



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR  
D'ARQUITECTURA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**Estudio, modelización y análisis de la estructura de la  
Casa Balint de Fran Silvestre  
mediante SAP2000**

TRABAJO FINAL DE GRADO | GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA | CURSO 2020-2021  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE VALENCIA

AUTORA LAURA ROBLES BARRERO  
TUTOR DAVID GALLARDO LLOPIS

## **AGRADECIMIENTOS**

En agradecimiento a todos los profesores de estructuras que han aparecido a lo largo de mi camino y que con su pasión, su esfuerzo y sus ganas de enseñar han logrado acercarme a esta rama tan interesante de la arquitectura.

En especial, a mi tutor David Gallardo, que desde sus primeras clases logró contagiarme esa manera tan entusiasta de ver las estructuras, convirtiendo lo más complejo en lo más lógico y sencillo de comprender.

Por último, gracias a mi familia y amigos por su infinita paciencia y por permanecer siempre como un apoyo incondicional.



## 0. ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	06
1.1 RESUMEN Y PALABRAS CLAVE	06
1.1.1 RESUMEN	06
1.1.2 RESUM	06
1.1.3 ABSTRACT	06
1.2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	07
<b>2. ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO</b>	09
2.1 SOBRE EL ARQUITECTO	09
2.2 SOBRE LA ARQUITECTURA	11
2.3 SOBRE LA CASA	13
<b>3. ANÁLISIS CONSTRUCTIVO Y ESTRUCTURAL</b>	17
3.1 INFORMACIÓN GRÁFICA PROYECTUAL	17
3.2 INFORMACIÓN GRÁFICA ESTRUCTURAL Y CONSTRUCTIVA	21
<b>4. MODELO DE ANÁLISIS</b>	35
4.1 GEOMETRÍA EN AUTOCAD	35
4.2 INTRODUCCIÓN DE MATERIALES Y SECCIONES EN SAP2000	37
4.3 CONDICIONES DE ENLACE EN SAP2000	40
4.4 INTRODUCCIÓN DE CARGAS EN SAP2000	44
4.4.1 CARGAS PERMANENTES	44
4.4.2 CARGAS VARIABLES	48
4.4.3 CARGAS ACCIDENTALES	58
4.4.4 ACCIONES SOBRE EL MODELO DE CÁLCULO SIMPLIFICADO	67
4.5 COMBINACIÓN DE ACCIONES	74
4.5.1 ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO (ELS)	76
4.5.2 ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS (ELU)	77
4.5.3 INSERCIÓN DE COMBINACIONES EN SAP2000	78
<b>5. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS</b>	81
5.1 COMPROBACIÓN ELS	81
5.1.1 DEFORMACIONES VERTICALES	81
5.1.2 COMPROBACIÓN DE LOS ELEMENTOS HORIZONTALES	92
5.1.3 VIBRACIONES	94
5.2 COMPROBACIÓN ELU	99
<b>6. CONCLUSIONES</b>	148
<b>7. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE</b>	151
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b>	153
8.1 LISTADO DE REFERENCIAS TEXTUALES	153
8.2 LISTADO DE FIGURAS	154



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

#### 1.1.1 RESUMEN

El propósito de este trabajo es el de realizar un análisis estructural sobre la Casa Balint, realizada por el arquitecto Fran Silvestre entre 2013 y 2017, en Bétera (Valencia, España). Para lograr este análisis se desarrolla un modelo de las particulares geometrías que conforman el proyecto a través de la herramienta AutoCad, y posteriormente se realiza un cálculo estructural mediante el software SAP2000, obteniendo una serie de resultados que permiten sacar conclusiones acerca del funcionamiento y comportamiento de la estructura.

Palabras clave:

Fran Silvestre, Casa Balint, análisis estructural, SAP2000, hormigón armado

#### 1.1.2 RESUM

El propòsit d'aquest treball és el de realitzar un anàlisi estructural sobre la Casa Balint, realitzat per l'arquitecte Fran Silvestre entre 2013 i 2017, a Bétera (València, Espanya). Per a aconseguir aquest anàlisi es desenvolupa un model de les particulars geometries que conformen el projecte a través de l'eina AutoCad, i posteriorment es realitza un càlcul estructural mitjançant el software SAP2000, obtenint una sèrie de resultats que permeten traure conclusions sobre el funcionament i comportament de l'estructura.

Paraules clau:

Fran Silvestre, Casa Balint, anàlisi estructural, SAP2000, formigó armat

#### 1.1.3 ABSTRACT

The purpose of this work is to perform a structural analysis of the Balint House, built by the eloquent architect Fran Silvestre between 2013 and 2017, in Bétera (Valencia, Spain). To achieve this goal, a model of the particular geometries that make up the project is developed through the AutoCad tool, and later a structural calculation is carried out using the SAP2000 software. In this way we will obtain a series of results that will help us conclude the operation and behavior of the structure.

Key words:

Fran Silvestre, Balint House, structural analysis, SAP2000, reinforced concrete

## 1.2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

Este trabajo es un estudio de investigación, interpretación y cálculo estructural, donde se expone el análisis y resultados del cálculo de una vivienda de Fran Silvestre, concretamente La Casa Balint.

Para una correcta interpretación, se debe estudiar y analizar en profundidad la arquitectura de Fran Silvestre y su forma de proyectar, pues algunas intenciones como la modulación o el minimalismo pueden ser claves para intuir las distribuciones estructurales, determinadas por grandes vanos por los que se deja pasar la luz y el aire, permitiendo una gran libertad de movimiento y visuales, algo muy presente en todas sus obras. Por tanto, tras haber obtenido respuestas a estas cuestiones, podemos comenzar a entender e interpretar la estructura de la Casa Balint.

Una vez comprendidos los elementos que la componen y como se conectan entre ellos, se procede a realizar el modelo de la estructura en AutoCad. Dibujando mediante barras y elementos finitos bidimensionales todos los elementos que la integran. Tras este paso, debemos asegurarnos de que las conexiones entre las diferentes partes estén correctas antes de su importación al software SAP2000, herramienta que nos permitirá realizar un cálculo preciso de la estructura. Pero antes de este cálculo, deberemos comenzar insertando las secciones y la materialidad de los elementos, así como de las cargas que deberemos haber estimado previamente dependiendo de los acabados y materiales empleados en el interior de la vivienda, por otro lado, la carga propia de la estructura será el software el que se encargará de aplicarla.

Tras esta fase de aplicación, se obtendrán los resultados de un cálculo que pretende ser lo más fiel a la realidad posible, a través del cual determinaremos el comportamiento de la estructura, y se le aplicarán los cambios, dimensionamientos, armados y refuerzos pertinentes.

Finalmente, se redactarán las conclusiones obtenidas a lo largo de todo este proceso, intentando que todo el conocimiento extraído pueda ser interpolado a otros casos de similares características.





## 2. ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO

### 2.1 SOBRE EL ARQUITECTO



Figura 2.1.-1. Retrato de Fran Silvestre. Fuente: inHAUS

Los inicios de Fran Silvestre se fundan en el año 2001, año en el que obtiene el título de arquitecto en la Universidad Politécnica de Valencia con matrícula de honor. Posteriormente se especializó en urbanismo en la *Technische Universiteit Eindhoven*. A lo largo de su carrera profesional trabajó para estudios como MVRDV en Holanda o el estudio de Álvaro Siza en Oporto. Durante 2006, ya en Valencia, obtiene el título de Doctor con la mención Cum Laude.

Hasta aquí un resumen de sus logros a grosso modo, pero adentrándonos más en los inicios de su carrera profesional, es en 2005 cuando empieza todo. Tras su estancia de dos años en Portugal donde, gracias a una beca Arquia, estaba trabajando junto a Álvaro Siza, vuelve a Valencia por un proyecto que Siza iba a desarrollar en el Campus de Tarongers. Este proyecto no se llevó a término y Fran decide establecerse ya en Valencia.

Empieza poco a poco con pequeños proyectos de unifamiliares que le encargan, y de forma paralela, al haber tenido siempre cierta vocación docente, consigue hacerse profesor de la Universidad Politécnica de Valencia, lo que le ayudó a tener cierta estabilidad en sus inicios y poder desarrollar en paralelo pequeños proyectos independientes.

Hay que tener en cuenta que esto se da antes de la crisis del ladrillo, cuando era relativamente sencillo, nada más acabar la carrera, trabajar para cualquier estudio o promotora, empezando a realizar edificios de grandes bloques, promociones inmobiliarias, etc, donde en realidad, todos estos criterios de diseño y la intención de llegar hasta el detalle, no se tenían tan en cuenta. Fran decide no seguir este camino y prefiere intentar desarrollar lo que tenía en su mente.

Empezó con un par de proyectos de carácter residencial, viviendas unifamiliares, y es así como poco a poco empieza a consolidar lo que es su propio estudio, donde la arquitectura la desarrollaba Fran y el interiorismo Alvaro Hofmann. En este punto se genera una simbiosis, una sinergia, de la que surge una unión, una sociedad. A partir de este momento el estudio poco a poco comienza a crecer hasta el día de hoy.

## 2.2 SOBRE LA ARQUITECTURA



Figura 2.1.-2. Espacios de la arquitectura de FSA. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos

Al final Fran Silvestre Arquitectos (FSA), bebe de dos fuentes principales. La primera de ellas es evidentemente de toda la producción, de toda la obra en pensamiento de Álvaro Siza. Esto es una influencia y fuente de inspiración crucial. Álvaro Siza es heredero de Fernando Távora y por ende del movimiento moderno, evidentemente con una clave influencia de Alvar Aalto. Y por otro lado, existe la gran influencia del escultor Andreu Alfaro, quién también busca la reducción de la forma dentro de la escultura, diseñando formas sutiles cargadas con el mismo mensaje que aquellas que se definen con total precisión y detalle.

Partiendo de estos dos referentes, FSA intenta llevar a cabo una producción que busca principalmente también esa reducción de la forma, ya que, en primer lugar, y como acabamos de comentar, sus fuentes de inspiración derivan en esta idea, y además, en segundo lugar, han podido comprobar que desde el punto de vista de la higiene es mucho

más conveniente, pues al final la limpieza de estos espacios es mucho más sencilla y la suciedad se acumula en menor medida. Por tanto, tratan de ocultar o eliminar todos los elementos que puedan originar un punto de suciedad, como por ejemplo los rodapiés, para así conseguir un espacio completamente pulcro.

En lo referente a la estructura, uno de los puntos que más pretenden potenciar es ese atractivo estructural, intentando siempre dar un paso más en cada proyecto, buscando constantemente la innovación, algo que les da mucho juego a la hora de plantear sus diseños.

El proceso creativo de FSA comienza siempre escuchando al cliente, cuáles son sus deseos y necesidades, que es lo que busca para su proyecto.

En un siguiente paso, se comienza a trabajar con las manos, a desarrollar dibujos, bocetos y maquetas que cumplan con las exigencias descritas por el cliente.

Durante este proceso, FSA destaca por la claridad de su método, que trabaja a través de la serialidad y la definición de configuraciones basadas en relaciones dimensionales y no de escala. La modularidad y el método de agregación se vuelven centrales, y el trabajo manual apoya toda la fase de diseño, donde los primeros dibujos y bocetos sintetizan la idea y la fijan según un esquema lineal.

Cuando ya se han alcanzado varios prototipos, varias opciones, se seleccionan tres que se le presentan al cliente. En este nivel de proyecto trabajan los planos con una sola línea, sin más definición, para sencillamente plantear distribuciones. En paralelo, el departamento encargado de la visualización 3D desarrolla las infografías necesarias para explicar los proyectos propuestos. Una vez el cliente ha elegido uno de estos tres proyectos, se empieza a trabajar en el anteproyecto.

Por tanto, la metodología proyectual de FSA está fundada en la adopción de -tipos-, los cuales han sido producto del estudio de las relaciones dimensionales, geométricas y también de los factores de escala. El -tipo- identifica el elemento básico, el principio fundamental del sistema. Este se puede emplear de forma individual o como sistema de agregación, generando unas combinaciones que pueden determinar configuraciones espaciales muy potenciales, a través de la composición o yuxtaposición o también a través de la deformación de la forma simple, alterando los volúmenes generados.

Una vez resuelto el programa funcional, la representación técnica le permite especificar los detalles necesarios para la construcción. De acuerdo con la esencia proyectual, se utilizan materiales y se estudian tecnologías y soluciones innovadoras.

## 2.3 SOBRE LA CASA



Figura 2.1.-2. Casa Balint. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos

La Casa Balint irrumpe dentro de la línea tan ortogonal y minimalista de la obra de Fran Silvestre, sus curvas la convierten en un proyecto muy peculiar. Esta singularidad de su forma surge como resultado de la búsqueda de lo jamás antes visto.

Para contar la historia de esta casa, es de vital importancia mencionar cuál era la voluntad de sus futuros huéspedes.

Cuando los propietarios de este terreno visitan a Fran Silvestre para encomendarle la tarea de construir su casa, estos le dicen que su principal deseo era que querían una vivienda que no se hubiese visto nunca. Este deseo y otros más secundarios, se desarrollan y se convierten al final en un amalgama que lleva al estudio de Fran Silvestre a este punto.

Al igual que se hace con todos los clientes, el estudio realiza 3 propuestas diferentes, entre las cuales el cliente acaba eligiendo la más arriesgada, que es la que al final se termina ejecutando.

Otro de los retos sumados a este proyecto y que condiciona en gran medida el diseño, era otro de los deseos de los clientes; el de construir una cantidad de metros cuadrados de vivienda, que no eran viables para la parcela que poseían. En este momento hay un punto bastante importante, y es que la normativa, en realidad es susceptible de interpretación en cuanto a que no es un documento hermético y cerrado, es decir, simplemente son unas pautas que debemos seguir, pero que cuando uno las analiza de manera detenida, se da cuenta de que en realidad no están exigiendo que el proyecto tenga que ser estrictamente de una manera, sino que al final se trata de un guión.

Por tanto, la normativa lo que estipulaba era que se podía construir una casa de unos metros cuadrados limitados. Sin embargo, buceando entre toda la información, encuentran una premisa en la que se estipula que todo aquello construido bajo rasante no computaba, y todo lo que estaba bajo un techo abuhardillado tampoco. Por tanto, pensaron que si había una parte del programa bajo rasante, otra parte en la cota cero y otra bajo ese espacio abuhardillado, se podría alcanzar la superficie deseada por el cliente. Así pues, se decide distribuir el programa de esta manera y, como lo que no quería FSA era desarrollar la típica vivienda tradicional con una cubierta a dos aguas, piensan en generar a partir de esta geometría elíptica una cubierta curvada que permitiese computarla como espacio abuhardillado. Es de esta manera como conseguían maximizar las posibilidades dadas por la normativa, minimizando el impacto volumétrico sobre el lugar, y cumplir con los deseos del cliente.

Por tanto, si observamos la composición de esta vivienda, desde un punto de vista conceptual, parte de la cuadratura del círculo. Es decir, a partir de, no un círculo sino, una elipse, se realiza una distribución del programa en un espacio de planta cuadrangular, una ortogonalización del espacio curvo, situando los apoyos de la estructura en las cuatro esquinas de este cuadrado, quedando evidentemente estos pilares ocultos por el propio interiorismo, factor que para FSA siempre va unido al proceso de proyección. De modo que, cuando uno está en el interior de la vivienda no divisa ningún elemento estructural que irrumpa su visión, quedando simplemente toda esta pieza elíptica sobre su cabeza.

Esta sensación se consigue gracias a una estructura muy singular, ya que al final solo se tiene cuatro pilares sobre los que descansa una gran cúpula que, por efecto arco, permite sujetar de forma colgada toda la planta superior. La forma elíptica de esta planta la hace visualmente aerodinámica, permitiendo así que la mirada fugue hacia la profundidad del paisaje.

FSA busca siempre en cada uno de sus diseños aplicar las innovaciones que van desarrollando. En este proyecto en concreto, la innovación, más allá de los voladizos, la podemos apreciar en los grandes paños de vidrio, que hasta ese momento, eran los de mayores dimensiones con los que habían trabajado. También la envolvente elíptica de la

fachada, la cual, a diferencia de las que habían ido ejecutando que eran principalmente de *Sate de Coteterm*, deciden emplear una fachada íntegramente de *Krion*, un *Solid Surface* de *Porcelanosa*, es decir, este material, que generalmente se había venido utilizando para espacios interiores como baños y cocinas, con este proyecto FSA se enfrenta a la posibilidad, por petición del cliente también, de poder utilizarlo para revestir todas las fachadas del proyecto.

Este material tiene muchas bondades, entre ellas el hecho de que es un aplacado, pero que cuando se coloca una placa al lado de otra y pulimos la junta, esta desaparece, simulando así una completa continuidad a lo largo de toda la fachada del proyecto. Además, es un material que se puede termoconformar, por lo que se pueden generar superficies curvadas, característica que lo hace aún más apropiado para su aplicación en este proyecto. Era la primera vez que se aplicaba en vivienda residencial y hoy en día sigue en perfecto estado.

En conclusión, se trata de una casa en la que se observan valores como la continuidad, por esta fachada continua, que parece albergar una única planta y cuya condición visualmente aerodinámica hace que la mirada fugue hacia la profundidad del paisaje vecino. La innovación, con el empleo de materiales que nunca antes se habían utilizado para revestimientos exteriores de esta escala. La precisión, pues para alcanzar el nivel de detalle tanto estructural como constructivo que se observa en esta obra es necesario realizar una labor concienciada y cuidadosa a lo largo de todo el proceso de desarrollo. Y finalmente, el diálogo, pues como se ha visto desde un primer momento, la casa es el reflejo de los deseos del cliente, y esto solo se consigue a través de la comunicación, tratando de reflejar en la arquitectura proyectada la identidad de quien va a vivir en ella.





### 3. ANÁLISIS CONSTRUCTIVO Y ESTRUCTURAL

#### 3.1 INFORMACIÓN GRÁFICA PROYECTUAL

El proyecto se ubica en la calle Rosinyol 42 en Bétera, Valencia.

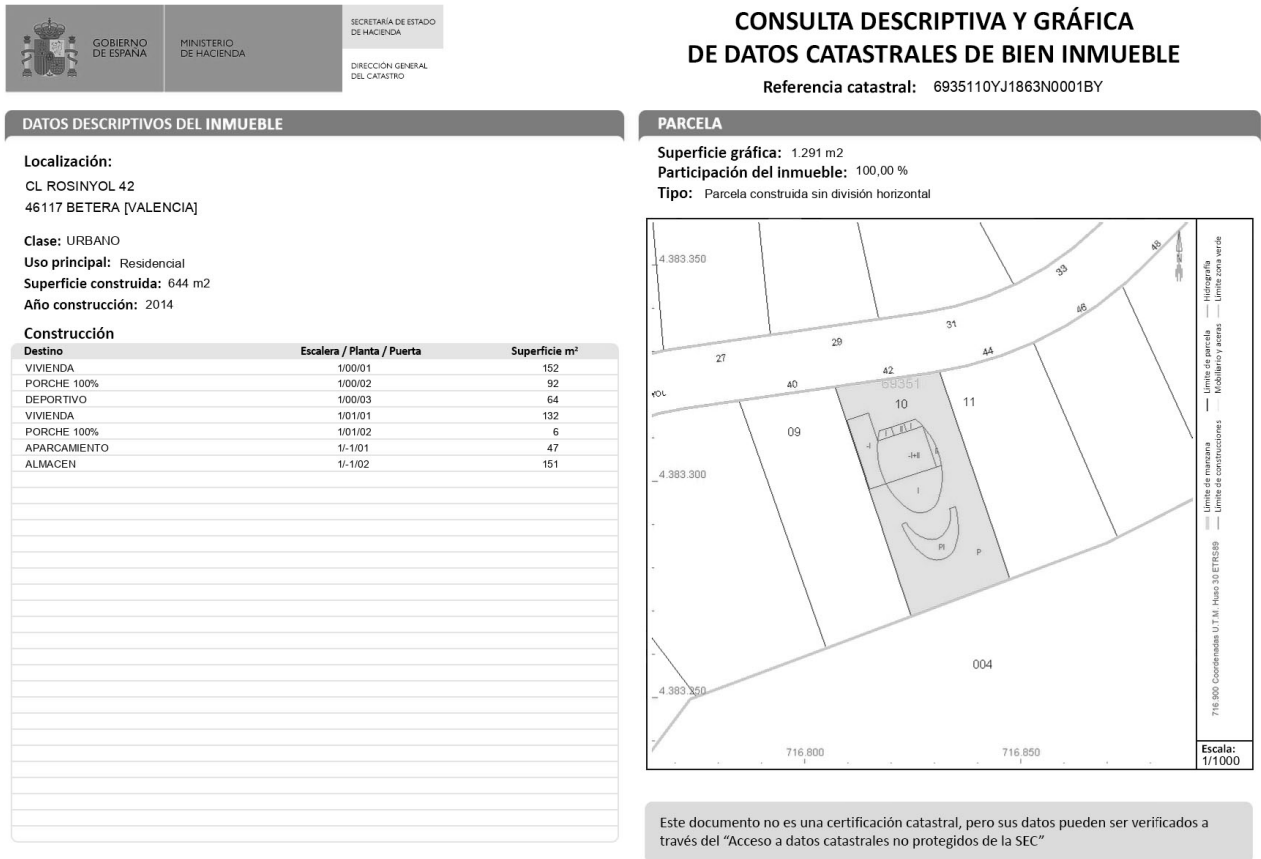


Figura 3.1.-1. Plano catastral. Fuente: Sede electrónica del catastro

Como no sabría hacer una descripción más acertada que la que realiza el propio arquitecto de su obra, me abstengo de parafrasear y cito textualmente lo que Fran Silvestre describe:

*“Un lugar privilegiado inmerso en un campo del Golf situado en las proximidades de Valencia, supone el punto de partida del proyecto.*”

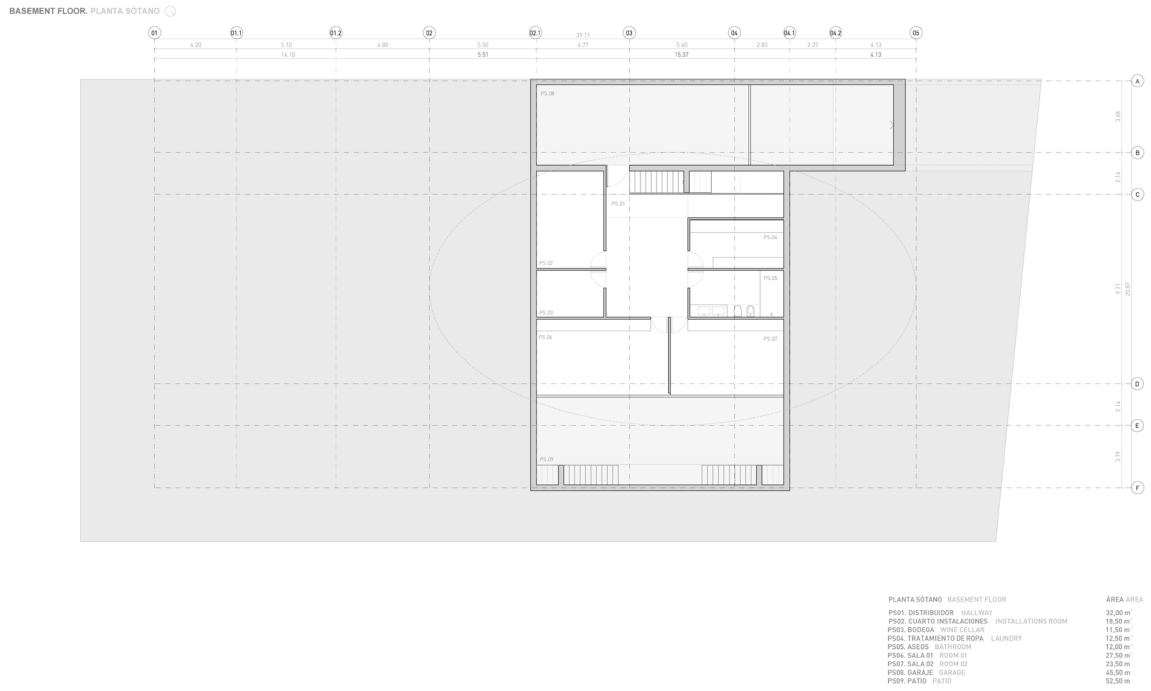


Figura 3.1.-2. Plano planta sótano. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos.

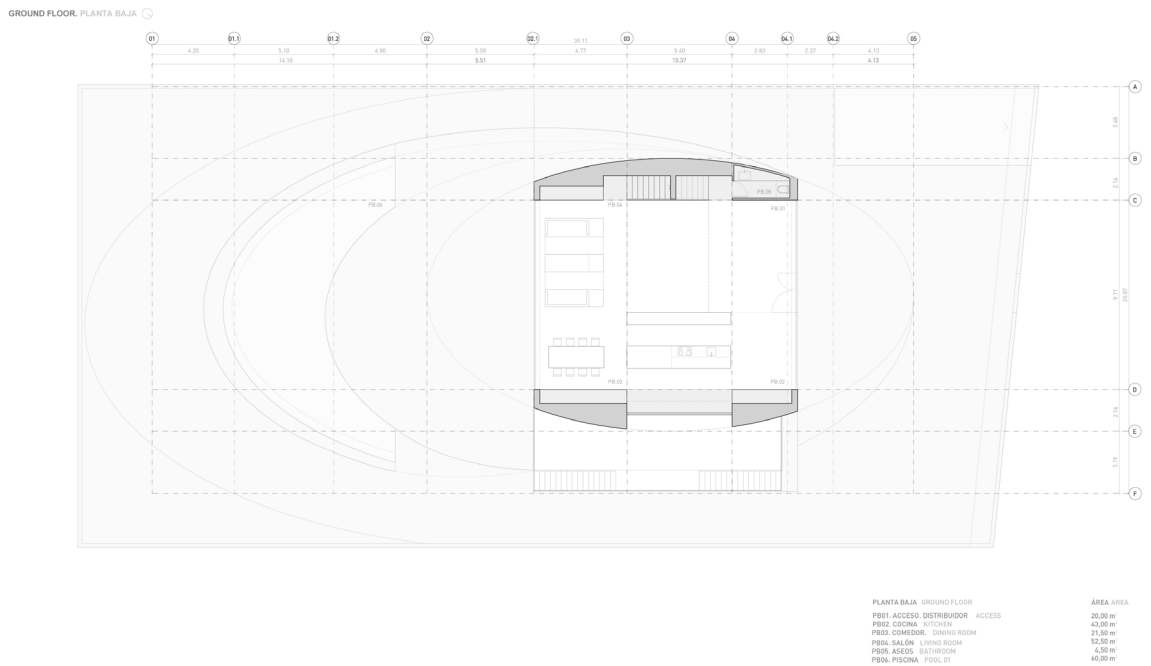


Figura 3.1.-3. Plano planta baja. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos.

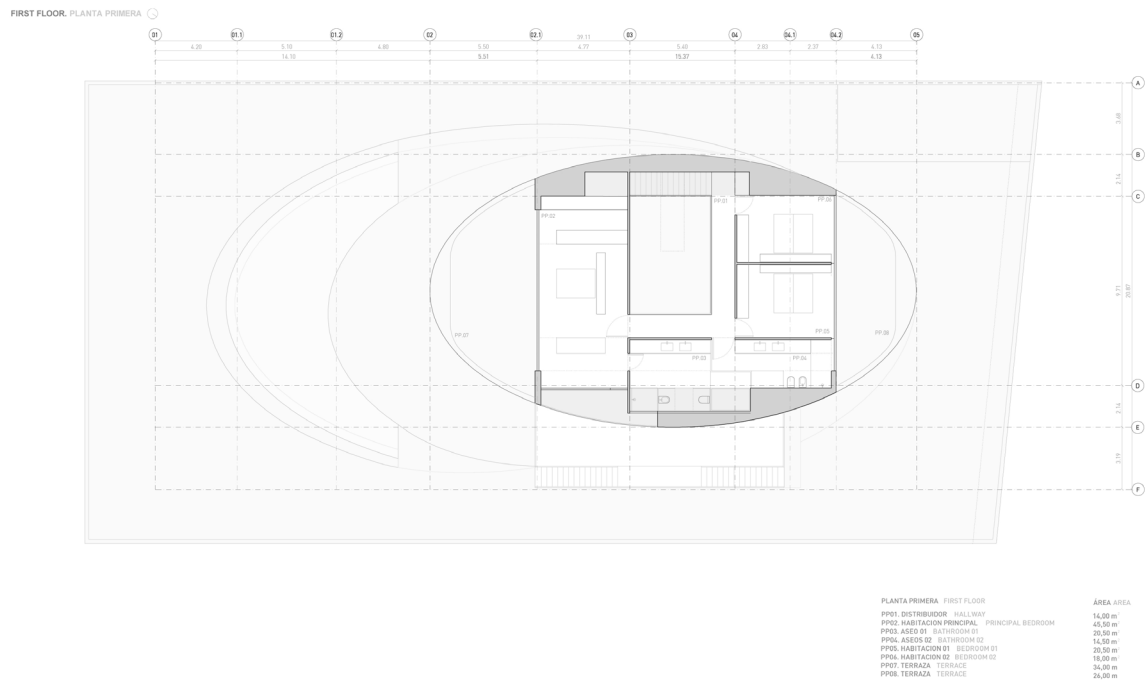


Figura 3.1.-4. Plano planta primera. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos.

La propuesta se dibuja a través de trazas elípticas que contienen el programa, maximizando las posibilidades dadas por la normativa y minimizando el impacto volumétrico sobre el lugar. Se dispone así una pieza con una fachada continua, que parece albergar una única planta y cuya condición visualmente aerodinámica hace que la mirada fugue hacia la profundidad del paisaje vecino.

La pieza se deposita liberando la mayor superficie posible en el frente sur de la parcela para aprovecharla como jardín. Los límites laterales intentan desdibujarse mediante la vegetación. El resto de elementos que configuran la urbanización recuerdan la naturaleza curva de la topografía del lugar.

El espacio interior de la vivienda se articula mediante un vacío central en el que se encuentra el núcleo de comunicación. Los espacios de servicio, las instalaciones y la cocina, permiten ortogonalizar el trazado curvo de una planta baja abierta al jardín. La planta superior con las habitaciones y la planta sótano abierta al patio dotan a la vivienda de espacios acotados.

*La estructura de hormigón de la planta baja sostiene mediante cuatro soportes el arco de cubierta del que cuelga el forjado de la zona de noche. Esta estructura se recubre mediante una fachada ventilada monolítica realizada con un Solid Surface que con simple curvatura y sin necesidad de termoconformarse se adapta a la geometría de la pieza. El resto de materiales van del blanco al negro pasando por todos los grises.*

Otras explicaciones se superponen a esta descripción como, por ejemplo, una alfombra de luz que transforma, con el paso de las horas, el interior de la casa.” (Fran Silvestre Arquitectos, n.d)

SECTION 02. SECCIÓN 02

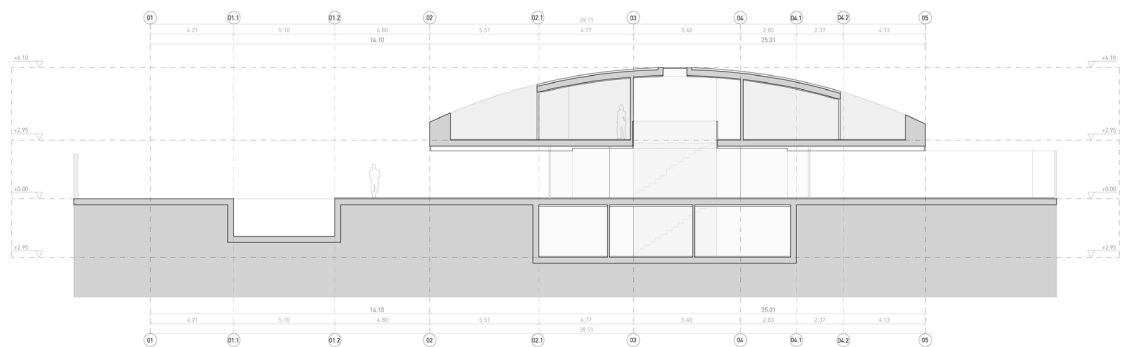


Figura 3.1.-5. Sección Casa Balint. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos.

### 3.2 INFORMACIÓN GRÁFICA CONSTRUCTIVA Y ESTRUCTURAL

Como ya se ha mencionada en la descripción de la vivienda, si observamos la composición de esta vivienda, desde un punto de vista conceptual, parte de la cuadratura del círculo. Es decir, a partir de, no un círculo sino, una elipse, se realiza una distribución del programa en un espacio de planta cuadrangular, una ortogonalización del espacio curvo, situando los apoyos de la estructura en las cuatro esquinas de este cuadrado, quedando evidentemente estos pilares ocultos por el propio interiorismo. De modo que, cuando uno está en el interior de la vivienda no divisa ningún elemento estructural que irrumpa su visión, quedando simplemente toda esta pieza elíptica sobre su cabeza.

Esta sensación se consigue gracias a una estructura muy singular. Esta está realizada de hormigón armado en su totalidad, a excepción de cinco pilares metálicos en el sótano que tan solo sirven de refuerzo, pues las cargas importantes se transmiten directamente a los muros de carga a través de cuatro pilares. Estos cuatro pilares, que arrancan de planta baja y alcanzan 6 m de altura (3m por cada planta), sustentan la estructura entera, pues sobre estos descansa una gran cúpula, que por efecto arco, permite sujetar el forjado de planta primera el cual cuelga de la cúpula. La conexión entre este forjado y la cúpula, está realizado por un antepecho estructural que bordea el perímetro de la planta superior, creando terrazas en aquellas zonas alejadas de la cúpula, y uniéndose directamente a ella en las otras. Además, este elemento no solo actúa de conector sino que también tiene el efecto de un zuncho de remate de gran canto, lo que proporciona rigidez al forjado y evita parte de las deformaciones en los voladizos. En la siguiente página se exponen una serie de esquemas explicativos sobre el recorrido de las cargas.

Por otro lado, a partir de los planos de estructura proporcionados por David Gallardo, se ha podido obtener información a cerca del dimensionamiento de los diferentes elementos. Estos planos se encuentran en documento adjunto *ANEXO I*.



Partiendo de las estructuras básicas, una de las formas clásicas para salvar un vano de grandes luces es añadiendo voladizos en los extremos del forjado para compensar la flecha.



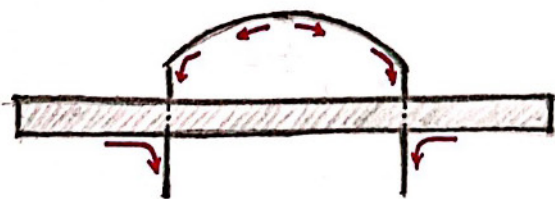
Pero si decidimos, además de colocar voladizos, aumentar el canto del forjado, obtendremos una deformación menor.



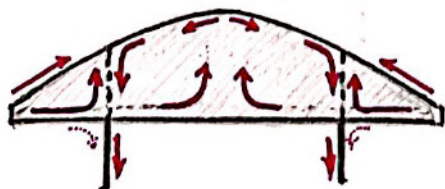
Otra de las formas clásicas que nos permite salvar un vano es mediante un arco.



Sin embargo, a diferencia del pórtico básico, al aumentar la luz no se necesita añadir voladizos ni ningún tipo de elemento, pues el propio arco es autoportante.



Si combináramos las dos tipologías anteriores en una sola estructura, cada elemento transmitiría sus cargas a los pilares de forma independiente, generándose todavía ciertas deformaciones de flecha en los extremos del voladizo



Sin embargo, si logramos unir el perímetro de todo el forjado, o parte de él, al forjado tipo arco, todo el peso del primer forjado colgaría del superior, transmitiendo las cargas a través del elemento de conexión, y a su vez, evitando casi al completo las deformaciones en los extremos del voladizo. Será el forjado de tipo arco el encargado de repartir todas las fuerzas a través de los pilares.

Figura 3.2.-1. Esquemas distribución de cargas. Fuente: elaboración propia.



