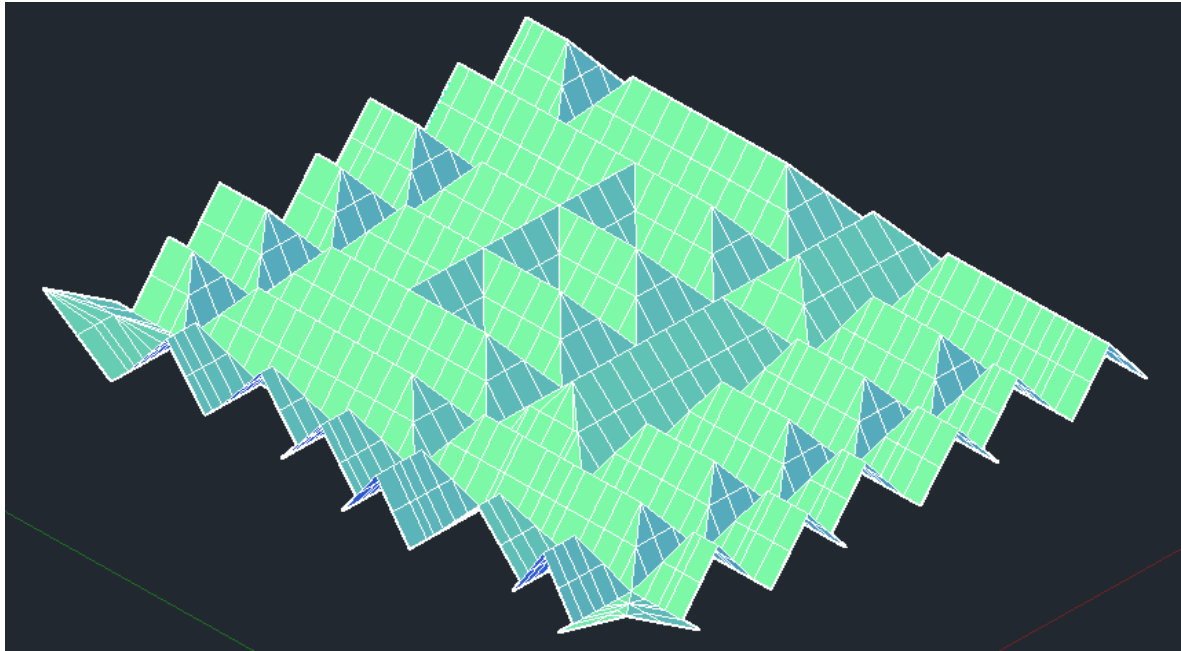


Imagen 30 El modelo de la cubierta

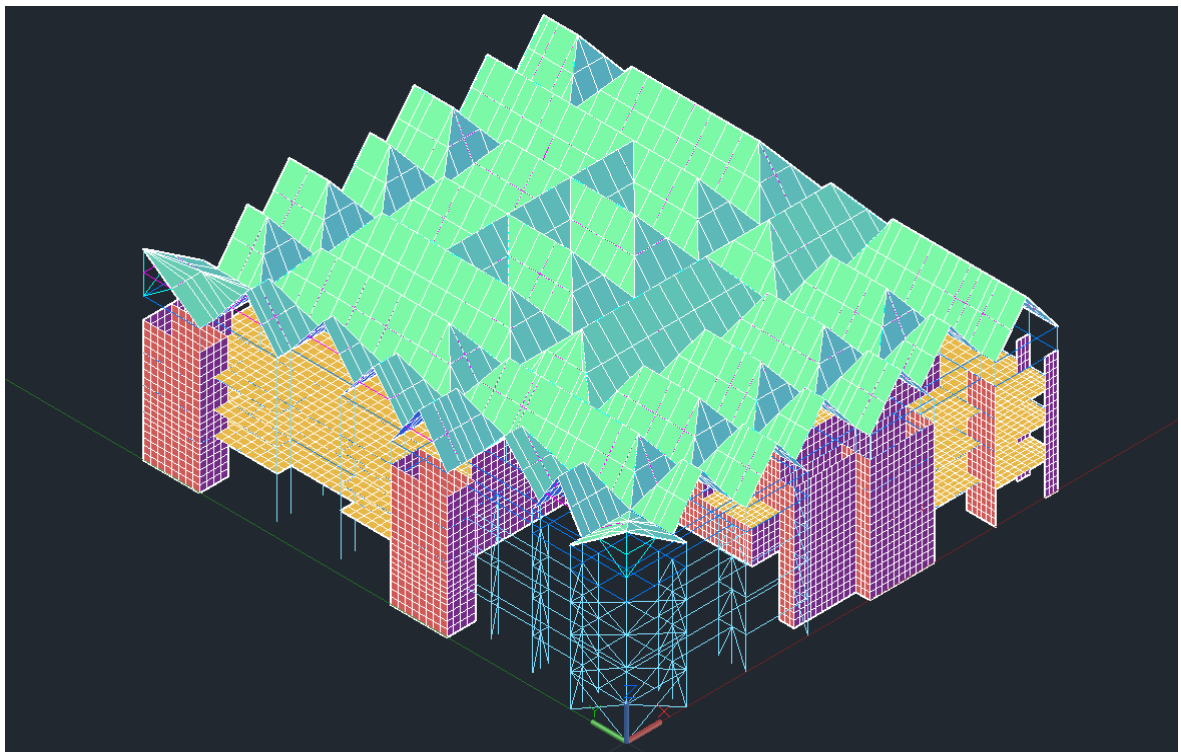


Imagen 31 El modelo completo

Cada tipo de elemento se dibuja en una capa distinta en AutoCAD, de modo que cuando se importa el modelo a SAP2000, se siguen conservando las mismas capas. No es estrictamente necesario, pero ayuda a la hora de asignar las secciones y en caso de existir errores, es más fácil reajustar el modelo, lo cual se verá en adelante.

Propiedades de los materiales

Se desconoce tanto el acero, como el hormigón empleados, pero en las fotografías se aprecia que los perfiles de acero son IPE y HEB, por lo cual se asume el uso de acero estructural S275 como el más empleado en la construcción.

Como base de partida, asignamos los perfiles HEB300 a todas las columnas verticales, IPE300 a las vigas horizontales, los perfiles IPE200 a los elementos estructurales del techo, y HEB100 a los tirantes de los cruces de San Andrés y las cerchas metálicas.

A la hora de hormigón empleado, se asume un HA-25, ya que se desconoce el hormigón que se empleó de verdad. En el caso de no cumplir a resistencia con las dimensiones del proyecto, se aumentará la calidad, y, en consecuencia, la resistencia de hormigón.

Viendo las fotografías y la información disponible, se asigna el grosor de 30cm a todos los paramentos verticales, y un grosor de 30cm a los elementos de losa horizontales. El único sitio donde el grosor de hormigón es distinto es la pasarela del forjado superior, al cual se le asigna un grosor de 20cm.

Prescripciones aplicables

Filarmónica Mieczysław Karłowicz de Szczecin se encuentra en Szczecin, Polonia, por lo cual se aplican las normas técnicas de código técnico Polaco - Prawo Budowlane PN-EN 1991-1-3, que equivale a Eurocódigo EN-1991-1-3:2003

Los valores de cargas se tomarán de DB-SE-AE y los valores de viento de PN-EN 1991-1-3.

Las cargas a considerar

Para evaluar el comportamiento de las estructuras se tienen en cuenta las cargas permanentes de peso propio de los materiales, peso propio de los elementos constructivos, y cargas variables de uso, nieve y viento, y las cargas accidentales del sismo.

Hay que asignar todos los valores por nuestra cuenta salvo las de peso propio de los elementos estructurales, debido a que SAP2000 las asigna automáticamente.

Las cargas de uso y de peso propio se obtienen mediante los datos de documento Básico de Seguridad Estructural de Acciones de edificación del CTE.

ASIGNACIÓN DE CARGAS

CARGAS PERMANENTES

Cargas permanentes de superficie

Zonas de paso

Cargas muertas permanentes (en SAP2000-CMP)

Pavimento cerámico, grosor 0.05m 0.50 KN/m²

Techo suspendido 0.2 KN/m²

Tabiquería 1 KN/m²

Cubierta

Cubierta inclinada, panel con núcleo aislante. 0,21 KN/m²

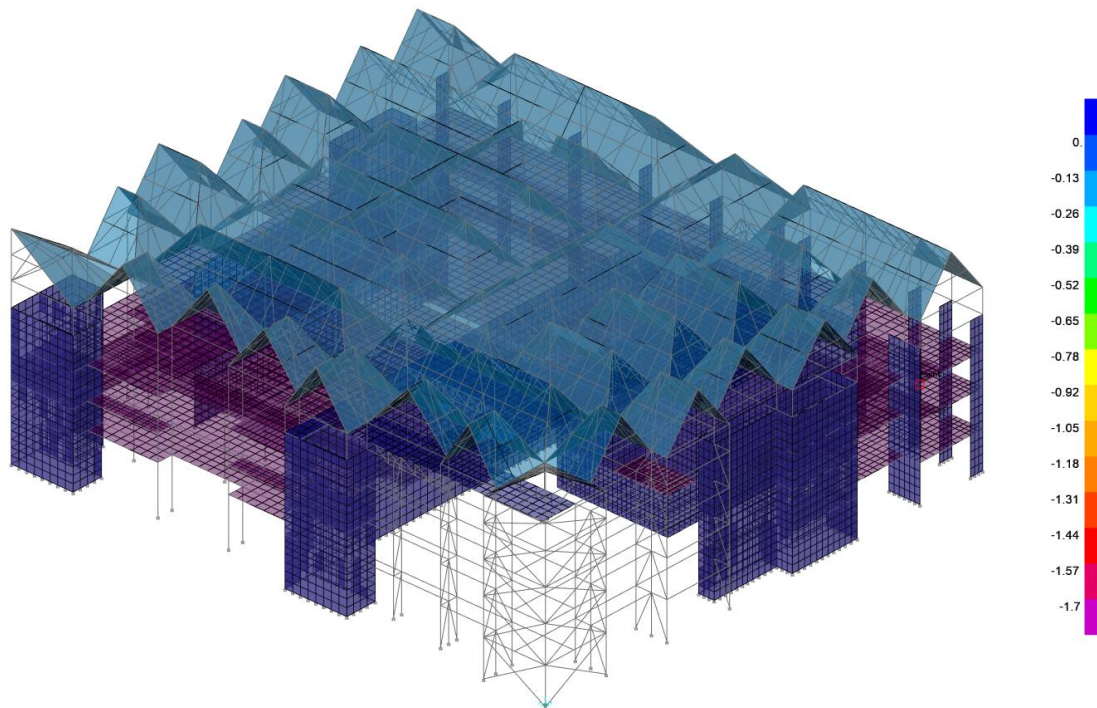


Imagen 32 Cargas de superficie

En esta grafica se puede observar la distribución de cargas de superficie en el edificio, donde cada color corresponde a una carga. Color azul oscuro de elemento significa que este elemento no tiene carga asignada

Cargas permanentes lineales

Peso de la fachada.

En nuestro caso tenemos una fachada ligera traslucida de vidrio y perfiles de aluminio en tres caras de edificio. Se apoya a los elementos estructurales horizontales en cada planta, y pesa $0,35\text{KN/m}^2$ y en consecuencia su peso lineal varía en cuestión de la altura.

No sabemos el material de medianera por tanto asumimos que la medianera es de ladrillo con un peso de 1KN/m^2 , cuyo peso lineal también depende de la altura. Las cargas transmitidas por los elementos lineales se desglosan en la siguiente tabla.