Figura 3.1.-7. Fotos obra Casa Balint. Anillo perimetral de canto variable. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos



Figura 3.2.-2. Fotos obra Casa Balint. Vista frontal. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos



Figura 3.2.-3. Fotos obra Casa Balint. Voladizo y piscina. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos



Figura 3.2.-4. Fotos obra Casa Balint. Terraza de planta primera. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos





Figura 3.2.-5. Fotos obra Casa Balint. Doble altura interior. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos



Figura 3.2.-6. Fotos obra Casa Balint. Escalera principal. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos

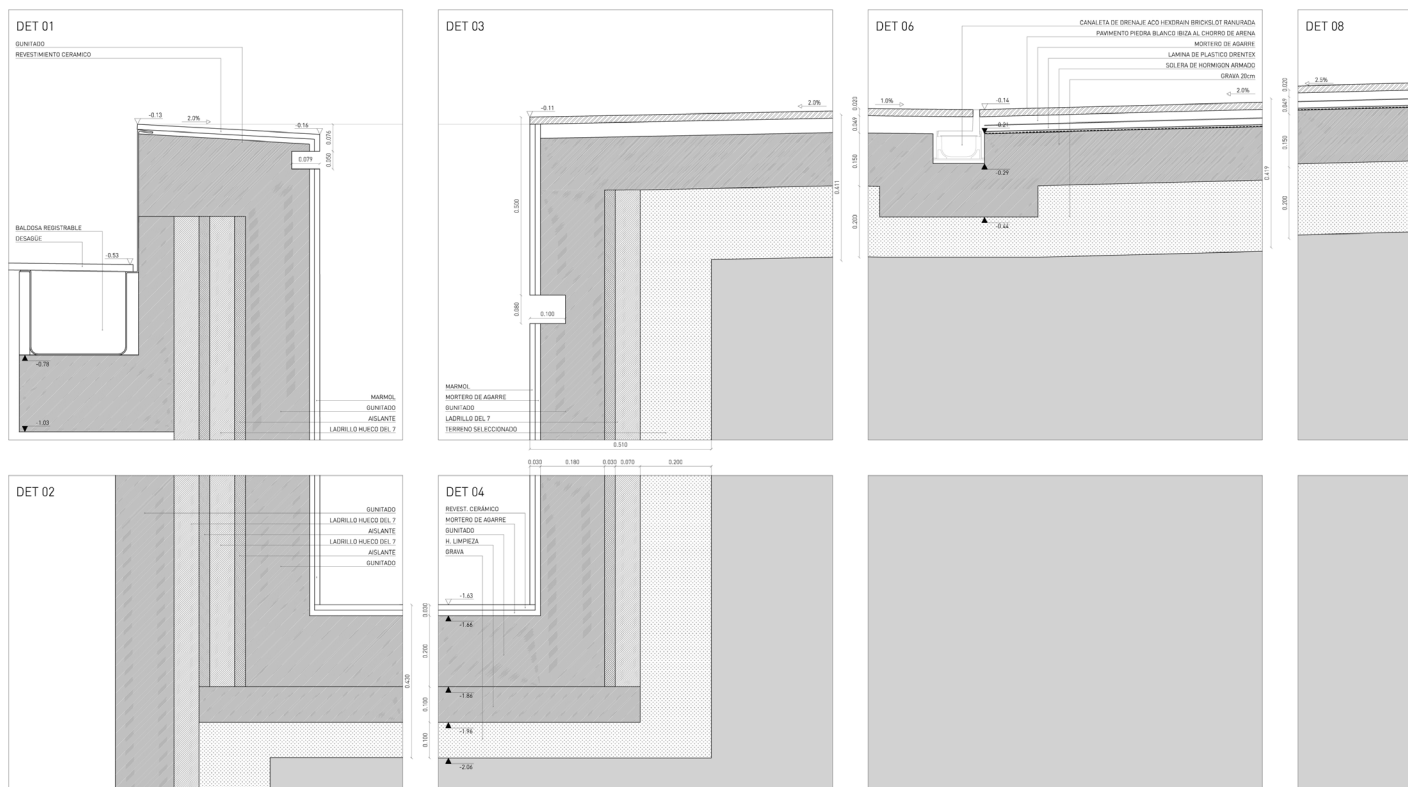
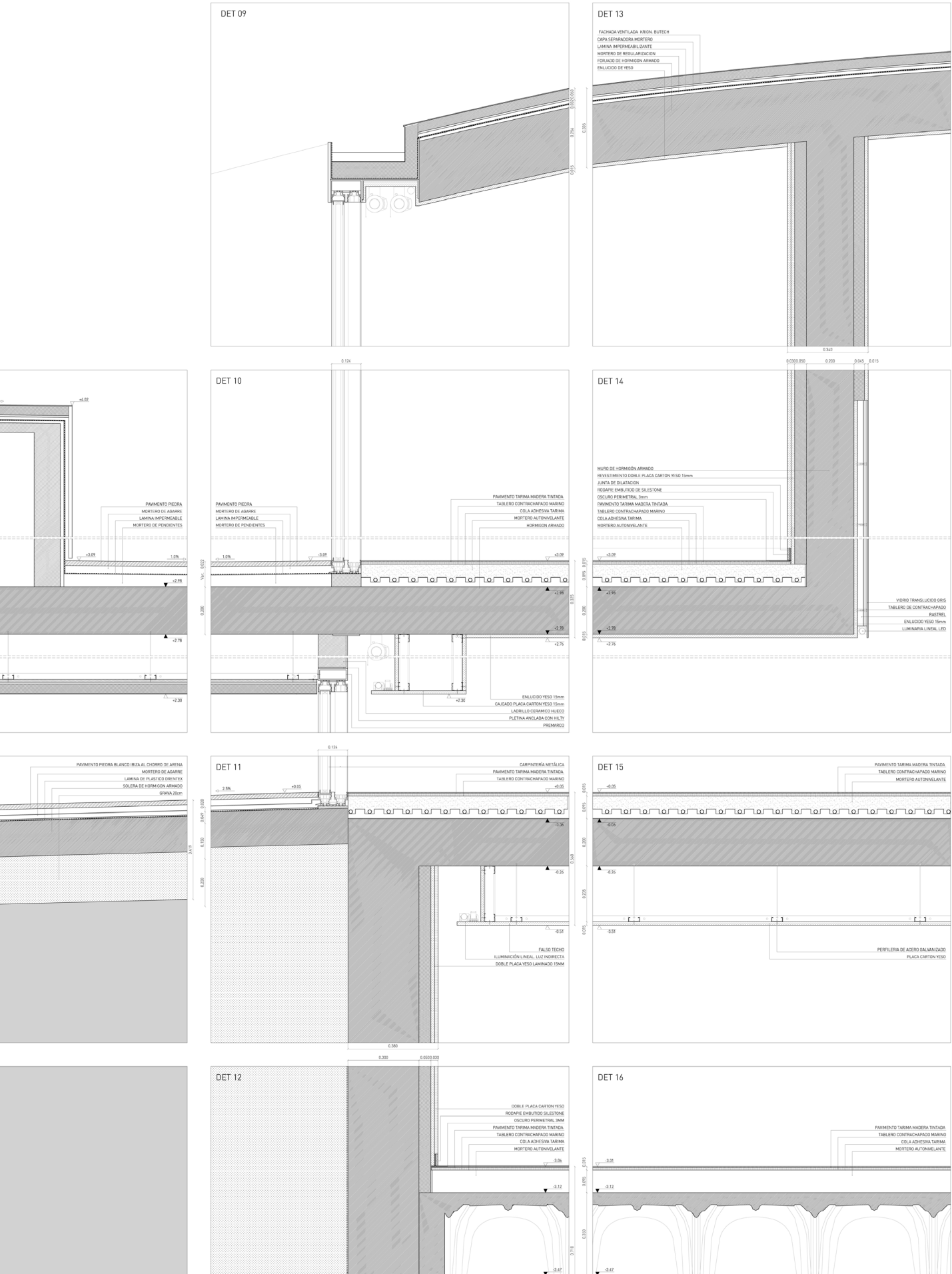


Figura 3.2.-7. Detalle constructivo Casa Balint. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos



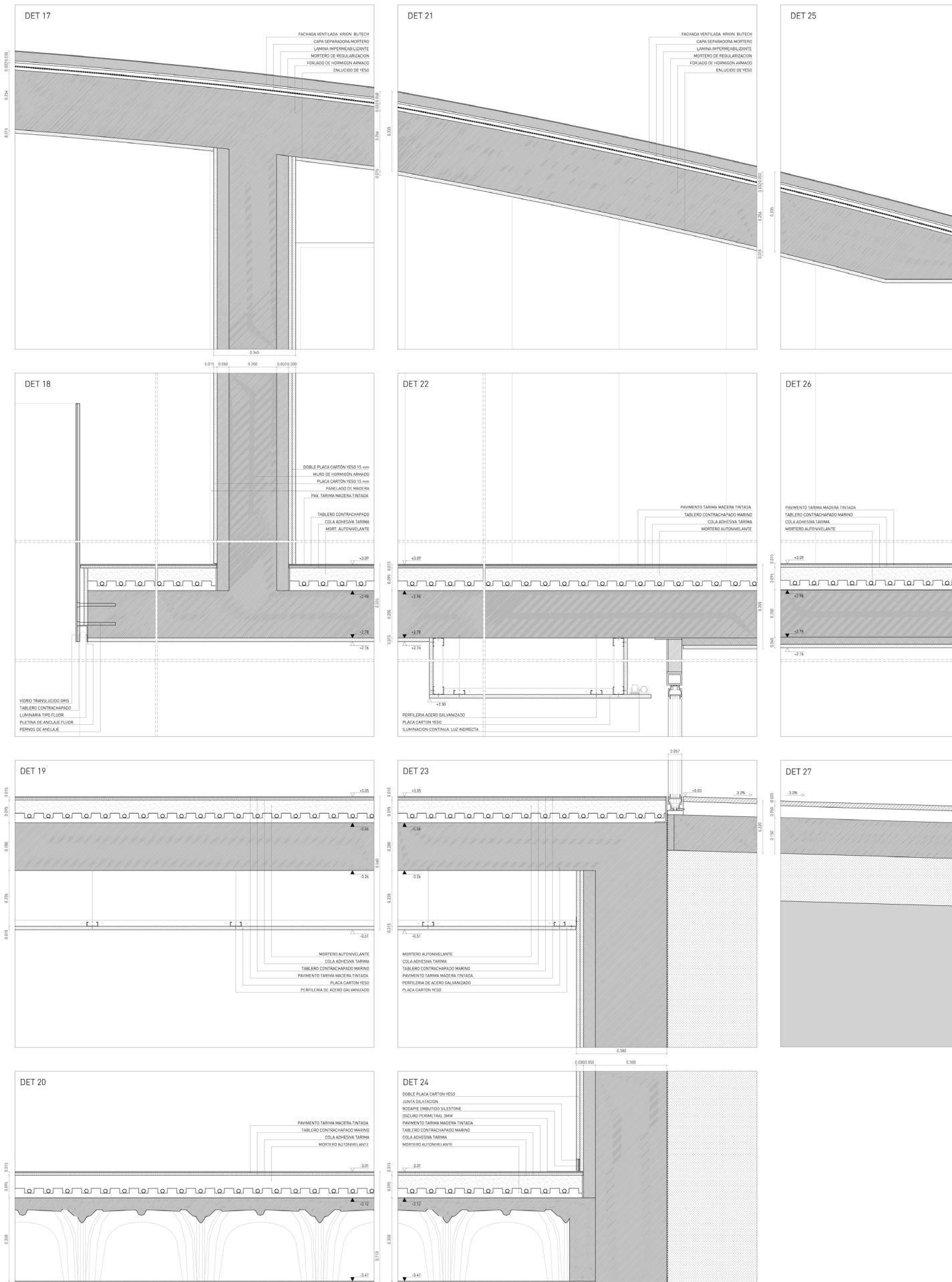
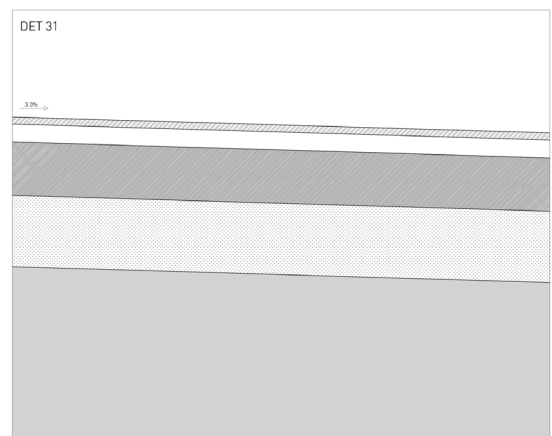
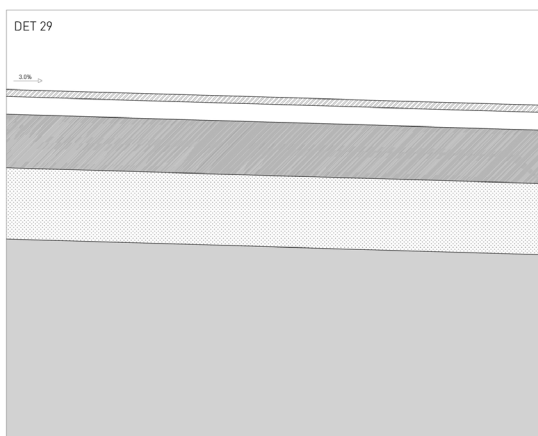
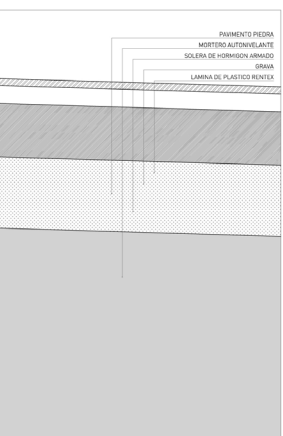
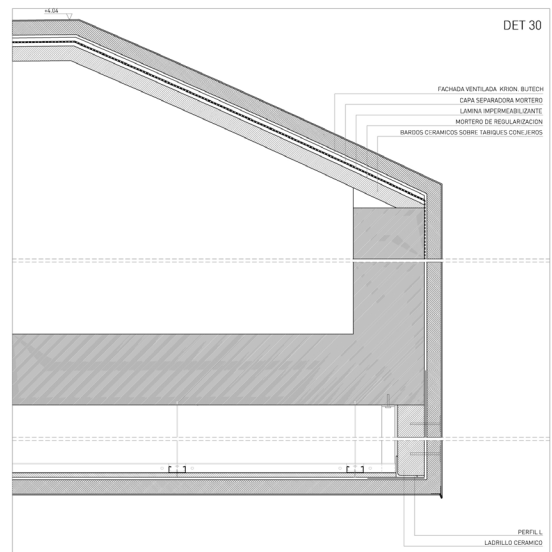
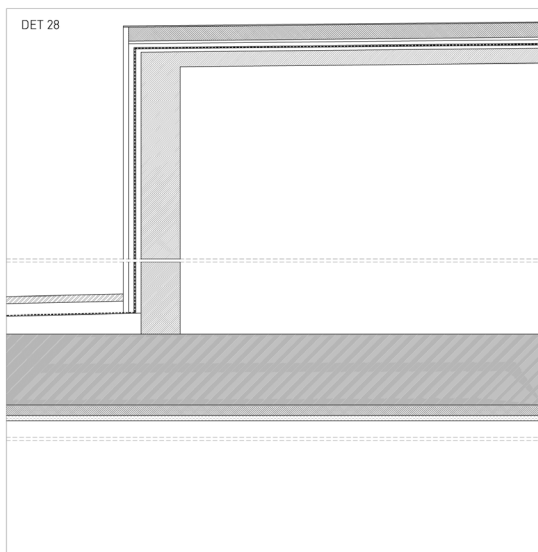
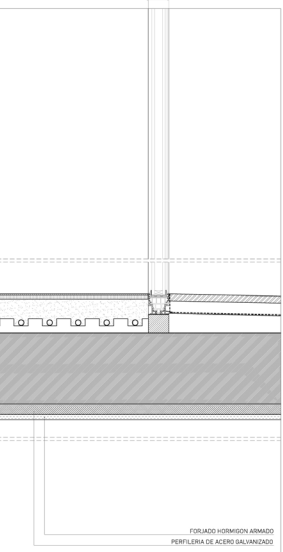
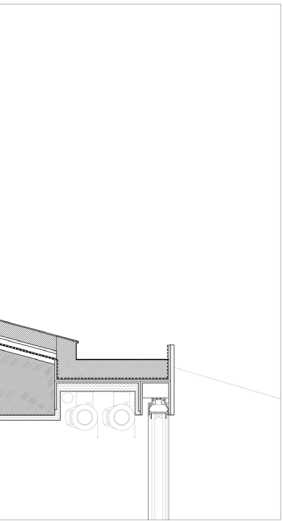


Figura 3.2-8. Detalle constructivo Casa Balint. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos



## **ANEXO 1. PLANOS DE ESTRUCTURA. DAVID GALLARDO.**

## **IMÁGENES FINALES DE LA OBRA**



Figura 3.2.-9. Imágenes Casa Balint. Vista frontal. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos



Figura 3.2.-10. Imágenes Casa Balint. Vista sur. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos



Figura 3.2.-11. Imágenes Casa Balint. Voladizo trasero. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos

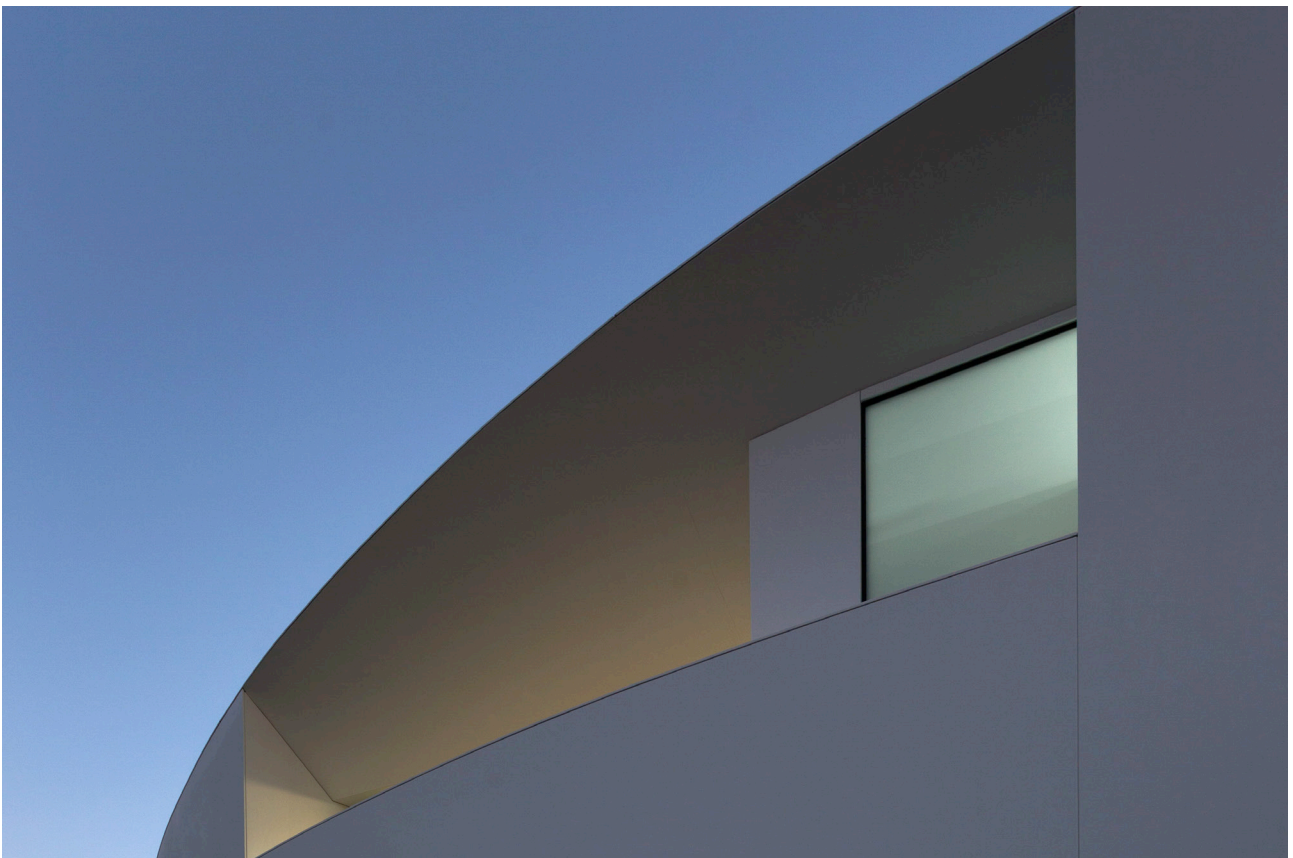


Figura 3.2.-12. Imágenes Casa Balint. Vano baño superior. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos





Figura 3.2.-12. Imágenes Casa Balint. Doble altura interior. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos



Figura 3.2.-13. Imágenes Casa Balint. Habitación principal. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos



## 4. MODELO DE ANÁLISIS

### 4.1 SIMPLIFICACIÓN GEOMÉTRICA EN AUTOCAD

Tras todo el análisis constructivo y estructural que se realiza estudiando los planos de la estructura proporcionados por David Gallardo, se procede a realizar un modelo geométrico mediante el software de dibujo AutoCad.

Todo el modelo está dibujado con “3DCARA” (pues es el comando que permite representar las entidades de elementos finitos bidimensionales), a excepción de los 5 pilares del sótano que están dibujados mediante “LÍNEA” (pues es el comando que permite representar las entidades de barras).

Se ha tratado de realizar un modelo lo más fiel a la realidad posible, donde la disposición y dimensiones de todos los elementos se han sacado de los planos originales de estructura.

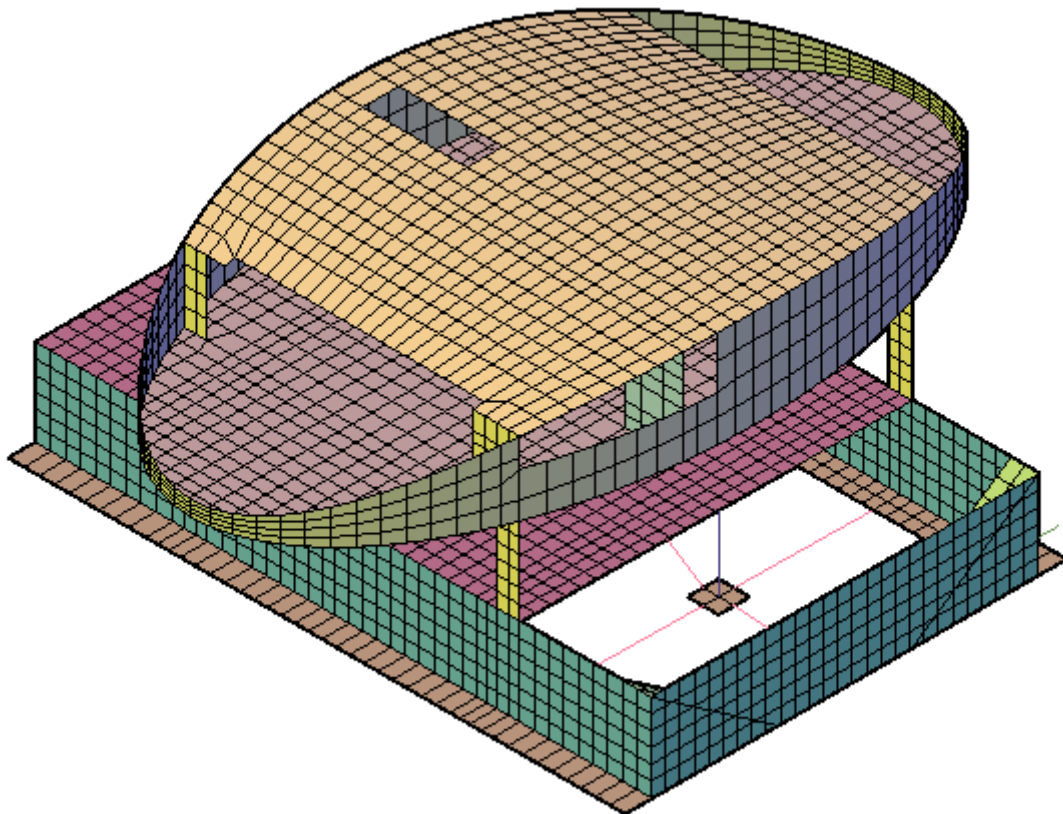


Figura 4.1.-1. Geometría del modelo de cálculo. Fuente: elaboración propia.

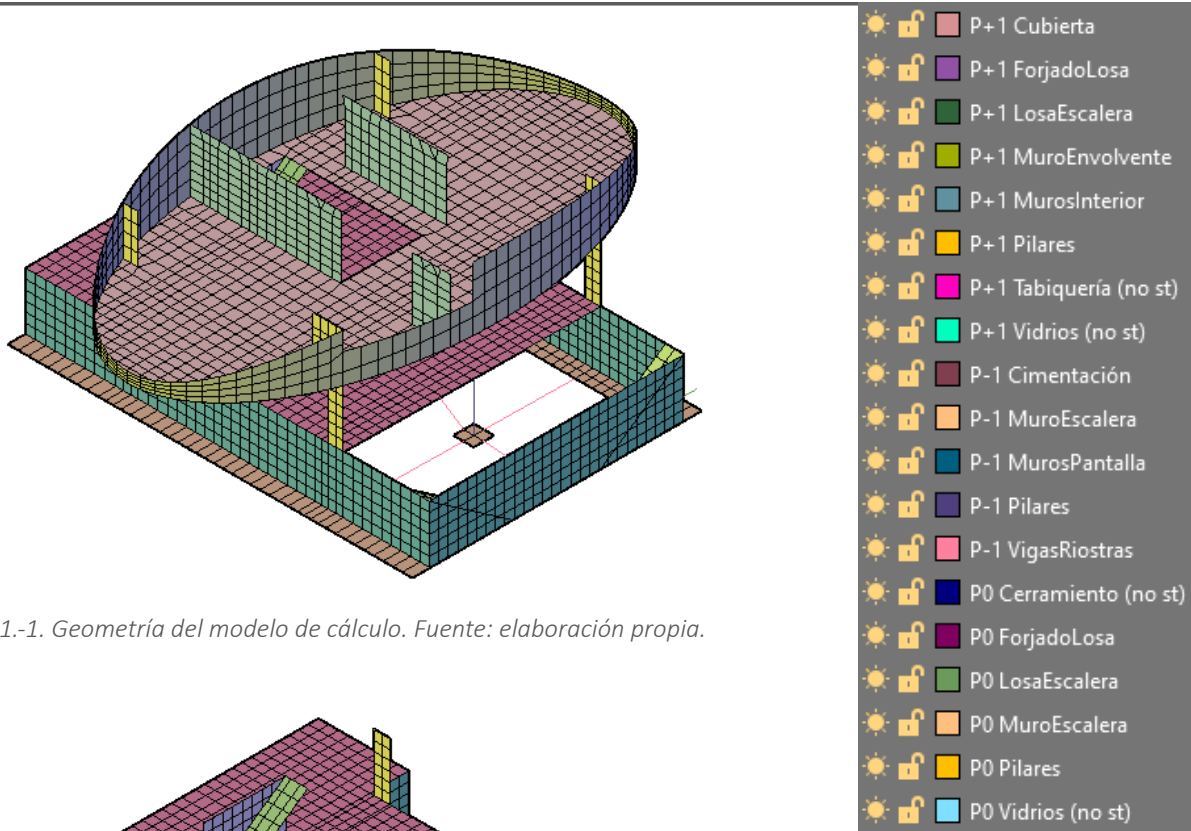


Figura 4.1.-1. Geometría del modelo de cálculo. Fuente: elaboración propia.

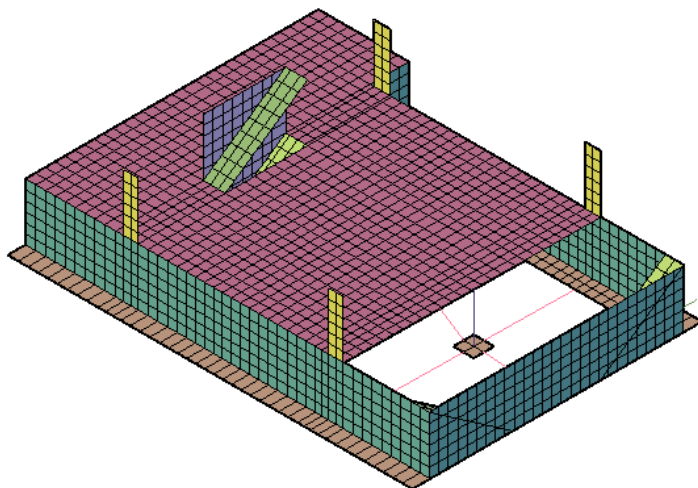


Figura 4.1.-2. Geometría del modelo de cálculo. Fuente: elaboración propia.

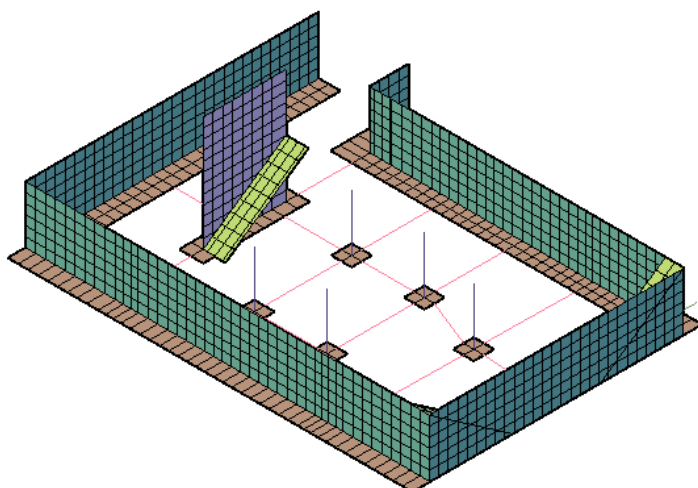


Figura 4.1.-3. Geometría del modelo de cálculo. Fuente: elaboración propia.

## 4.2 INSERCIÓN DE MATERIALES Y SECCIONES EN SAP2000

Una vez terminado el modelo geométrico en AutoCad, este se importa al software SAP2000. Las capas generadas en AutoCad, se trasladarán a SAP2000, donde se les comenzará a asignar las distintas secciones y materiales.

### BARRAS/FRAMES:

Los elementos metálicos tipo barra de este modelo están compuestos por secciones estandarizadas, por lo que su asignación se realizará a través de la siguiente ruta:

[Define>Section Properties>Frame sections>Import New Property...>Steel>Base de datos]

- **P-1. PILARES:** Perfil Tubular 120.80.6

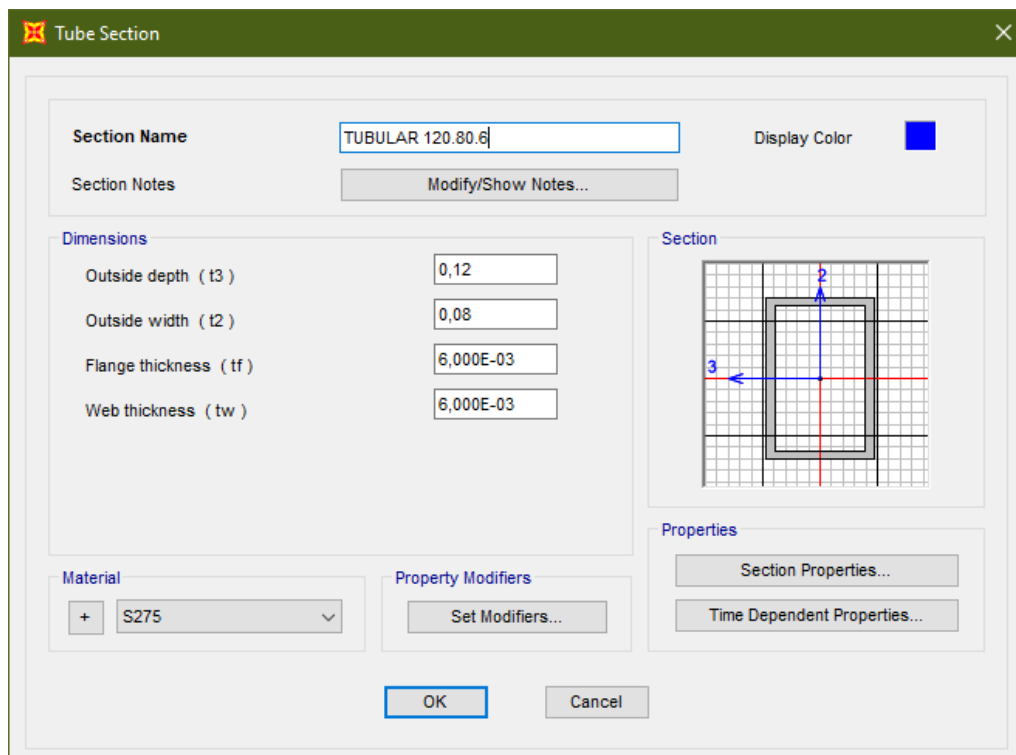


Figura 4.1.-4. Ventana Tube Section. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Por otro lado, los elementos tipo barra de hormigón armado se definirán en función de sus características de sección y armado, por lo que su asignación se realizará a través de la siguiente ruta:

[Define>Section Properties>Frame sections>Import New Property...>Concrete>Rectangular Section]

**- P-1. VIGAS RIOSTRAS:** Viga de sección 40x40

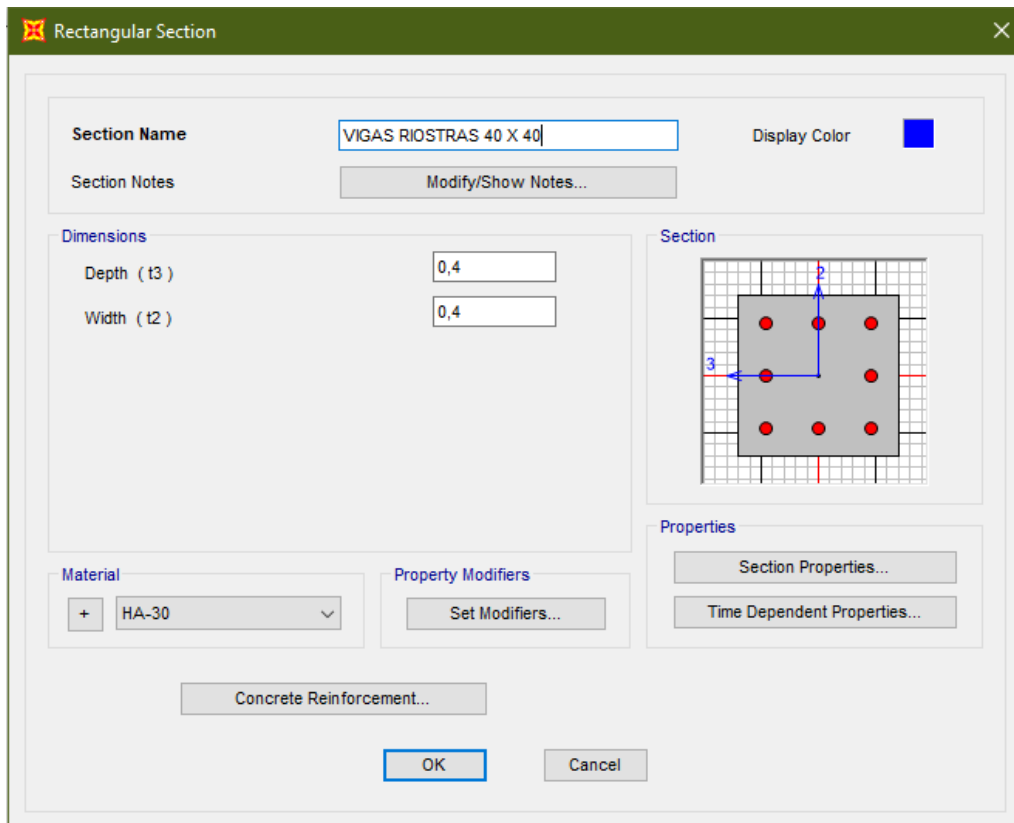


Figura 4.1.-5. Ventana Rectangular Section. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

**ELEMENTOS FINITOS/SHELLS:**

Para introducir los elementos finitos deberemos introducir la sección y las propiedades del material. En el caso de este proyecto, el tipo de hormigón empleado tanto para cimentación, muros, pilares, forjados y vigas, será HA-30/B/20/IIa. Por lo tanto tan solo deberemos de variar el canto de la losa a introducir dependiendo del elemento que estemos definiendo.

A continuación se exponen los diferentes tipos de elementos finitos presentes en la estructura y su correspondiente asignación de datos.

Esta asignación se realiza a través de la ruta:

[Define>Section Properties>Area sections>Add New Section]

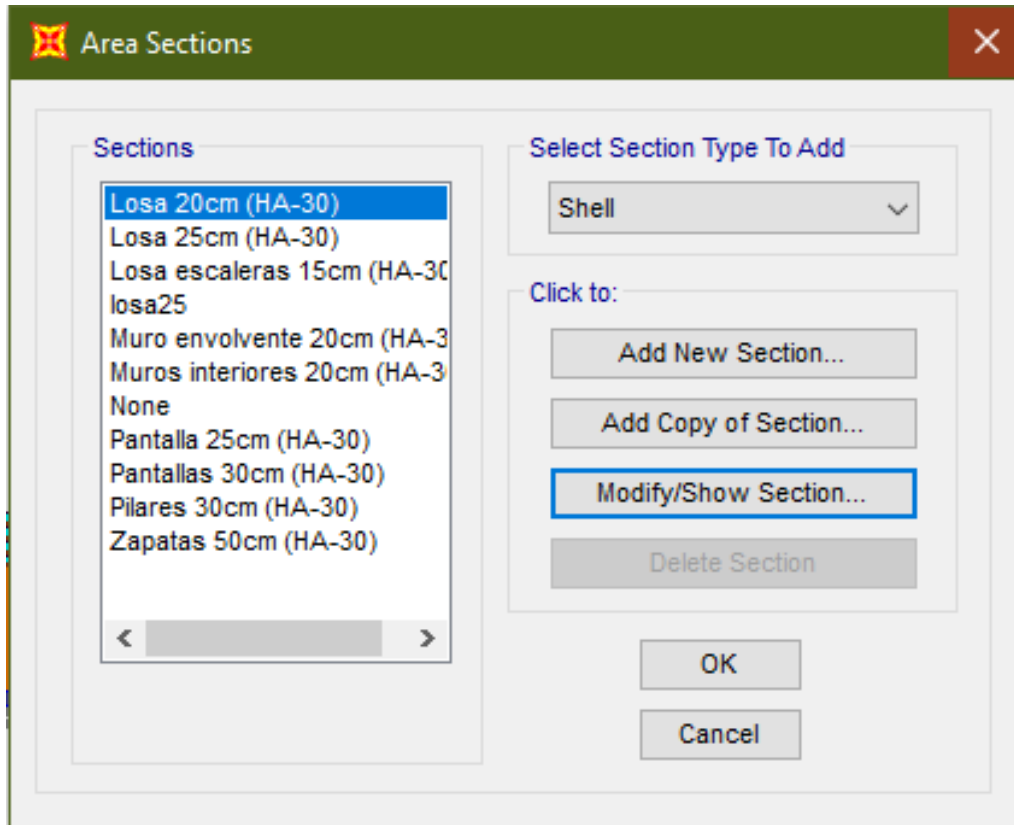


Figura 4.1.-6. Ventana Rectangular Section. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

- **Losa 50 cm (HA-30):**
  - Zapatas
  
- **Losa 30 cm (HA-30):**
  - Muros pantalla
  
- **Losa 25cm (HA-30):**
  - Cubierta
  - Muro pantalla
  
- **Losa 20cm (HA-30):**
  - Forjado Planta Baja
  - Forjado Planta Primera
  - Muro envolvente elíptica
  - Muros interiores
  
- **Losa 15cm (HA-30):**
  - Losa de escaleras

### 4.3 CONDICIONES DE ENLACE EN SAP2000

Al tratarse de una modelización de una vivienda cuya estructura es totalmente de hormigón armado, los enlaces entre los distintos elementos que la conforman deberán ser obligatoriamente rígidos, algo que SAP2000 hace automáticamente y por defecto en todos los nudos de este tipo de modelización, es decir, en cada uno de los tres/cuatro extremos de cada una de las 3DCara (elemento finito bidimensional) establece unas condiciones de nudo rígido (empotramientos), impidiendo así cualquier tipo de desplazamiento en las tres direcciones.

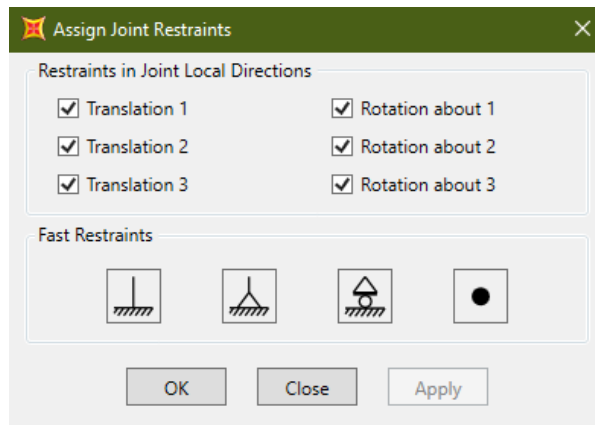


Figura 4.3-1. Restricciones de movimiento en cimentación. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Sin embargo, a la hora de establecer las condiciones de apoyo de la cimentación, para poder captar la interacción entre el terreno y la estructura, y calcular así los asentos, se ha recurrido a la aplicación de muelles. Para poder hacer esta simulación de un terreno principalmente de arcilla muy arenosa se ha hecho uso del Coeficiente de Balasto K, obtenido a partir del estudio geotécnico. Estos muelles provocarán desplazamientos en el eje Z, sin embargo, los ejes X e Y siguen quedando libres, pero esto no es así puesto que sus movimientos en X e Y se ven restringidos por el terreno, por tanto, se le aplican unas condiciones de enlace extras en las que se les impide el desplazamiento en estas dos direcciones. Estas condiciones se establecen desde *Assign > Joint > Restraints*.

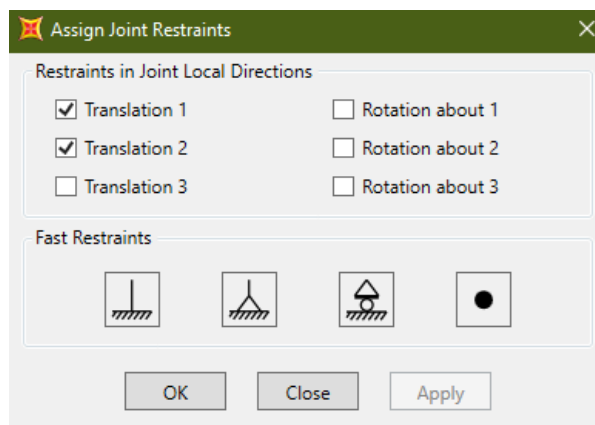


Figura 4.3-2. Restricciones de movimiento en cimentación. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.



En cuanto a la interacción de las zapatas con el terreno, se ha aplicado el modelo de “Winkler” de losa flexible sobre suelo elástico, a través de la aplicación de muelles que simulan el comportamiento del terreno.

Para la aplicación de estos muelles se ha hecho uso de una tabla excel proporcionada por David Gallardo, a través de la cuál podremos obtener este módulo elástico. Los datos a introducir en ella son:

- Geometría de la losa
- Dimensiones de la losa
- Tipo de terreno
- Coeficiente de Balasto ( $K_{30}$ )

Como cada zapata en nuestro modelo es diferente de la otra, es decir, tienen geometrías distintas, deberemos realizar este cálculo para cada una de ellas de forma independiente. No obstante, lo que lógicamente compartirán todas ellas será el tipo de terreno y el Coeficiente de Balasto. Estos datos vendrán dados en el estudio geotécnico de la vivienda.

**8) Unidades geotécnicas**

A continuación presentamos las características relevantes de los diferentes estratos aparecidos en los diversos puntos de investigación, aunados bajo un solo valor característica para cada parámetro geotécnico y nivel geotécnico.

**Nivel I: Cobertera vegetal.**

Nivel geotécnico	II		III	
		Nº ensayos		Nº ensayos
Simplificación	Cohesivo	2	Conglomerado	1
Promedio de compresión simple o SPT/nº ensayos	2,90*	1	R	1
Descripción	arcilla arenosa	2	Conglomerado poco cementado	1
Compacidad	muy firme	1	-	
Módulo elástico Kp/cm²	190,00	2	-	
Coefficiente de Poisson	0,15	1	0,15	1
Presión admisible Kp/cm²	2,6	1	-	
Densidad seca T/m³	1,68	1	-	
Rozamiento °	25	1	-	
Cohesión sin drenaje Kp/cm²	1,45	1	-	
Módulo de balasto Kp/cm³	17,4	1	-	
Agresividad	No hay	1	-	
Colapso corrección de Gibbs %**	No colapsa	1	No colapsa	1
Expansión Kp/cm²	No por L.L.	2	No expande	1
Coefficiente C Sísmico	1,6	1	1,3	1
Permeabilidad m/s	<0,000000001	2	-	

\* Ya que no se pudo realizar el ensayo de compresión simple en laboratorio, su valor se obtiene mediante el promedio de los golpes en los SPT y en el DPSH interpretados para el ensayo SPT (22) y la correlación  $qu=N*0.133$ .

\*\* Si el resultado no es cuantitativo indica que el valor cualitativo se ha obtenido mediante el método de Gibbs pero teniendo en cuenta también el estado de humedad natural. Por ejemplo un suelo con saturación elevada no es colapsable.

\*\*\*Si no se realiza ensayo de peso específico, se interpreta el material con un peso específico de 2.73T/m³ y sin poro ocluido

Figura 4.3-3. Estudio geotécnico. Fuente: David Gallardo.

Aplicando todos los datos anteriores en una de las zapatas, obtendríamos la siguiente constante de rigidez del muelle que representa el terreno de este cimiento:

ADAPTACIÓN DEL MÓDULO DE BALASTO DE UNA PLACA DE CARGA DE 30x30 cm. PARA MODELO WINKLER DE LOSA FLEXIBLE SOBRE SUELO ELÁSTICO				
OBRA:	CASA BALINT			
Geometría de la losa:	Rectangular	Largo =	21,00	metros
		Ancho =	1,80	metros
Tipo de terreno:	Arcilloso		50	
$K_{30}$ =	17,4	kp/cm <sup>3</sup>		50
$K_{arenoso}$ =		kp/cm <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>
$K_{arcilloso}$ =	2,016	kp/cm <sup>3</sup>	2.016.19	20.161,9
$K_{mixto}$ =		kp/cm <sup>3</sup>		kN/m <sup>3</sup>

Figura 4.3-4. Tabla excel ModuloBalasto.xlsm. Fuente: David Gallardo.

Esta constante de rigidez se introducirá en el programa SAP2000 a través del menú *Assign>Area>Area Springs*

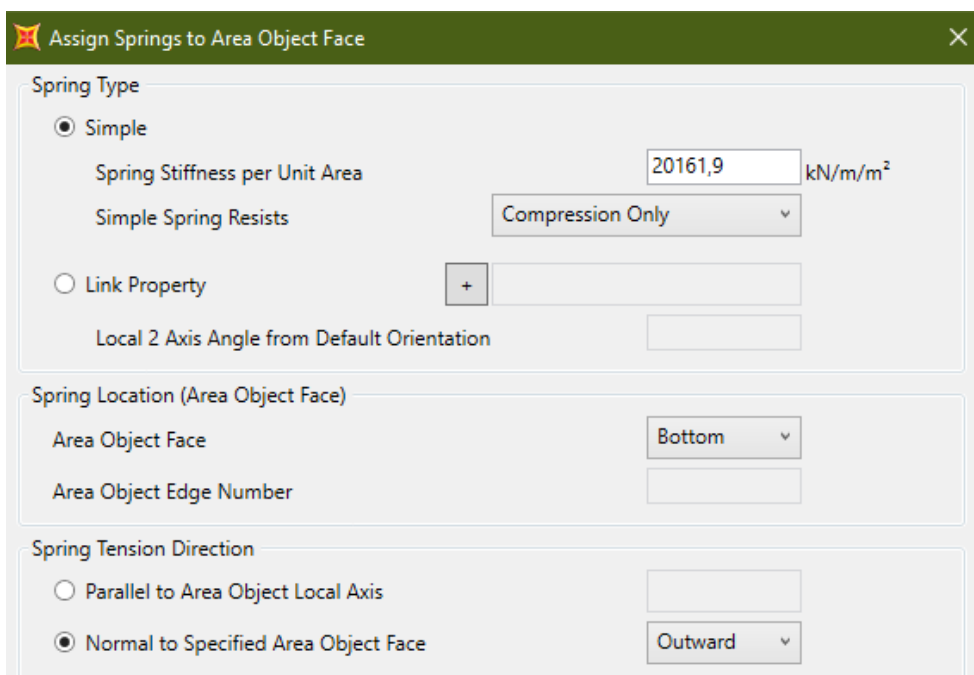


Figura 4.3-5. Assign Springs Area Object. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Una vez aplicadas las constantes de rigidez para cada losa, podremos calcular el modelo y observar los asientos generados. Como podemos comprobar, todos los muelles están comprimidos, no existen tracciones. Las presiones en el terreno son variables, pues cuanto más asiento más presión. La fórmula de esta presión será la constante de rigidez (K) multiplicada por el asiento producido:  $P=K \cdot \Delta$ . Este cálculo lo realiza la tabla excel introduciéndole el valor del asiento. Para la zapata que se está exponiendo en las imágenes adjuntas (ya que este proceso se repite pra cada zapata) se produce un asiento máximo de 4,1mm. (ELSu combinaciones sin mayorar)

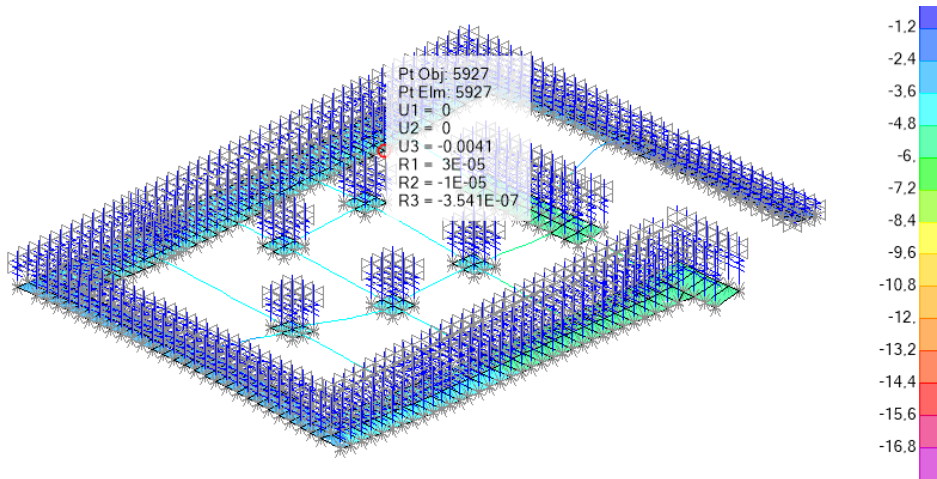


Figura 4.3-6. Display Deformed Shape. ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Ahora comprobaremos si coincide la presión calculada mediante la fórmula  $P=K \cdot \Delta$  y las presiones resultantes de SAP2000 visibles a través de *Display>Soil Pressure*, en la combinación ELSu. Si ambas coinciden quiere decir que el cálculo es correcto.

ASIENTO	0,0041	[m]
PRESIÓN	83	[kN/m2]
PRESIÓN	0,83	[kp/cm2]

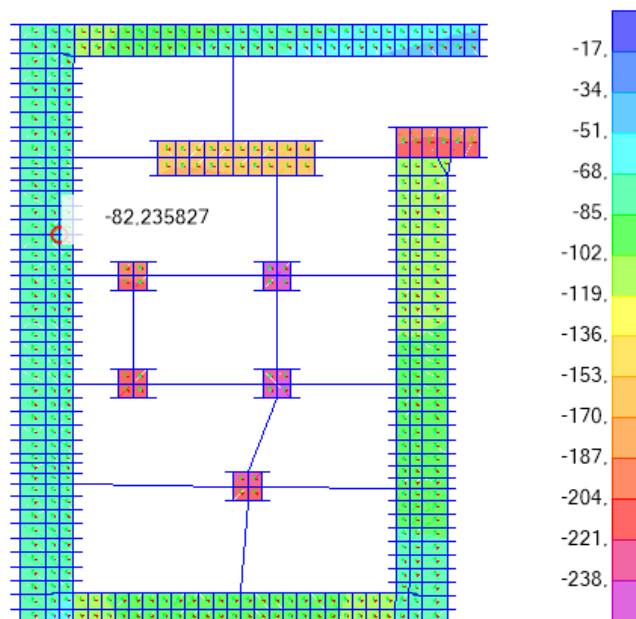


Figura 4.3-6. Display Soil Pressure. ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Podemos observar la gran precisión que se da en el modelo de cálculo, alcanzando una presión de 82,23 Kp/cm<sup>2</sup>. Concluimos pues que la aplicación ha sido correcta.

## 4.4 INTRODUCCIÓN DE CARGAS EN SAP2000

Para la determinación de las diferentes acciones a aplicar sobre el edificio, para verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad estructural (capacidad portante y estabilidad) y aptitud al servicio, se ha establecido la normativa del Documento Básico de Seguridad Estructural- Acciones en la edificación (DBSE-AE).

Tal y como se cita en el apartado 3.3.2.1 *Clasificación de las acciones* del Documento Básico de Seguridad Estructural (DB-SE), las acciones a considerar en el cálculo se clasifican en:

a) **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.*

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

c) **Acciones accidentales (A)**: *Son aquellas cuya probabilidad de ocurrencia es pequeña pero de gran importancia, como sismo, incendio, impacto o explosión*  
*Tal y como en este documento*

### 4.4.1 CARGAS PERMANENTES

Atendiendo a las definiciones anteriormente descritas, se aplicarán como cargas permanentes aquellas que hacen referencia al peso propio de la estructura, así como pavimentos, tabiquería, falsos techos e instalaciones.

En cuanto al peso propio, SAP2000 asigna automáticamente una estimación de este valor teniendo en cuenta las secciones y materiales asignados. Esta carga se representará en el programa con el nombre **DEAD**.

En cuanto al resto de cargas permanentes correspondientes a solado, tabiquería, falsos techos e instalaciones, gracias a la información proporcionada por David Gallardo, se ha podido determinar exactamente el valor de estas.

P.BAJA (LOSA 20) [-0.06/±0.00]		P.BAJO CUBIERTA (LOSA 20) [+2.98/+3.04]		CUBIERTA (LOSA 25) [variable]		ESCALERA (LOSA 15)	
Peso propio	5.00	Peso propio	5.00	Peso propio	6.25	Peso propio	3.75
Solado y tabiquería	2.50	Solado y tabiquería	2.50	Cubierta	2.50	Peldañado	1.75
F, techos+inst	0.50	F, techos+inst	0.50	F, techos+inst	0.50	Barandilla y acabados	0.50

Figura 4.4.1-1. Cargas muertas permanentes (CMP). Fuente: David Gallardo (Tabla de acciones de la Casa Balint)

El nombre que hace referencia a estas cargas es el de Cargas Muertas Permanentes (CMP).

Así pues, el **CMP** en la planta baja, planta primera y cubierta será el total de la suma de los 2,5 [Kn/m<sup>2</sup>] de solado y tabiquería y los 0,5 [Kn/m<sup>2</sup>] de falsos techos e instalaciones, que da un total de **3 [Kn/m<sup>2</sup>]**.

Por otro lado, en cuanto a los cerramientos, existen dos tipos de cerramiento en esta vivienda, por un lado los de vidrio y por otro los de GRC (hormigón de fibra de vidrio). En cuanto a la carga aplicada a las fachadas de vidrio, al ser estos térmicamente óptimos y alcanzar alturas de 3 m, se ha aplicado una carga lineal de 1 [Kn/m<sup>2</sup>], que multiplicado por su altura queda una resultante de **3 [Kn/m]**. En cuanto a las fachadas de GRC, el valor de carga aproximado es el de 3 [Kn/m<sup>2</sup>], que multiplicado por las alturas de 3m, se obtiene una resultante de **9 [Kn/m]**.

## EMPUJES DEL TERRENO

A diferencia del peso propio de la estructura cuyo peso se ve asignado automáticamente por SAP2000, los empujes del terreno deberemos definirlos e introducirlos manualmente en el programa.

Para la aplicación de esta carga deberemos hacer uso de los *Joint Patterns*, una herramienta de SAP2000 que nos permite asignar números a los nudos. De esta forma, ya que la presión en el terreno no está aplicada de una forma uniforme sino que es una carga trapezoidal, podremos aplicar la presión exacta que existe en cada nudo.

Para obtener los valores de esta presión se hará uso de la tabla excel proporcionada por David Gallardo EmpujesTerreno.xlsm. Los datos principales que debemos introducir en esta tabla será la densidad del terreno, ángulo de rozamiento interno, coeficiente de empuje, tipo de empuje, carga en coronación y las cotas de coronación y de arranque.

Es muy importante diferenciar entre los tipos de empuje **ACTIVO Y PASIVO**.

Los empujes pasivos serán aquellos que actúen sobre un muro cuyos movimiento en arranque y en coronación estén restringidos por forjados, en esta caso el valor del empuje será mayor. En el caso de que no existan estos forjados que restrinjan los desplazamientos del muro, se denominarán empujes activos, pues los muros deberán ejercer un mayor trabajo. En este caso los valores serán menores puesto que el terreno se acomoda.

En el siguiente esquema señalamos los muros sobre los que se ejercerán empujes activos en colore naranja, el resto recibirán empujes pasivos.

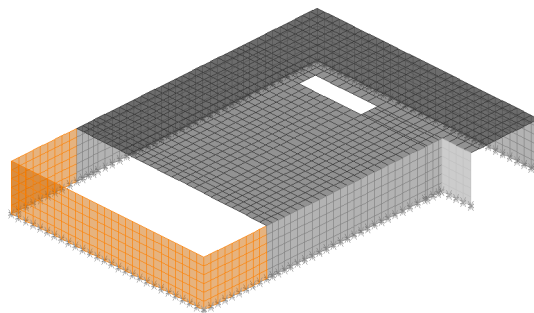


Figura 4.4.1-2. Esquema muros de sótano. Fuente: Elaboración propia.

Tras haber asignado los Joint Patterns a todos los nudos de los muros mediante *Define>Joint Patterns* tal y como se muestra en la imagen:

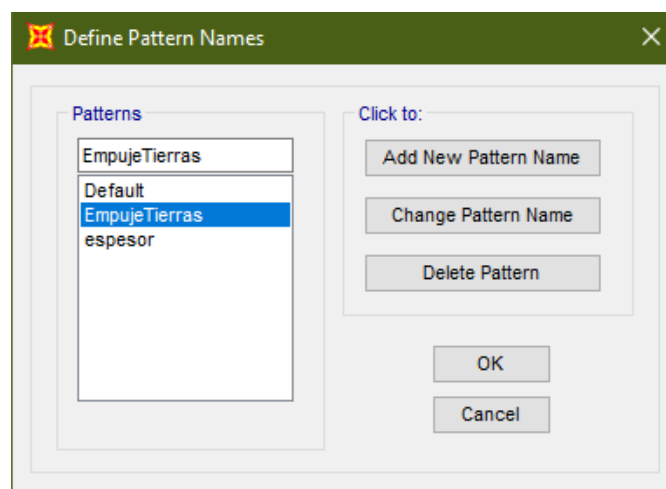


Figura 4.4.1-3. Ventana Define Pattern Name. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

Deberemos de completar la información de la tabla *EmpujesTerreno.xlsm* para obtener los valores de las cargas a aplicar en los nudos. Habrá que obtener unos valores diferentes para los empujes activos que para los pasivos:

EMPUJES TERRENO - JOINT PATTERN SAP2000			
DENSIDAD DEL TERRENO	$\rho$	18,0	[kN/m <sup>3</sup> ]
ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO	$\theta$	30,0	[°]
TIPO DE EMPUJE		ACTIVO	[ ]
COEFICIENTE EMPUJE ACTIVO	$K_a$	0,333	[ ]
COHESIÓN	$c'$	0,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
CARGA EN CORONACIÓN	$q$	3,0	[kN/m <sup>2</sup> ]
<b>CORONACIÓN</b>			
z2 (COTA CORONACIÓN)		0,0	[m]
p2 (PRESIÓN EN CORONACIÓN)		1,0	[kN/m <sup>2</sup> ] [kN/m]
<b>BASE</b>			
z1 (COTA ARRANQUE)		-3,0	[m]
p1 (PRESIÓN EN ARRANQUE)		19,0	[kN/m <sup>2</sup> ] [kN/m]
delta_z (ALTURA MURO)		3	[m]
delta_p (DIFERENCIA DE PRESIÓN)		-18	[kN/m <sup>2</sup> ] [kN/m]
COEFICIENTE C DE SAP (pendiente)		-6,00	SAP C
COEFICIENTE D DE SAP ( $p$ en $z=0$ )		1,00	SAP D

EMPUJES TERRENO - JOINT PATTERN SAP2000			
DENSIDAD DEL TERRENO	$\rho$	18,0	[kN/m <sup>3</sup> ]
ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO	$\theta$	30,0	[°]
TIPO DE EMPUJE		REPOSO	[ ]
COEFICIENTE EMPUJE REPOSO	$K_o$	0,500	[ ]
RAZÓN DE CONSOLIDACIÓN	$R_{oc}$	1,0	[ ]
CARGA EN CORONACIÓN	$q$	3,0	[kN/m <sup>2</sup> ]
<b>CORONACIÓN</b>			
z2 (COTA CORONACIÓN)		0,0	[m]
p2 (PRESIÓN EN CORONACIÓN)		1,5	[kN/m <sup>2</sup> ] [kN/m]
<b>BASE</b>			
z1 (COTA ARRANQUE)		-3,0	[m]
p1 (PRESIÓN EN ARRANQUE)		28,5	[kN/m <sup>2</sup> ] [kN/m]
delta_z (ALTURA MURO)		3	[m]
delta_p (DIFERENCIA DE PRESIÓN)		-27	[kN/m <sup>2</sup> ] [kN/m]
COEFICIENTE C DE SAP (pendiente)		-9,00	SAP C
COEFICIENTE D DE SAP ( $p$ en $z=0$ )		1,50	SAP D

Figura 4.4.1-4. Tabla excel Empujes de Terreno. Fuente: David Gallardo

Una vez obtenidos estos valores, comenzamos a introducirlos en SAP2000 según el muro al que correspondan, a través de la ventana *Assign>Joint Patterns*

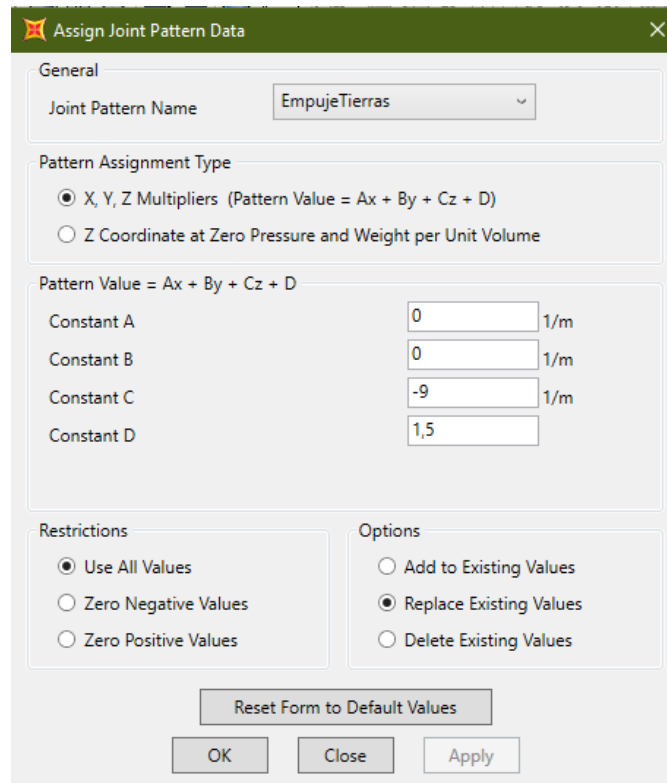


Figura 4.4.1-5. Ventana Assign Joint Pattern. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Tras haber introducido todos los valores de la carga trapezoidal del terreno a los joint patterns correspondientes, y prestando atención a los ejes locales, pues en función del eje 3 se orientarán las presiones superficiales que nosotros añadamos. Hay que tener en cuenta que un valor positivo de presión irá en dirección contraria al eje 3.

A continuación podemos observar como deben quedar las cargas trapezoidales en uno de los muros sometidos a empujes pasivos.

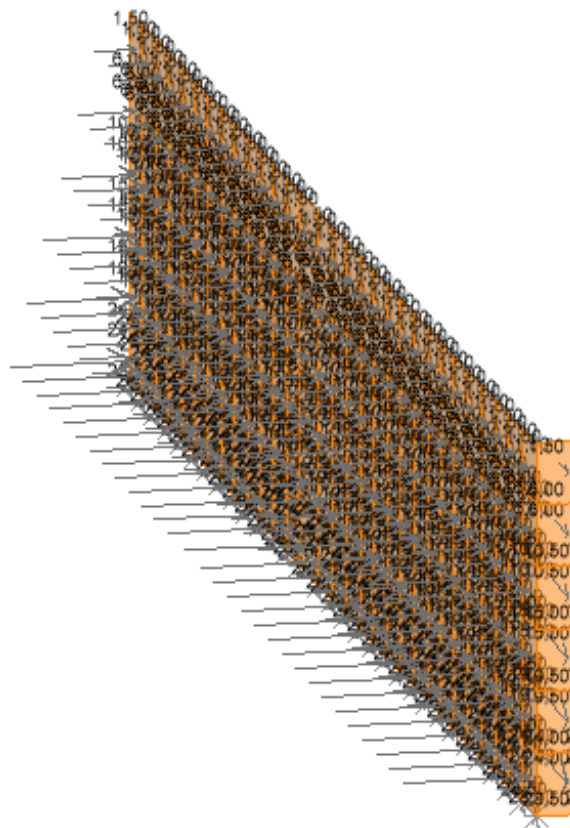


Figura 4.4.1-6. Surface Pressure. CMP. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

## 4.4.2 CARGAS VARIABLES

### 4.4.2.1 SOBRECARGA DE USO (SCU)

Para definir la carga de uso se recurre de nuevo a la tabla de cargas proporcionadas por David Gallardo expuesta a continuación.

P.BAJA (LOSA 20) [-0.06/±0.00]		P.BAJO CUBIERTA (LOSA 20) [+2.98/+3.04]		CUBIERTA (LOSA 25) [variable]		ESCALERA (LOSA 15)	
S. uso	2.00	S. uso	2.00	S. uso + nieve	1.25	S. uso	3.00

Figura 4.4.1-1. Cargas muertas permanentes (CMP). Fuente: David Gallardo (Tabla de acciones de la Casa Balint)



#### 4.4.2.2 SOBRECARGA DE VIENTO (SCV)

Según el apartado 3.3.2 del DB-SE AE del CTE, *la distribución y el valor de las presiones que ejerce el viento sobre un edificio y las fuerzas resultantes dependen de la forma y de las dimensiones de la construcción.*

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

$$q_e = q_b \times c_e \times c_p$$

Siendo:

- $q_b$  la presión dinámica del viento
- $c_e$  el coeficiente de exposición
- $c_p$  el coeficiente de presión

#### $q_b$ | presión dinámica del viento

En cuanto al valor básico de la velocidad del viento, como se cita en el DB-SE AE, en cada localidad puede obtenerse del mapa de la figura D.1. El de la presión dinámica es, respectivamente de 0,42 kN/m<sup>2</sup>, 0,45 kN/m<sup>2</sup> y 0,52 kN/m<sup>2</sup> para las zonas A, B y C de dicho mapa. Bétera concretamente se encuentra dentro de la ZONA A, por lo que contaremos con una presión dinámica de  $q_b = 0.42$



Figura 4.4.2.2-1. Tabla D.1 Valor básico de la velocidad del viento, del Anejo D del DB-SE-AE del Código Técnico de la Edificación. Fuente: Ministerio de Fomento, 2009

## $c_e$ | coeficiente de exposición

El coeficiente de exposición varía según la altura del punto considerado, y en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción. Su valor se determina en la tabla 3.4 del DB-SE AE del CTE.

Puesto que la zona en la que se encuentra la vivienda unifamiliar es un conjunto residencial junto a un campo de golf donde el terreno es llano y no existe arbolado de importancia, se ha considerado que el grado de aspereza del terreno es de tipo II.

Por otro lado, la altura máxima del edificio de 6,40 metros.

Por todo esto, el valor del coeficiente de exposición será  $c_e = 2,7$

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición  $c_e$

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
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	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Figura 4.4.2.2-2. Tabla 3.4 Valores del coeficiente de exposición  $C_e$  del DB-SE-AE del Código Técnico de la Edificación. Fuente: Ministerio de Fomento, 2009

## $c_p$ | coeficiente de presión

Tal y como se indica en el apartado 3.3.4 del DB-SE AE del CTE, *en edificios de pisos, con forjados que conectan todas las fachadas a intervalos regulares, con huecos o ventanas pequeños practicables o herméticos, y compartimentados interiormente, para el análisis global de la estructura, bastará considerar coeficientes eólicos globales a barlovento y sotavento, aplicando la acción de viento a la superficie proyección del volumen edificado en un plano perpendicular a la acción de viento. Como coeficientes eólicos globales, podrán adoptarse los de la tabla 3.5.*

Los valores que se obtienen de esta tabla dependen de la esbeltez del edificio. Esta esbeltez depende de la cara en la que nos fijemos. En nuestro caso tendremos por un lado una esbeltez de  $6'4\text{m}/25\text{m} = 0,26$  y por el otro  $6'4\text{m}/14\text{m} = 0,46$ .

Por tanto, obtendremos unos coeficientes de presión y succión de:  $c_p = 0,7$      $c_s = -0,4$

**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

Figura 4.4.2.2-3. Tabla 3.5 Coeficiente eólico en edificios de pisos del DB-SE-AE del Código Técnico de la Edificación. Fuente: Ministerio de Fomento, 2009

Una vez obtenidos todos los coeficientes necesarios pasamos a obtener las cargas de viento en las diferentes fachadas:

**Fachada A**

Esbeltez:  $6'4m/25m = 0,26$

$$q_{e.presión} = q_b \times c_e \times c_p = 0,42 \times 2,7 \times 0,7 = 0,8 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{e.succión} = q_b \times c_e \times c_s = 0,42 \times 2,7 \times 0,4 = 0,46 \text{ KN/m}^2$$

**Fachada B**

Esebeltez:  $6'4m/14m = 0,46$

$$q_{e.presión} = q_b \times c_e \times c_p = 0,42 \times 2,7 \times 0,7 = 0,8 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{e.succión} = q_b \times c_e \times c_s = 0,42 \times 2,7 \times 0,4 = 0,46 \text{ KN/m}^2$$

Para un edificio de fachadas ortogonales y contenidas cada una de ellas en un mismo plano, se aplicarían estas cargas de presión y succión en cada una de las fachadas de forma homogénea, sin embargo, este no es nuestro caso, pues nos encontramos con unas fachadas ovaladas que no nos permiten aplicar las cargas de una forma repartida y equitativa a través de las cargas superficiales puesto que los valores anteriores se corresponden a paramentos planos. Es por esto que se ha decidido realizar una simplificación en su aplicación.

Para ello, lo primero que se ha hecho ha sido simplificar la forma del edificio en un cubo rectangular. Se han representado sobre las caras de este rectángulo las acciones del viento como cargas lineales, siendo estas una simplificación de la carga superficial correspondiente. A cada una de estas cargas lineales se les ha asignado su área de influencia, dejando la figura dividida en tres áreas de dimensiones diferentes.

Para el cálculo de estas cargas lineales, se ha multiplicado la carga de presión y succión por el área de influencia de cada una de las cargas.

## FACHADA A

Como para la fachada A, con una esbeltez de  $6'4\text{m}/25\text{m} = 0,26$ , se han obtenido unos valores de presión y succión de:

$$q_{e.\text{presión}} = 0,8 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{e.\text{succión}} = 0,46 \text{ KN/m}^2$$

**Área superior:** contará con una superficie de  $1,63\text{m} \times 25\text{m}$ . Las cargas lineales de presión y succión serán:

$$c_p \times \text{ámbito de aplicación} = 0,8 \times 1,63 = 1,3 \text{ KN/m}$$

$$c_s \times \text{ámbito de aplicación} = 0,46 \times 1,63 = 0,75 \text{ KN/m}$$

**Área central:** contará con una superficie de  $3,25\text{m} \times 25\text{m}$ . Las cargas lineales de presión y succión serán:

$$c_p \times \text{ámbito de aplicación} = 0,8 \times 3,25 = 2,6 \text{ KN/m}$$

$$c_s \times \text{ámbito de aplicación} = 0,46 \times 3,25 = 1,5 \text{ KN/m}$$

**Área inferior:** contará con una superficie de  $1,63\text{m} \times 25\text{m}$ . Las cargas lineales de presión y succión serán:

$$c_p \times \text{ámbito de aplicación} = 0,8 \times 1,63 = 1,3 \text{ KN/m}$$

$$c_s \times \text{ámbito de aplicación} = 0,46 \times 1,63 = 0,75 \text{ KN/m}$$

## FACHADA B

Como para la fachada B, con una esbeltez de  $6'4\text{m}/14\text{m} = 0,46$ , se han obtenido unos valores de presión y succión de:

$$q_{e.\text{presión}} = 0,8 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{e.\text{succión}} = 0,46 \text{ KN/m}^2$$

**Área superior:** contará con una superficie de 1,63m x 14m. Las cargas lineales de presión y succión serán:

$$c_p \times \text{ámbito de aplicación} = 0,8 \times 1,63 = \mathbf{1,3 \text{ KN/m}}$$

$$c_s \times \text{ámbito de aplicación} = 0,46 \times 1,63 = \mathbf{0,75 \text{ KN/m}}$$

**Área central:** contará con una superficie de 3,25m x 14m. Las cargas lineales de presión y succión serán:

$$c_p \times \text{ámbito de aplicación} = 0,8 \times 3,25 = \mathbf{2,6 \text{ KN/m}}$$

$$c_s \times \text{ámbito de aplicación} = 0,46 \times 3,25 = \mathbf{1,5 \text{ KN/m}}$$

**Área inferior:** contará con una superficie de 1,63m x 14m. Las cargas lineales de presión y succión serán:

$$c_p \times \text{ámbito de aplicación} = 0,8 \times 1,63 = \mathbf{1,3 \text{ KN/m}}$$

$$c_s \times \text{ámbito de aplicación} = 0,46 \times 1,63 = \mathbf{0,75 \text{ KN/m}}$$

Por tanto, ya tenemos las cargas lineales correspondientes a cada parte del modelo, sin embargo, estas no pueden ser aplicadas directamente ya que corresponden a superficies que además afectan a un número de elementos finitos bidimensionales muy diferente en cada uno de sus ámbitos de aplicación. Es por ello, que para poder generar estas cargas superficiales que afectan de manera homogénea a los elementos finitos correspondientes, debemos primeramente convertir las anteriores cargas lineales en cargas puntuales. De esta forma, posteriormente podrán ser divididas entre las superficies afectadas, obteniendo así la carga superficial homogénea que buscábamos desde un principio.

Procedemos pues, a obtener las cargas puntuales en cada una de las caras, multiplicando la carga lineal por su longitud de aplicación:

**FACHADA A** (6'4m x 25m)

**Área superior:**

**Presión**

$$1,3 \text{ KN/m} \times 25\text{m} = \mathbf{32,5 \text{ KN}}$$

**Succión**

$$0,75 \text{ KN/m} \times 25\text{m} = \mathbf{18,75 \text{ KN}}$$

**Área central:****Presión**

$$2,6 \text{ KN/m} \times 25\text{m} = \mathbf{65 \text{ KN}}$$

**Succión**

$$1,5 \text{ KN/m} \times 25\text{m} = \mathbf{37,5 \text{ KN}}$$

**Área inferior:** La carga correspondiente a esta superficie será absorbida por el terreno y por tanto no se tendrá en consideración.

**FACHADA B (6'4m x 14m)****Área superior:****Presión**

$$1,3 \text{ KN/m} \times 14\text{m} = \mathbf{18,2 \text{ KN}}$$

**Succión**

$$0,75 \text{ KN/m} \times 14\text{m} = \mathbf{10,5 \text{ KN}}$$

**Área central:****Presión**

$$2,6 \text{ KN/m} \times 14\text{m} = \mathbf{36,4 \text{ KN}}$$

**Succión**

$$1,5 \text{ KN/m} \times 25\text{m} = \mathbf{21 \text{ KN}}$$

**Área inferior:** La carga correspondiente a esta superficie será absorbida por el terreno y por tanto no se tendrá en consideración.

Ahora, para poder contabilizar la superficie afectada por las cargas de presión y de succión de cada cara de forma uniforme, se ha hecho uso de una herramienta especial en AutoCad diseñada por David Gallardo que permite contabilizar el área de un conjunto de 3DCaras independientemente de su orientación, pudiendo tener cada una de ellas un SCP diferente, tal y como sucede en las superficies de esta estructura.

Este comando cargado a partir de *AppLoad* se denomina *CDG*.

Por tanto, una vez obtenidos los valores exactos de las áreas de cada fachada en las que se deben repartir las cargas puntuales, se ha dividido las respectivas cargas de presión y de succión entre las superficies correspondientes.

**FACHADA A** (6'4m x 25m)**Presión:**

$$( 32,5 \text{ KN} + 65 \text{ KN} ) / 58 \text{ m}^2 = \mathbf{1,68 \text{ KN/m}^2}$$

**Succión:**

$$( 18,75 \text{ KN} + 37,5 \text{ KN} ) / 67 \text{ m}^2 = \mathbf{0,84 \text{ KN/m}^2}$$

**FACHADA B** (6'4m x 14m)**Presión:****Área superior:**

$$18,2 \text{ KN} / 95 \text{ m}^2 = \mathbf{0,2 \text{ KN/m}^2}$$

**Área central:**

$$34,4 \text{ KN} / 68 \text{ m}^2 = \mathbf{0,54 \text{ KN/m}^2}$$

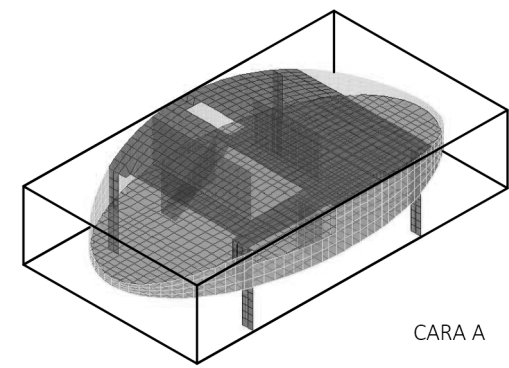
**Succión:****Área superior:**

$$10,5 \text{ KN} / 95 \text{ m}^2 = \mathbf{0,11 \text{ KN/m}^2}$$

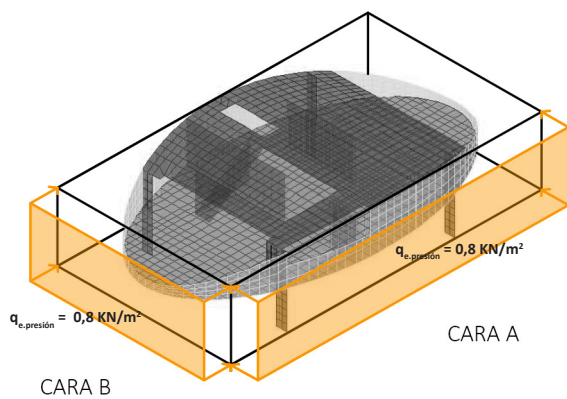
**Área central:**

$$21 \text{ KN} / 68 \text{ m}^2 = \mathbf{0,3 \text{ KN/m}^2}$$

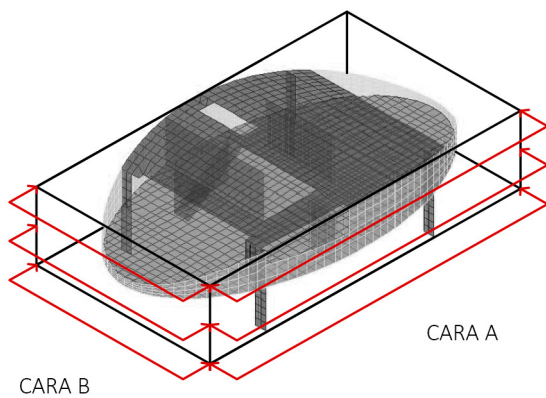
Para un mejor entendimiento del proceso, a continuación se exponen una serie de esquemas aclaratorios. En ellos se representa tan solo la carga de presión del viento para que los dibujos sean más nítidos y entendibles, no hay que olvidar que en las caras opuestas se encontrarían siempre las cargas de succión.