Peso de la fachada (KN/m^2)		Fachada A(eje X)		Fachada B(eje Y)	
		Cara delantera	Cara posterior	Cara delantera	Cara posterior
Alturas de planta		0.35 KN/m^2	$2,5\text{KN/m}^2$	0.35 KN/m^2	0.35 KN/m^2
Primera planta	4 m	1.40 KN/m	10 KN/m	1.40 KN/m	1.40 KN/m
Segunda planta	2.8 m	0.98 KN/m	7 KN/m	0.98 KN/m	0.98 KN/m
Segunda planta(oficinas)	3.5 m	1.23 KN/m	8,75 KN/m	1.23 KN/m	1.23 KN/m
Tercera planta	2.6 m	0.91 KN/m	6,5 KN/m	0.91 KN/m	0.91 KN/m
Cuarta planta	2.5 m	0.88 KN/m	6,25 KN/m	0.88 KN/m	0.88 KN/m

Tabla 1 Pesos de las fachadas

Escalera

El material de las escaleras es hormigón armado en situ.

Los pesos de las escaleras varia dependiendo de la altura que tienen que salvar, entonces se calcula el peso de metro a cubrir en altura (desarrollo en planta 1,62m, largo en diagonal de tramo 1,91m).

Distinguimos entre dos tipologías de escalera: rectas de dos tramos y escalera de caracol, que cuenta también con una barandilla estructural de hormigón armado, cuyo peso también está incluido en el cálculo.

Losa de escalera: 20cm de grosor

Volumen: $0,2\text{m}(\text{grosor}) \times 1\text{m}(\text{anchura}) \times 1,91\text{m}(\text{largo}) = 0,382\text{m}^3$

Peso de losa: $0,382 \times 25\text{KN}/\text{m}^3 = 9,55\text{KN}/\text{m}$ (en altura)

Sobrecarga de uso:

-En escaleras de accesos principales $5 \text{ KN}/\text{m}^2 = 8,1\text{KN}/\text{m}$ en altura

-En escaleras de acceso de personal $3 \text{ KN}/\text{m}^2 = 4,86 \text{ KN}/\text{m}$ en altura

Elementos constructivos:

-Peldaños $1\text{KN}/\text{m}^2 = 1,6\text{KN}/\text{m}$ en altura

-Pavimento $0,5 \text{ KN}/\text{m}^2 = 0,8\text{KN}/\text{m}$ en altura

Otras cargas:

-En escalera de caracol, peso de barandilla, por metro en altura

Volumen: $1,91\text{m}(\text{largo}) \times 1,1\text{m}(\text{altura}) \times 0,1\text{m}(\text{grosor}) = 0,21\text{m}^3$

Peso: $0,21\text{m}^3 \times 25\text{KN}/\text{m}^3$ (peso de hormigón armado) $= 5,25\text{KN}/\text{m}$ en altura

-En escalera de tramos rectos, un descansillo entremedio,

Volumen: $1\text{m}(\text{largo}) \times 1(\text{ancho}) \times 0,2\text{m}(\text{grosor}) = 0,2\text{m}^3$

Peso: $0,2\text{m}^3 \times 25\text{KN}/\text{m}^3 = 5\text{KN}/\text{metro lineal}$

Los pesos transmitidos por las escaleras a los elementos lineales varían en cuestión de la altura de las escaleras, lo cual se desglosa en la siguiente tabla

Cargas de escalera, desglosadas

	Altura, m	Escalera de caracol		Escalera principal		Escaleras auxiliares	
		Peso propio KN/m en altura	Uso KN/m altura	Peso propio KN/m en altura	Uso KN/m altura	Peso propio KN/m en altura	Uso KN/m altura
P1	4	54,20	32,40	21,60	21,20	38,20	22,44
P2	3,75	50,81	30,38	17,9		31,13	21,23
P3	3,5	47,43	28,35	-	-	29,05	20,01
P4	1,75	23,71	14,18	-	-	14,53	11,51

Tabla 2 Cargas de escalera

CARGAS VARIABLES

Cargas de uso (EN SAP2000-SCU)

Para calcular las cargas de uso, utilizamos la tabla 3.1 del CTE, que establecen los valores característicos de carga.

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

Tabla 3 Valores característicos de las sobrecargas de uso

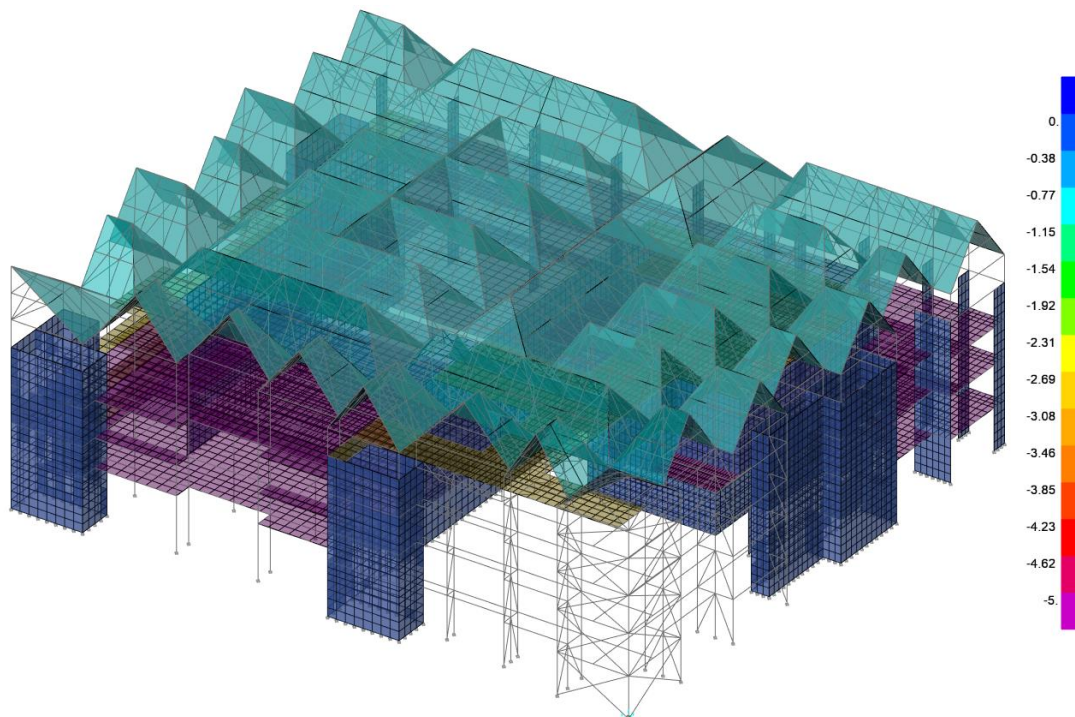


Imagen 33 Sobrecarga de uso por zonas

Nieve

Undrifted snow load (Sobrecarga repartida de nieve en las caras, sin redistribuirse debido a las acciones exteriores)

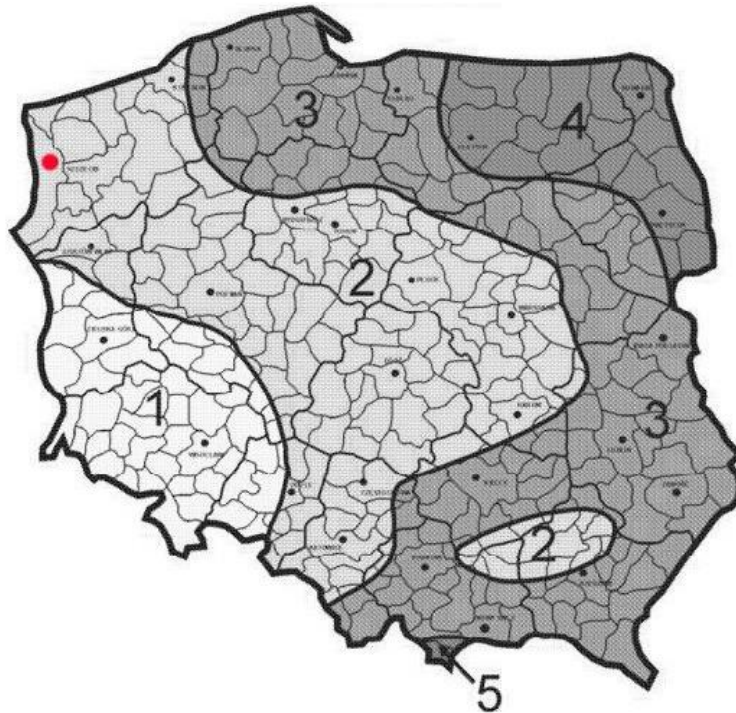


Imagen 34 Sobrecarga de nieve por zonas

ZONA	s_k , kN/m ²
1	$0,007A - 1,4$; $s_k \geq 0,70$
2	0,9
3	$0,006A - 0,6$; $s_k \geq 1,2$
4	1,6
5	$0,93\exp(0,00134A)$; $s_k \geq 2,0$
nota* A= altura por encima de nivel del mar	

Tabla 4 Los valores característicos de sobrecarga de nieve en Polonia

La carga base de nieve es de 0,9KN/m² pero al ser techo inclinado se aplica la fórmula de PN-En-1991-1-3 2005

$$S_f = \mu_j \times C_e \times C_t \times S_k$$

- S_f - sobrecarga de nieve en la cubierta
- μ_j - coeficiente de forma de sobrecarga de nieve (a continuación)
- C_e - coeficiente de exposición = 1,0 (tabla 5.1 Eurocodigo, topografía normal)
- C_t - valor térmico = 1,0 (transmitancia térmica normal)
- S_k - valor característico de sobrecarga de nieve =0,9KN/m²

Drifted snow load(Sobrecarga de nieve bajo la acción de viento)

La variación de la sobrecarga de nieve bajo la acción de viento consiste en aplicación de coeficientes que aumentan o disminuyen las cargas no redistribuidas de nieve, siendo coeficiente 0,5 más favorable y 1 el más desfavorable, en cuestión de la orientación de la cara. Con el fin de simplificar el cálculo y aumentar la seguridad, se aplica el coeficiente de 1 a todas las combinaciones.

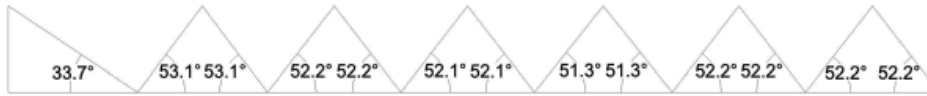


Imagen 35 Inclinaciones de cubierta de la fachada A

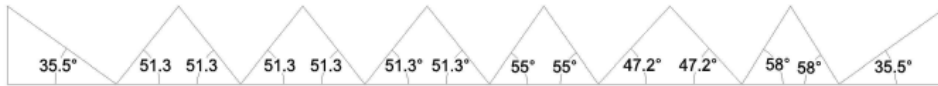


Imagen 36 Inclinaciones de cubierta de la fachada B

$$\begin{aligned} \mu_1(\alpha_1) &= \mu_1(33,7) &= 0,8(60-33,7)/30 &= 0,70 \\ \mu_1(\alpha_2) &= \mu_1(35,5) &= 0,8(60-35,5)/30 &= 0,65 \\ \mu_1(\alpha_3) &= \mu_1(52,2) &= 0,8(60-52,2)/30 &= 0,21 \\ \mu_1(\alpha_4) &= \mu_1(51,3) &= 0,8(60-51,3)/30 &= 0,23 \\ \mu_1(\alpha_5) &= \mu_1(55,0) &= 0,8(60-55)/30 &= 0,13 \\ \mu_1(\alpha_6) &= \mu_1(47,2) &= 0,8(60-47,2)/30 &= 0,34 \\ \mu_1(\alpha_7) &= \mu_1(58,0) &= 0,8(60-58,0)/30 &= 0,05 \\ \mu_1(\alpha_8) &= \mu_1(53,1) &= 0,8(60-53,1)/30 &= 0,18 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_1 &= 0,70 \times 0,9 = 0,63 \text{ KN/m}^2 & S_5 &= 0,13 \times 0,9 = 0,12 \text{ KN/m}^2 \\ S_2 &= 0,65 \times 0,9 = 0,59 \text{ KN/m}^2 & S_6 &= 0,34 \times 0,9 = 0,31 \text{ KN/m}^2 \\ S_3 &= 0,21 \times 0,9 = 0,19 \text{ KN/m}^2 & S_7 &= 0,05 \times 0,9 = 0,05 \text{ KN/m}^2 \\ S_4 &= 0,23 \times 0,9 = 0,21 \text{ KN/m}^2 & S_8 &= 0,18 \times 0,9 = 0,02 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

Para simplificar la asignación de cargas se redondean los valores de S1 y S2 a 0,6KN/m², y S3,S4,S5,S6,S7 y S8 a 0,21, lo cual se observa en la gráfica a continuación (escala grafica en N)

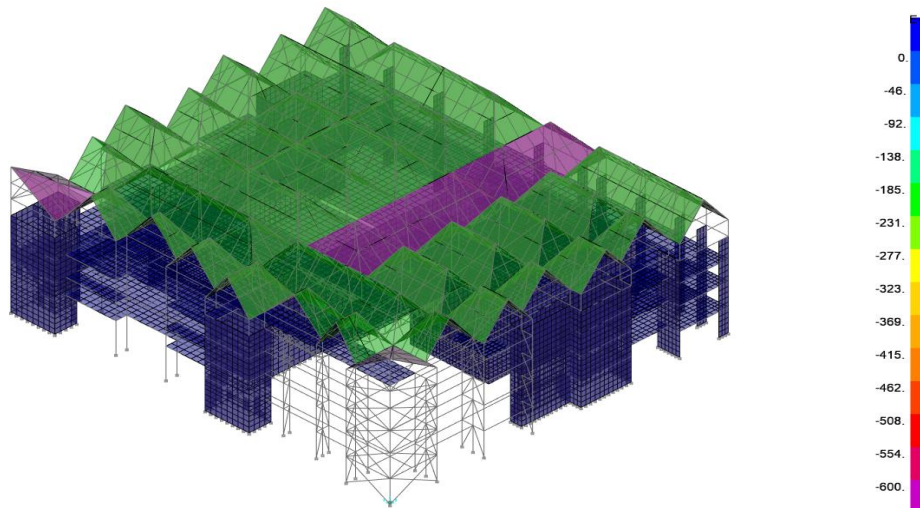


Imagen 37 Sobrecarga de nieve, aplicada al edificio, por zonas

Viento

Los datos de la presión dinámica de viento se sacan conociendo la velocidad media de viento en la zona

$$q_e = q_b \times C_e \times C_p$$

- q_b - Presión dinámica $q_b = 0,28 \text{ OKN/m}^2$
- C_e - Factor exposición $C_e = 1,7$
- C_p/C_s - Coeficiente presión/succión C_p/C_s
- Fachada A, esbeltez: $h/b = 17,6/50,8 = 0,35 \rightarrow$ $C_p = 0,7$
 $C_s = -0,4$
- Fachada B, esbeltez: $h/b = 17,6/60,5 = 0,29 \rightarrow$ $C_p = 0,7$
 $C_s = -0,4$

Sobrecarga de viento (KN/ml)	Fachada A(eje X)		Fachada B(eje Y)		
	Presión	Succión	Presión	Succión	
q_b	0,28	0,28	0,28	0,28	
c_e	1,7	1,7	1,7	1,7	
c_p/c_s	0,7	-0,4	0,7	-0,4	
Alturas de planta	q_e	0,3332	-0,1904	0,3332	-0,1904
Primera planta	4	1,33	-0,76	1,33	-0,76
Segunda planta	3,15	1,05	-0,60	1,05	-0,60
Tercera planta	4,8	1,60	-0,91	1,60	-0,91
Cuarta planta	3,05	1,02	-0,58	1,02	-0,58
Segunda planta, oficinas	3,75	1,25	-0,71	1,25	-0,71
Quinta planta	2,5	0,83	-0,48	0,83	-0,48

Tabla 5 Las sobrecargas de viento

Cargas sísmicas

Se toman los siguientes datos para el cálculo

- Ubicación: Szczecin (±25metros sobre nivel del mar)
- Aceleración sísmica básica(ab): 0.0-0,2m/s=0-0.02g (Szczecin)

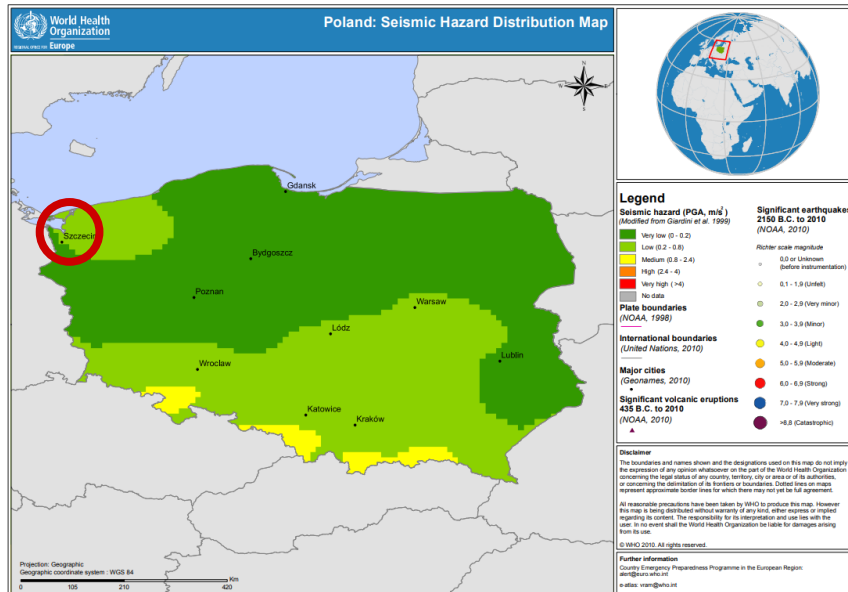


Imagen 38 Cargas sísmicas por zonas

El edificio en cuestión es de importancia normal, cuya destrucción por un terremoto puede causar víctimas, interrumpir el servicio público, o causar daños económicos importantes, nunca siendo de un edificio de servicio esencial o causar efectos catastróficos.

Por lo cual, en el caso de haberse calculado, se aplicaría el método de cálculo normal, pero al estar en la zona de peligro sísmico muy bajo prescindimos de este apartado.

COMBINACIONES

Hipótesis de carga

Para el cálculo se han considerado las siguientes hipótesis de combinación de carga:

1. Permanentes
2. Uso
3. Nieve
4. Viento

Las cargas accidentales y las cargas de sismo no se consideran en el cálculo como se ha justificado en el apartado cargas sísmicas.

Combinaciones de hipótesis y coeficientes de seguridad

La combinación que elegimos para el cálculo es la siguiente:

$$1,35G + 1,5Qu + 1,5Q \times 0,5 \times Qv + 1,5 \times 0,6 \times Qn$$

(Tabla 4.1 de DB SE AE, a verificación de resistencia, situación desfavorable, tanto como para cargas permanentes como para cargas variables)

(Tabla 4.2 de DB SE AE, Coeficientes de simultaneidad)

ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA

Ajustes de modelo estructural

Exportación a SAP2000

Una vez levantado el modelo en AutoCAD, se exporta a SAP2000. Los dos programas utilizan los formatos de archivo distintos, entonces, para poder trabajar con el archivo creado en AutoCAD a sap2000 se exporta como .dxf (Drawing exchange format).

SAP2000 es un programa cuyo interfaz está en inglés, por eso a continuación todos los comandos a ejecutar en SAP2000 se pondrán en inglés.

Con el fin de exportar el modelo y eliminar los pequeños errores que se hayan podido producirse a la hora de creación de modelo, se aplica una herramienta de depuración. El procedimiento es el siguiente: en AutoCAD, en barra de herramientas, se selecciona la opción, o más bien, se utiliza el comando APPLOAD. Se carga la aplicación sapdxf.lsp. En esencia es una lista de comandos, escritos por David Gallardo, que comprueban los encuentros entre los extremos de barra y, a la medida de lo posible, unen geometrías que estén muy cercanas, pero no conectadas.

Se selecciona el modelo dibujado, y la aplicación extrae un archivo en el formato .dxf, que no solo es compatible con SAP2000, sino también depurado de los errores pequeños de geometría.

Una vez hecho esto, ya se puede proceder con el cálculo en SAP2000.

Se podría proceder creando un nuevo proyecto, pero el problema que conlleva esto consiste en la necesidad de introducir al programa tanto las hipótesis de cálculo y sus combinaciones, como las propiedades de materiales. Con el fin de evitar esto, importamos un proyecto de plantilla. En mi caso, he importado el proyecto de cálculo utilizado en la asignatura Estructuras 2.

File-open-ARCHIVO QUE SE UTILIZA DE PLANTILLA (Se importan materiales, hipótesis, combinaciones. Una vez abierto el archivo, se elimina la geometría existente, y se guarda con nuevo nombre para no sobrescribir la plantilla).

File-Import-AutoCAD dxf file

- Es obligatorio elegir las unidades, en este caso las compatibles con proyecto son KN, M, °C
- Elegir las capas (Las capas que tienen barras se importan desde apartado Frames, y las capas que tienen áreas se importan como Shells)

Una nota respecto al rendimiento del programa. Llegando a un nivel considerable de complejidad del modelo, o más bien dicho, a una cantidad de polígonos sustancial, se programa empieza ir lento, por lo cual hay que activar la tarjeta gráfica en apartado

Options-graphics mode-directx.