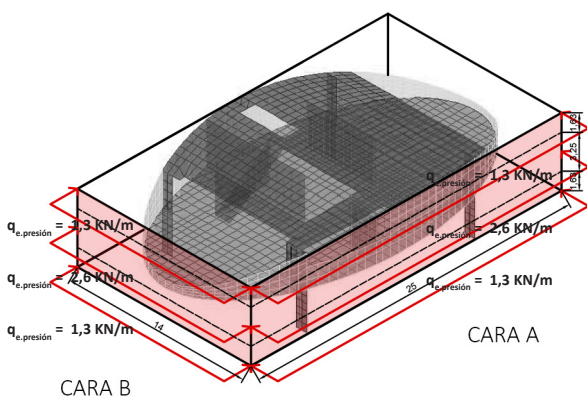
1º) Simplificación de la forma del edificio en un cubo rectangular. Se diferencia la fachada A, correspondiente al eje X, y la fachada B, correspondiente al eje Y.



2º) Cargas superficiales que representan los resultados iniciales de presión válidos tan solo para paramentos verticales sin deformaciones.



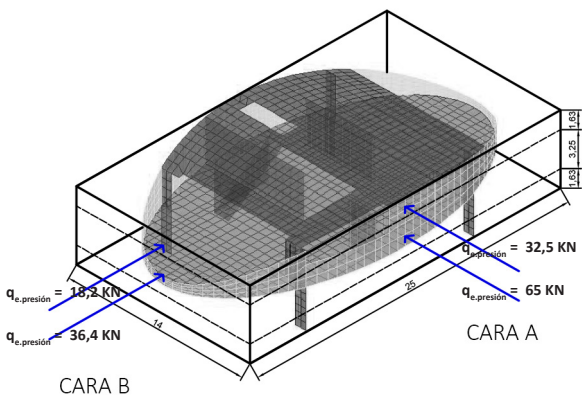
3º) Simplificación de las anteriores cargas superficiales mediante cargas lineales.



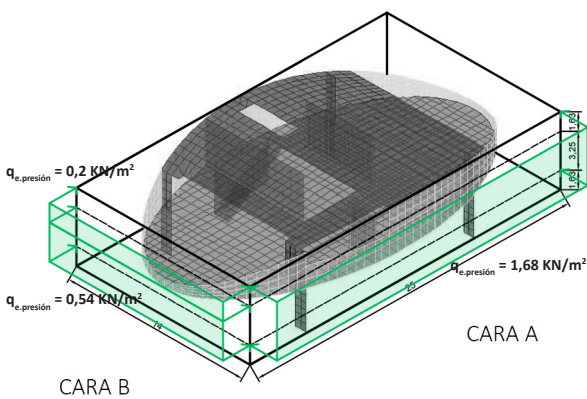
4º) Obtención de los ámbitos de aplicación de las cargas anteriores.

Figura 4.4.2.2-4. Esquemas explicativos sobre la aplicación de cargas de viento 1. Fuente: elaboración propia

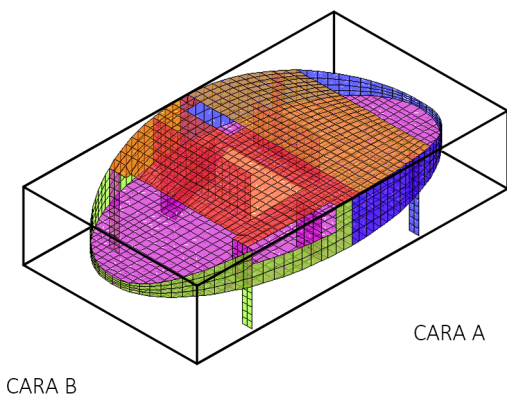




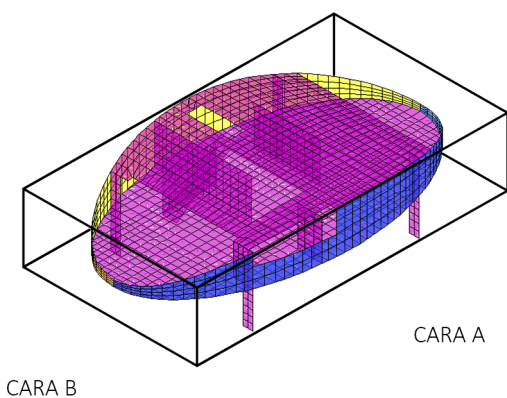
5º) Obtención de las resultantes obtenidas al multiplicar las anteriores cargas lineales por su longitud de aplicación. La resultante de la zona inferior se elimina al verse absorbida por la cota 0.



6º) Obtención de las cargas superficiales de presión sobre las áreas correspondientes tras dividir las cargas puntuales anteriores entre su área exacta de influencia.



Visualización de las cargas de presión y succión en la dirección X tras su introducción en SAP2000.



Visualización de las cargas de presión y succión en la dirección Y tras su introducción en SAP2000.

Figura 4.4.2.2-5. Esquemas explicativos sobre la aplicación de cargas de viento 1. Fuente: elaboración propia

#### 4.4.2.3 SOBRECARGA DE NIEVE (SCN)

Teniendo en cuenta el artículo 3.5.1 del DB-SE AE del CTE, el valor de la sobrecarga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal,  $q_n$  puede tomarse igual a:

$$q_n = \mu \times S_k$$

siendo  $\mu$ , el coeficiente de forma, de valor igual a la unidad para cubiertas planas o con inclinación menor de 30°. Al ser el caso que nos ocupa, el valor de  $\mu=1$ .

$S_k$ , es el valor de la sobrecarga debida a la nieve, cuyo valor se obtiene de la tabla 3.8 del DB-SE AE, donde se observa que a la ciudad de Valencia le corresponde el valor  $S_k=0.2 \text{ KN/m}^2$ .

Por tanto obtenemos:

$$q_n = 1 \times 0.2 = 0.2 \text{ KN/m}^2$$

#### 4.4.3 CARGAS ACCIDENTALES

##### 4.4.3.1 SISMO

Dado que la estructura de esta vivienda es bastante singular y se sale de lo convencional, se descarta la opción de aplicar el sismo simplificado, deberemos aplicar el modal espectral, el cual calcula este efecto sísmico con mayor precisión para casi cualquier estructura.

La primera cuestión para aplicar el sismo modal espectral, es que hay que definir cuál es el origen de la masa, ya que los modos de vibración de la estructura dependen de dos cosas; de la rigidez y de la masa, pues estos factores serán los que determinarán cómo vibra la estructura. Esto está establecido por la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02), donde se especifican las masas que deben intervenir en el cálculo, que serán el 100% de CMP, el 100% de DEAD y el 50% de SCU.

#### 3.2. Masas que intervienen en el cálculo

A los efectos de los cálculos de las solicitaciones debidas al sismo se considerarán las masas correspondientes a la propia estructura, las masas permanentes, y una fracción de las restantes masas —siempre que éstas tengan un efecto desfavorable sobre la estructura— de valor:

- para sobrecargas de uso en viviendas, hoteles y residencias: 0,5
- para sobrecargas de uso en edificios públicos, oficinas y comercios: 0,6
- para sobrecargas de uso en locales de aglomeración y espectáculos: 0,6
- para sobrecarga de nieve, siempre que ésta permanezca más de 30 días al año: 0,5
- para sobrecargas de uso en almacenes, archivos, etc.: 1,0
- para sobrecarga de tabiquería: 1,0
- para piscinas o grandes depósitos de agua: 1,0

En las construcciones en que no coinciden el centro de masas y el de torsión, bien por irregularidad geométrica o mecánica, o bien por una distribución no uniforme de las masas, habrá que tener en cuenta el efecto de torsión que se produce.

En todas las construcciones, incluso en las que se prevea que coincidan el centro de masas y el de torsión, se deberá considerar siempre una excentricidad adicional de las masas ó de las fuerzas sísmicas equivalentes en cada planta, no menor de 1/20 de la mayor dimensión de la planta en el sentido perpendicular a la dirección del sismo, a fin de cubrir las irregularidades constructivas y las asimetrías accidentales de sobrecargas.

A través del menú *Define>Mass Source* definiremos estas cargas:

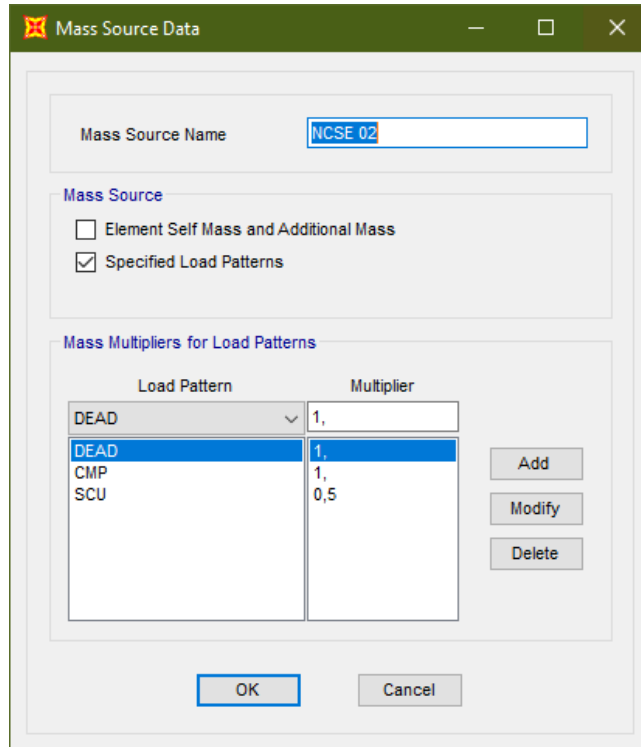


Figura 4.4.3.1-2. Ventana Mass Source. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

La segunda cuestión que hay que definir es la función del espectro de respuesta, a través del menú *Define>Functions>Response Spectrum>Add Spectrum*.

Pero primero deberemos definir a través de una tabla proporcionada por David Gallardo:

- Valores de la aceleración sísmica básica ( $a_b/g$ ) y coeficiente de contribución ( $k$ )

Municipio	$a_b/g$	$K$
Bétera	0,06	(1,0)

Figura 4.4.3.1-3. Valores de aceleración sísmica básica y coeficiente de contribución. Anejo 1. Fuente: NCSE 02

- Valores del coeficiente de respuesta

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

Figura 4.4.3.1-4. Tabla 3.1. Valores del coeficiente de respuesta. Fuente: NCSE 02

- Coeficiente C sísmico.

**Nivel I: Cobertera vegetal.**

Nivel geotécnico	II		III	
		Nº ensayos		Nº ensayos
Simplificación	Cohesivo	2	Conglomerado	1
Promedio de compresión simple o SPT/nº ensayos	2,90*	1	R	1
Descripción	arcilla arenosa	2	Conglomerado poco cementado	1
Compacidad	muy firme	1	-	
Módulo elástico Kp/cm <sup>2</sup>	190,00	2	-	
Coeficiente de Poisson	0,15	1	0,15	1
Presión admisible Kp/cm <sup>2</sup>	2,6	1	-	
Densidad seca T/m <sup>3</sup>	1,68	1	-	
Rozamiento °	25	1	-	
Cohesión sin drenaje Kp/cm <sup>2</sup>	1,45	1	-	
Módulo de balasto Kp/cm <sup>2</sup>	17,4	1	-	
Agresividad	No hay	1	-	
Colapso corrección de Gibbs %**	No colapsa	1	No colapsa	1
Expansión Kp/cm <sup>2</sup>	No por L.L.	2	No expande	1
<b>Coeficiente C Sísmico</b>	<b>1,6</b>	<b>1</b>	<b>1,3</b>	<b>1</b>
Permeabilidad m/s	<0,000000001	2	-	

Figura 4.4.3.1-5. Tabla del estudio geotécnico. Fuente: David Gallardo.

- Coeficiente de riego, que para una vivienda tiene un valor de = 1

- Coeficiente de amortiguamiento, para plantas de hormigón o acero diáfanas= 4

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

Figura 4.4.3.1-6. Tabla 3.1. Valores del coeficiente de respuesta. Fuente: NCSE 02

Estos datos son los que introduciremos en la tabla excel desarrollada por David Gallardo *DatosSismoDinamicosSAP.xls* la cual nos proporcionará el espectro elástico:

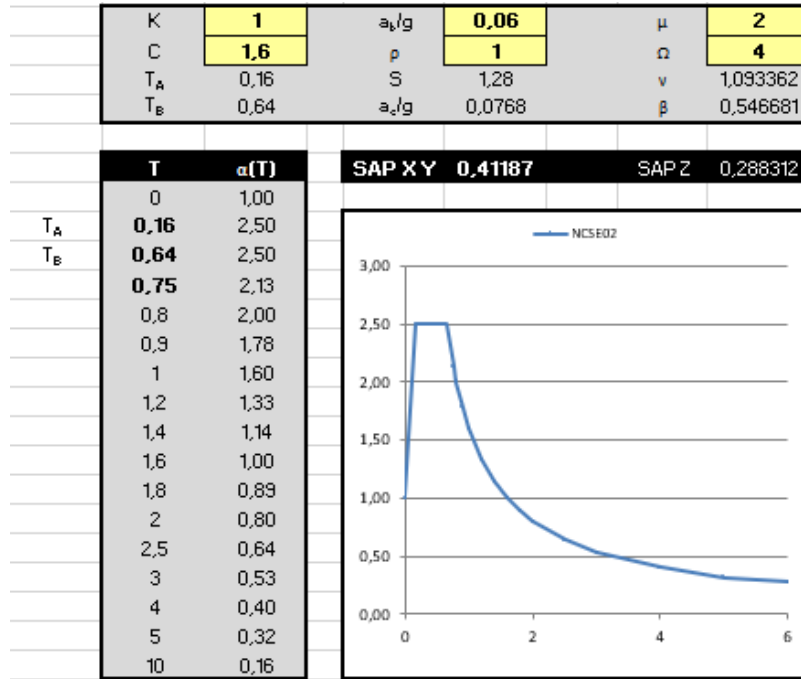


Figura 4.4.3.1-6. DatosSismoDinamico.xlsI. Fuente: David Gallardo

Ahora sí, con todos estos datos, procedemos a definir la función del espectro de respuesta, a través del menú *Define>Functions>Response Spectrum>Add Spectrum*.

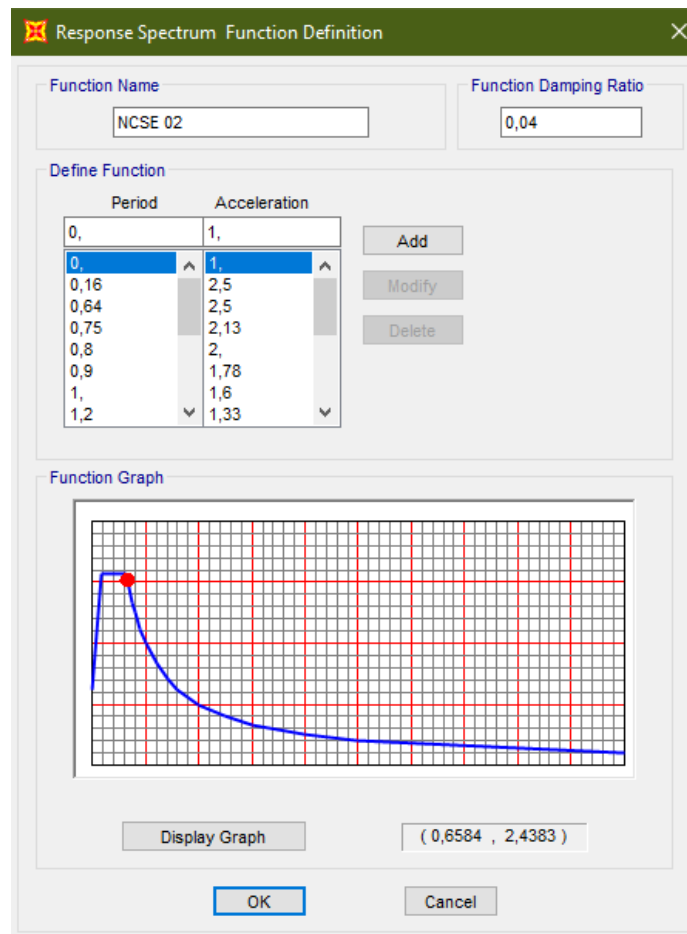


Figura 4.4.3.1-6. Tabla 3.1. Ventana Response Spectrum. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Una vez tenemos toda esta gráfica completada, empezamos a crear los análisis sísmicos, creando nuevos *Load Cases*, a través del menú *Define>Load Cases* y creamos nuevos casos que se llamarán *SIMx*, *SIMy*, *SIMz* y *SIMxyz*, en los cuales estableceremos la norma sísmica española SRSS y para cada caso, la aceleración se la asignaremos según el eje que elijamos con su amortiguación correspondiente.

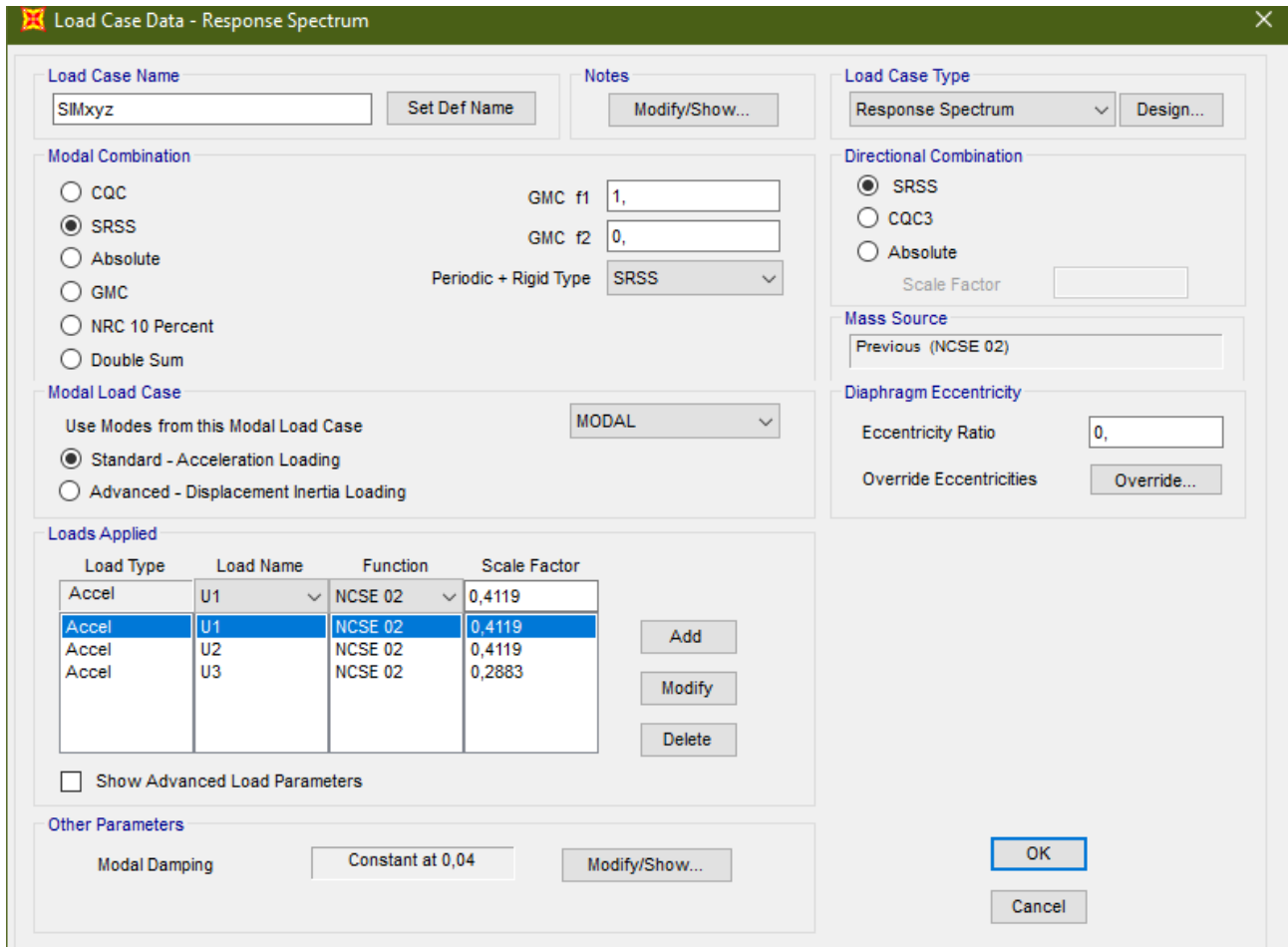


Figura 4.4.3.1-7. Ventana Load Case Response Spectrum. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

La combinación de las tres direcciones *SIMxyz*, es la nos servirá para hacer la comprobación de resistencia.

Solo nos faltaría crear una combinación para el sismo modal, por tanto, vamos a *Define>Load Combinations>Add New Combo* y creamos esta nueva combinación de resistencia que llamaremos *ELUsim*, cuya combinación se establece en el CTE CB SE como:

- 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
 
$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \tag{4.5}$$

Figura 4.4.3.1-8. Apartado 4.2.2 Combinación de acciones. Fuente: CTE DB SE.

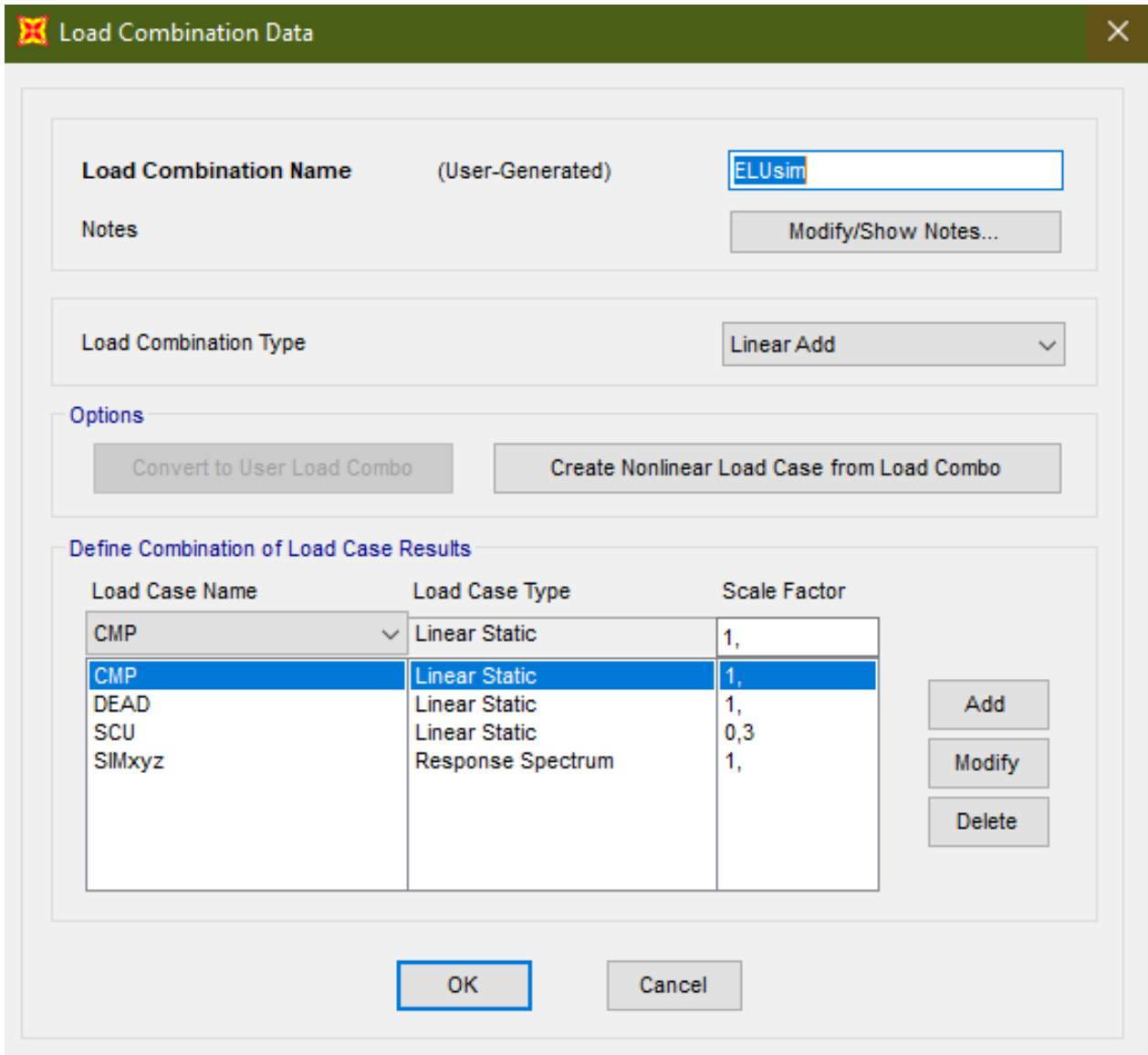


Figura 4.4.3.1-9. Ventana Load Combination Data. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Una vez hemos introducido todos estos datos, procedemos a calcular el modelo.

Para visualizar la deformada entraremos en Display Deformed Shape, y donde aparece el recuadro de Mode Number aparecerá el modo que estamos visualizando, pudiendo así elegir el que más nos interese. La visualización se hará con el combo MODAL, con la escala automática y respecto de la resultante. Se obtiene lo siguiente.

MODO 1 (vibración en eje x)  $T=0,39$   $f=2,55$

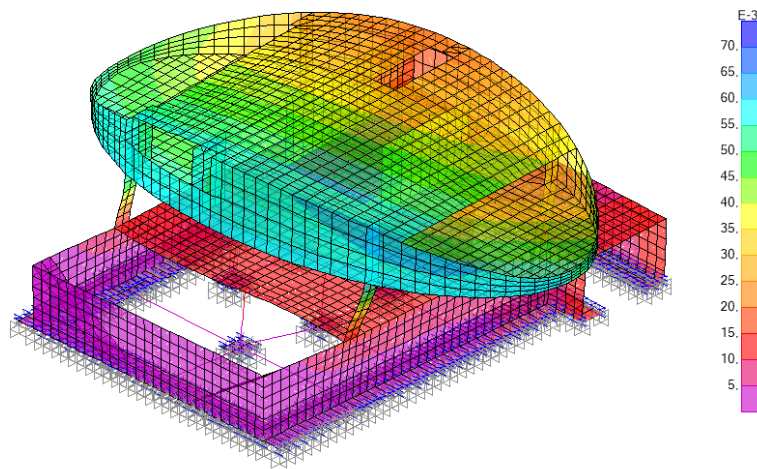


Figura 4.4.3.1-10. Ventana Load Combination Data. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

MODO 2 (vibración en eje y)  $T=0,30$   $f=3,22$

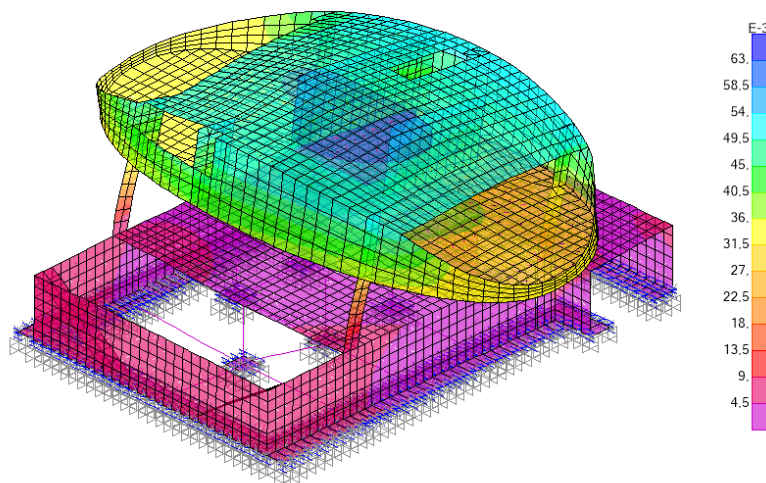


Figura 4.4.3.1-11. Ventana Load Combination Data. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

MODO 3 (vibración en eje z)  $T=0,19$   $f=5,04$

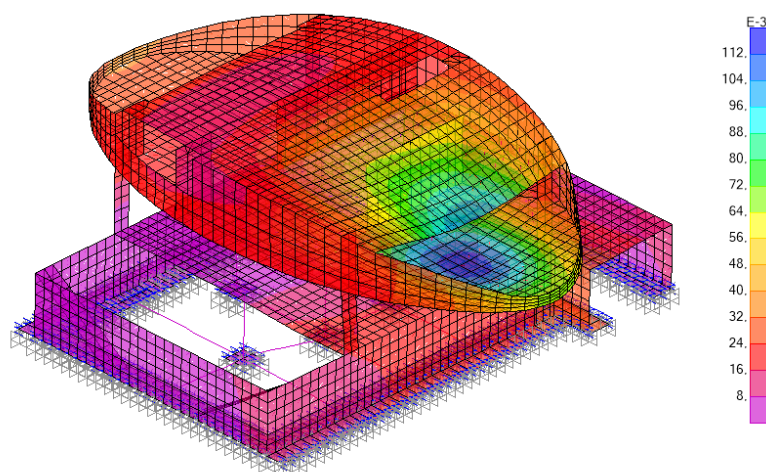


Figura 4.4.3.1-12. Ventana Load Combination Data. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.



SIMx (desplazamiento en eje x = 5,7mm )

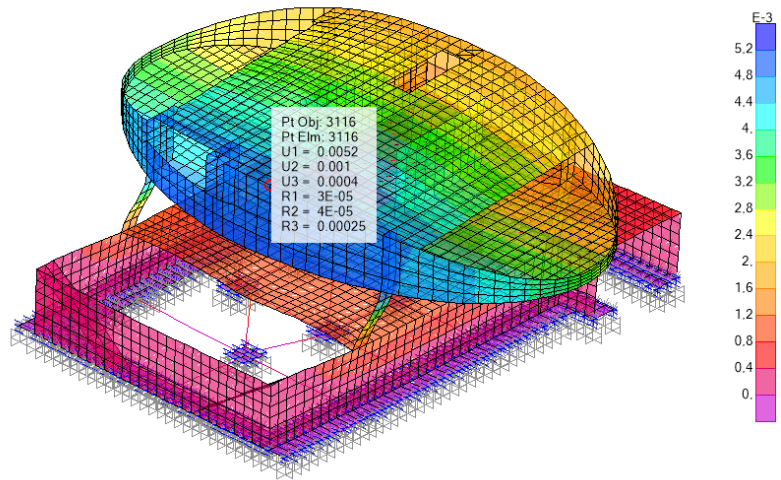


Figura 4.4.3.1-10. Ventana Load Combination Data. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

SIMy (desplazamiento en eje x = 2,8mm )

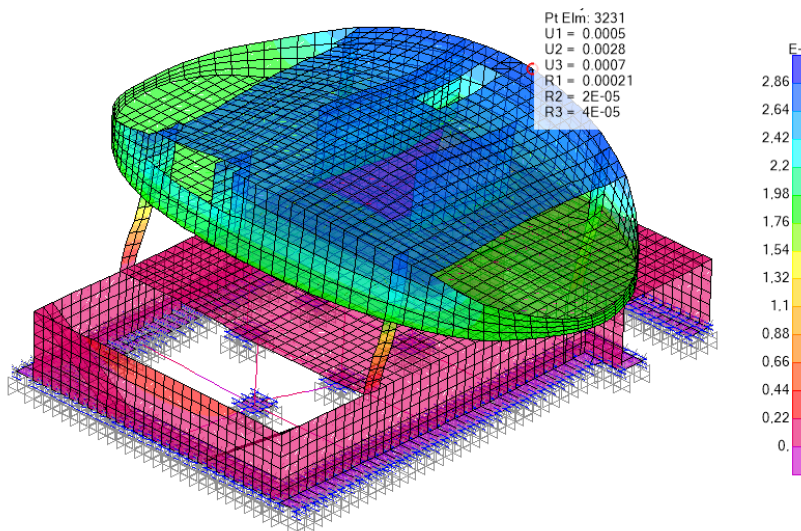


Figura 4.4.3.1-11. Ventana Load Combination Data. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

SIMz (desplazamiento en eje z = 1,5 mm )

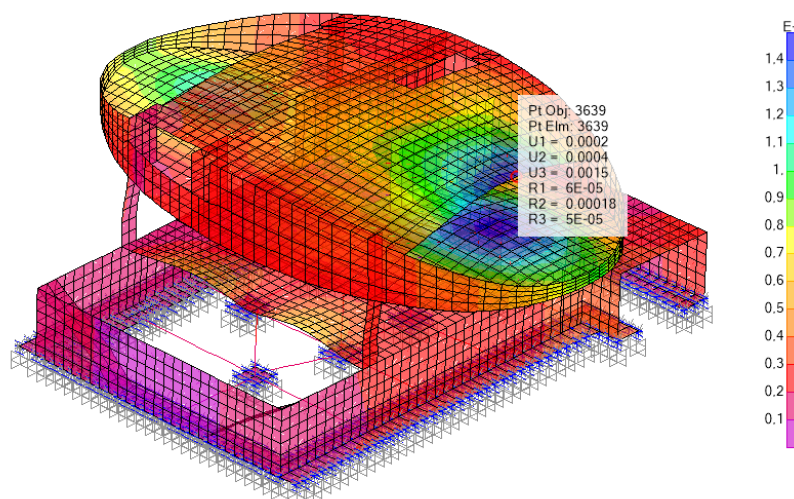


Figura 4.4.3.1-12. Ventana Load Combination Data. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Para que el cálculo se válido, el porcentaje de masa total movilizada debe ser del 90% por los menos. Para alcanzar esta cifra en el modo dinámico, se han tenido que realizar 260 modos de vibración diferente, una cifra bastante alta. Esto se debe a la estructura tan rígida que tenemos, ya que además de tener unos muros de cimentación bastante potentes, el terreno es bastante rígido.

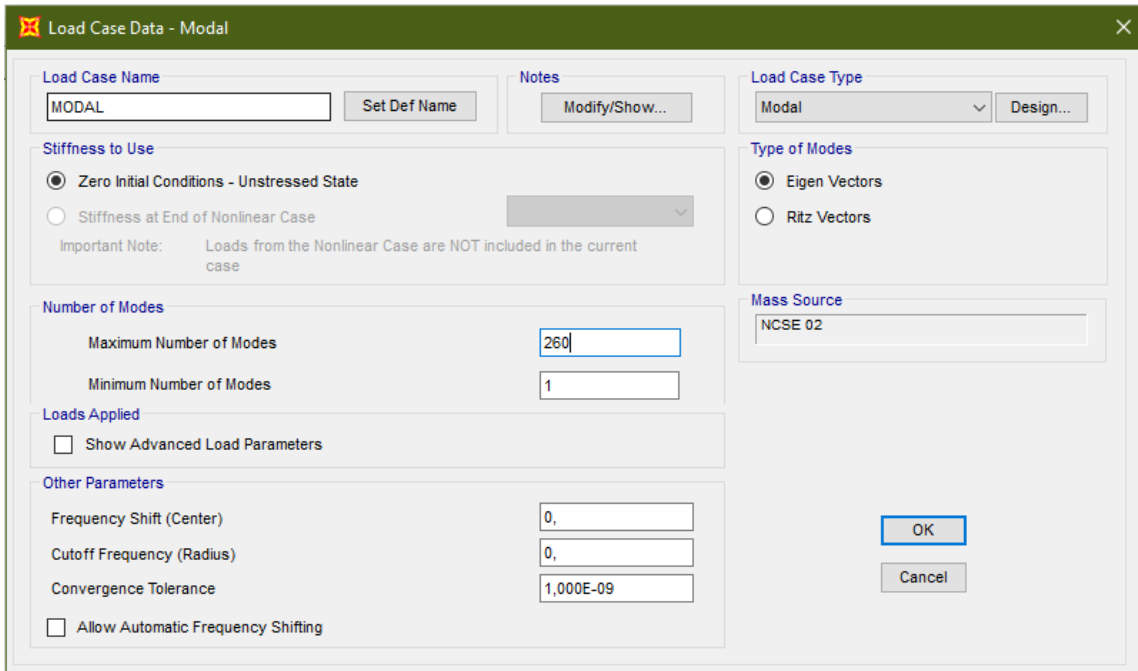


Figura 4.4.3.1-13. Ventana Load Combination Data. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Modal Load Participation Ratios					
File View Edit Format-Filter-Sort Select Options					
Units: As Noted					
Filter:					
	OutputCase	ItemType Text	Item Text	Static Percent	Dynamic Percent
▶	MODAL	Acceleration	UZ	100	99,9972
	MODAL	Acceleration	UX	99,9954	90,6969
	MODAL	Acceleration	UY	99,9914	90,1742

Figura 4.4.3.1-14. Ventana Modal Load Participation Ratios. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Cumplimos pues con los porcentajes mínimos de movilización de la masa tras calcular 260 modos de vibración diferentes.

### 4.4.4. ACCIONES SOBRE EL MODELO DE CÁLCULO SIMPLIFICADO

#### ACCIONES PERMANENTES (G)

#### CARGAS MUERTAS PERMANENTES (CMP)

PLANTA BAJA: falsos techos + instalaciones + tabiquería + solado= 3KN

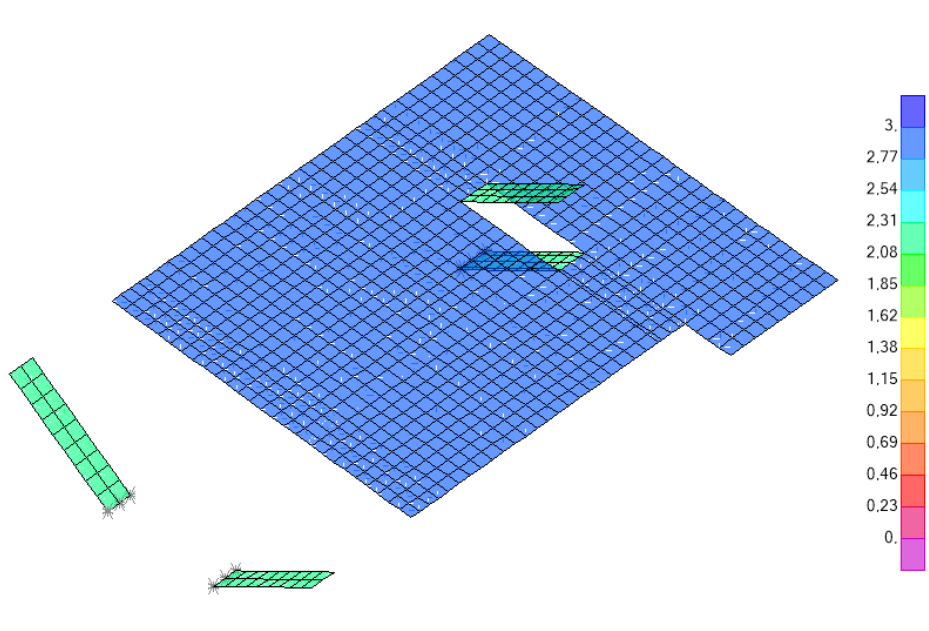


Figura 4.4.4.-1. CMP. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

PLANTA BAJA: cerramientos exteriores (9KN/m) + vidrios (3KN/m)

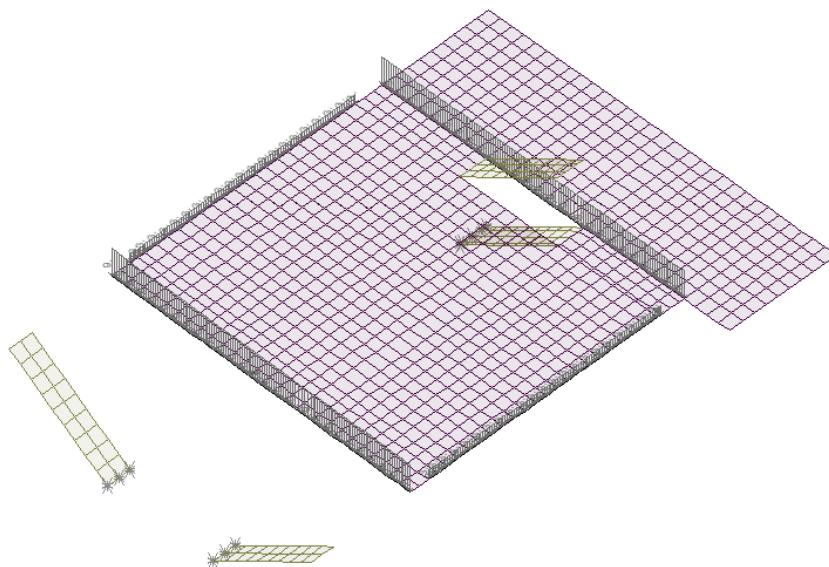


Figura 4.4.4.-2. CMP. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

PLANTA PRIMERA: falsos techos + instalaciones + tabiquería + solado = 3KN

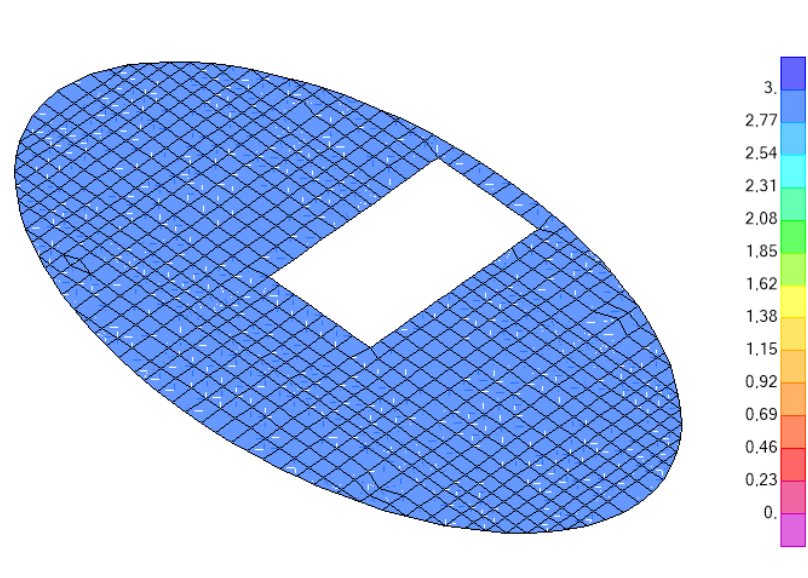


Figura 4.4.4.-3. CMP. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

PLANTA BAJA: vidrios (3KN/m)

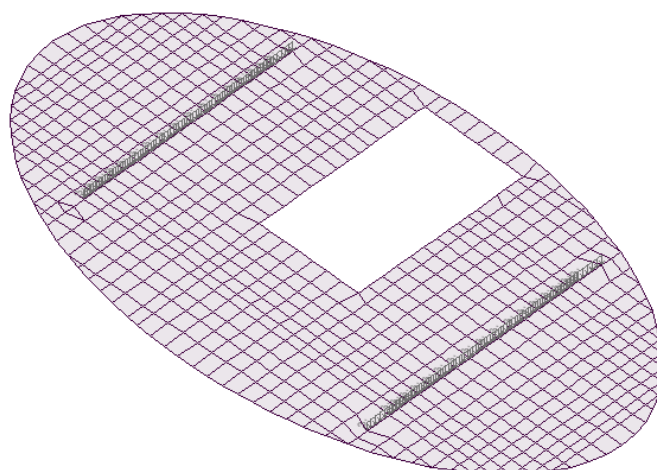


Figura 4.4.4.-4. CMP. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

PLANTA CUBIERTA: cubierta + falsos techos + instalaciones = 3KN

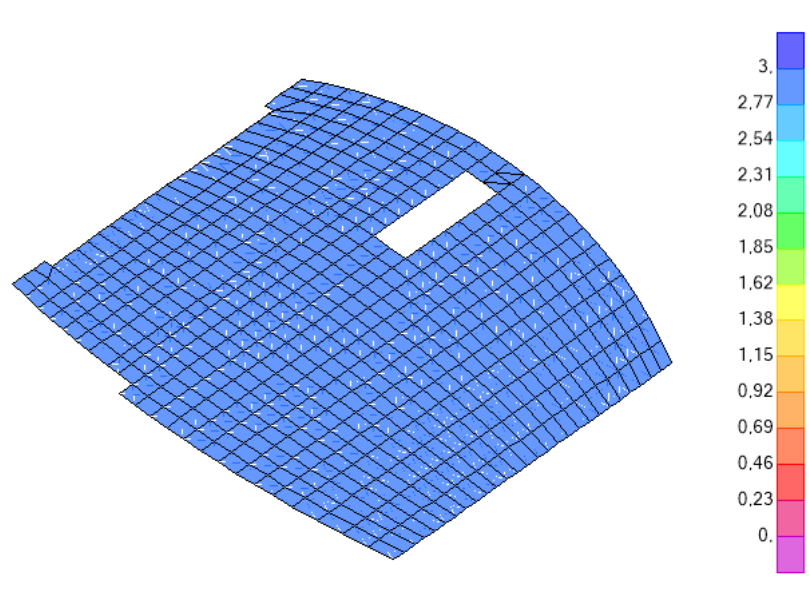


Figura 4.4.4.-5. CMP. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

### EMPUJES DEL TERRENO MUROS DE SÓTANO

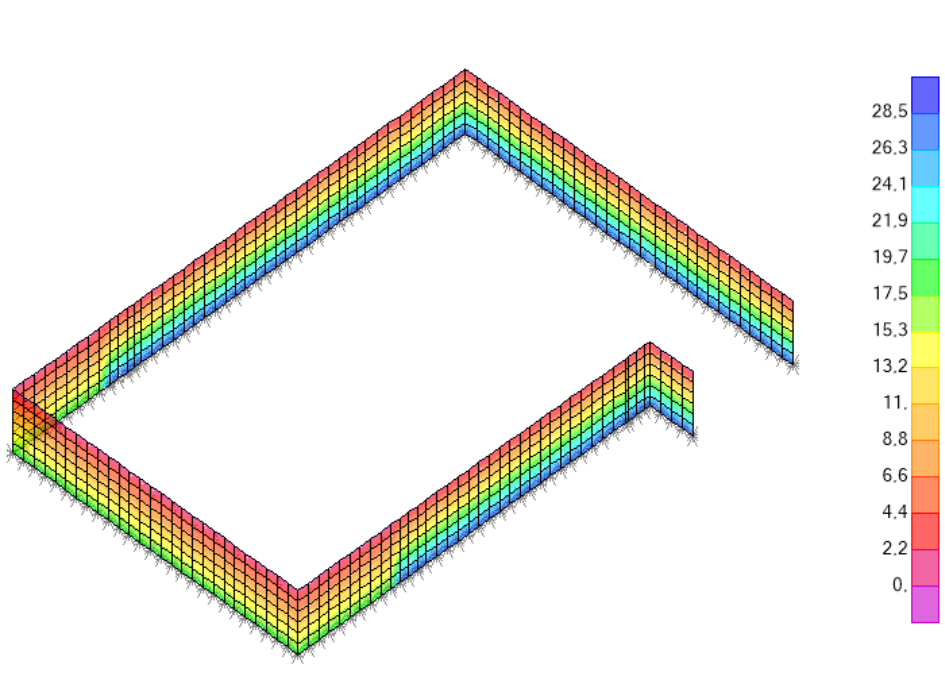


Figura 4.4.4.-6. CMP. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

**ACCIONES VARIABLES (Q)**  
**SOBRECARGA DE USO (SCU)**

PLANTA BAJA = losa forjado (2KN) + losa escalera (3KN)

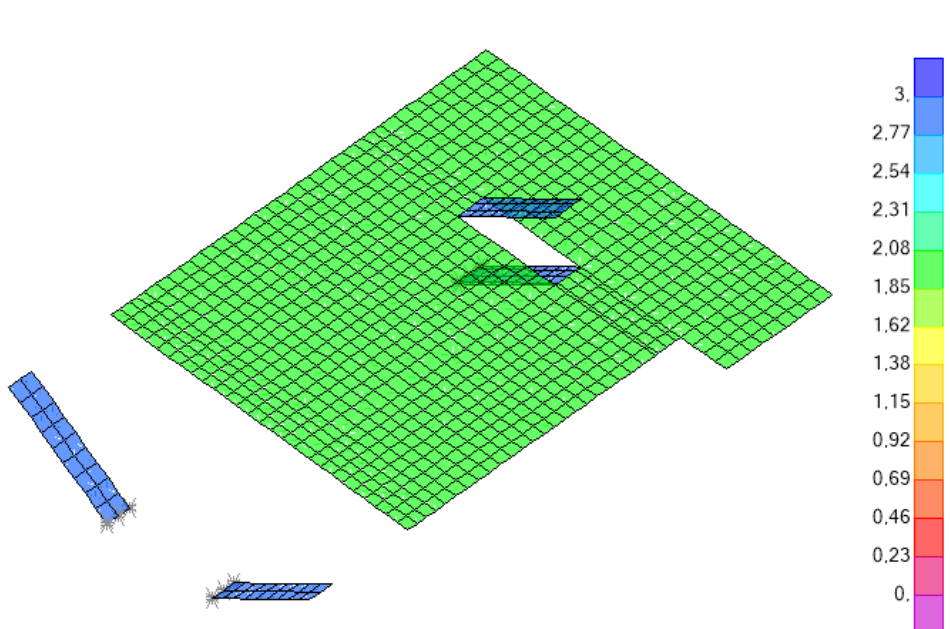


Figura 4.4.4.-7. SCU. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

PLANTA PRIMERA = losa forjado (2KN)

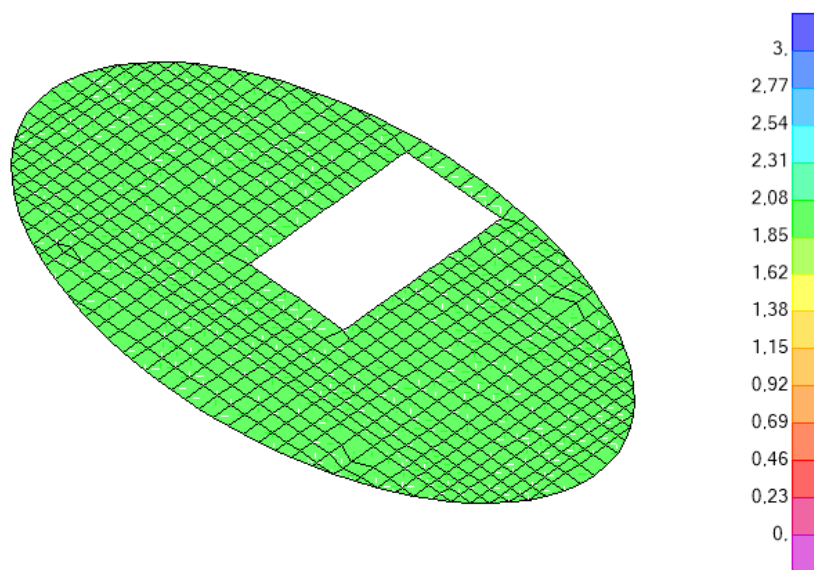


Figura 4.4.4.-8. SCU. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

PLANTA CUBIERTA: cubierta = 1KN

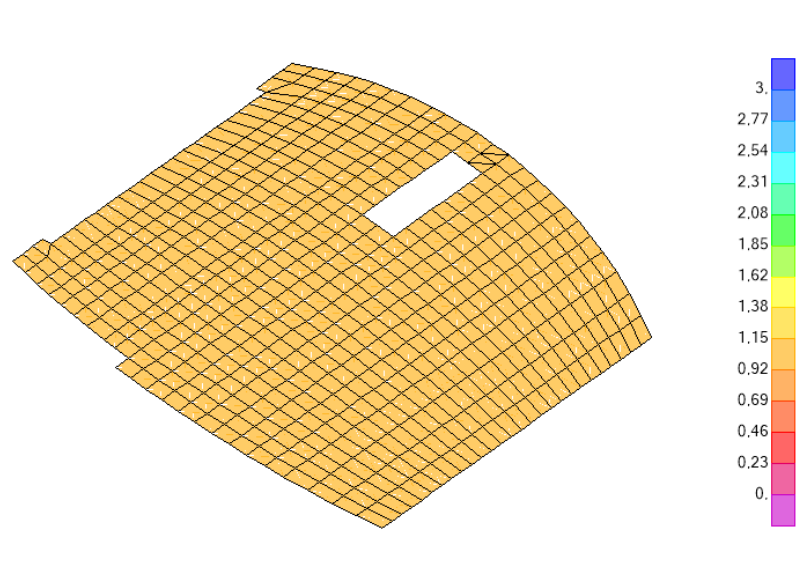


Figura 4.4.4.-9. SCU. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

### CARGA DE NIEVE (SCN)

PLANTA CUBIERTA = 0,2 KN

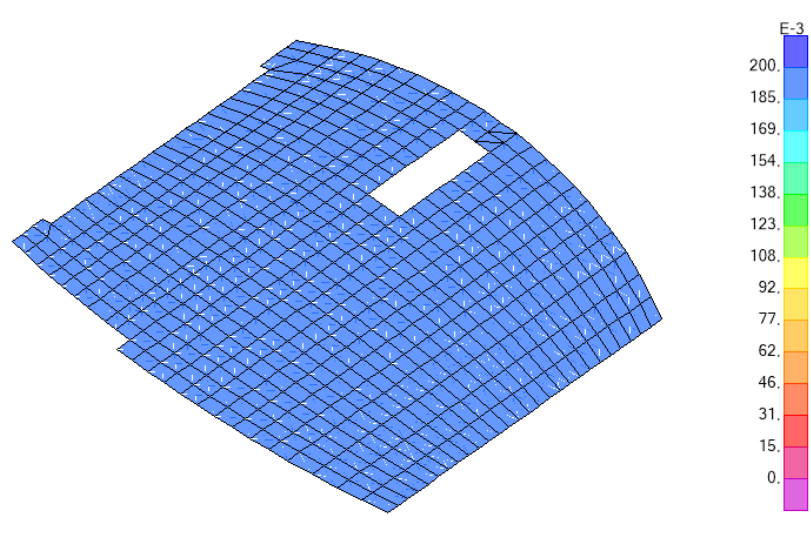


Figura 4.4.4.-10. SCN. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

PLANTA PRIMERA= 0,2KN

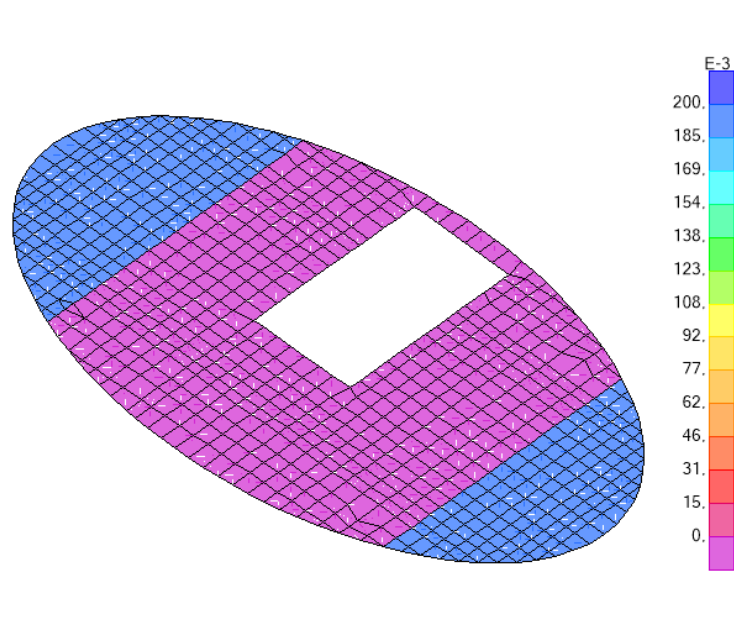


Figura 4.4.4.-11. SCN. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

**CARGA DE VIENTO (SCVx)(SCVy)**  
(SCVx) PRESIÓN + SUCCIÓN

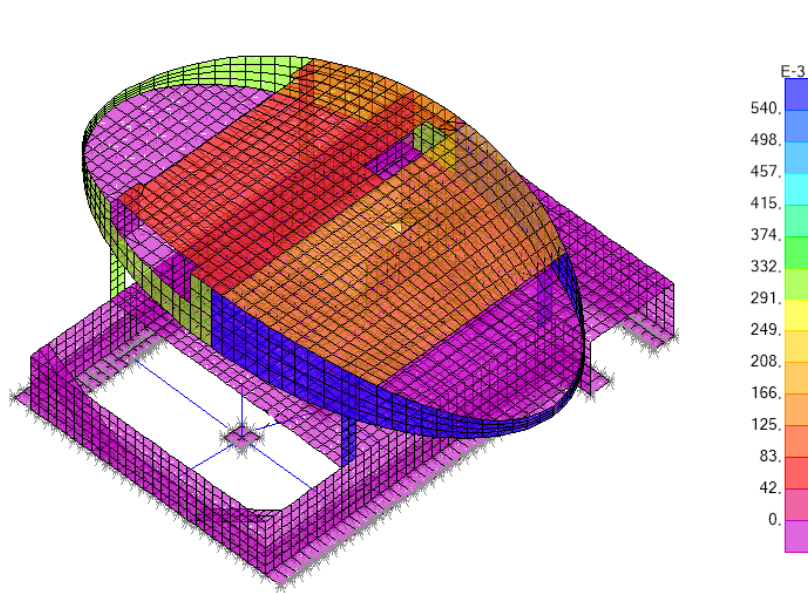


Figura 4.4.4.-12. SCVx. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.



(SCVy) PRESIÓN + SUCCIÓN

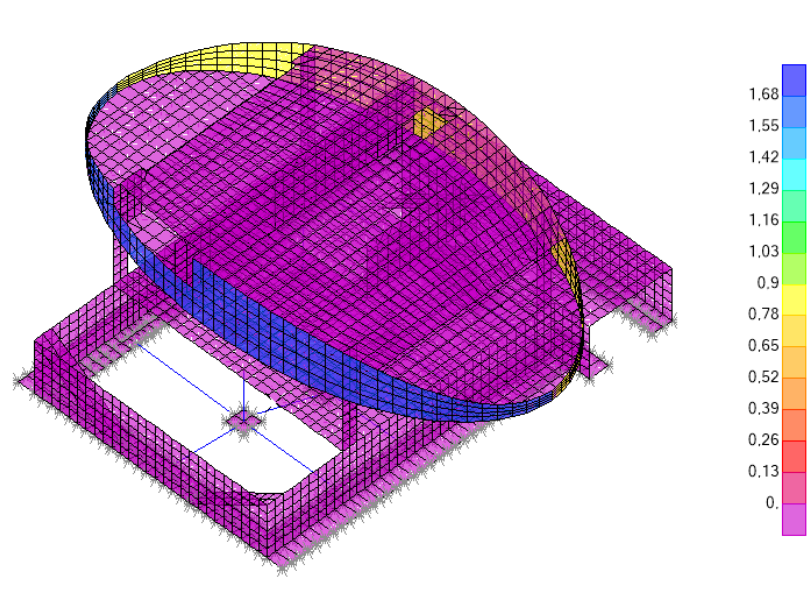


Figura 4.4.4.-13. SCVy. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

## 4.5 COMBINACIÓN DE ACCIONES

Se definen como acciones cualquier causa capaz de modificar el estado tensional de un elemento resistente. Su clasificación por su variación en el tiempo es:

- Permanentes (G): actúan siempre, en la misma posición, con valor constante -peso propio, equipamiento fijo, empujes del terreno- o no, que tiende lentamente a un valor límite.
- Variables (Q): pueden actuar o no-sobrecarga de uso, viento, nieve-
- Accidentales (A): la probabilidad de que se produzcan es pequeña pero de gran importancia-explosión, impacto de vehículos, sismo e incendio

Como se ha visto anteriormente, las acciones que se han asignado son las siguientes:

### ACCIONES PERMANENTES (G)

- Peso propio (DEAD)
- Cargas muertas permanentes (CMP)

### ACCIONES VARIABLES (Q)

- Sobrecarga de uso (SCU)
- Sobrecarga de nieve (SCN)
- Sobrecarga de viento (SCV)
  - SCVx +presión -succión
  - SCVy +presión -succión

La determinación de estos valores solo es inmediata en el caso del peso propio, a partir de la medición y las densidades de los materiales. Para establecerlos con criterios estadísticos se define como valor característico de una acción el que tiene probabilidad 0.05 de ser sobrepasado durante la ejecución y la vida útil de la estructura, se simboliza por el subíndice K. Para acciones variables, además se utilizan otros valores denominados representativos:

- Valor de combinación ( $\psi_0 \cdot Q_k$ ): al actuar varias acciones simultáneamente la probabilidad de que cada una adopte su valor más desfavorable es menor.
- Valor frecuente ( $\psi_1 \cdot Q_k$ ): el que adopta la acción durante la mayor parte de la vida útil de la estructura-solo es superado durante el 1% del tiempo de referencia-
- Valor casi permanente ( $\psi_2 \cdot Q_k$ ): el menor de los que adopta la acción durante una parte considerable de la vida útil de la estructura-es superado durante el 50% del tiempo de referencia, equivale a la parte de carga variable que tiene carácter permanente-

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

	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
<b>Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)</b>			
• 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
<b>Nieve</b>			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
<b>Viento</b>			
	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

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

Figura 4.5-1. Tabla 4.2 del DB-SE del Código Técnico de la Edificación. Fuente: Ministerio de Fomento, 2009

Para el cálculo de la estructura, las acciones se ponderan por unos coeficientes parciales de seguridad, dando lugar así al valor de cálculo designado por el subíndice d.

$$F_d = \gamma_F \cdot F_K$$

Para acciones variables esta expresión incluye también el factor de simultaneidad correspondiente. Los valores de  $\gamma_F$  se indican en la tabla 4.1 del CTE DB-SE.

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

Tipo de verificación (1)	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
<b>Resistencia</b>	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
<b>Estabilidad</b>		<b>desestabilizadora</b>	<b>estabilizadora</b>
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

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

Figura 4.5-2. Tabla 4.1 del DB-SE del Código Técnico de la Edificación. Fuente: Ministerio de Fomento, 2009

El cálculo consiste en verificar que no se supera ningún estado límite relevante en las posibles situaciones a las que puede estar sometida la estructura. Por tanto, se deben considerar:

- Estados límite últimos (ELU): asociados al colapso u otra forma de fallo estructural que pueda poner en peligro la seguridad de las personas.
- Estados límite de servicio (ELS): si se sobrepasan estos valores, dejan de cumplirse los criterios que aseguran el correcto funcionamiento de la estructura.

### 4.5.1 ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO (ELS)

COMBINACIÓN CARACTERÍSTICA

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

COMBINACIÓN FRECUENTE

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

COMBINACIÓN CASI PERMANENTE

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

Donde:

Consideradas únicamente las acciones permanentes  $G$   $G_{k,j}$

$$ELSp = 1 \cdot G$$

Combinación de acciones casi permanentes, cuyos efectos son de larga duración

$$G_{k,j} + \psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}$$

$$ELSqpu = 1 \cdot G + 1 \cdot 0,3 \cdot SCU$$

Se consideran las acciones variables  $Q$  por separado  $G_{k,j} + Q_{k,1}$

$$ELSu = 1 \cdot G + 1 \cdot SCU$$

$$ELSVx+ = 1 \cdot G + 1 \cdot SCVx$$

$$ELSVx- = 1 \cdot G - 1 \cdot SCVx$$

$$ELSVy+ = 1 \cdot G + 1 \cdot SCVy$$

$$ELSVy- = 1 \cdot G - 1 \cdot SCVy$$

$$ELSn = 1 \cdot G + 1 \cdot SCN$$

### 4.5.2 ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS (ELU)

COMBINACIÓN CARACTERÍSTICA

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

Consideradas únicamente las acciones permanentes G  
 ELUp 1'35 · G

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}$$

Se consideran las acciones variables Q por separado

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}$$

- ELUu 1'35 · G + 1'5 · SCU
- ELUn 1'35 · G + 1'5 · SCN
- ELUvx+ 1'35 · G + 1'5 · SCVx
- ELUvx- 1'35 · G - 1'5 · SCVx
- ELUvy+ 1'35 · G + 1'5 · SCVy
- ELUvy- 1'35 · G - 1'5 · SCVy

Combinación de acciones casi permanentes, cuyos efectos son de larga duración

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}$$

$$ELUqpu = 1,35 \cdot G + 1,50 \cdot 0,3 \cdot SCU$$

Combinación para situaciones persistentes o transitorias. Siendo Q<sub>k,1</sub> la acción variable

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

Variable principal: uso

- ELUunvx+ 1'35 · G + 1'5 · SCU + 1'5 · 0'5 · SCN + 1'5 · 0'6 · SCVx
- ELUunvx- 1'35 · G + 1'5 · SCU + 1'5 · 0'5 · SCN - 1'5 · 0'6 · SCVx
- ELUunvy+ 1'35 · G + 1'5 · SCU + 1'5 · 0'5 · SCN + 1'5 · 0'6 · SCVy
- ELUunvy- 1'35 · G + 1'5 · SCU + 1'5 · 0'5 · SCN - 1'5 · 0'6 · SCVy

Variable principal: nieve

- ELUnuvx+ 1'35 · G + 1'5 · SCN + 1'5 · 0'7 · SCU + 1'5 · 0'6 · SCVx
- ELUnuvx- 1'35 · G + 1'5 · SCN + 1'5 · 0'7 · SCU - 1'5 · 0'6 · SCVx
- ELUnuvy+ 1'35 · G + 1'5 · SCN + 1'5 · 0'7 · SCU + 1'5 · 0'6 · SCVy
- ELUnuvy- 1'35 · G + 1'5 · SCN + 1'5 · 0'7 · SCU - 1'5 · 0'6 · SCVy

Variable principal: viento

$$ELU_{vx+un} = 1'35 \cdot G + 1'5 \cdot SCV_x + 1'5 \cdot 0'7 \cdot SCU + 1'5 \cdot 0'5 \cdot SCN$$

$$ELU_{vx-un} = 1'35 \cdot G - 1'5 \cdot SCV_x + 1'5 \cdot 0'7 \cdot SCU + 1'5 \cdot 0'5 \cdot SCN$$

$$ELU_{vy+un} = 1'35 \cdot G + 1'5 \cdot SCV_y + 1'5 \cdot 0'7 \cdot SCU + 1'5 \cdot 0'5 \cdot SCN$$

$$ELU_{vy-un} = 1'35 \cdot G - 1'5 \cdot SCV_y + 1'5 \cdot 0'7 \cdot SCU + 1'5 \cdot 0'5 \cdot SCN$$

### 4.5.3 INSERCIÓN DE COMBINACIONES EN SAP2000

Para la inserción de las diferentes combinaciones en SAP2000, se deben definir en un primer momento las hipótesis de carga según el tipo de acción. Esta opción la encontraremos en Define ..... Load Patterns. Seguidamente, para el cálculo lineal de la estructura se deben introducir todas las combinaciones anteriormente definidas a través de la opción Define... Load Combinations.

A continuación, se exponen los diferentes cuadros de diálogo de las diferentes hipótesis de cargas establecidas, las combinaciones para ELS y para ELU, y un ejemplo de la definición de una de las hipótesis.

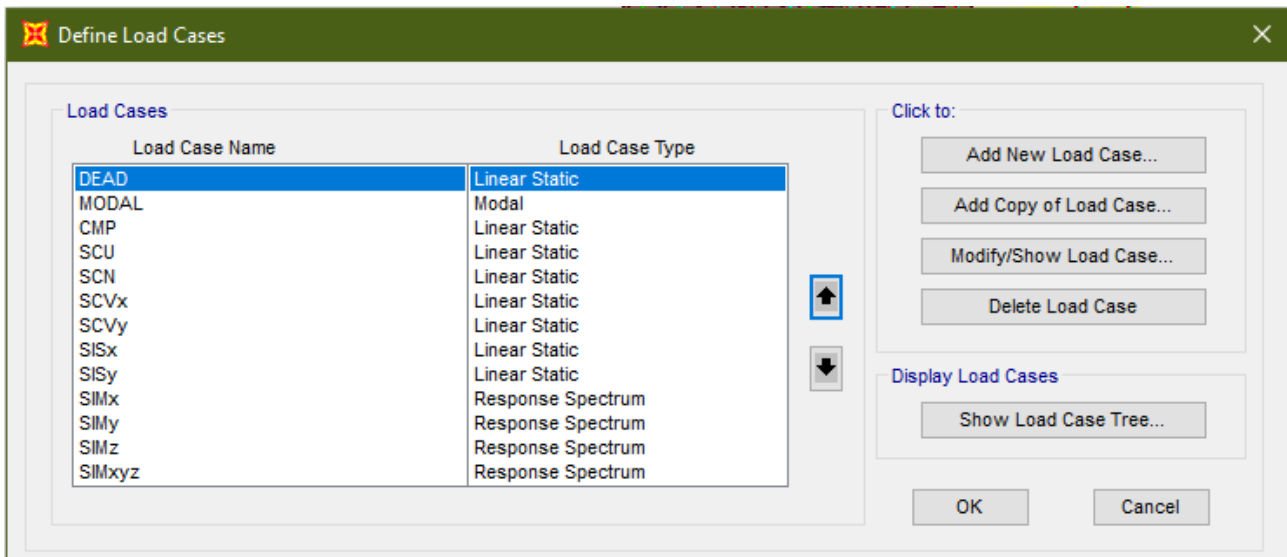


Figura 4.5.3-1. Hipótesis de carga definidas para el modelo de cálculo. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

Aunque aparecen las combinaciones de sismo en el listado (ELUsix+, ELUsix-, ELUsisy+ y ELUsisy-), las acciones accidentales no se han tenido en cuenta para el cálculo del modelo.

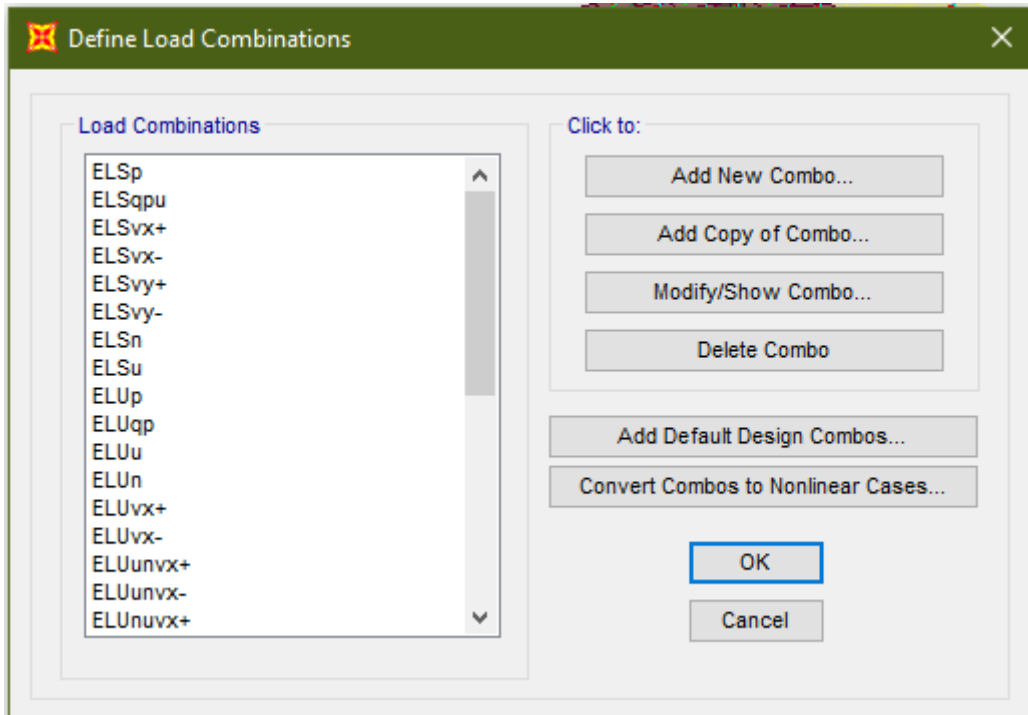


Figura 4.5.3-2. Combinaciones de acciones. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

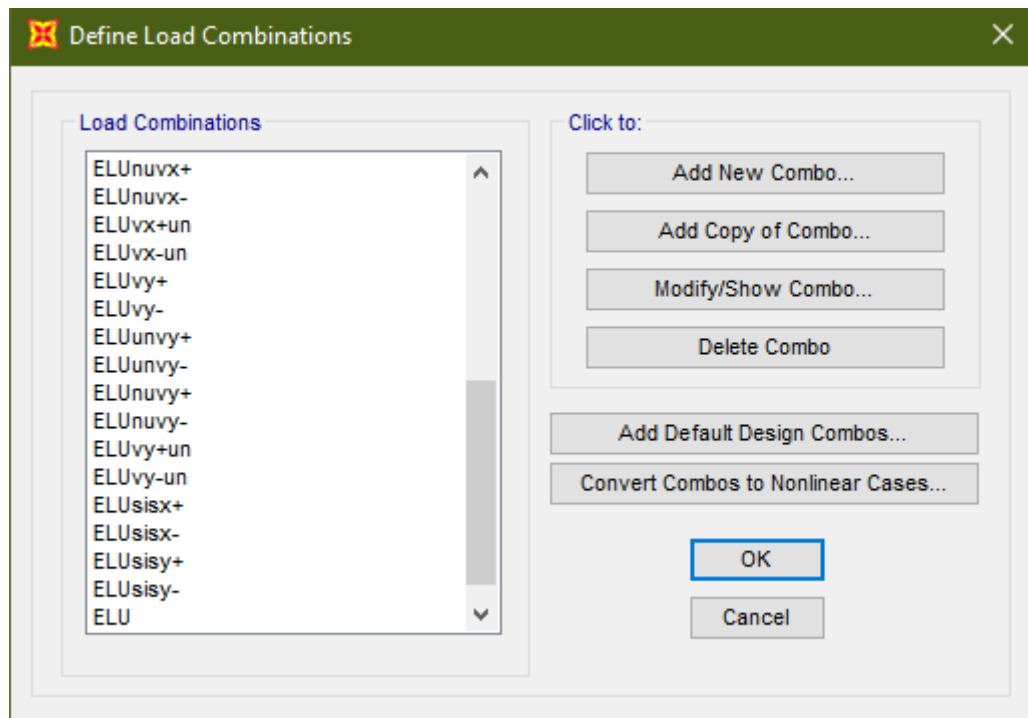


Figura 4.5.3-3. Combinaciones de acciones. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000





## 5. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 5.1 COMBINACIÓN ELS - FLECHA -

Como se indica en el Código Técnico de la Edificación, concretamente en el Documento Básico de Seguridad Estructural (DB-SE), en el punto 3.2, el estado límite de servicio supone, de ser superado, una situación en la que el confort y el bienestar de las personas físicas se ve afectado de forma negativa, así como a la integridad constructiva y a la apariencia de la construcción.

Se deberán comprobar 3 situaciones diferentes:

1. DEFORMACIONES VERTICALES
2. DEFORMACIONES HORIZONTALES
3. VIBRACIONES

#### 5.1.1. DEFORMACIONES VERTICALES

Cuando hablamos de las deformaciones verticales esencialmente estamos hablando de la flecha de los elementos constructivos producida tanto por las acciones permanentes como las variables.

Así pues, se realizarán 3 controles por cada elemento estructural que decidamos analizar:

##### A) INTEGRIDAD CONSTRUCTIVA

Se trata de asegurar la suficiente rigidez para que no se produzcan daños en los elementos constructivos tales como tabiques.

##### B) CONFORT DE LOS USUARIOS

Se trata de asegurar la suficiente rigidez para que no se produzcan vibraciones en los forjados que puedan crear inseguridad a los usuarios.

##### C) APARIENCIA DE LA OBRA

Se trata de asegurar la suficiente rigidez para que visualmente no se aprecien las deformaciones de los forjados.

Es de vital consideración, a la hora de interpretar resultados en SAP2000, el hecho de tratarse de una construcción de hormigón armado, ya que SAP2000 tan solo nos proporcionará la deformada resultante del cálculo elástico y lineal, o lo que es lo mismo, tan solo obtendremos los resultados de la flecha instantánea (elástica).

Por tanto, habrá que considerar e incorporar a los resultados la flecha diferida. El hecho de tratarse de una sección mixta, implica una diferencia de comportamiento entre el acero y el hormigón, ya que el acero no tiene fluencia y el hormigón sí, es decir, esta característica adicional del hormigón implica que bajo el mismo estado de cargas su deformación no se mantiene constante, sino que va aumentando con el tiempo.

Existen múltiples factores que afectan a esta flecha diferida, como son las armaduras, el la edad de descimbrado, la relación entre el peso propio y la sobrecarga de uso, etc, infinidad de circunstancias que complican su cálculo. Es por ello que en el EHE-08 se proporcionan una serie de fórmulas que simplifican este cálculo, sin embargo tan sólo son válidas para secciones rectangulares de hormigón, por lo que no son de aplicación en este proyecto.