(Por defecto SAP2000 utiliza un motor gráfico más lento, y por eso hay que activar la tarjeta gráfica)

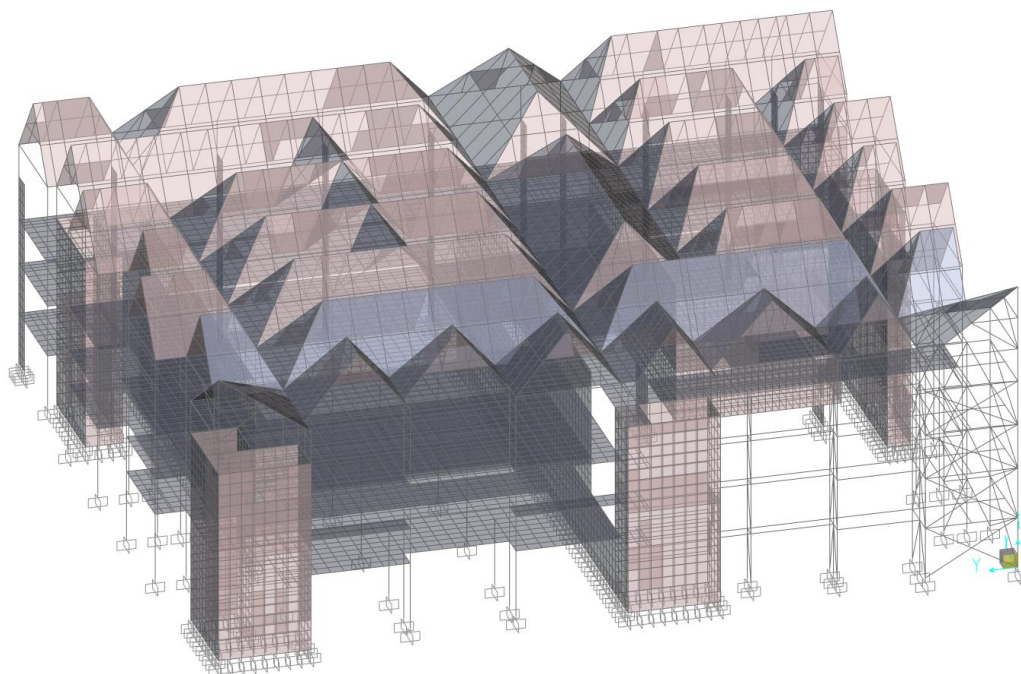


Imagen 39 Modelo exportado a SAP2000

Asignación de las secciones

Una vez importado el modelo, se procede a la asignación de las secciones y las cargas. Primero se asignan las secciones, según las secciones asumidas en el apartado propiedades de materiales. Para definir la sección, seleccionamos las barras, y nos vamos a

Assign - frame - section

En nuestro caso sabemos las secciones que es van a utilizar, por lo cual la podemos cargarlas en *Import-profile* (aparece el dialogo, buscamos el catalogo que nos interesa, al estar en Europa, elegimos catalogo Euro)

En la lista de datos que sale, seleccionamos los perfiles que necesitamos, que son los perfiles HEB y IPE. Hay que tener en cuenta que los perfiles de gama HEB en este listado figuran como HExxxB donde xxx es el número del perfil. A la hora de importar, seleccionamos el tipo de acero-S275 y en propiedades de perfil asignamos un color distinto al que viene por defecto-magenta, de este modo sabemos enseguida los perfiles que ya se han asignado, así agilizando el trabajo.

Para ver una imagen de la estructura, aproximada a la realidad, se utiliza

View - set display options (o pulsando ctrl+w) - View colors - Sections - Extrude

El procedimiento para asignar las secciones a los elementos de área es muy similar, la única diferencia está en que introducimos los parámetros de una sección de hormigón manualmente.

Assign - area - section

Creamos una sección de 30 cm para paramentos verticales, y una sección de 30cm para las losas, y 20 cm para la losa de la pasarela de forjado superior. En el caso de cubierta, ya que no aporta rigidez estructural alguna, creamos una sección llamada None, que sólo transmite cargas a las demás secciones. En vez de utilizar la sección que viene por determinado en el programa, creamos una sección equivalente, asignando parámetros de grosor nulo a una sección.

Asignación de cargas

Las cargas que encontramos en el proyecto, son las siguientes:

Trabajo Fin de Grado

Artur Volobuev

Grado en Fundamentos en Arquitectura – Escuela Técnica Superior de Arquitectura – Universitat Politècnica de València

Dead-peso propio, habrá que ponerlo a la cubierta, que al ser de sección None, no tiene peso propio asignado.

CMP-carga muerta permanente. Tabiquería, falso techo, instalaciones, pavimentos, fachada,

SCU-sobrecarga uso

SCN-sobrecarga nieve

SCV x/y -sobrecarga de viento en direcciones x/y

Para asignar las cargas a las áreas, nos vamos a

Assign-area-loads-uniform(shell)- add/replace

Para asignar las cargas a las barras, que serían cargas de fachada, medianera, viento, peso de escalera, nos vamos a

Assign-frame loads-distributed

Visualización de las cargas asignadas

Para visualizar las cargas asignadas, nos vamos a

Show-object-load assigns area/frame-uniform load contours

SAP2000 visualiza las cargas hipótesis a hipótesis, por lo cual en el caso de necesitarlos los sacamos por separado.

Ajustes previos al calculo

Para poder empezar con el cálculo, definimos las condiciones de apoyo, asignando a los puntos que tengan encuentro con la cimentación las restricciones necesarias, en este caso son todos empotramientos perfectos.

Lo último que hacemos, es corregir el modelo utilizando las herramientas integradas en SAP2000. No quiere decir que modelo este mal, pero este procedimiento asegura un correcto funcionamiento de la estructura. Conecta todos los elementos lineales con los elementos planos e internamente subdivide las caras al tamaño adecuado para el cálculo.

Para poder asignar las condiciones, pulsamos

Ctrl+a, o seleccionamos toda la estructura

Assign-frame-automatic frame mesh.

- Assign mesh at intersections

-Auto mesh area based on points on area edges, intersections and point objects

-Restrains and constraints for added points add on EDGE when restrains/constraints exist on adjacent corner points

-Submesh, distance: 1m max

Al hacer este paso nos aseguramos de que todo el modelo está bien mallado, lo cual asegura obtención de los resultados coherentes del cálculo.

Para que los forjados y las barras trabajen en conjunto, hacemos el siguiente paso

Area-Generate Edge Constraints-Create constraints around area object edges

Ultimo ajuste a realizar consiste en conectar los puntos que podrían estar separados debido a errores de dibujo (Más que nada, en las caras inclinadas, donde AutoCAD parece tener dificultades a la hora de conectar los puntos correctamente).

Edit-edit points-merge joints-seleccionamos un rango de 0,05m

ANÁLISIS DEL MODELO ESTRUCTURAL

Deformada general

Para sacar los resultados de cálculo, primero tenemos que decirle al programa que ejecute el análisis de estructura, lo cual se hace mediante

Analyse (o pulsando la tecla F5)-run analysis (Elegimos todas las hipótesis para cálculo, salvo la modal)-Run

La duración de cálculo varia en cuestión de la complejidad de modelo y también depende de la cantidad de las cargas asignadas. En principio el cálculo tardaba unos 20-30 segundos, pero con todas las cargas asignadas el cálculo dura unas 2-3 minutos aproximadamente.

Una vez realizado el cálculo, visualizamos la estructura deformada

F6 (display deformed shape)-combinación ELSu (draw contours on objects-Uz-Automatic

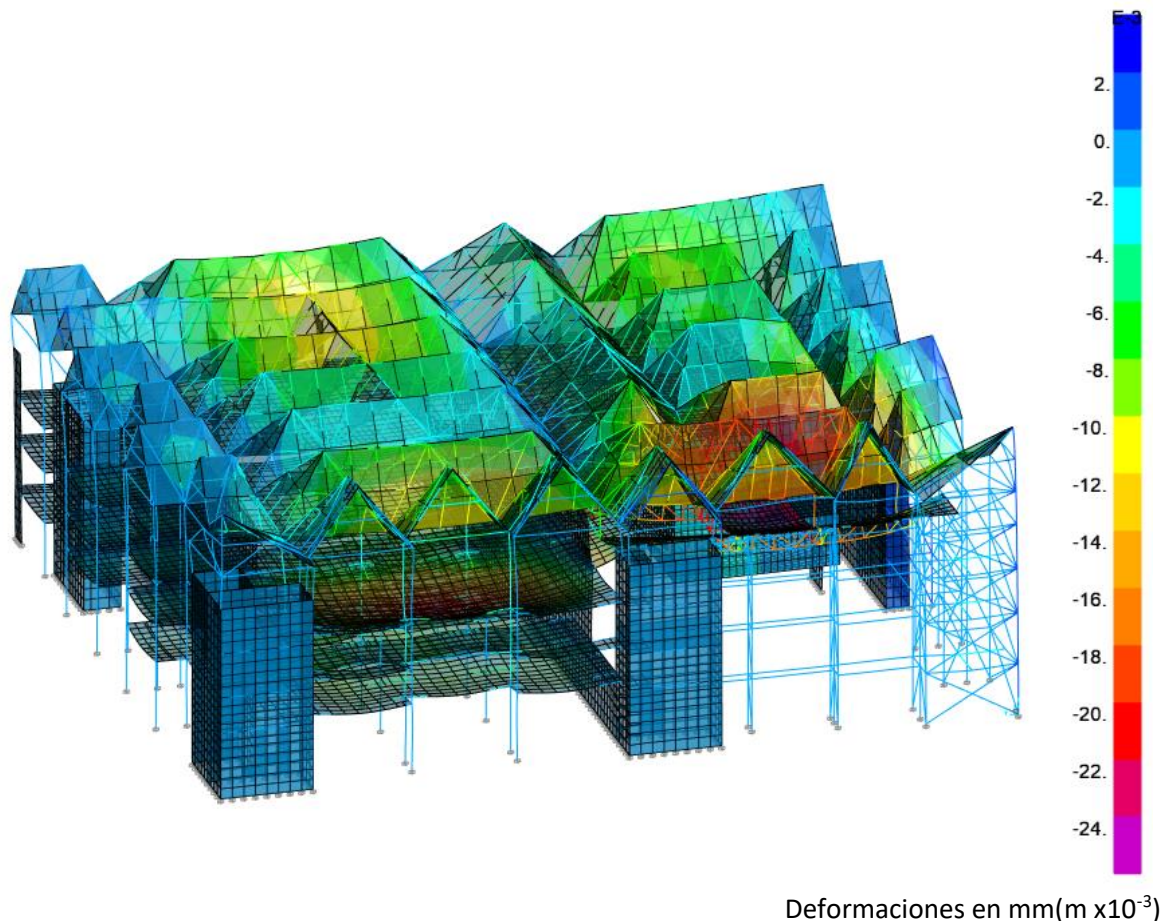


Imagen 40 Deformaciones de la estructura

Si se ha hecho todo de manera correcta, en la escala grafica se asignarán deformaciones de rango $E-3$ (deformaciones en milímetros), se verán los colores, y ningún elemento se ira al infinito.

Deformaciones.

Según CTE 4.3.3.1 Flechas, las deformaciones máximas de flecha relativa no pueden superar $L/300$, por lo cual analizamos las áreas con la deformación máxima en el modelo. En el modelo las deformaciones verticales se encuentran en el eje U3.

Punto medio de la cubierta que cubre la luz de salón de actos principal.

$U3 = 0.0112\text{m}$

$L/300 = 24/300 = 0,08\text{m}$

Deformación relativa actual es menor que la máxima permitida por CTE, entonces se admite el cálculo

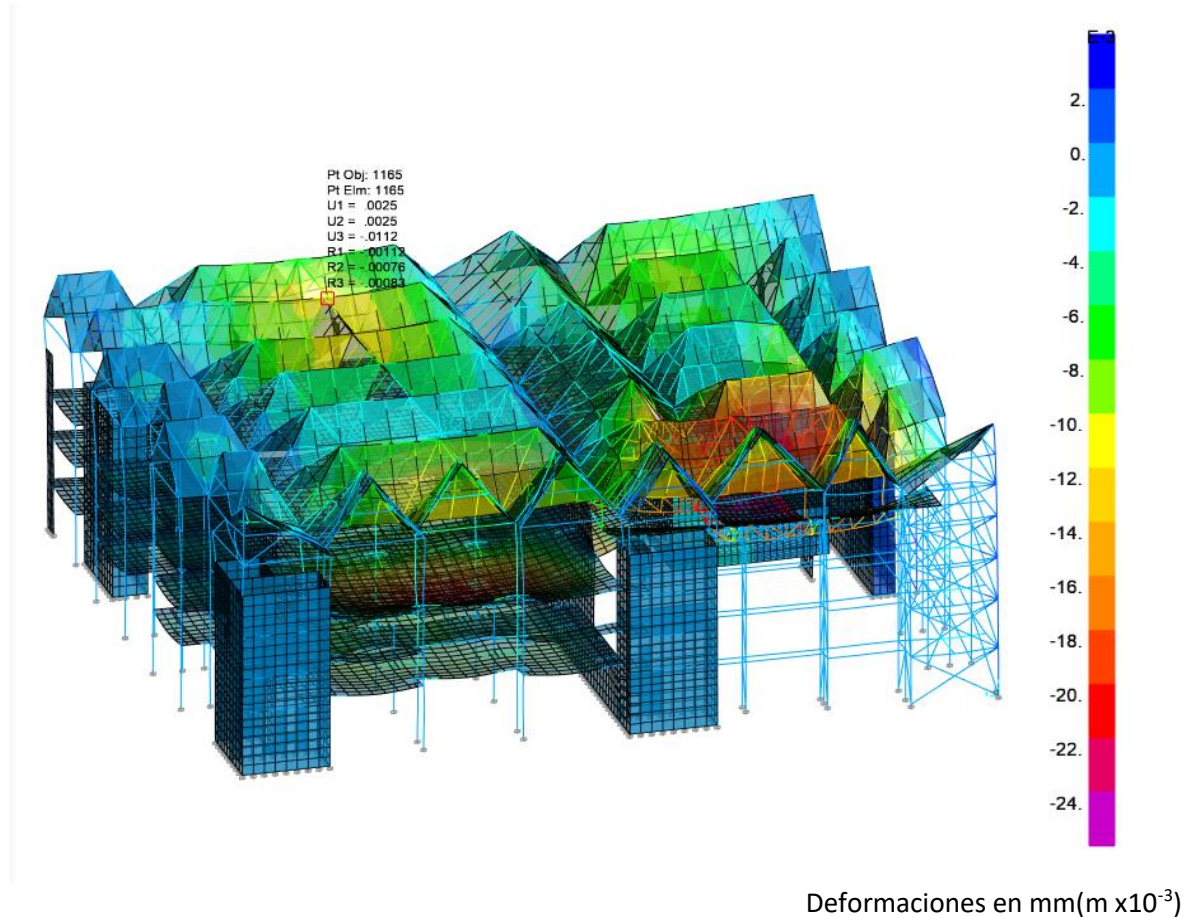
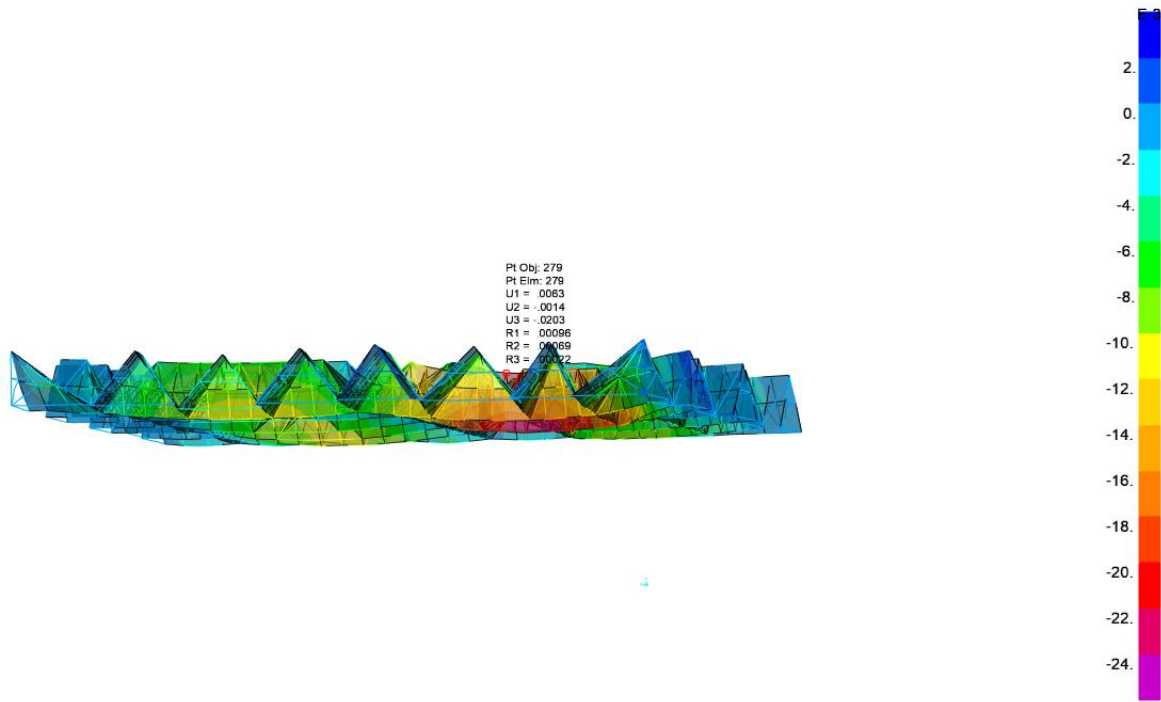


Imagen 41 Desplazamiento vertical del punto medio de la cubierta que cubre la luz de salón de actos principal.

Punto medio de la cubierta que cubre el hall principal $U3 = 0.203\text{m}$ $L/300 = 22,5/300 = 0,075\text{m}$

Deformación relativa actual es menor que la máxima permitida por CTE, entonces se admite el cálculo



Deformaciones en $\text{mm}(\text{m} \times 10^{-3})$

Imagen 42 Desplazamiento vertical del punto medio de la cubierta que cubre el hall principal

Punto medio de la pasarela del hall principal

$U3 = 0,0232\text{m}$

$L/300 = 15,25/300 = 0,05\text{m}$

Deformación relativa actual es menor que la máxima permitida por CTE, entonces se admite el cálculo

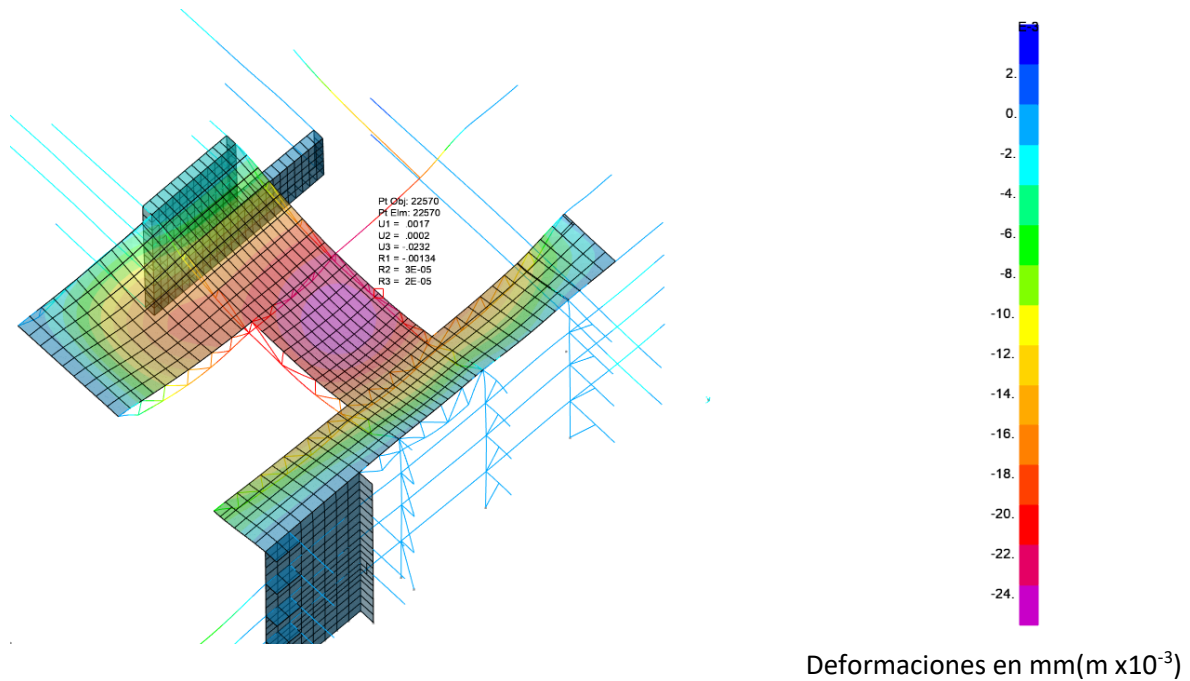


Imagen 43 Desplazamiento vertical del punto medio de la pasarela del hall principal

Punto medio del forjado del hall de entrada a salon de actos

$U3 = 0,0218\text{m}$

$L/300 = 24/300 = 0,08\text{m}$

Deformación relativa actual es menor que la máxima permitida por CTE, entonces se admite el cálculo

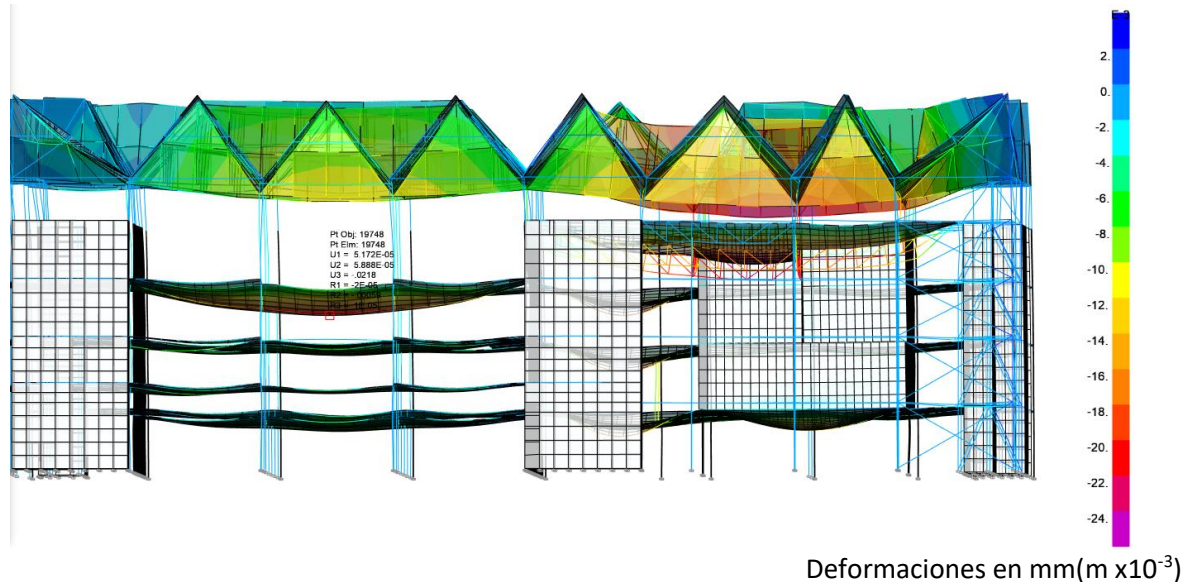


Imagen 44 Desplazamiento vertical del punto medio del forjado del hall de entrada a salon de actos

Punto medio del forjado de salón de cámara

$$U3 = 0,0134\text{m}$$

$$L/300 = 15,5/300 = 0,05\text{m}$$

Deformación relativa actual es menor que la máxima permitida por CTE, entonces se admite el cálculo