Para poder calcular la flecha diferida de una construcción con losas de hormigón armado se puede aplicar la simplificación que dice que la flecha final es 3 veces la flecha elástica instantánea (flecha que nos proporciona SAP2000). Sin embargo, este factor de 3 no es demasiado preciso, pues en algunos casos podría tratarse de un valor superior. Es por esto que en vez de utilizar este método, comprobaré la flecha total a través de unas tablas Excel, proporcionadas por David Gallardo, en las que se tiene en consideración:

- Resistencia característica del hormigón: **fck(j)** = 30 [N/mm<sup>2</sup>]
- Límite elástico característico del acero: **fyk** = 500 [N/mm<sup>2</sup>]
- Cálculo por un metro de ancho de la losa: **B** = 1000 [mm<sup>2</sup>]
- Canto de la losa: **H** = 200 ó 250 según forjado [mm<sup>2</sup>]
- Recubrimiento mecánico: **C** (según armaduras)
- Luz del vano a analizar: **L** (según vano)
- Flecha límite establecida: **flim1**= 1/500
- Peso propio de la losa de hormigón por m<sup>2</sup>: **G0** = 5 [kN/m<sup>2</sup>]
- Cargas muertas permanentes de solado y tabiquería: **G1** = 2,5 [kN/m<sup>2</sup>]
- Cargas muertas permanentes de falsos techos e instalaciones: **G2** = 0,5 [kN/m<sup>2</sup>]
- Sobrecarga de uso: **Q** = 2 ó 1,2 en cubierta [kN/m<sup>2</sup>]
- El factor cuasipermanente: **psi2Q** (Tabla 4.2 DB-SE zona residencial  $\psi_2=0,3$ )
- La flecha instantánea elástica (proporcionada por SAP2000): **fELS (G+Q)**
- Edad de descimbrado: **T0** = 4 semanas
- Edad de ejecución tabiquería: **T1** = 8 semanas
- Edad de ejecución del resto de cargas muertas permanentes: **T2** = 8 semanas
- Edad a la que se alcanza la cuasipermanente de uso: **TQ2** = 260 semanas
- Armadura superior + inferior y el momento del extremo más solicitado
- Armadura superior + inferior y el momento del centro de vano
- Armadura superior + inferior y el momento del extremo menos solicitado

A continuación procedemos a visualizar la deformada de la estructura en la combinación de cargas ELSu, la cual contiene el 100% de las cargas muertas permanentes, el peso propio y la carga de uso, todos estos valores sin mayorar, de forma que se proporciona una deformada lo más cercana a la realidad posible.

De este modo podemos apreciar que los puntos visualmente más desfavorables se encuentran en el forjado de la planta superior.

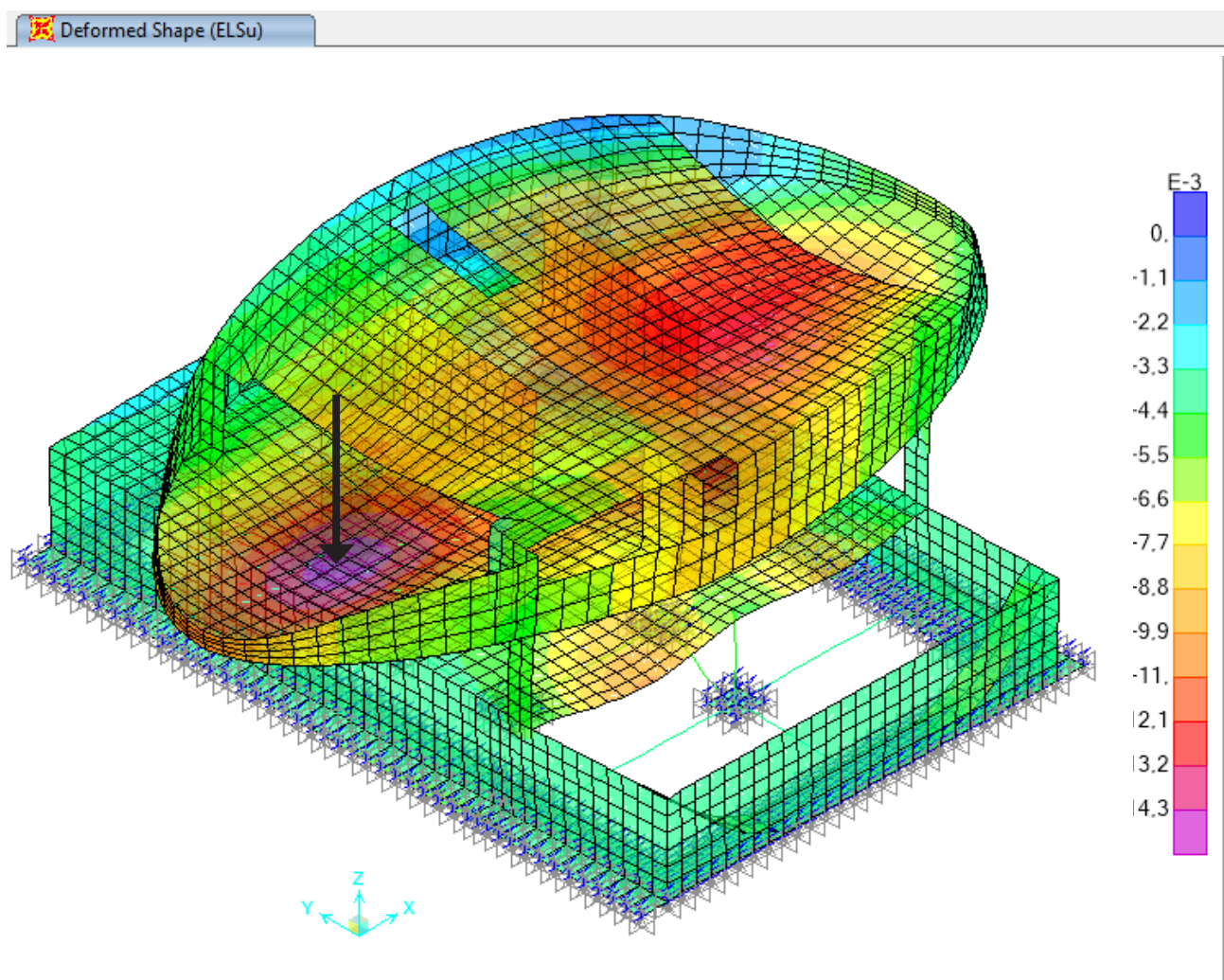


Figura 5.1.1-1. Deformada de la estructura. Combinación ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

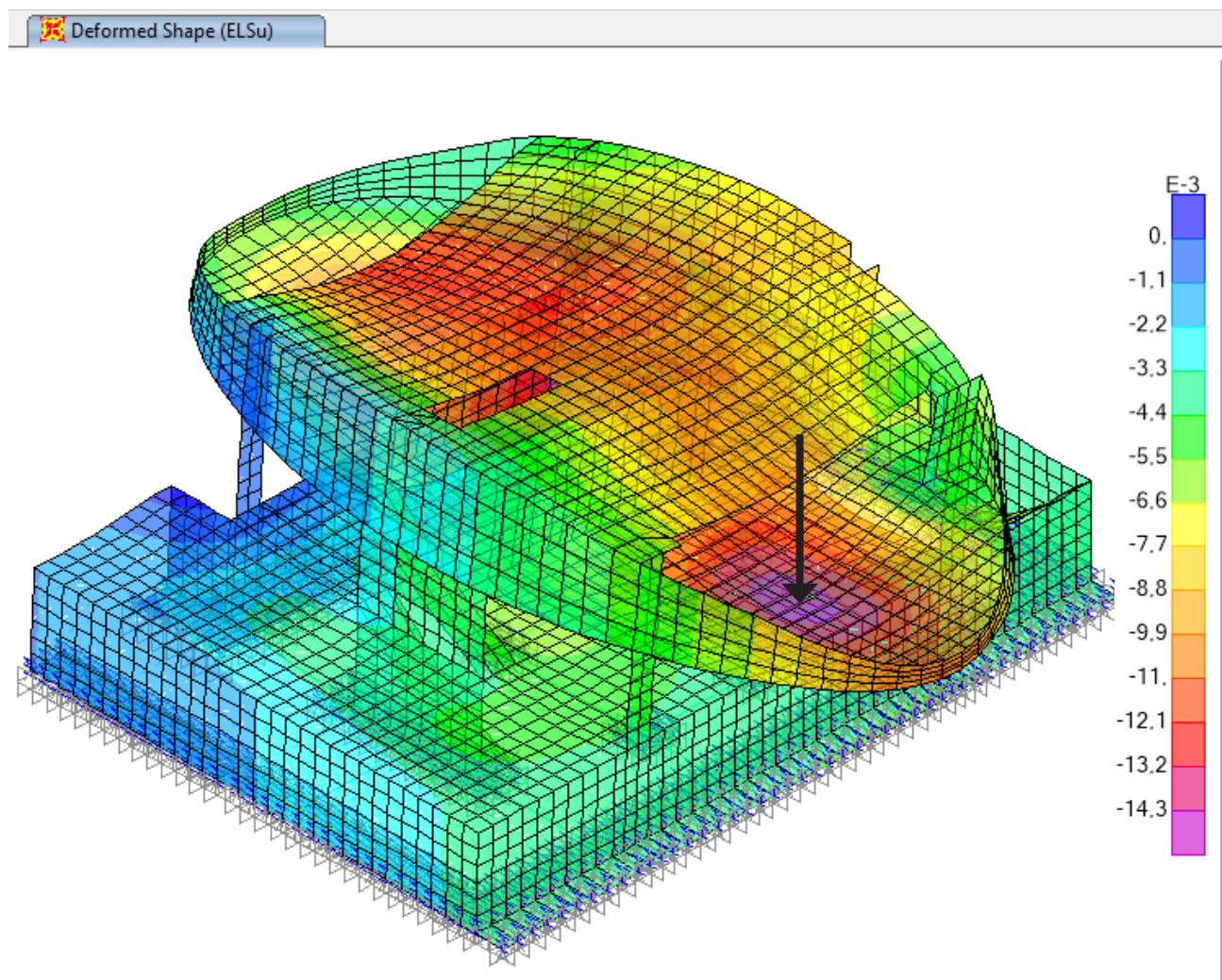


Figura 5.1.1-2. Deformada de la estructura. Combinación ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

Se realizará pues la comprobación a flecha de ambos puntos conflictivos.

Se aísla el forjado de la planta superior para determinar los elementos finitos que vamos a estudiar a través de la información que nos proporciona la deformada.

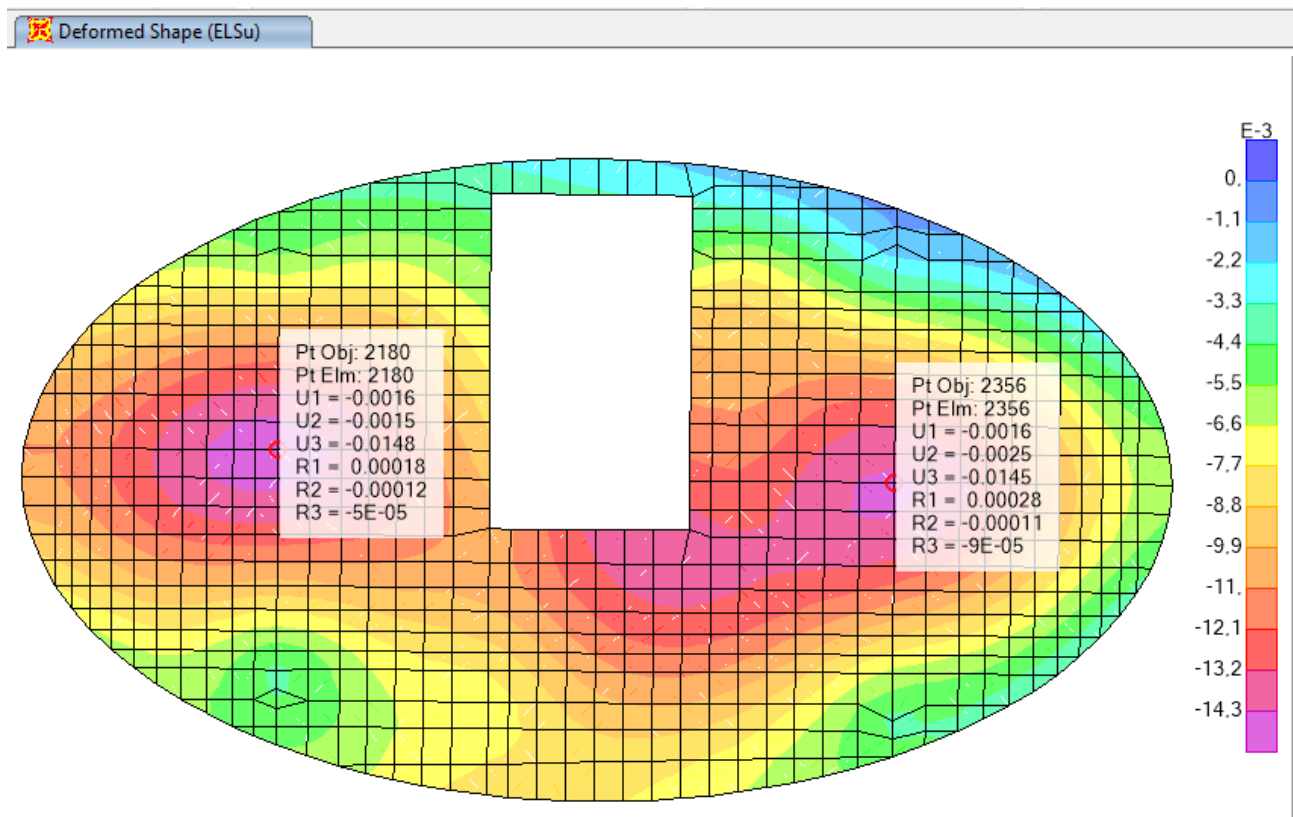


Figura 5.1.1-3. Deformada del forjado de planta primera. Combinación ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

A continuación, procedemos a comprobar los diferentes momentos producidos en los elementos finitos correspondientes al centro de vano y extremos, a partir de los resultados que nos proporciona el panel “Display Shell Stresses”, en el que se selecciona, según los ejes locales establecidos en el forjado, los momentos y esfuerzos que queremos visualizar. En esta caso particular, puesto que el eje paralelo a la longitud del vano es el eje 2 (eje paralelo a la pendiente) se han seleccionado los momentos en la dirección 22 (M22) junto a la combinación de cargas ELSu.

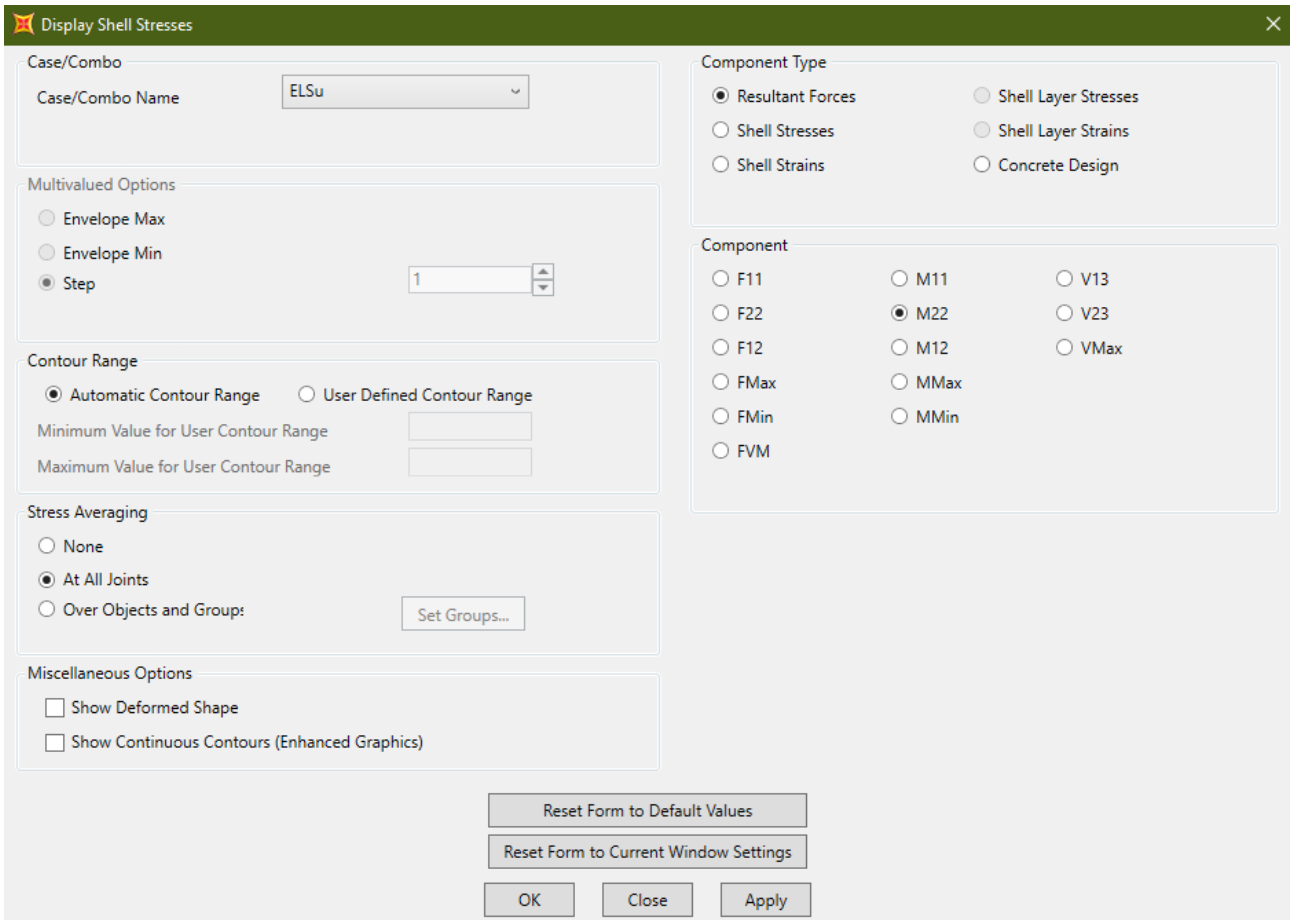


Figura 5.1.1-4. Momentos dirección eje local 22. Combinación ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

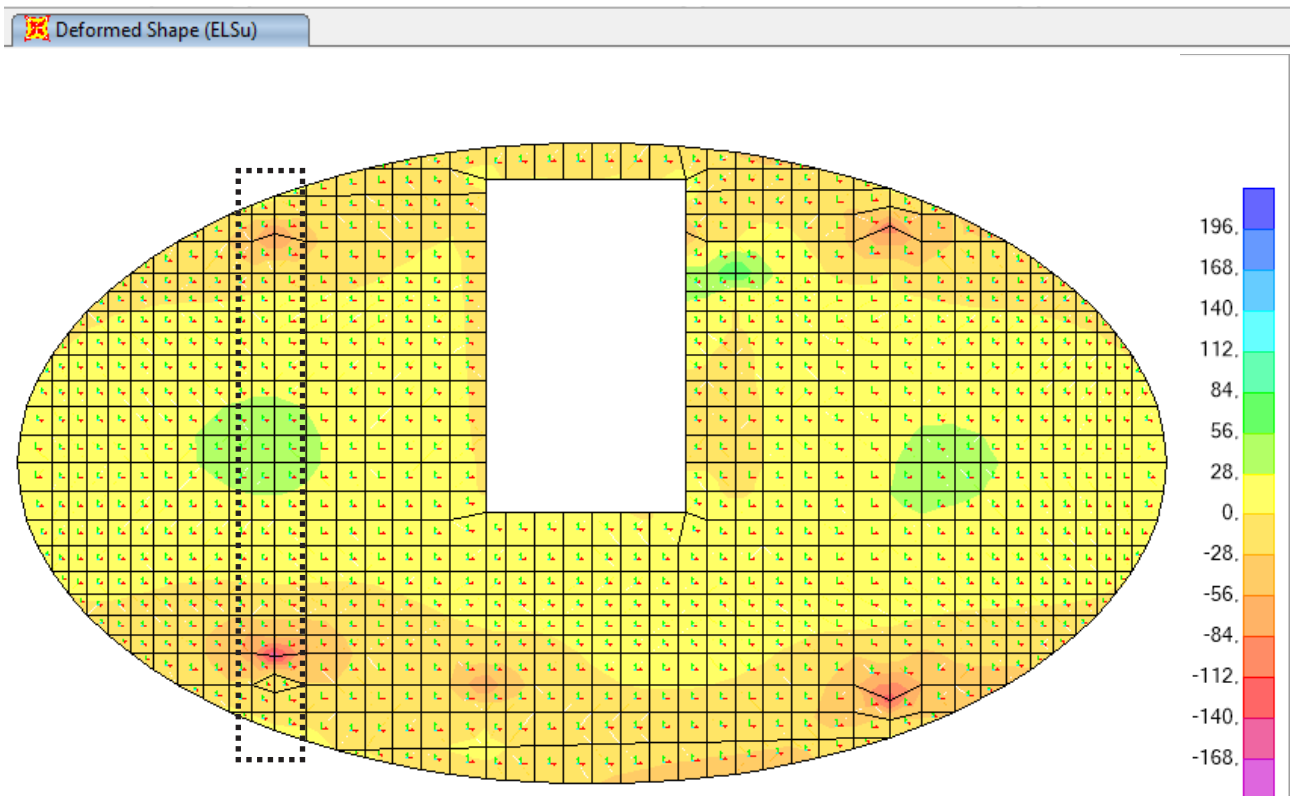


Figura 5.1.1-5. Momentos del forjado de planta primera. Combinación ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

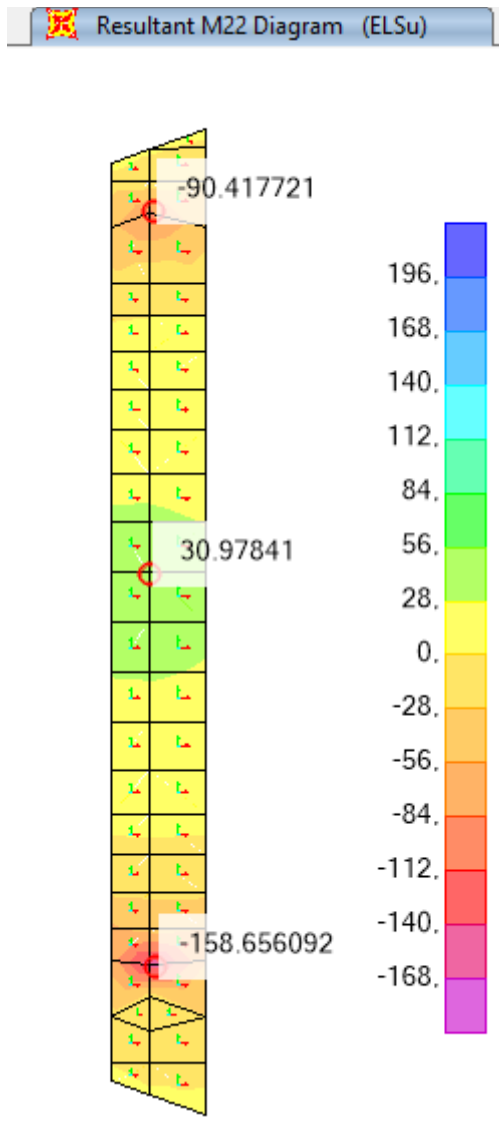


Figura 5.1.1-6. Momentos más desfavorables del forjado de planta primera. Combinación ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

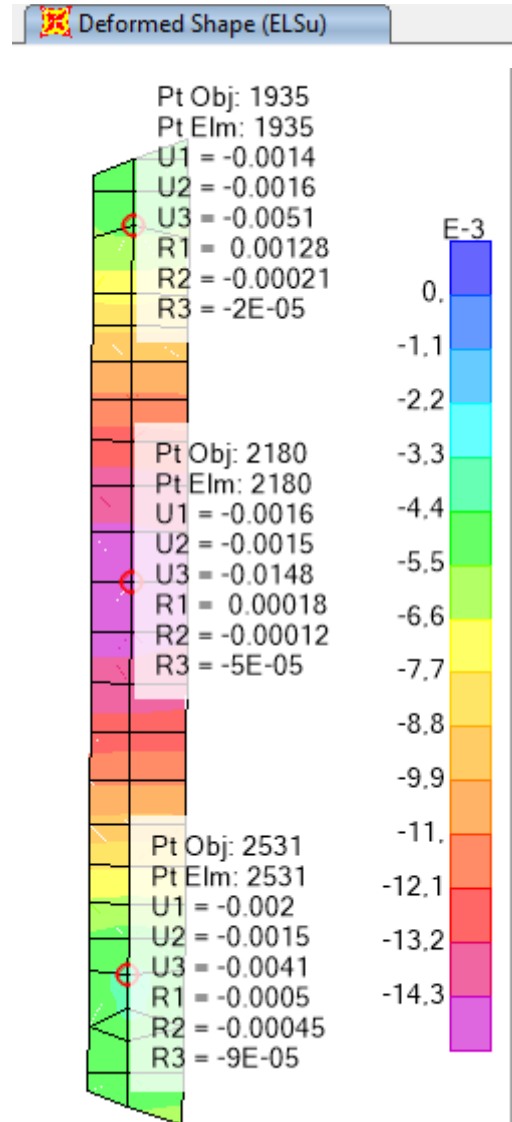


Figura 5.1.1-7. Deformada en los puntos más desfavorables del forjado de planta primera. Combinación ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

De la deformada obtenemos la flecha instantánea elástica (U3), sin embargo, este valor hace referencia a la flecha total en un punto, donde se suman todos los movimientos en el eje z que ha sufrido la estructura. Por tanto, para poder obtener la flecha neta deberemos restar al desplazamiento U3 en centro de vano la media de los desplazamientos en sus extremos:

$$\text{Flecha neta instantánea elástica} = 14,8 - (5,1 + 4,1) / 2 = 10,2 \text{ mm}$$

Por otro lado, se han obtenido los diámetros de las armaduras a partir de los planos facilitados de la estructura.

Una vez tenemos todos estos datos, procedemos a introducirlos en la tabla excel.

EXTREMO MAS SOLICITADO			CENTRO DE VANO			EXTREMO MENOS SOLICITADO		
ARMADURA SUPERIOR (TRACC.)			ARMADURA SUPERIOR (COMP.)			ARMADURA SUPERIOR (TRACC.)		
Nc	10	[]	Nc	5	[]	Nc	10	[]
Øc	16	[mm]	Øc	16	[mm]	Øc	16	[mm]
Area	2.010,62	[mm <sup>2</sup> ]	Area	1.005,31	[mm <sup>2</sup> ]	Area	2.010,62	[mm <sup>2</sup> ]
rho	9,71E-03	[]	rho	4,86E-03	[]	rho	9,71E-03	[]
ARMADURA INFERIOR (COMP.)			ARMADURA INFERIOR (TRACC.)			ARMADURA INFERIOR (COMP.)		
Nc	5	[]	Nc	10	[]	Nc	5	[]
Øc	16	[mm]	Øc	16	[mm]	Øc	16	[mm]
Area	1.005,31	[mm <sup>2</sup> ]	Area	2.010,62	[mm <sup>2</sup> ]	Area	1.005,31	[mm <sup>2</sup> ]
rho	4,86E-03	[]	rho	9,71E-03	[]	rho	4,86E-03	[]
Ma (ELS=G+Q)	-158,650	[kNm]	Ma (ELS=G+Q)	31,000	[kNm]	Ma (ELS=G+Q)	-90,500	[kNm]
Xprof	61,82	[mm]	Xprof	61,82	[mm]	Xprof	61,82	[mm]
Ifis	377.836.909,04	[mm <sup>4</sup> ]	Ifis	377.836.909,04	[mm <sup>4</sup> ]	Ifis	377.836.909,04	[mm <sup>4</sup> ]
Ieq	360.653.335,99	[mm <sup>4</sup> ]	Ieq	1.302.083.333,33	[mm <sup>4</sup> ]	Ieq	285.263.135,89	[mm <sup>4</sup> ]
fELS G0	5,1	[mm]	factor f dif G0	1,30	[]	factor fis 0	2,09863	[]
fELS G1	2,55	[mm]	factor f dif G1	1,15	[]	factor fis 1	1,68028	[]
fELS G2	0,51	[mm]	factor f dif G2	1,15	[]	factor fis 2	1,65582	[]
fELS Q	2,04	[mm]	factor f dif Q	0,00	[]	factor fis Q	1,60252	[]

B	1000	[mm]	W bruto (H)	6.666.666,67	[mm <sup>3</sup> ]
H	200	[mm]	I bruta (H)	666.666.666,67	[mm <sup>4</sup> ]
C	43	[mm]	A bruta (D)	157.000,00	[mm <sup>2</sup> ]
L	11560	[mm]	D	157	[mm]
flim1	500	[L]	Mfis	27,86	[kNm]
G0	5	[kN/m <sup>2</sup> ]	DEAD (peso propio forjado estructural)		
G1	2,5	[kN/m <sup>2</sup> ]	CMP* (CMP hasta tabiquería inclusive)		
G2	0,5	[kN/m <sup>2</sup> ]	Resto de CMP (falsos techos, ...)		
Q	2	[kN/m <sup>2</sup> ]	Sobrecarga de uso		
psi2 Q	0,3	[]	Factor cuasipermanente uso ψ2		
fELS (G+Q)	10,2	[mm]	Flecha ELS (G+Q) instantánea elástica		
T0	4	[semanas]	Edad de descimbrado		
T1	8	[semanas]	Edad ejecución tabiquería		
T2	8	[semanas]	Edad ejecución resto CMP		
TQ2	260	[semanas]	Edad se alcanza cuasipermanente Q		
<b>COMPROBACIONES DE FLECHA LIMITE SEGÚN CTE</b>					
f INTEG TAB	22,72	[mm]	< flim INTEG TAB	23,12	[mm]
f CONFORT	3,63	[mm]	< flim CONFORT	33,03	[mm]
f APARIENCIA	36,17	[mm]	< flim APARIENCIA	38,53	[mm]

Figura 5.1.1-8. Resultados de la comprobación a flecha en uno de los puntos más desfavorables del forjado de planta primera. Fuente: elaboración propia mediante excel proporcionado por David Gallardo.

A través de esta tabla excel obtenemos las comprobaciones de:

1) INTEGRIDAD CONSTRUCTIVA

Atendiendo a lo citado en el Documento Básico de Seguridad Estructural (DB-SE), en el punto 3.3.3.1, cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, 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 sólo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento, la flecha relativa es menor que:

- a) 1/500 en pisos con tabiques frágiles (como los de gran formato, rasillones, o placas) o pavimentos rígidos sin juntas;
- b) 1/400 en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas;
- c) 1/300 en el resto de los casos.

Teniendo en cuenta estas limitaciones y dado que la estructura analizada se trata de una construcción con acabados muy estéticos, que la mayoría de veces requieren un de una sensibilidad y cuidado en su colocación y mantenimiento extra, se ha decidido restringir la flecha relativa a un máximo de 1/500. Este dato ha sido introducido en la tabla excel en el apartado *flim 1*.

Como se observa en los resultados, la flecha relativa es menor que 1/500

<b>f INTEG TAB</b>	<b>22,72</b>	<b>[mm]</b>	<b>&lt;</b>	<b>flim INTEG TAB</b>	<b>23,12</b>	<b>[mm]</b>
--------------------	--------------	-------------	-------------	-----------------------	--------------	-------------

Por otro lado en lo que se refiere al :

### 2) CONFORT DE LOS USUARIOS

Tal y como se establece en el Documento Básico de Seguridad Estructural (DB-SE), en el punto 3.3.3.1, *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.*

Como se observa en los resultados, la flecha relativa es menor que 1/350

<b>f CONFORT</b>	<b>3,63</b>	<b>[mm]</b>	<b>&lt;</b>	<b>flim CONFORT</b>	<b>33,03</b>	<b>[mm]</b>
------------------	-------------	-------------	-------------	---------------------	--------------	-------------

Finalmente, quedaría la última comprobación:

### 3) APARIENCIA DE LA OBRA

Volviendo al Documento Básico de Seguridad Estructural (DB-SE), en el punto 3.3.3.1, *cuando se considere la apariencia de la obra, se admite que la estructura horizontal de una cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones casi permanente, la flecha relativa es menor que 1/300.*

Como se observa en los resultados, la flecha relativa es menor que 1/350

<b>f APARIENCIA</b>	<b>36,17</b>	<b>[mm]</b>	<b>&lt;</b>	<b>flim APARIENCIA</b>	<b>38,53</b>	<b>[mm]</b>
---------------------	--------------	-------------	-------------	------------------------	--------------	-------------

A continuación se procede al cálculo del segundo punto más desfavorable.

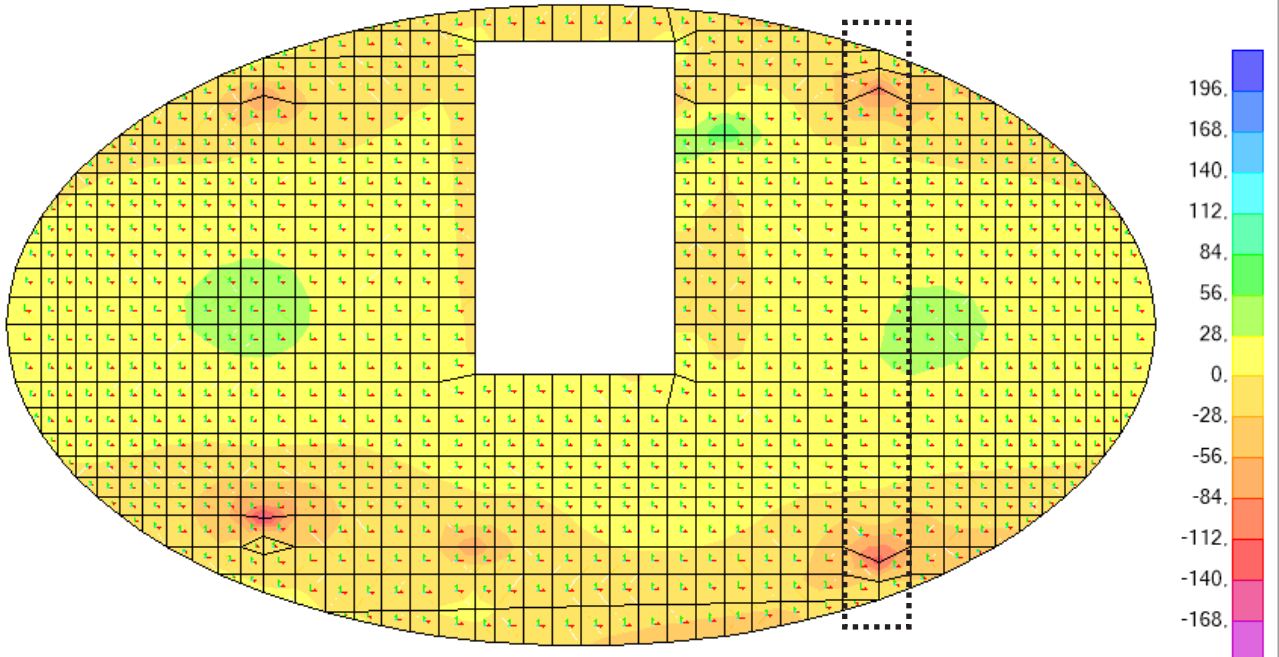


Figura 5.1.1-9. Momentos planta primera. Combinación ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

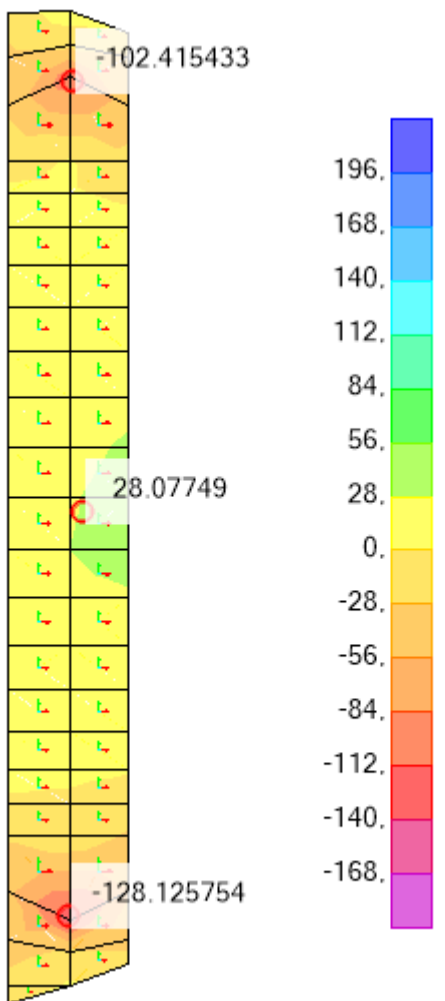


Figura 5.1.1-10. Momentos M22. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

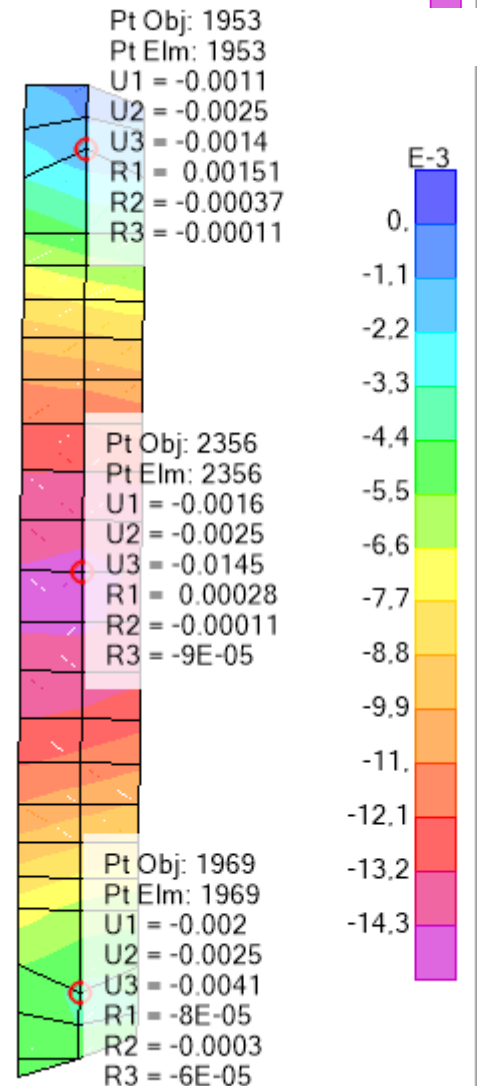


Figura 5.1.1-11. Deformada. Combinación ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Al igual que en el caso anterior, para obtener el desplazamiento neto, deberemos restar al desplazamiento U3 en centro de vano la media de los desplazamientos en sus extremos:

$$\text{Flecha instantánea elástica} = 14,5 - (1,4 + 4,1) / 2 = 11,75 \text{ mm}$$

EXTREMO MAS SOLICITADO			CENTRO DE VANO			EXTREMO MENOS SOLICITADO		
ARMADURA SUPERIOR (TRACC.)			ARMADURA SUPERIOR (COMP.)			ARMADURA SUPERIOR (TRACC.)		
Nc	10	[]	Nc	5	[]	Nc	10	[]
Øc	16	[mm]	Øc	16	[mm]	Øc	16	[mm]
Area	2.010,62	[mm <sup>2</sup> ]	Area	1.005,31	[mm <sup>2</sup> ]	Area	2.010,62	[mm <sup>2</sup> ]
rho	9,71E-03	[]	rho	4,86E-03	[]	rho	9,71E-03	[]
ARMADURA INFERIOR (COMP.)			ARMADURA INFERIOR (TRACC.)			ARMADURA INFERIOR (COMP.)		
Nc	5	[]	Nc	10	[]	Nc	5	[]
Øc	16	[mm]	Øc	16	[mm]	Øc	16	[mm]
Area	1.005,31	[mm <sup>2</sup> ]	Area	2.010,62	[mm <sup>2</sup> ]	Area	1.005,31	[mm <sup>2</sup> ]
rho	4,86E-03	[]	rho	9,71E-03	[]	rho	4,86E-03	[]
Ma (ELS=G+Q)	-128,150	[kNm]	Ma (ELS=G+Q)	28,000	[kNm]	Ma (ELS=G+Q)	-102,500	[kNm]
Xprof	61,82	[mm]	Xprof	61,82	[mm]	Xprof	61,82	[mm]
Ifis	377.836.909,04	[mm <sup>4</sup> ]	Ifis	377.836.909,04	[mm <sup>4</sup> ]	Ifis	377.836.909,04	[mm <sup>4</sup> ]
Ieq	345.232.384,52	[mm <sup>4</sup> ]	Ieq	1.302.083.333,33	[mm <sup>4</sup> ]	Ieq	314.118.913,29	[mm <sup>4</sup> ]
fELS G0	5,875	[mm]	factor f dif G0	1,30	[]	factor fis 0	2,01151	[]
fELS G1	2,9375	[mm]	factor f dif G1	1,15	[]	factor fis 1	1,66320	[]
fELS G2	0,5875	[mm]	factor f dif G2	1,15	[]	factor fis 2	1,64212	[]
fELS Q	2,35	[mm]	factor f dif Q	0,00	[]	factor fis Q	1,59593	[]

CALCULO FLECHAS VIGAS HORMIGON			tipo viga	biempotrada	
fck(j)	30	[N/mm <sup>2</sup> ]	modulo Ec	28.576,79	[N/mm <sup>2</sup> ]
fcmm(j)	38	[N/mm <sup>2</sup> ]	modulo Es	200.000,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
fyk	500	[N/mm <sup>2</sup> ]	n	7,00	
B	1000	[mm]	W bruto (H)	6.666.666,67	[mm <sup>3</sup> ]
H	200	[mm]	I bruta (H)	666.666.666,67	[mm <sup>4</sup> ]
C	43	[mm]	A bruta (D)	157.000,00	[mm <sup>2</sup> ]
L	11900	[mm]	D	157	[mm]
flim1	500	[L]	Mfis	27,86	[kNm]
G0	5	[kN/m <sup>2</sup> ]	DEAD (peso propio forjado estructural)		
G1	2,5	[kN/m <sup>2</sup> ]	CMP* (CMP hasta tabiquería inclusive)		
G2	0,5	[kN/m <sup>2</sup> ]	Resto de CMP (falsos techos, ...)		
Q	2	[kN/m <sup>2</sup> ]	Sobrecarga de uso		
psi2 Q	0,3	[]	Factor cuasipermanente uso ψ2		
fELS (G+Q)	11,75	[mm]	Flecha ELS (G+Q) instantánea elástica		
T0	4	[semanas]	Edad de descimbrado		
T1	8	[semanas]	Edad ejecución tabiquería		
T2	8	[semanas]	Edad ejecución resto CMP		
TQ2	260	[semanas]	Edad se alcanza cuasipermanente Q		
COMPROBACIONES DE FLECHA LIMITE SEGUN CTE					
f INTEG TAB	20,42	[mm]	< flim INTEG TAB	23,80	[mm]
f CONFORT	3,60	[mm]	< flim CONFORT	34,00	[mm]
f APARIENCIA	35,95	[mm]	< flim APARIENCIA	39,67	[mm]

Figura 5.1.1-12. Resultados de la comprobación a flecha en uno de los puntos más desfavorables del forjado de planta primera. Fuente: elaboración propia mediante excel proporcionado por David Gallardo.

Así pues, al igual que en el análisis anterior, observamos que tanto la comprobación de la integridad constructiva, como el confort de los usuarios y la apariencia de la obra, cumplen con los límites establecidos.

Por tanto y en definitiva, según el DBSE, la estructura **CUMPLE a deformaciones verticales.**

### 5.1.2. DEFORMACIONES HORIZONTALES

Según el apartado 4.3.3.2 Desplazamientos horizontales, del Documento Básico de Seguridad Estructural (DBSE), los valores límite máximos para desplazamientos horizontales son:

*1 Cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, susceptibles de ser dañados por desplazamientos horizontales, tales como tabiques o fachadas rígidas, se admite que la estructura global tiene suficiente rigidez lateral, si ante cualquier combinación de acciones característica, el desplome es menor de:*

- a) desplome total: 1/500 de la altura total del edificio;*
- b) desplome local: 1/250 de la altura de la planta, en cualquiera de ellas.*

*2 Cuando se considere la apariencia de la obra, se admite que la estructura global tiene suficiente rigidez lateral, si ante cualquier combinación de acciones casi permanente, el desplome relativo es menor que 1/250.*

*3 En general es suficiente que dichas condiciones se satisfagan en dos direcciones sensiblemente ortogonales en planta.*

Por tanto, el desplome horizontal es básicamente cómo el edificio se mueve lateralmente, tanto por cargas verticales no simétricas como por las acciones del viento. Para esta comprobación se recurrirá al análisis de la deformada producida por las diferentes combinaciones del viento.

Se compararán las desformadas en las combinaciones ELSvx + y ELSvy +.

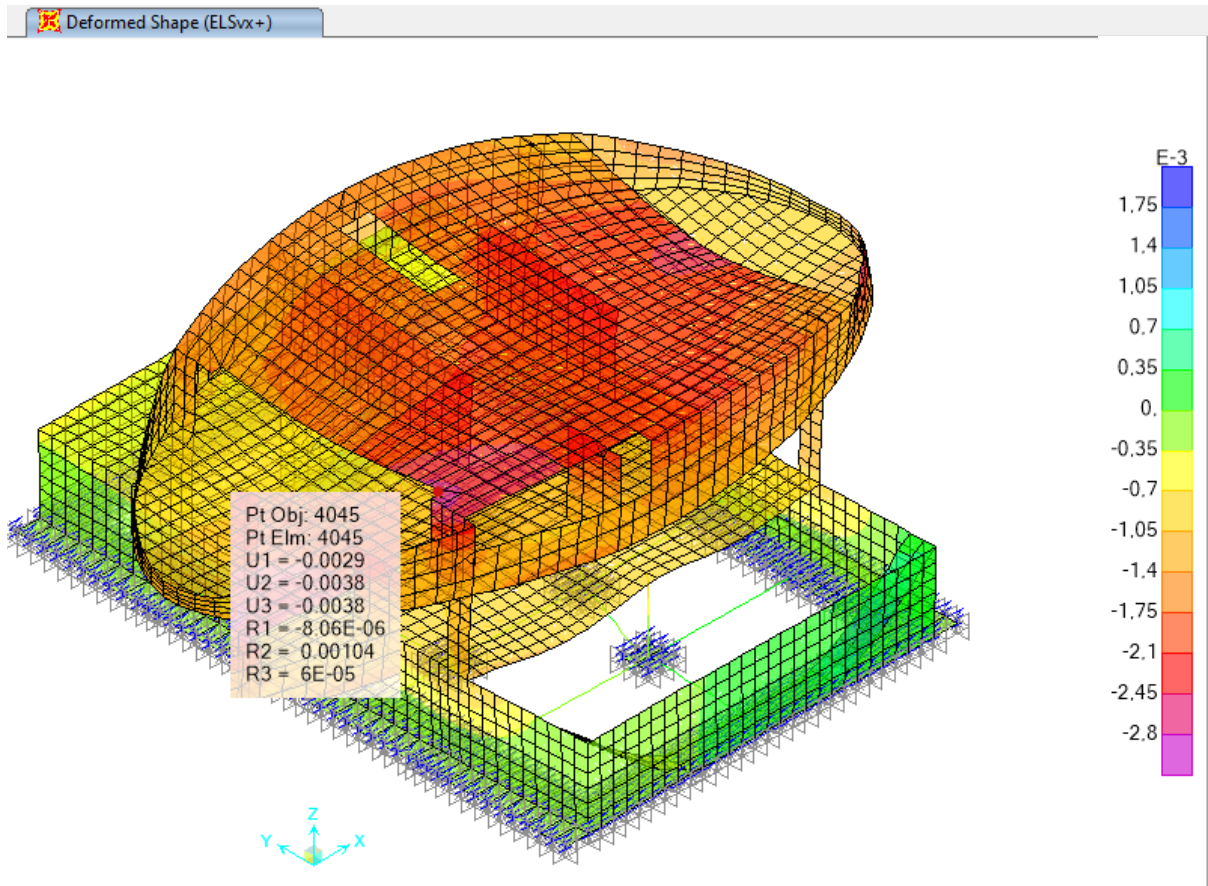


Figura 5.1.2-1. Deformada horizontal. Combinación ELSvx+. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

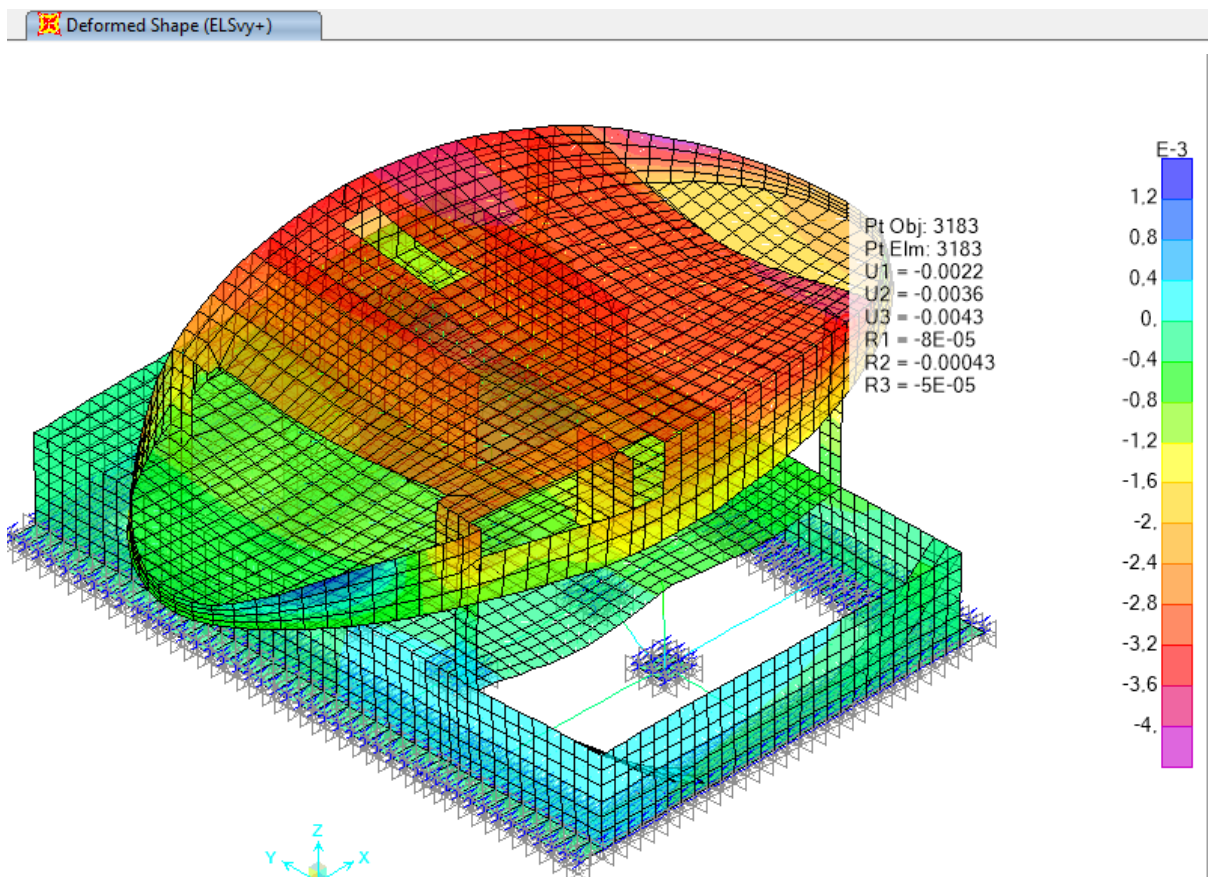


Figura 5.1.2-2. Deformada horizontal. Combinación ELSvy+. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

Así pues, el desplome total =  $1/500 \cdot$  altura total del edificio =  $1/500 \cdot 6,40\text{m} = 0,0128 \text{ m}$

Comparando el valor límite con el real:  $0,0022 < 0,0029 < 0,0128 \text{ m}$

Por tanto la estructura **CUMPLE a desplazamientos horizontales.**

### 5.1.3. VIBRACIONES

Según el apartado 4.3.4 Vibraciones, del Documento Básico de Seguridad Estructural (DB-SE):

*1 Un edificio se comporta adecuadamente ante vibraciones debidas a acciones dinámicas, si la frecuencia de la acción dinámica (frecuencia de excitación) se aparta suficientemente de sus frecuencias propias.*

*2 En el cálculo de la frecuencia propia se tendrán en cuenta las posibles contribuciones de los cerramientos, separaciones, tabiquerías, revestimientos, solados y otros elementos constructivos, así como la influencia de la variación del módulo de elasticidad y, en el caso de los elementos de hormigón, la de la fisuración.*

*3 Si las vibraciones pueden producir el colapso de la estructura portante (por ejemplo debido a fenómenos de resonancia, o a la pérdida de la resistencia por fatiga) se tendrá en cuenta en la verificación de la capacidad portante, tal como se establece en el DB respectivo.*

*4 Se admite que una planta de piso susceptible de sufrir vibraciones por efecto rítmico de las personas, es suficientemente rígida, si la frecuencia propia es mayor de:*

- a) 8 Hz, en gimnasios y polideportivos;*
- b) 7Hz en salas de fiesta y locales de pública concurrencia sin asientos fijos;*
- c) 3,4 Hz en locales de espectáculos con asientos fijos.*

Poniéndonos en el contexto actual, mucha gente renunciaba a las estructuras metálicas en cierto tipo de construcciones por su tendencia a la vibración, pero no existía una manera cien por cien precisa de calcular esta vibración. Es por esto que AcelorMittal, especialistas en estructuras metálicas, decide desarrollar un estudio para comprobar esa supuesta vibración. Estableció un procedimiento donde, lo primero que se tiene en cuenta es que la exigencia de máximos de vibraciones varía según el tipo de uso, al igual que se indica en el DB-SE. A continuación se muestra la tabla desarrollada por AcelorMittal donde las zonas de vibración están diferenciadas según el uso.

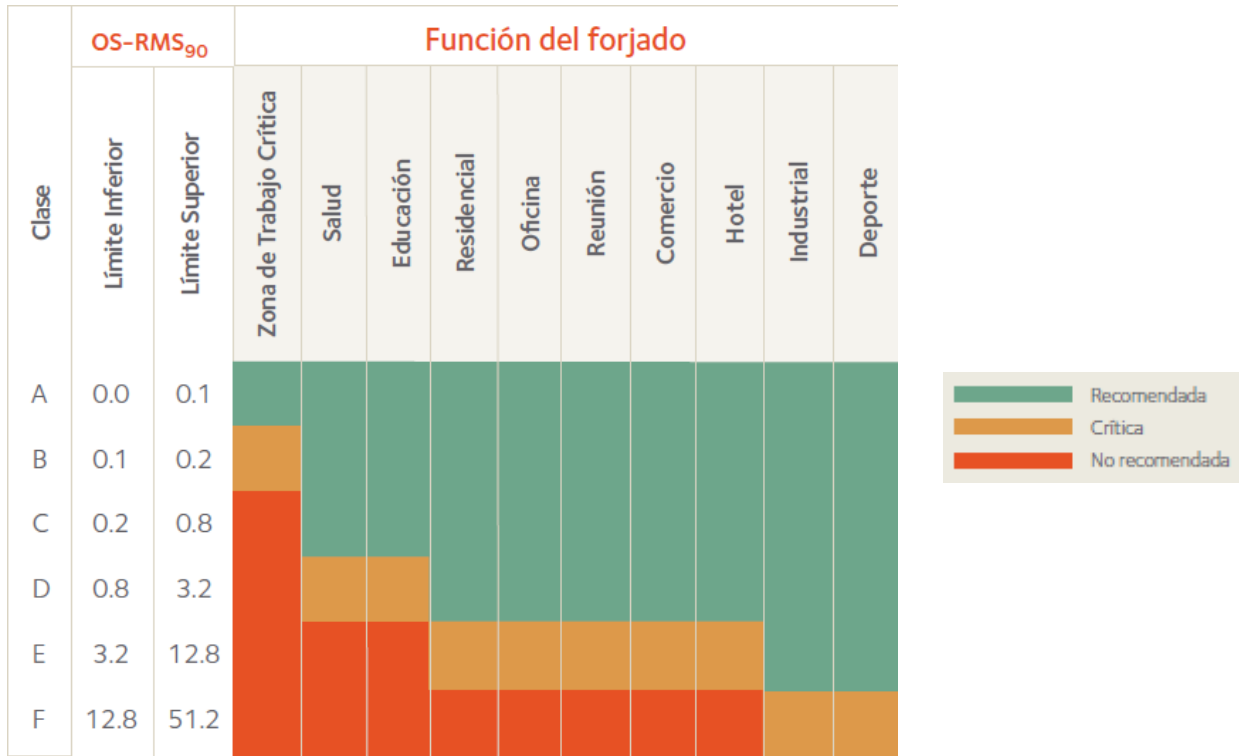


Figura 5.1.3-1. Deformada horizontal. Combinación ELSvy +. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

También establecen las amortiguaciones correspondientes a la estructura, al mobiliario y a los diferentes acabados.

Tipo	Amortiguación (% de la amortiguación crítica)
<b>Amortiguación estructural D<sub>1</sub></b>	
Madera	6%
Hormigón	2%
Acero	1%
Mixta (Hormigón – Acero)	1%
<b>Amortiguación debida al mobiliario D<sub>2</sub></b>	
Oficina tradicional para 1 a 3 personas con tabiques de separación	2%
Oficina sin papeles	0%
Oficina en planta diáfana	1%
Biblioteca	1%
Casas	1%
Escuelas	0%
Gimnasios	0%
<b>Amortiguación debida a terminaciones D<sub>3</sub></b>	
Cielos rasos bajo el forjado	1%
Parquet flotante	0%
Capa de compresión	1%
<b>Amortiguación total D = D<sub>1</sub> + D<sub>2</sub> + D<sub>3</sub></b>	

Figura 5.1.3-2. Deformada horizontal. Combinación ELSvy +. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

Con todos estos datos y los diferentes diagramas de vibraciones también desarrollados por AcelorMittal, David Gallardo desarrolla una tabla excel donde introduciendo el uso y las diferentes amortiguaciones, se vincula automáticamente con SAP2000 y tras analizar todos los modos y la masa que moviliza cada uno de ellos, la tabla excel hace una selección de los modos que mueven más masa en dirección z que en dirección x e y, y nos redirige al diagrama correspondiente que relaciona la masa modal en el eje X y la correspondiente frecuencia en el eje Y, ubicando en él estos modos seleccionados.

REGIÓN ÁBACO VÁLIDA	
Uso del forjado	Residencial
Zona recomendable mínima	D
Zona crítica	E
% AMORTIGUACIÓN	
Estructural D1	Hormigón
Mobiliario D2	Casas
Acabados D3.1	Falsos techos
Acabados D3.2	-
Acabados D3.3	-
Acabados D3.4	-
Amortiguación (%)	4
MASA	
Origen de la masa	NCSE 02
Masa total a movilizar [kN]	10.728,14
Obtener Modos de Vibración Modelo Activo	

Figura 5.1.3-3. Introducción de características para la limitación de vibraciones. Fuente: elaboración propia. Excel de David Gallardo.

MODO	Frecuencia	Ux	Uy	Uz	Masa UZ	Coordenadas	
[ ]	[Hz]	[ ]	[ ]	[ ]	[kg]	X	Y
1	2,643	5,262E-01	8,973E-04	3,049E-03	3.270,49	-	
2	3,253	7,436E-03	5,211E-01	1,881E-02	20.181,94	-	
3	5,418	8,532E-02	5,967E-04	1,804E-01	100.000,00	+	9,988 8,073
4	5,689	2,549E-03	2,285E-02	2,147E-01	100.000,00	+	9,988 8,307
5	6,204	1,034E-01	4,986E-03	8,932E-02	95.822,55	-	
6	6,720	1,467E-03	1,807E-03	5,880E-03	6.308,26	+	5,994 9,102
7	6,772	4,709E-03	1,015E-03	1,490E-02	15.986,28	+	7,338 9,139
8	7,644	4,639E-03	1,001E-02	5,109E-02	54.813,11	+	9,119 9,717
9	7,818	2,176E-03	4,116E-05	5,939E-02	63.714,61	+	8,357 9,825
10	8,492	3,904E-04	7,349E-04	2,250E-02	24.135,76	+	7,993 10,220
11	8,658	1,052E-03	2,829E-04	2,192E-02	23.517,78	+	7,896 10,312
12	8,857	1,001E-03	6,990E-04	1,616E-03	1.733,76	+	4,127 10,421
13	8,892	1,236E-03	3,977E-06	4,187E-04	449,23	-	
14	9,120	2,276E-04	1,271E-03	1,654E-03	1.774,18	+	4,160 10,560
15	9,927	7,623E-04	1,448E-04	3,438E-03	3.687,89	+	5,218 10,965
16	10,066	2,006E-04	1,579E-03	3,332E-04	357,51	-	
17	10,628	4,118E-04	9,126E-03	1,397E-01	100.000,00	+	9,988 11,291
18	11,038	1,778E-03	3,251E-03	1,034E-02	11.093,48	+	6,810 11,472
19	11,590	2,137E-03	1,156E-02	3,018E-03	3.237,92	-	
20	11,824	6,538E-04	1,132E-03	3,624E-02	38.877,34	+	8,622 11,800
21	12,300	1,274E-04	3,857E-03	6,760E-04	725,22	-	
22	12,456	4,248E-04	1,548E-05	1,291E-04	138,55	-	
23	12,759	2,828E-04	3,346E-05	8,388E-04	899,84	+	3,179 12,164
24	12,949	4,619E-04	6,667E-03	1,069E-02	11.463,12	+	6,857 12,234
26	14,324	2,588E-04	4,623E-03	6,245E-05	66,99	-	
27	14,572	6,405E-03	1,095E-05	2,214E-03	2.375,47	-	
28	14,996	5,587E-03	1,136E-02	4,182E-05	44,87	-	
29	15,274	1,311E-02	7,039E-04	2,368E-03	2.540,16	-	
30	15,576	4,157E-05	3,527E-05	2,946E-03	3.160,49	+	4,995 13,116
31	16,040	2,267E-04	1,101E-03	2,709E-03	2.906,71	+	4,874 13,256
32	16,498	7,345E-03	6,569E-06	7,957E-05	85,36	-	
33	16,934	1,919E-03	2,619E-04	1,807E-02	19.383,96	+	7,616 13,515
34	16,986	1,449E-02	4,895E-05	1,311E-04	140,61	-	
35	17,604	3,863E-04	1,001E-03	3,918E-04	420,37	-	
36	17,726	1,060E-02	5,408E-05	4,066E-04	436,21	-	
37	18,018	9,377E-04	7,822E-05	2,818E-03	3.022,75	+	4,930 13,812
38	18,206	9,104E-04	9,736E-08	9,371E-04	1.005,30	+	3,339 13,861
39	18,620	1,211E-04	1,201E-03	1,455E-03	1.561,04	+	3,975 13,968

Figura 5.1.3-4. Selección del excel de los modos más significativos. Fuente: elaboración propia. Excel de David Gallardo.



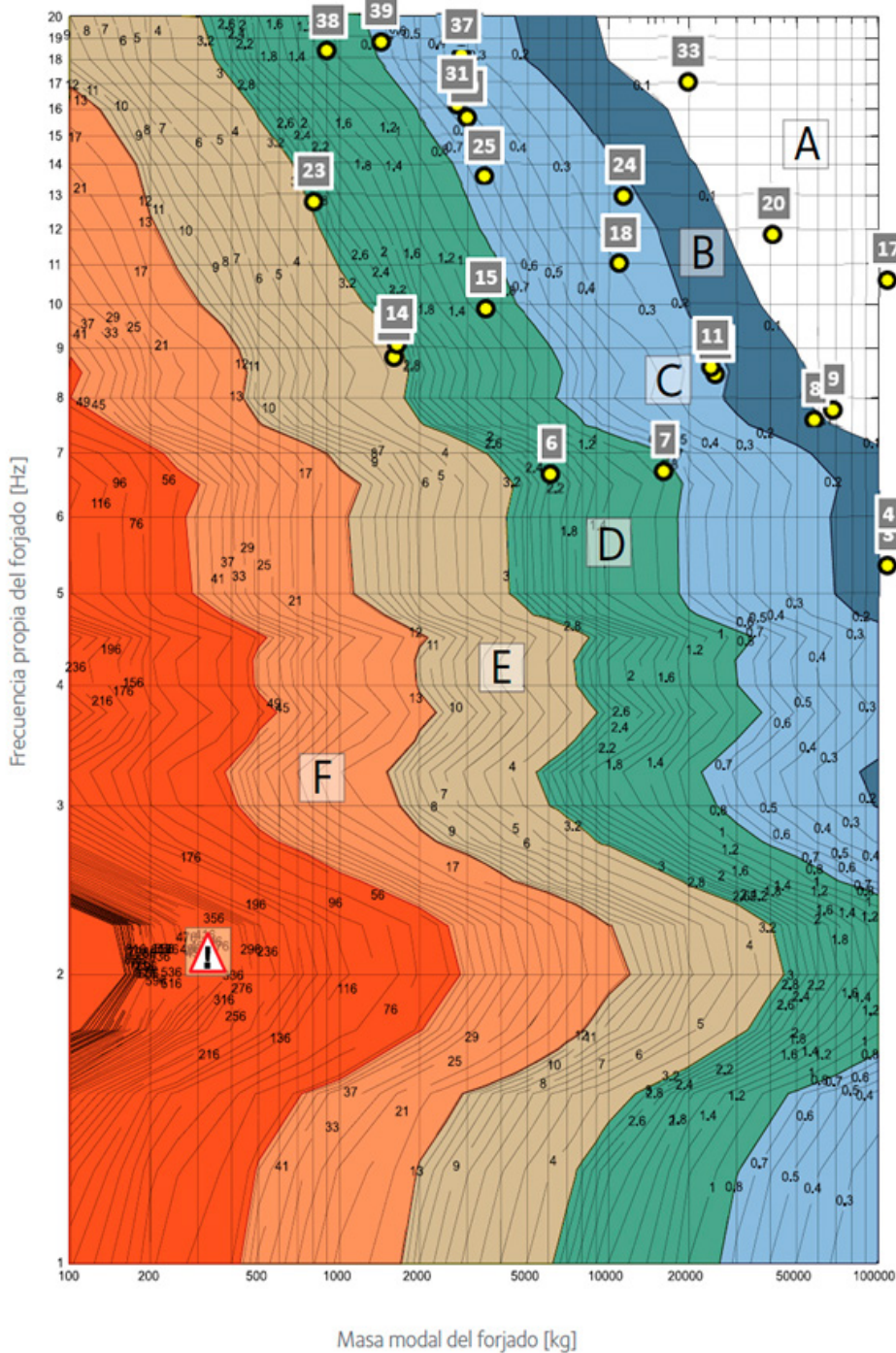


Figura 5.1.3-5. Los modos más significativos ubicados en el diagrama que relaciona la masa modal con su correspondiente frecuencia. Fuente: elaboración propia. Excel de David Gallardo.

Observamos pues en el diagrama que uno de los puntos más desfavorables son los modos, 14 y 23. Analizando uno de ellos observamos que la mayoría de las vibraciones se producen en el forjado de planta primera, donde tenemos una luz considerablemente grande salvada con una losa de 20cm.

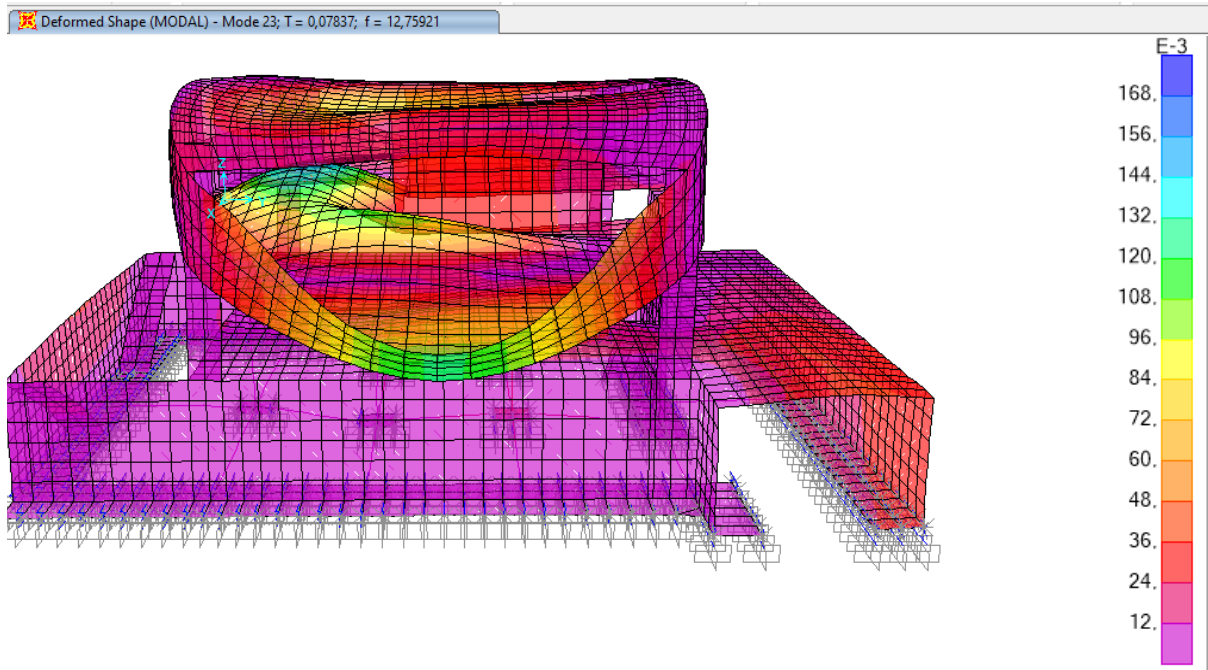


Figura 5.1.3-6. Deformada en el modo 23. Combinación MODAL. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

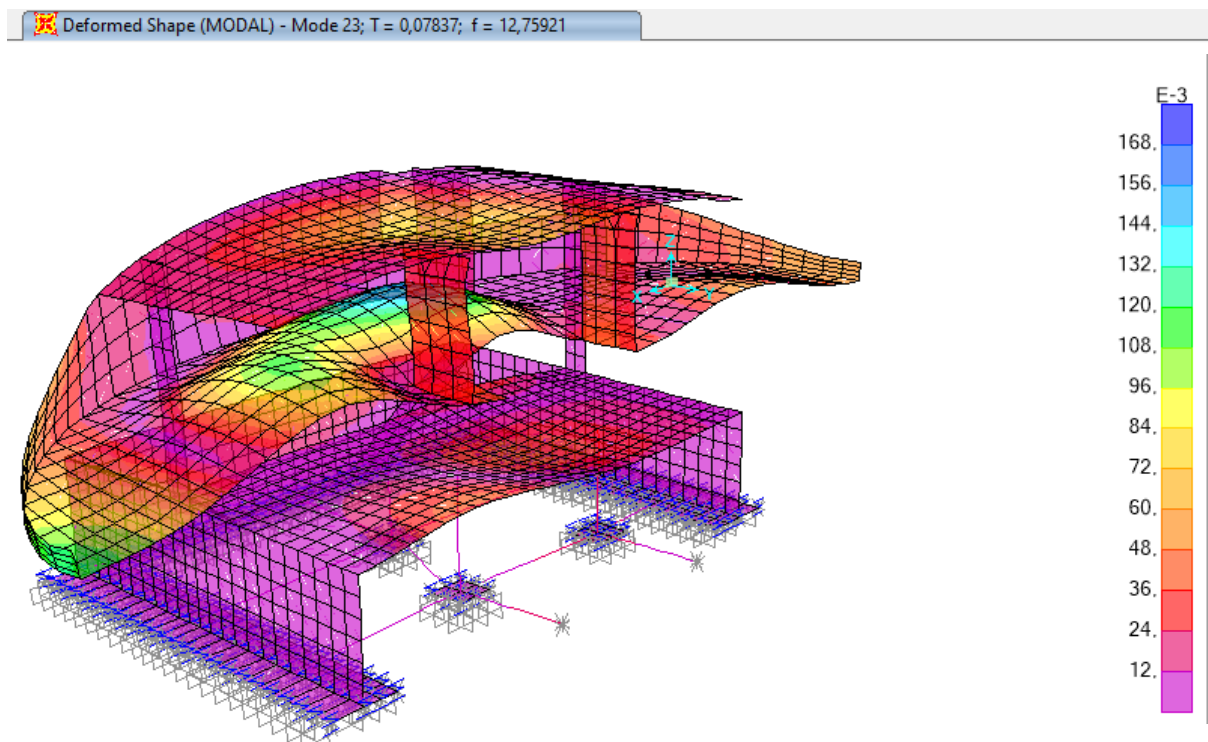


Figura 5.1.3-7. Deformada en el modo 23, sección. Combinación MODAL. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

Sin embargo, todas estas situaciones se encuentran dentro de las zonas A, B, C y D, lo que significa que las vibraciones quedan dentro de las aceptadas y se considera que la estructura **CUMPLE a vibraciones**.

## 5.2 COMBINACIÓN ELU - RESISTENCIA -

Los Estados Límite Últimos tienen que ver con todo aquello que pueda producir el fallo de la estructura, ya sea por deformaciones excesivas, pérdidas de equilibrio, colapso, roturas o fisuraciones. Para las comprobaciones de los Estados Límite Últimos (ELU) se analizarán los resultados cinemáticos obtenidos a través de la herramienta de cálculo SAP2000.

Se trata de una estructura completamente de hormigón armado a excepción de 5 pequeños pilares de refuerzo en la planta sótano. La comprobación a resistencia de los elementos finitos unidimensionales metálicos es diferente a la de los elementos finitos bidimensionales. Por lo que este apartado se dividirá en dos partes, por un lado la metálica y por otro la de hormigón armado.

### 5.2.1 COMPROBACIÓN DE LOS ELEMENTOS METÁLICOS

Para la comprobación de los elementos finitos unidimensionales metálicos se procede a través de la herramienta de peritaje automático de SAP2000, través del menú

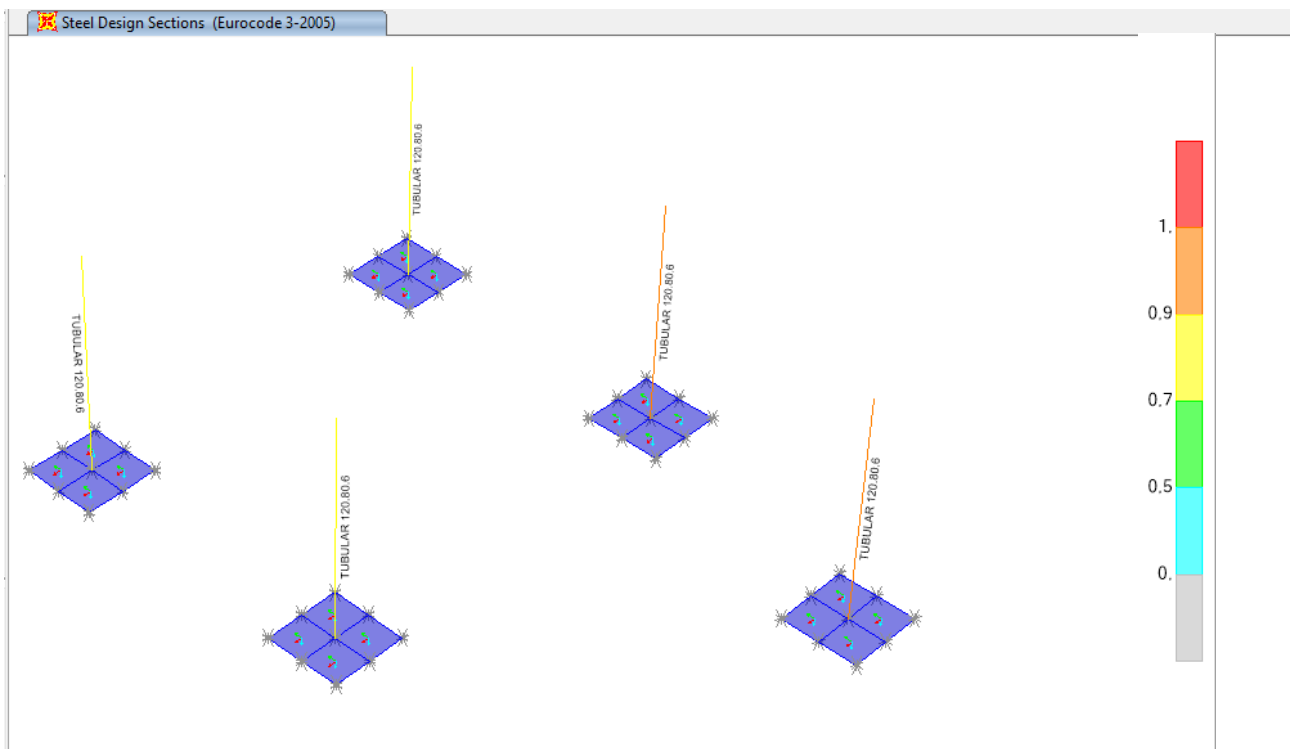


Figura 5.2.1-1. Comprobación a resistencia de los pilares tubulares de la planta sótano. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Observamos como los **perfiles tubulares asignados de 120.80.6 CUMPLEN** al encontrarse dentro del abanico de colores inferior al rojo.

Esta sección tan pequeña de los pilares se debe a que la estructura, además de tener cargas pequeñas por tratarse de una vivienda unifamiliar, las cargas que transmite la estructura están muy repartidas, pues toda la estructura aérea, que es la de mayor carga concentrada en los 4 soportes de hormigón, se reparte por el muro de sótano, y por tanto, los perfiles metálicos son un refuerzo adicional.

## 5.2.2 COMPROBACIÓN DE LOS ELEMENTOS HORIZONTALES DE HORMIGÓN

### 5.2.2.1 CIMENTACIÓN

En este apartado se procede al análisis de de las secciones y armado de las zapatas de cimentación. El hormigón que compone estos elementos es un HA-30 y su sección tiene 50 cm de espesor.

Para determinar la armadura correcta habrá que hacer comprobaciones de los momentos tanto en la dirección del eje 1, como en el eje 2, al igual que de los cortantes, pues recaen sobre ellas los muros apantallados del sótano.