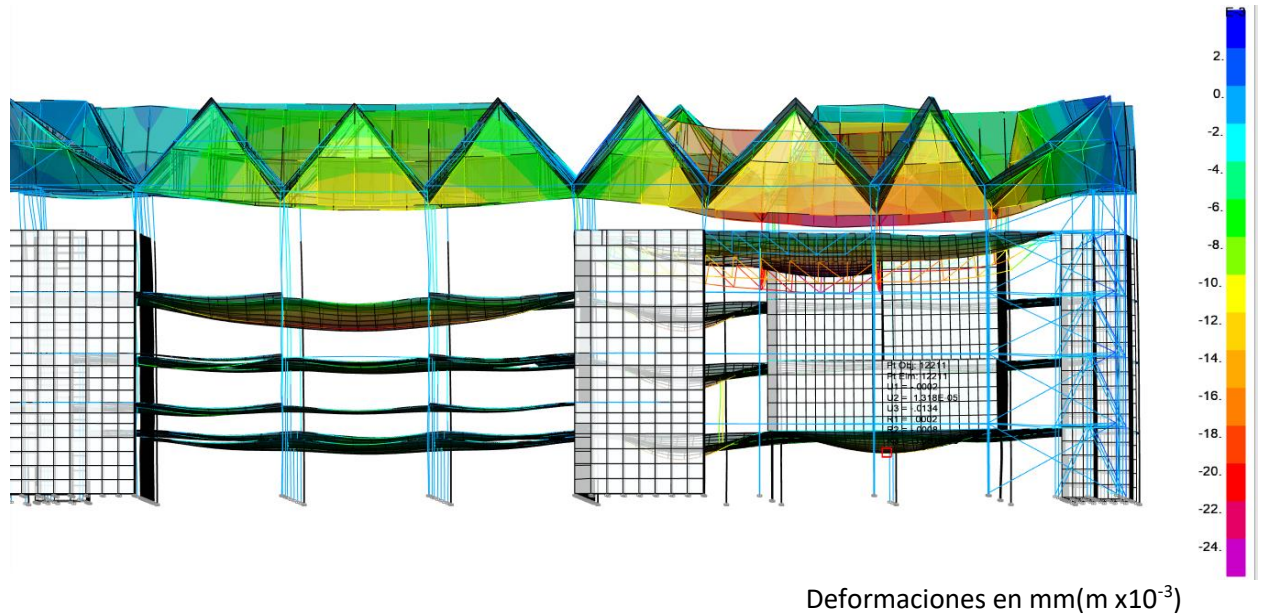


Imagen 45 Deformación vertical del punto medio del forjado de salón de cámara

Punto medio de la cubierta que cubre el hall de la entrada a salón de actos

$$U3 = 0,0114\text{m}$$

$$L/300 = 24/300 = 0,08\text{m}$$

Deformación relativa actual es menor que la máxima permitida por CTE, entonces se admite el calculo

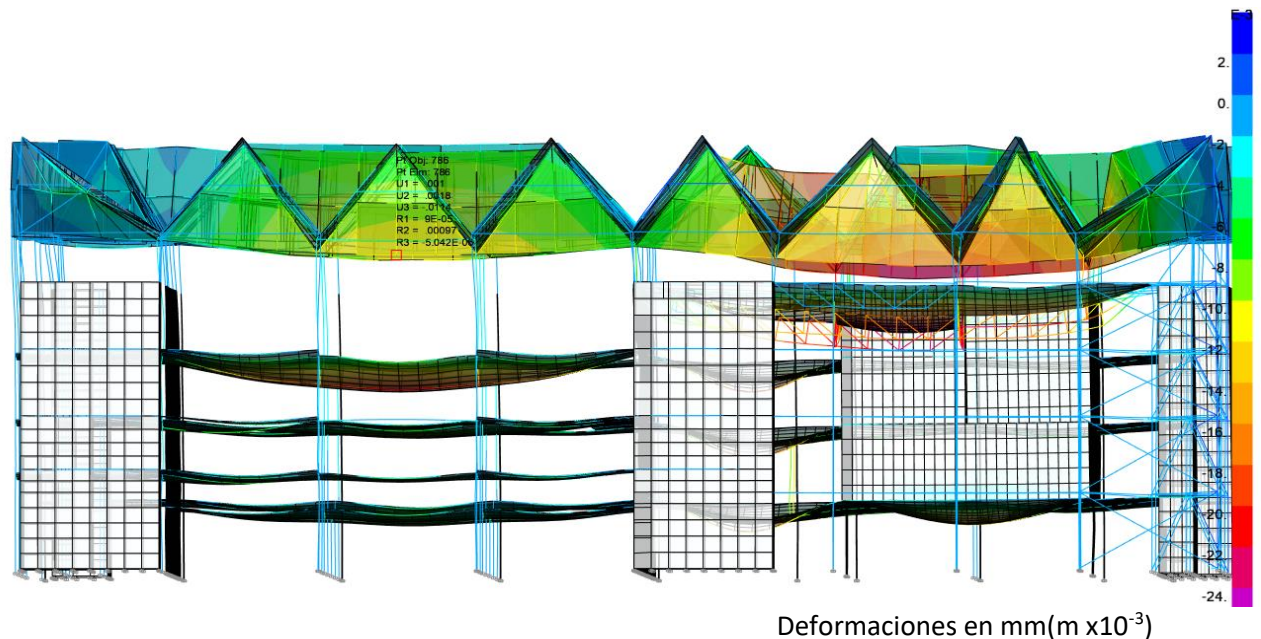


Imagen 46 deformación vertical del punto medio de la cubierta que cubre el hall de la entrada a salón de actos

Peritación

Para analizar el cumplimiento de los perfiles metálicos, SAP2000 tiene el comando

Steel design/Check of structure

SAP2000 comprueba todos los perfiles metálicos, y los colorea en cuestión de su cumplimiento. Para verificar los perfiles que no cumplen, pulsamos

Verify all members passed

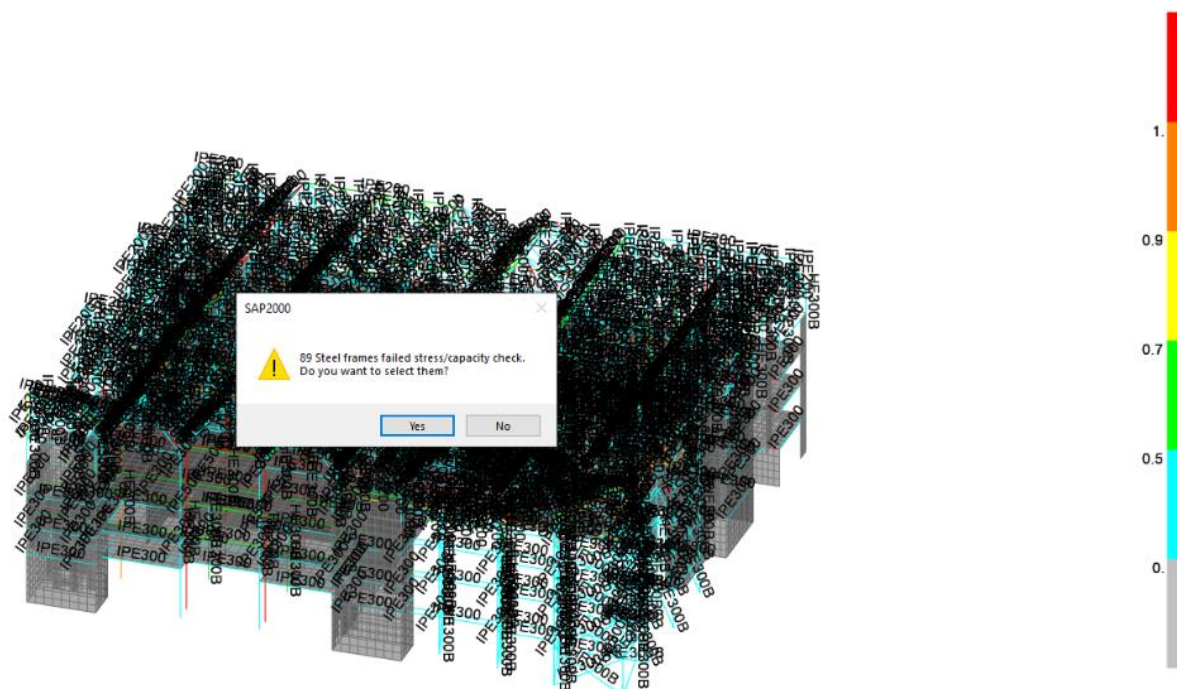


Imagen 47 Primera peritación

El primer análisis de la estructura nos dice que no cumplen 89 perfiles, pero en este criterio está incluido el pandeo.

La estructura real no pandeo tanto como el modelo, debido a los siguientes factores:

- El modelo de cálculo considera una estructura completamente traslacional, cuando en la realidad debido a los elementos constructivos como muros, tabiques, forjados, etc., la estructura se acerca a una estructura intraslacional. Sin embargo, la estructura nunca llega a ser 100% intraslacional.
- Los perfiles que se encuentran dentro de los forjados quedan rigidizados por los mismos, debido a que el hormigón que les confina evita su pandeo lateral.
- Como criterio favorable, en la información gráfica que se ha podido recuperar, se ve que varios perfiles están reforzados en alma por placas dispuestas de manera transversal. A pesar de que este efecto aumenta considerablemente la resistencia del perfil al pandeo, este criterio no resulta útil en este trabajo, debido a la complejidad de cálculo.

Teniendo en cuenta todos estos factores, los ajustes que se aplican al modelo son los siguientes

-A los perfiles de los forjados, les apagamos el pandeo, seleccionándolos y cambiando los valores que corresponden a la longitud de pandeo:

View/revise overwrites, y asignamos a los valores

Unbraced Length ratio(Major) - 0,0001

Unbraced Length ratio(Minor) - 0,0001

Unbraced Length ratio(LTB) - 0,0001

-Al resto de los perfiles disminuimos el criterio desfavorable del pandeo:

View/revise overwrites, y asignamos a los valores

Effective length factor sway (K2 Major) – 0,7

Effective length factor sway (K2 Minor) – 0,7

View/revise preferences, P-Delta Done - Yes

Con el pandeo ajustado el análisis de la estructura da el siguiente resultado

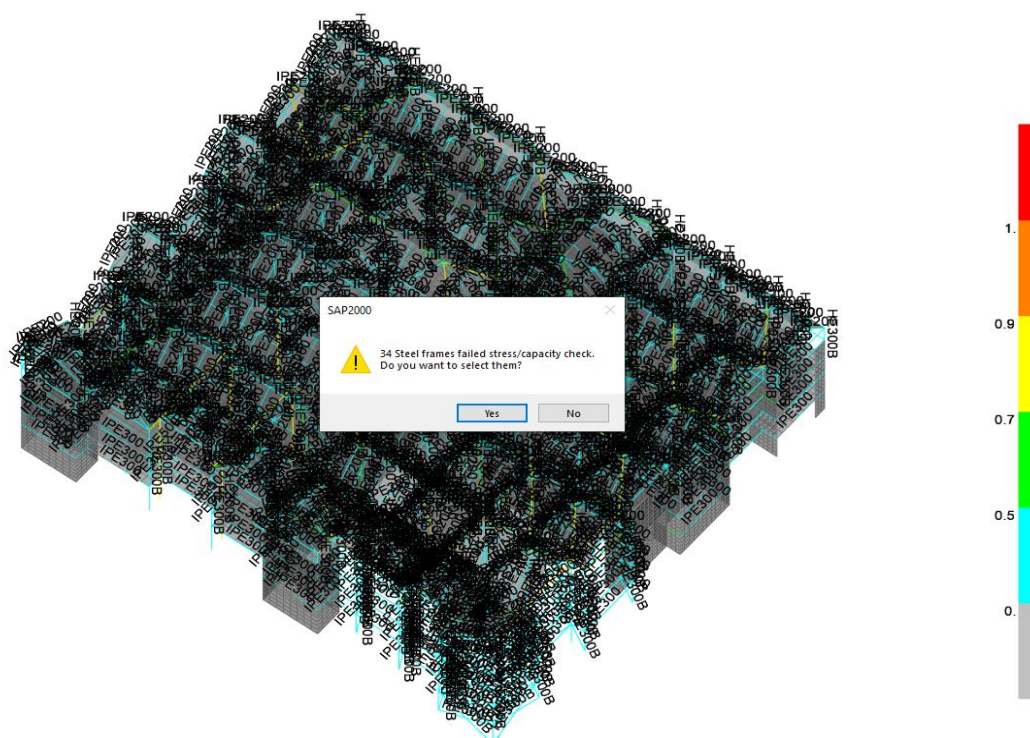


Imagen 48 Segunda peritación

Es decir, solo 34 perfiles no cumplen a resistencia. Seleccionamos solo los perfiles que no cumplen, y ocultamos el resto de modelo.

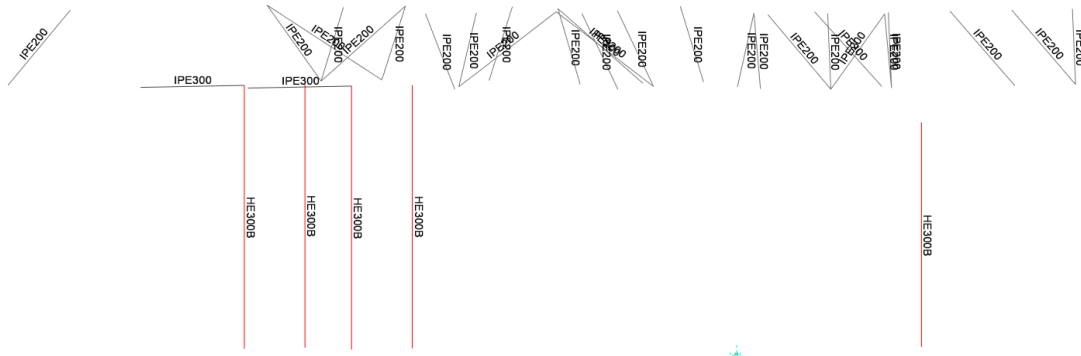


Imagen 47 Perfiles que no cumplen

Como se puede observar en la foto, los perfiles que no cumplen son: perfiles de cubierta, 5 perfiles correspondientes a pilares y 2 perfiles correspondientes a las vigas de apoyo de la cubierta.

Ajustes de la estructura

Aumentamos los perfiles de los elementos hasta que cumplan en el modelo. Después de todos los ajustes nos sale el siguiente resultado:

Perfil tubular Perfil HEB450 reforzado en 4 caras con una pletina de 10mm en las 4 caras, en vez de HEB300 a las columnas que no cumplían.

El refuerzo con las pletinas se justifica debido a la necesidad de aumento de la inercia del perfil, pero sin aumentar más las medidas.

IPE450 en vez de IPE300 a las viguetas de apoyo de la cubierta

IPE300 en vez de IPE200 a las viguetas de la cubierta

Una vez cambiadas las secciones, se vuelve a calcular la estructura y realizar la comprobación de los perfiles metálicos.

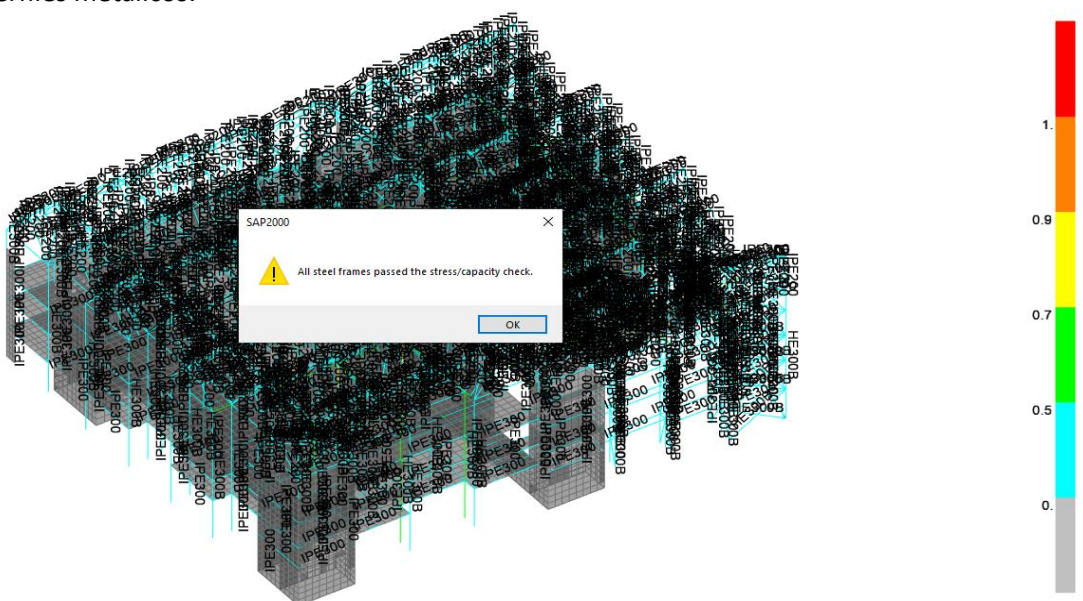


Imagen 48 Peritación final

Estructura final

Los perfiles con las medidas finales se visualizan planta por planta, ocultando el resto del modelo, y se desglosan en el anexo gráfico.

Según SAP2000 todos los perfiles cumplen a condiciones de resistencia. Además, se han comprobado las deformaciones a flecha y cumplen los criterios de CTE. Al haber cumplido esos dos criterios, se da por bueno el cálculo de estructura.

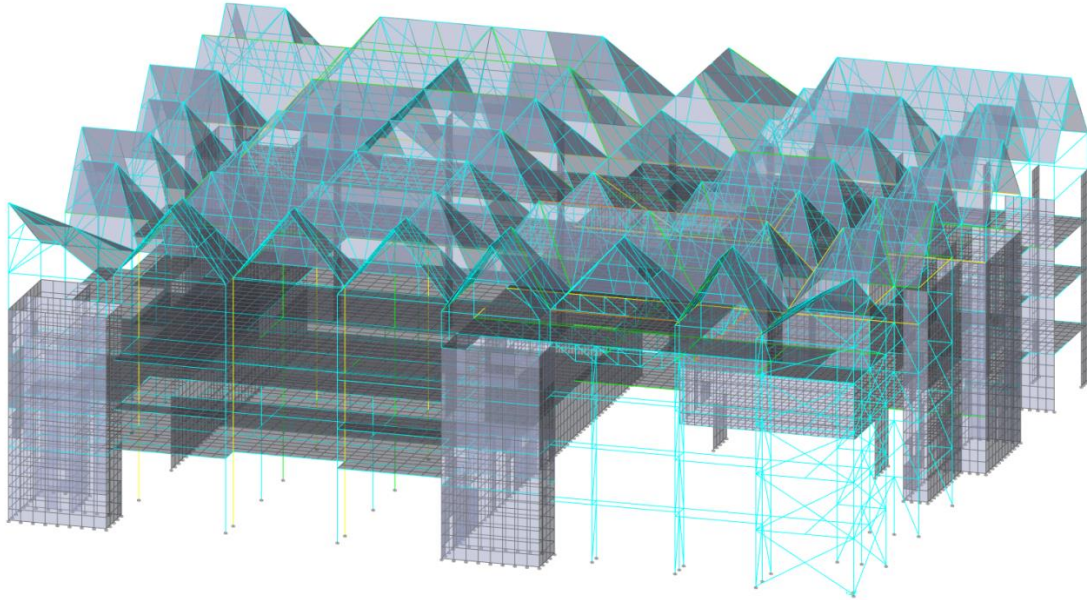


Imagen 49 Estructura final

CONCLUSIÓN

Este trabajo está constituido por un estudio completo de la Filarmónica de Szczecin de Barozzi y Veiga. Se analiza exhaustivamente como se desarrolló el proyecto desde su origen, hasta comprender el uso de cada uno de los materiales. Se sintetiza el planteamiento de la estructura y su adecuación a la forma del edificio.

La parte del desarrollo de la estructura lleva a un modelado en programas informáticos usados para este trabajo, que con AutoCAD y SAP2000. En dichos programas se analiza la respuesta usando parámetros adecuados hasta conseguir unos resultados que nos indiquen la estabilidad del edificio.

El tamaño importante del modelo dificulta el proceso de análisis y modelado en cierto modo. El método de cálculo requiere una cantidad elevada de polígonos, que es inevitable. Lo único que podemos hacer para aliviar el trabajo es planificar desde principio la geometría a levantar e intentar ser preciso con la geometría en tres dimensiones. A pesar de esto, en cuanto a los techos inclinados, AutoCAD empieza a dar errores y coger las referencias mal. Dichos errores no se ven en el visor de AutoCAD y la única manera de detectarlos es revisar toda la estructura cuidadosamente en SAP2000.

Respecto la respuesta estructural del edificio, se ha visto que el edificio cumple de sobra con los perfiles que se han observado viendo las fotografías del proceso constructivo. Se observa un importante grado de la seguridad frente las cargas. Los elementos portantes de hormigón rigidizan toda la estructura por lo cual las deformaciones bajo acciones de viento resultan despreciables. La estructura de techo actúa como una cercha de 5 metros de canto lo que permite salvar luces que llegan a 24 metros sin deformaciones excesivas.

La realización del análisis del Filarmónico de Szczecin me ha permitido ver el nivel de seguridad estructural que tiene este edificio. Salvo los sitios donde faltaron datos para saber dimensiones exactas, ninguno de los perfiles elegidos ha fallado la comprobación a resistencia, además, ha garantizado las deformaciones mínimas.

En resumen, el tipo de cálculo donde primero se crea la geometría en AutoCAD, y luego se exporta a un programa de cálculo, me ha parecido bastante ágil. Según lo que había visto a lo durante la realización del trabajo, SAP2000 sirve de gran ayuda en el análisis de estructuras de losas, muros de carga de hormigón armado y elementos de acero estructural, siendo uno de los programas donde, teniendo criterio propio y conocimientos básicos estructurales, es posible sacar resultados factibles en plazos relativamente breves.

A pesar de la sencillez de ejecución del análisis, el programa tiene dos desventajas que pueden limitar considerablemente su utilidad. En el caso de cálculo de las estructuras de hormigón armado, y está limitado a la hora de producción de los planos con las dimensiones de los elementos finales.

A pesar de estas dos desventajas, sigo pensando en utilizar SAP2000 en más adelante. Conocidas las dimensiones de los elementos, los planos se pueden hacer de manera manual, y los planos de armado son mediantemente sencillos de ejecutar, ya que SAP2000 nos saca todas las solicitaciones de los elementos.

AGRADECIMIENTOS

A David Gallardo, por inspirarme a hacer como tema del trabajo final de grado un análisis de estructura.

A mis amigos, por estar a mi lado en los momentos duros de la carrera.

A mi familia por apoyarme siempre.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Textos

Barozzi, F., Veiga, A., & Zabala, J. (2016). *Barozzi Veiga*. Zürich: Park books.

Millais, M. (1997). *Estructuras de edificación*. Madrid: Celeste

Estudio Barozzi y Veiga (2019) *Proyectos destacados*, Spain, Barcelona, recuperado de <https://barozziveiga.com/selected>

Cultura PL. (2014) *The Tip of the Iceberg*, Polonia, recuperado de <https://culture.pl/en/article/the-tip-of-an-iceberg-the-szczecin-philharmonic>

n/a (2015) *Philharmonic Hall*, Spain, Barcelona, recuperado de <https://miesarch.com/work/567>

Estudio Barozzi y Veiga (2014) *Solo house*, Spain, Barcelona, recuperado de <https://barozziveiga.com/projects/solo-house>

Corradi, M (2011) *Barozzi-Veiga: sede del Ribera del Duero*, recuperado de <https://www.floornature.es/barozzi-veiga-sede-del-ribera-del-duero-7256/>

Estudio Barozzi y Veiga (2016) *Fine Arts Museum*, recuperado de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/792869/museo-de-bellas-artes-barozzi-veiga>

Saiz, G (2019) Barozzi Veiga: el dúo de arquitectos que triunfa en Europa, recuperado de <https://www.traveler.es/viajeros/articulos/estudio-barozzi-veiga-recibe-premio-ad-arquitectos-del-ano/14731>

Documentos técnicos

1. CATÁLOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CTE. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA (Marzo 2010)
2. DOCUMENTO BÁSICO SE-AE. SEGURIDAD ESTRUCTURAL. (Abril 2009)
3. DOCUMENTO BÁSICO SE-AE. SEGURIDAD ESTRUCTURAL. ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN. (abril 2009)
4. EUROCODE 1: ACTIONS ON STRUCTURES - Part 1-3 General actions: snow loads EN 1991-1-3 (2003)
5. EUROCODE 1: ACTIONS ON STRUCTURES - Part 1-4 General actions: wind actions EN 1991-1-4 (2005)
6. Prawo Budowlane PN-EN 1991-1-3
7. ENGEL, H. (2006) *Sistemas de estructuras*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili

Programas de cálculo

Computers and Structures, Inc. (2017) SAP2000 version 19.2.1

Autodesk (2016) AutoCAD Architecture

Imágenes

Imagen 1 Fabrizio Barozzi y Alberto Veiga	6
Saiz, G (2019) <i>Fabrizio Barozzi y Alberto Veiga</i> , recuperado de https:// traveler.es/	
Imagen 2 Bundner Kunstmuseum.....	7
n/a, recuperado de https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/792869/museo-de-bellas-artes-barozzi-veiga	
Imagen 3 Sede del Ribera del Duero.....	8
Corradi, M (2011) <i>Barozzi-Veiga: sede del Ribera del Duero</i> , recuperado de https://www.floornature.es/barozzi-veiga-sede-del-ribera-del-duero-7256/	
Imagen 4 Solo House	9
Barozzi y Veiga architects (2014) <i>Interior de la vivienda del proyecto Solo House</i> , recuperado de https://www.themodernhouse.com/journal/house-of-the-day-solo-house-by-barozzi-veiga/	
Imagen 5 Museo Cantonal de Lausana	10
ArchDaily (2019) <i>Cantonal Museum of Fine Arts / BAROZZI VEIGA</i> , recuperado de https://www.archdaily.com/918961/cantonal-museum-of-fine-arts-barozzi-veiga	
Imagen 6 Plano de situación	11
n/a (2015) <i>Filarmónica Mieczyslaw Karłowicz, en Szczecin</i> , recuperado de https://arqa.com/arquitectura/premios/mieczyslaw-karlowicz-philharmonic-hall-in-szczecin.html	
Imagen 7 Fotografía desde el exterior	12
Krajewski, P. (2015) <i>Filarmónica Mieczyslaw Karłowicz, en Szczecin</i> , recuperado de https://arqa.com/arquitectura/premios/mieczyslaw-karlowicz-philharmonic-hall-in-szczecin.html	
Imagen 8 El entorno cercano	13
Krajewski, P. (2015), <i>Szczecin Philarmomnic Hall</i> , recuperado de https://archello.com/project/mieczyslaw-karlowicz-philharmonic-hall-in-szczecin	
Imagen 9 El edificio en la trama urbana	13
Menges, S. (2015) <i>Filarmónica de Szczecin</i> , recuperado de https://arqa.com/arquitectura/premios/mieczyslaw-karlowicz-philharmonic-hall-in-szczecin.html	
Imagen 10 Vestíbulo de la entrada.....	14
Menges, S. (2015) <i>Filarmónica de Szczecin</i> , recuperado de https://arqa.com/arquitectura/premios/mieczyslaw-karlowicz-philharmonic-hall-in-szczecin.html	
Imagen 11 Vista de escalera.....	14
Menges, S. (2015) <i>Filarmónica de Szczecin</i> , recuperado de https://arqa.com/arquitectura/premios/mieczyslaw-karlowicz-philharmonic-hall-in-szczecin.html	

Imagen 12 Alzado del edificio	14
n/a (2015) <i>Filarmónica de Szczecin</i> , recuperado de https://arqa.com/arquitectura/premios/mieczyslaw-karlowicz-philharmonic-hall-in-szczecin.html	
Imagen 13 Planta del edificio.....	15
Menges, S. (2015) <i>Filarmónica de Szczecin</i> , recuperado de https://arqa.com/arquitectura/premios/mieczyslaw-karlowicz-philharmonic-hall-in-szczecin.html	
Imagen 14 Modulación del edificio.....	16
Elaboración propia, AutoCAD	
Imagen 15 Vista exterior.....	17
Menges, S. (2015) <i>Filarmónica de Szczecin</i> , recuperado de https://arqa.com/arquitectura/premios/mieczyslaw-karlowicz-philharmonic-hall-in-szczecin.html	
Imagen 16 Vista exterior.....	17
Menges, S. (2015) <i>Filarmónica de Szczecin</i> , recuperado de https://arqa.com/arquitectura/premios/mieczyslaw-karlowicz-philharmonic-hall-in-szczecin.html	
Imagen 17 Salón de actos.....	17
Menges, S. (2015) <i>Filarmónica de Szczecin</i> , recuperado de https://arqa.com/arquitectura/premios/mieczyslaw-karlowicz-philharmonic-hall-in-szczecin.html	
Imagen 18 Escalera y salón de cámara.....	17
Menges, S. (2015) <i>Filarmónica de Szczecin</i> , recuperado de https://arqa.com/arquitectura/premios/mieczyslaw-karlowicz-philharmonic-hall-in-szczecin.html	
Imagen 19 Principio de construcción.....	18
4Dfoto (2015) <i>Fotografía aérea</i> , recuperado de https://www.facebook.com/4Dfoto	
Imagen 20 Elementos de hormigón ejecutados	18
4Dfoto (2015) <i>Fotografía aérea</i> , recuperado de https://www.facebook.com/4Dfoto	
Imagen 21 Elementos metálicos.....	18
n/a (2012) <i>Budowa nowej Filharmonii Szczecińskiej</i> , recuperado de https://gs24.pl/budowa-nowej-filharmonii-szczecinskiej/ar/5649304	
Imagen 22 Ejecución de la cubierta.....	18
4Dfoto (2015) <i>Fotografía aérea</i> , recuperado de https://www.facebook.com/4Dfoto	

Imagen 23 Estructura de techo.....	19
<i>n/a (2012)Budowa Filharmonii. Widac juz sale koncertowe, recuperado de</i>	
https://gs24.pl/budowa-filharmonii-widac-juz-sale-koncertowe-zdjecia-wideo/ar/5483080	
Imagen 24 Frontón de la cubierta.....	19
<i>n/a (2012)Budowa Filharmonii Szczecińskiej, recuperado de</i>	
https://gs24.pl/budowa-filharmonii-w-szczecinie/ar/5659208	
Imagen 25 Perfiles rigidizados en alma.....	19
<i>n/a (2012)Budowa Filharmonii Szczecińskiej, recuperado de</i>	
https://gs24.pl/budowa-filharmonii-w-szczecinie/ar/5659208	
Imagen 26 Cerchas vistas a través de la fachada.....	19
<i>n/a (2012)Budowa Filharmonii Szczecińskiej, recuperado de</i>	
https://gs24.pl/budowa-filharmonii-w-szczecinie/ar/5659208	
Imagen 27 Elementos de hormigón	20
Elaboración propia, AutoCAD	
Imagen 29 La estructura de techo	21
Elaboración propia, AutoCAD	
Imagen 30 El modelo de la cubierta	22
Elaboración propia, AutoCAD	
Imagen 31 El modelo completo	22
Elaboración propia, AutoCAD	
Imagen 32 Cargas de superficie	24
Elaboración propia, SAP2000	
Imagen 33 Sobrecarga de uso por zonas	27
Elaboración propia,SAP2000	
Imagen 34 Sobrecarga de nieve por zonas	28
EUROCODE 1: ACTIONS ON STRUCTURES - Part 1-3 General actions: snow loads EN 1991- 1-3 (2003)	
Imagen 35 Inclinaciones de cubierta de la fachada A	29
Elaboración propia, AutoCAD	
Imagen 36 Inclinaciones de cubierta de la fachada B	29
Elaboración propia, AutoCAD	
Imagen 37 Sobrecarga de nieve, aplicada al edificio, por zonas	29
Elaboración propia, SAP2000	

Imagen 38 Cargas sísmicas por zonas	31
n/a (2010) Poland:Seismic Harzasd Destribution Map, recuperado de http://data.euro.who.int/e-atlas/europe/images/map/poland/pol-seismic.pdf	
Imagen 39 Modelo exportado a SAP2000.....	34
Elaboración propia, SAP2000	
Imagen 40 Deformaciones de la estructura	37
Elaboración propia, SAP2000	
Imagen 41 Desplazamiento vertical del punto medio de la cubierta que cubre la luz de salón de actos principal.....	38
Elaboración propia, SAP2000	
Imagen 42 Desplazamiento vertical del punto medio de la cubierta que cubre el hall principal	39
Elaboración propia, SAP2000	
Imagen 43 Desplazamiento vertical del punto medio de la pasarela del hall principal	40
Elaboración propia, SAP2000	
Imagen 44 Desplazamiento vertical del punto medio del forjado del hall de entrada a salon de actos	40
Elaboración propia, SAP2000	
Imagen 45 Deformación vertical del punto medio del forjado de salón de cámara	41
Elaboración propia, SAP2000	
Imagen 46 Deformación vertical del punto medio de la cubierta que cubre el hall de la entrada a salón de actos	41
Elaboración propia, SAP2000	
Imagen 47 Primera peritación	42
Elaboración propia, SAP2000	
Imagen 48 Segunda peritación	43
Elaboración propia, SAP2000	
Imagen 47 Perfiles que no cumplen	44
Elaboración propia, SAP2000	
Imagen 48 Peritación final	44
Elaboración propia, SAP2000	
Imagen 49 Estructura final.....	45
Elaboración propia, SAP2000	

Tablas

Tabla 1 Pesos de las fachadas, Elaboración propia

Tabla 2 Cargas de escalera, Elaboración propia

Tabla 3 Valores característicos de las sobrecargas de uso, CTE

Tabla 4 Los valores característicos de sobrecarga de nieve en Polonia, Eurocogido

Tabla 5 Las sobrecargas de viento, Elaboración propia