Todos estos cálculos se realizarán a través del excel *DimensionadoForjados.xlsx*. Los datos a introducir en esta tabla son los siguientes

Hormigón: HA-30

Acero:  $f_yk = 500 \text{ N/mm}^2$

Recubrimiento nominal: 50 mm

Canto: 50cm

Definición de la armadura: (según proceda)

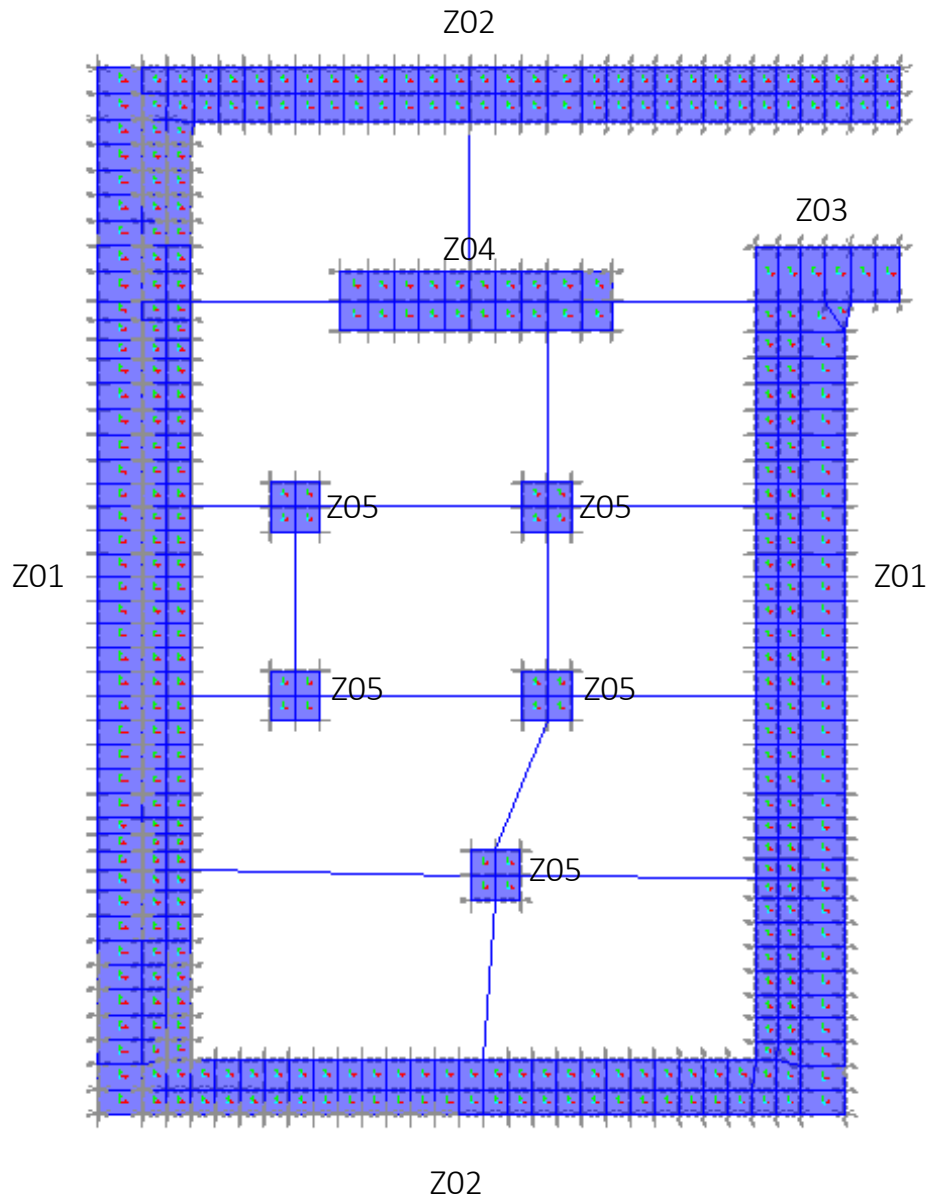


Figura 5.2.2.1-1. Cimentación. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Para agilizar el proceso, estudiaremos las zapatas Z01 y Z05 por un lado, y posteriormente las zapatas Z02, Z03 y Z04. Se han hecho estas agrupaciones en función de los ejes locales, agrupando aquellas para las que su eje local 11 equivale al armado transversal (primer grupo) y para las que este mismo eje local 11 equivale al armado longitudinal (segundo grupo).

### ZAPATAS Z01 Y Z05

Con los datos de la cimentación, la tabla nos proporciona el dominio del hormigón en el que trabajamos, la profundidad de la fibra neutra y el momento último capaz de absorber la losa.

COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA DE LOSAS MACIZAS DAVID GALLARDO LLOPIS - DICIEMBRE 2015		
<b>DATOS DE PARTIDA</b>		
<b>Materiales y geometría</b>		
Fck	30	N/mm2
Gc	1,50	
Fcd	20,00	N/mm2
Fyk	500	N/mm2
Gy	1,15	
Fyd	434,78	N/mm2
Tipo de elemento	<b>CIMIENTO</b>	
Canto Losa Maciza	50	cm
Recubrimiento Neto	5	cm
Cuántía mínima geométrica	97,83	kN
Cuántía mínima mecánica	400,00	kN
<b>RESISTENCIA ELU</b>		
<b>FLEXIÓN POSITIVA/NEGATIVA Y CORTANTE</b>		
<b>Armadura de Base</b>		
Diámetro de base	12	mm
Distancia entre barras de base	20	cm
Usd base	245,86	kN/m.a.
Canto útil	444,00	mm
<b>M ult base</b>	<b>87,95</b>	<b>kNm/m.a.</b>
<b>Cortante resistido sin armadura específica (solo base)</b>		
Epsilon	1,671156	
Cuántía geométrica	0,001274	

Figura 5.2.2.1-2. Introducción de características para la limitación de vibraciones. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo.

Para comenzar a tantear, se ha introducido en la tabla una armadura del **Ø12 c/20**. Se van a comprobar los momentos y cortantes producidos tanto en la dirección del eje 11 como del eje 22.

Al introducir el diámetro de la armadura de Ø12 en la tabla excel, este aparece en rojo, esto es porque nos avisa de que no estamos cumpliendo con la armadura mínima. Lo que no significa que la armadura sea incorrecta, simplemente, al no llegar a la armadura mínima que se exige en la EHE-08 para evitar la rotura frágil, hay que minorar la capacidad de la losa aplicándole un coeficiente reductor de cuantía alfa, el cual ya aplica el excel de manera automática. Se procede pues, a introducir todos los datos anteriores en la ventana Display Shell Stresses de SAP2000.

M11- ELUu (Ø12 c/20) (88KNm/m.a)

M22- ELUu (Ø12 c/20) (88KNm/m.a)

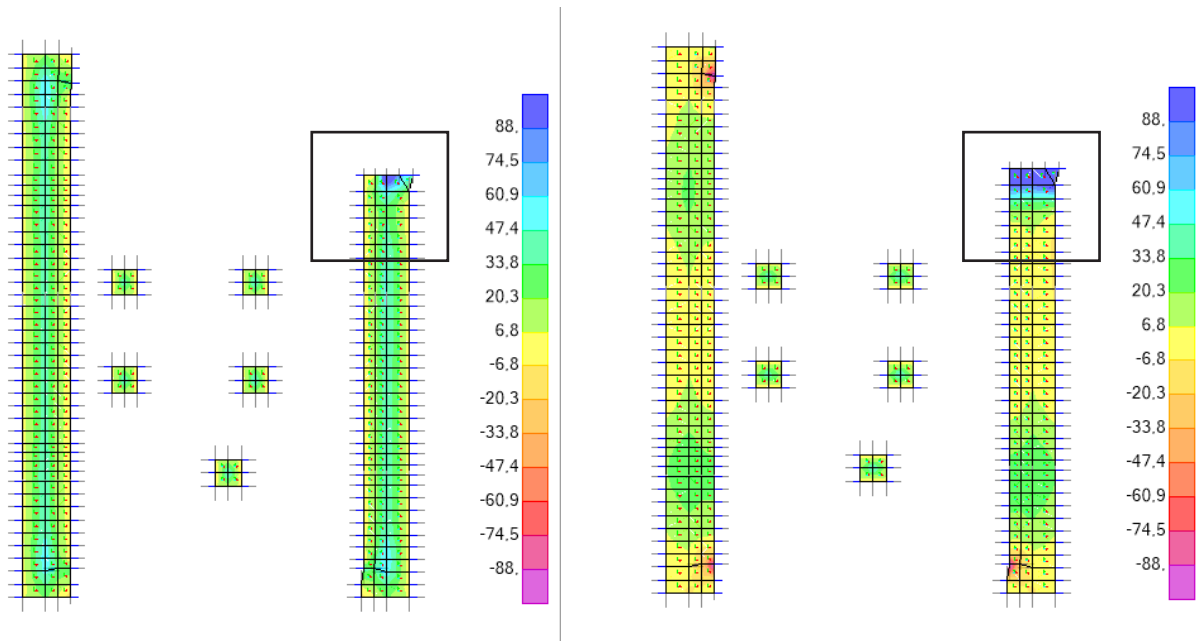


Figura 5.2.2.1-3. Ventana Esfuerzos (ELUu) de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

V13- ELUu (Ø12 c/20) (140KNm/m.a)

V23- ELUu (Ø12 c/20) (140KNm/m.a)

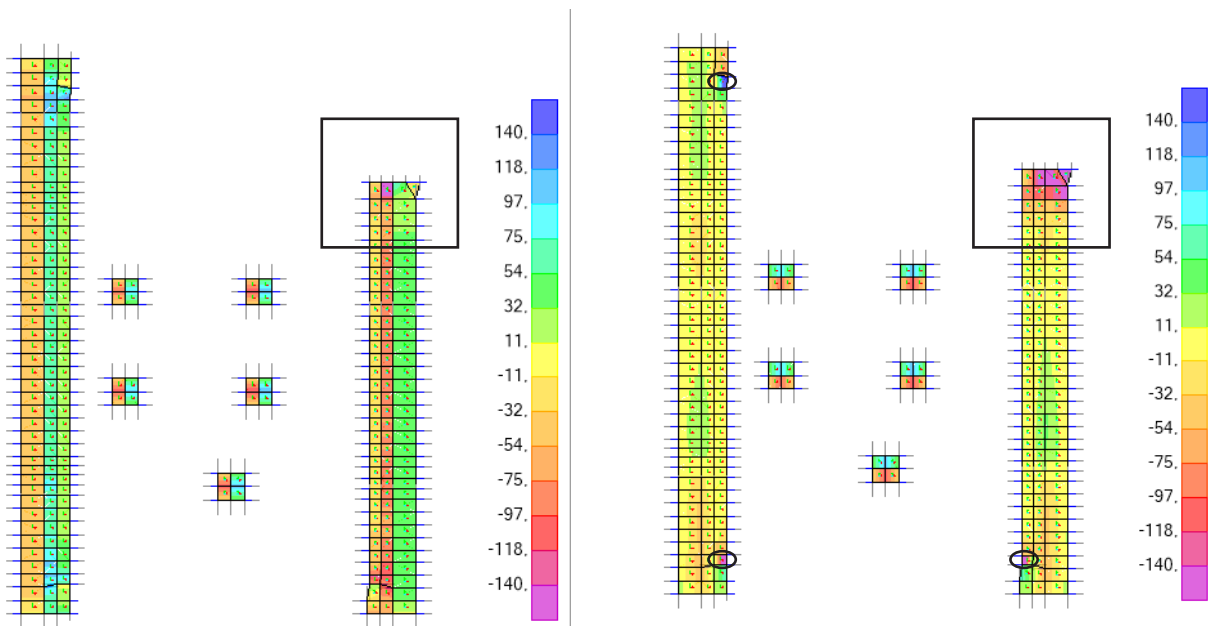


Figura 5.2.2.1-4. Ventana Esfuerzos (ELUu) de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Observamos que los momentos sí que son absorbidos mediante este armado base, a excepción de una pequeña zona en la zapata 01 que habría que reforzar. Lo mismo sucede con los esfuerzos cortantes. También existe una pequeña zona magenta bajo las áreas correspondientes a pilares de plantas superiores. Por tanto, habiendo establecido ya el armado base del Ø12 c/20, se procede a estudiar el comportamiento de las zapatas con un **refuerzo del Ø16c/20**.

M11- ELUu (+ref Ø16 c/20) (287KNm/m.a)    M22- ELUu (+ref Ø16 c/20) (287KNm/m.a)

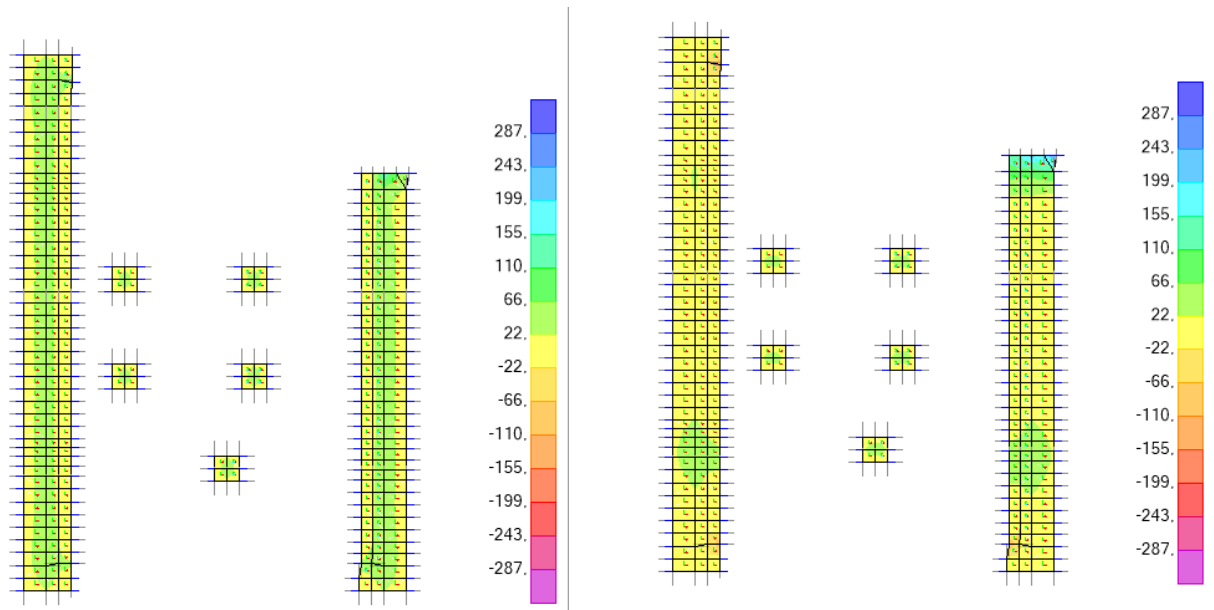


Figura 5.2.2.1-5. Ventana Esfuerzos (ELUu) de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

V13- ELUu (+ref Ø16 c/20) (262KNm/m.a)    V23- ELUu (+ref Ø16 c/20) (262KNm/m.a)

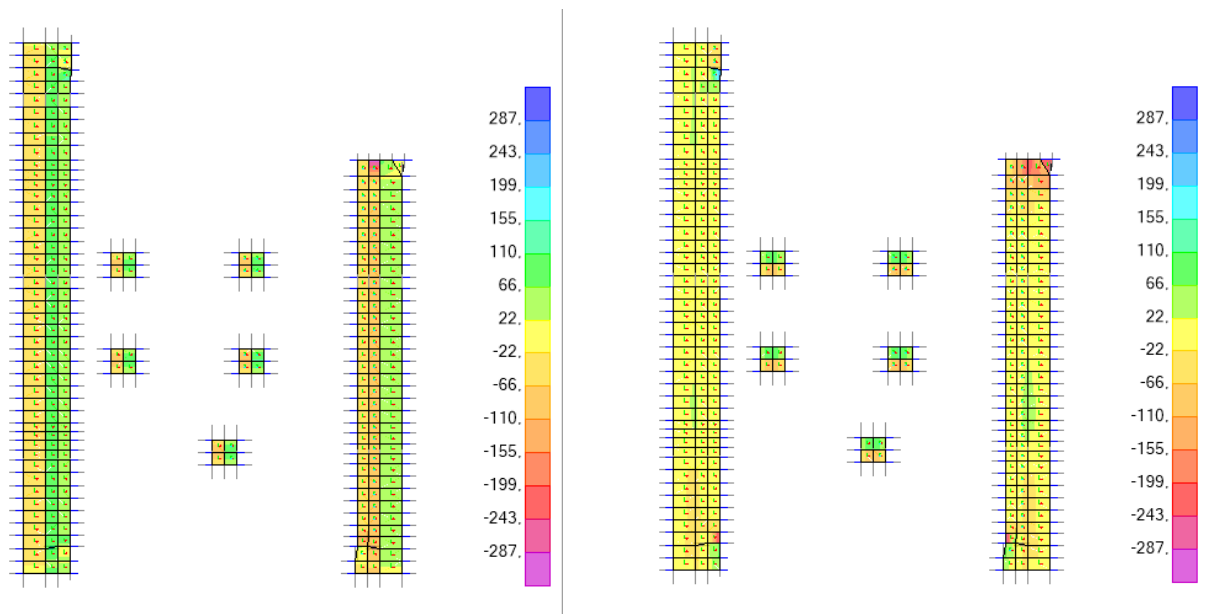


Figura 5.2.2.1-6. Ventana Esfuerzos (ELUu) de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Este armado de refuerzo será suficiente para absorber la diferencia entre el cortante y momento de cálculo y el cortante y momento último resistido.

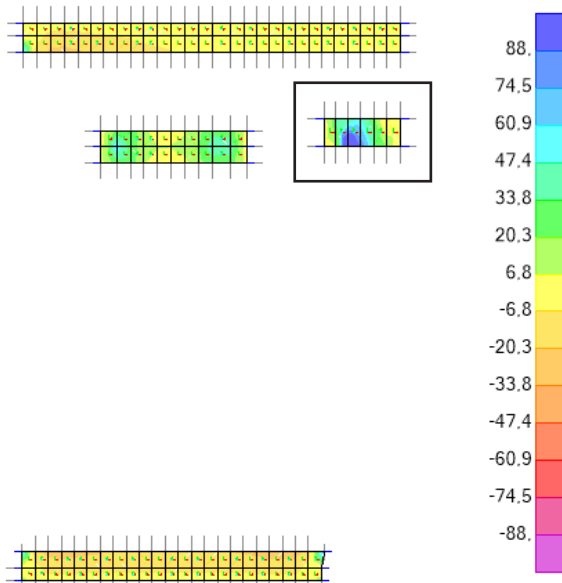
En definitiva, las zapatas Z01 y Z05 se solucionará con un **armado base inferior del # Ø12 c/20**, con su respectiva zonas de **refuerzos del # Ø16 c/20** en la zapata Z01.



### ZAPATAS Z02, Z03 Y Z04

Procedemos a estudiar el comportamiento de estas zapatas con el mismo armado base que las anteriores ( $\varnothing 12$  c/20).

M11- ELUu ( $\varnothing 12$  c/20) (88KNm/m.a)



M22- ELUu ( $\varnothing 12$  c/20) (88KNm/m.a)

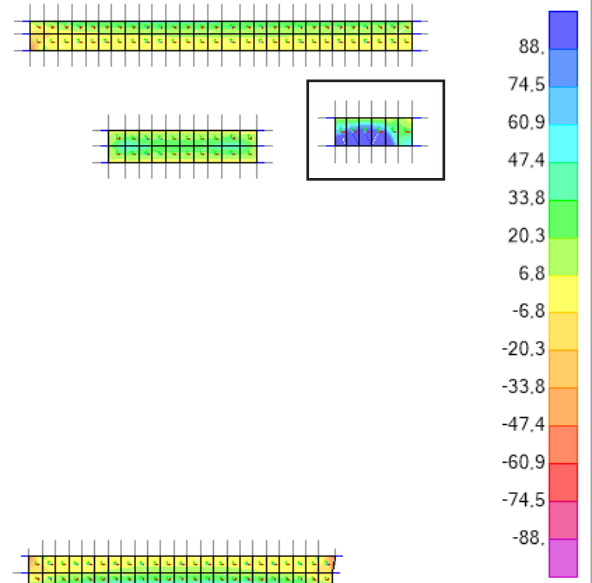
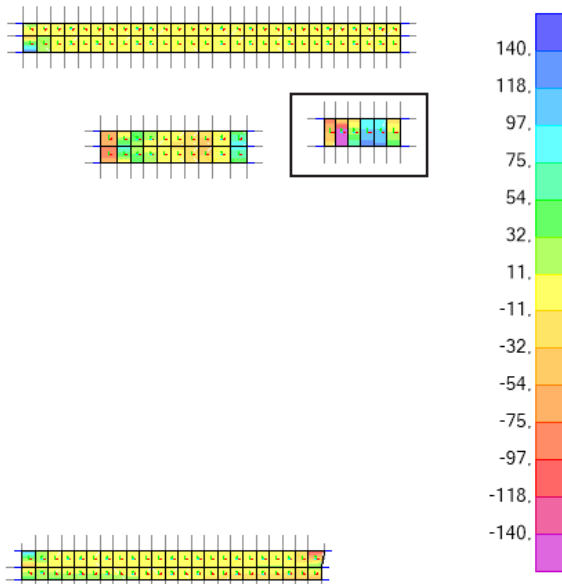


Figura 5.2.2.1-7. Ventana Esfuerzos (ELUu) de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

V13- ELUu ( $\varnothing 12$  c/20) (140KNm/m.a)



V23- ELUu ( $\varnothing 12$  c/20) (140KNm/m.a)

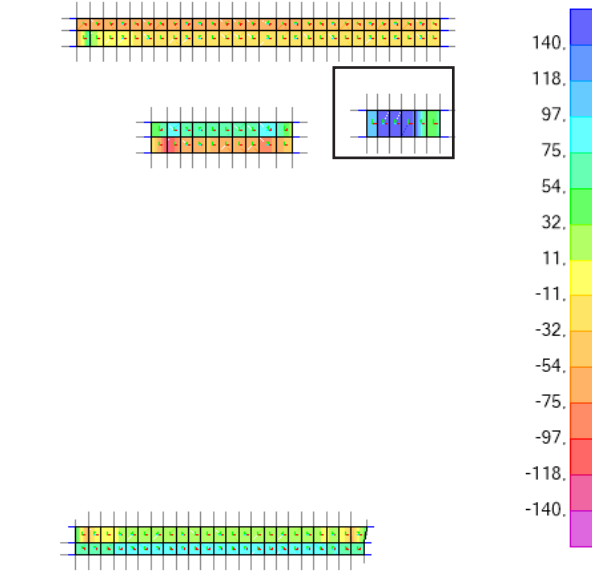


Figura 5.2.2.1-8. Ventana Esfuerzos (ELUu) de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Observamos que los momentos sí que son absorbidos mediante este armado base, a excepción de la zapata Z03, de la cual este comportamiento era esperado, ya que es la que tiene continuidad con la zapata Z01 que en el apartado anterior hemos tenido que reforzar. Por tanto, procedemos a comprobar si los esfuerzos de Z03 pueden ser absorbidos con el mismo refuerzo que se le ha asignado a Z01 ( $\varnothing 16c/20$ )

M11- ELUu (+ref  $\varnothing 16 c/20$ ) (287KNm/m.a)    M22- ELUu (+ref  $\varnothing 16 c/20$ ) (287KNm/m.a)

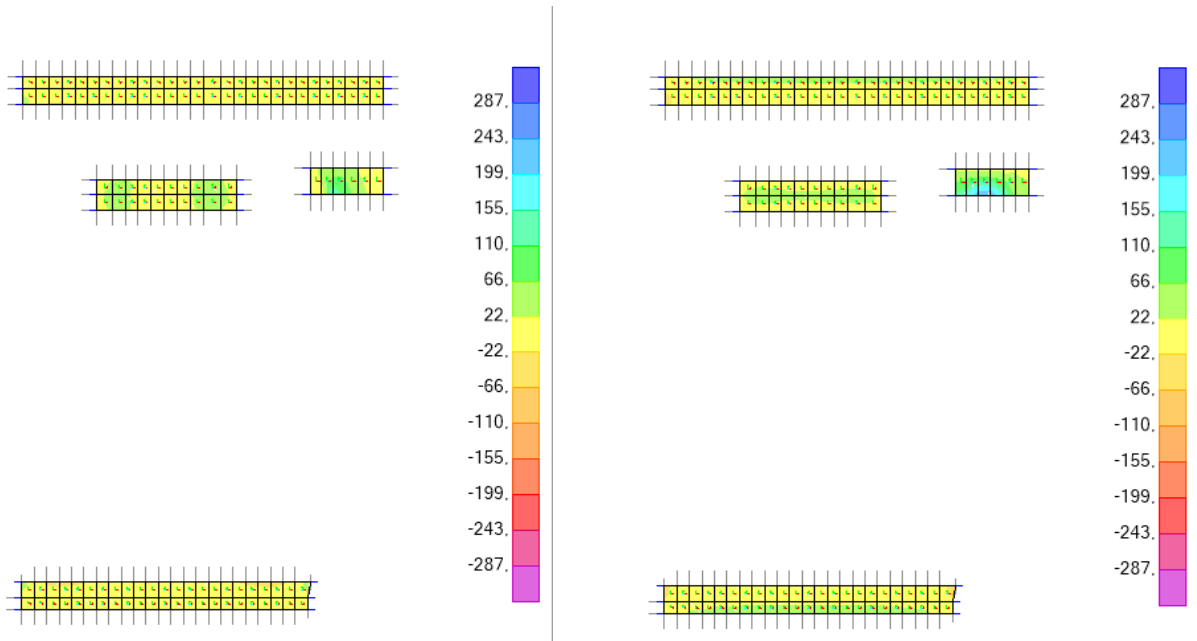


Figura 5.2.2.1-9. Ventana Esfuerzos (ELUu) de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

V13- ELUu (+ref  $\varnothing 16 c/20$ ) (262KNm/m.a)    V23- ELUu (+ref  $\varnothing 16 c/20$ ) (262KNm/m.a)

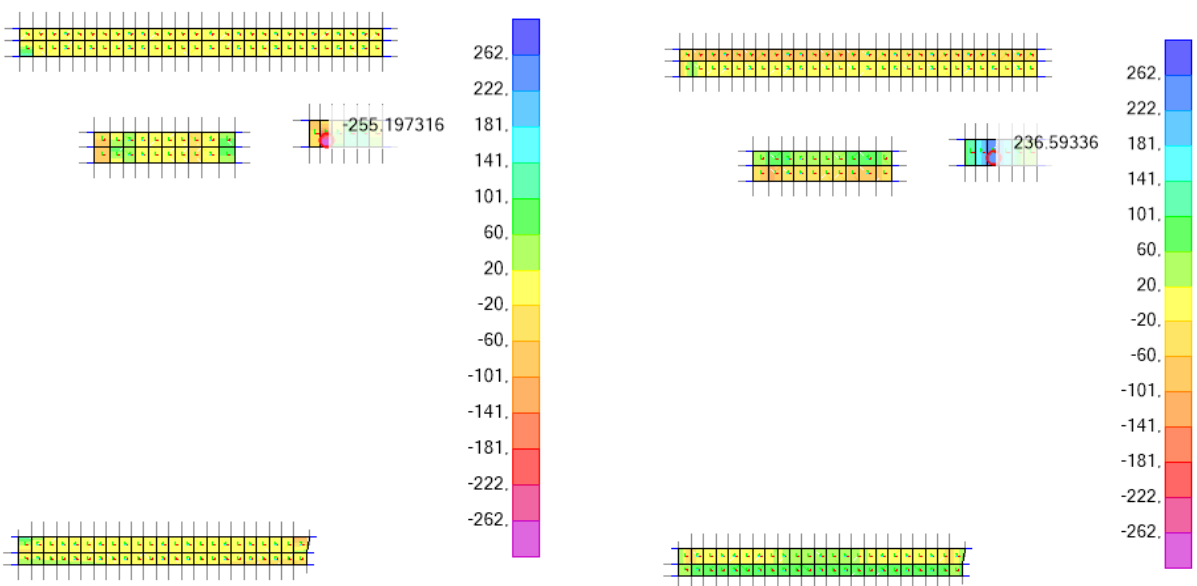


Figura 5.2.2.1-10. Ventana Esfuerzos (ELUu) de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Por tanto, con un refuerzo del  $\emptyset 16$  c/20 en la zapata Z03, conseguiremos absorber este exceso de momento, pero sobretodo, cortante. Tendremos así un armado de refuerzo homogéneo entre la zapata Z01 y la zapata Z03.

En definitiva, las zapatas Z02, Z03 y Z04 se solucionará con un **armado base inferior del #  $\emptyset 12$  c/20**, con su respectiva zonas de **refuerzo del #  $\emptyset 16$  c/20** en la zapata Z03.

No obstante, se debe anotar que en el proyecto original, en esta zona existe una rampa de acceso rodado, y por tanto, el comportamiento tanto del muro como de la zapata en esta zona, no sería este, pues existiría una losa inclinada que conectaría ambos muros e impediría una parte de los movimiento producidos por los empujes del terreno hacia los muros, y en consecuencia, a esta zapata, cuya longitud real es mucho mayor (revisar *ANEXO I*). Al reducirse esta deformación horizontal, **se reduciría también el momento producido en la base del muro, y por tanto la conexión con la zapata estaría mucho más relajada** de lo que se observa en los diagramas.

No obstante se ha realizado el dimensionado para los esfuerzos obtenidos.

Por simplificación del trabajo, no se dimensionarán las esperas.

### 5.2.2.2 FORJADO DE PLANTA BAJA

Las características a tener en cuenta sobre este forjado son:

- Hormigón: HA-30
- Acero:  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$
- Recubrimiento nominal: 35 mm
- Canto: 20cm
- Definición de la armadura: (según proceda)

Para un primer tanteo de la armadura de la losa, empezaremos con un emparrillado del  $\varnothing 12 \text{ c}/20$  y lo compararemos con el del  $\varnothing 16 \text{ c}/20$ . Por tanto, los datos a introducir en un primer momento en la tabla excel serán:

COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA DE LOSAS MACIZAS		
DAVID GALLARDO LLOPIS - DICIEMBRE 2015		
<b>DATOS DE PARTIDA</b>		
<b>Materiales y geometría</b>		
Fck	30	N/mm <sup>2</sup>
Ge	1,50	
Fcd	20,00	N/mm <sup>2</sup>
Fyk	500	N/mm <sup>2</sup>
Gy	1,15	
Fyd	434,78	N/mm <sup>2</sup>
Tipo de elemento	FORJADO	
Canto Losa Maciza	20	cm
Recubrimiento Neto	3,5	cm
Cuántía mínima geométrica	78,26	kN
Cuántía mínima mecánica	160,00	kN
<b>RESISTENCIA ELU</b>		
<b>FLEXIÓN POSITIVA/NEGATIVA Y CORTANTE</b>		
<b>Armadura de Base</b>		
Diámetro de base	16	mm
Distancia entre barras de base	20	cm
Usd base	437,09	kN / m.a.
Canto útil	157,00	mm
<b>M ult base</b>	<b>62,75</b>	<b>kNm/m.a.</b>
<b>Cortante resistido sin armadura específica (solo base)</b>		
Epsilon	2,000000	
Cuántía geométrica	0,006403	
<b>Yu2 (base)</b>	<b>100,91</b>	<b>kN/m.a.</b>

DOMINIO
2
PROF. FN. [mm]
33,93

Figura 5.2.2.2-1. Comprobación de resistencia de losas macizas. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo.

Una vez obtenido el momento último base, procedemos a introducirlo en SAP2000 en negativo y positivo para observar si en algún punto se rebasa esta resistencia. Se estudiará en la combinación ELUu y en dirección del eje 11 y del eje 22.

M11- ELUu ( $\varnothing 12$  c/20) (37KNm/m.a)

M22- ELUu ( $\varnothing 12$  c/20) (37KNm/m.a)

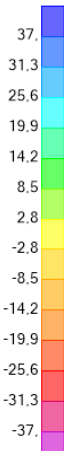
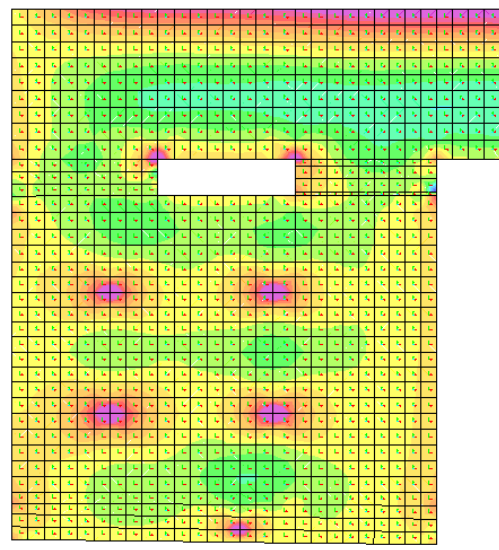
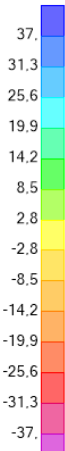
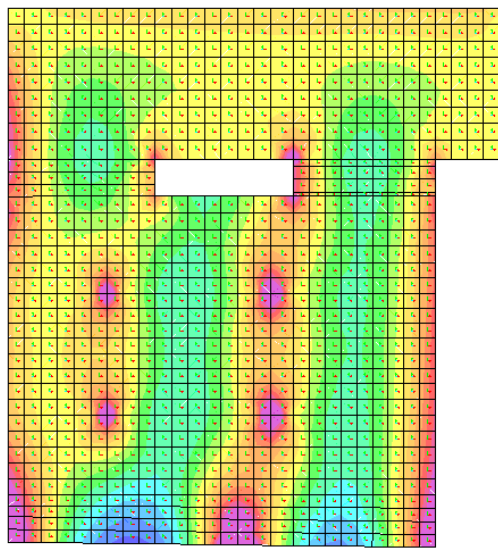


Figura 5.2.2.2-2. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

M11- ELUu ( $\varnothing 16$  c/20) (62KNm/m.a)

M22- ELUu ( $\varnothing 16$  c/20) (62KNm/m.a)

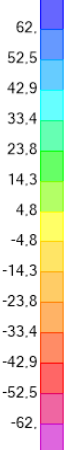
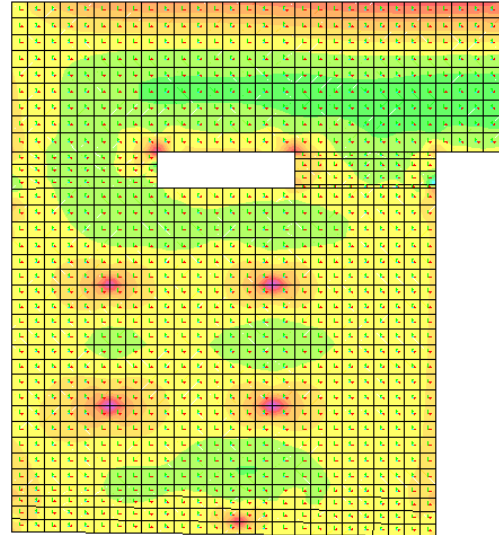
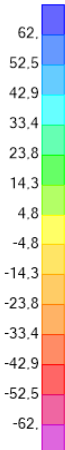
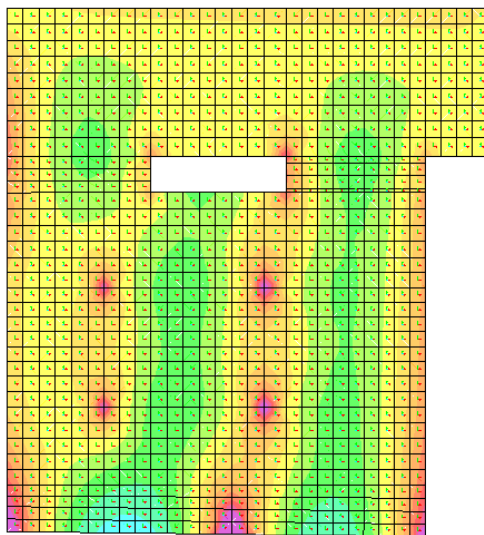


Figura 5.2.2.2-3. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Observamos pues una mejora notable con el armado del **Ø16 c/20**. Sin embargo se observan grandes picos de momentos negativos en las áreas de los pilares. Se estudian a continuación los posibles refuerzos para estas zonas.

M11- ELUu (+ref Ø12 c/20) (93,6KNm/m.a) M22- ELUu (+ref Ø12 c/20) (93,6KNm/m.a)

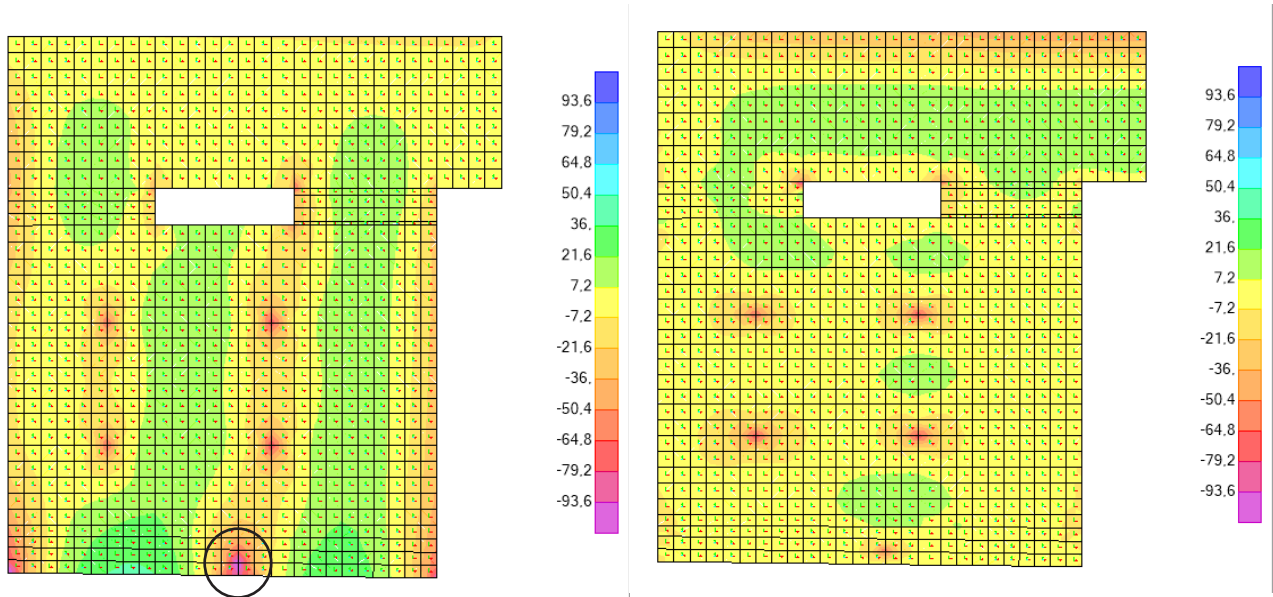


Figura 5.2.2.2-4. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Tan solo en un pequeño punto de la losa en el M11 se observa que se supera el valor del momento último. Se procede a realizar un Section Cut de esta zona para conocer los esfuerzos de forma más precisa.

COMBINACIÓN ELEGIDA		LONGITUD	
ELUU		0,4000	
Section Cut			
F1	-4,2160	M1	0,6479
F2	-0,3024	M2	-40,8026
F3	48,3183	M3	-0,1572
F1/L	-10,5402	M1/L	1,6199
F2/L	-0,7560	M2/L	-102,0084
F3/L	120,7979	M3/L	-0,3931

Figura 5.2.2.2-5. Section Cut del forjado de planta baja. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo.

Al estar analizando el momento producido en el eje M11 local, su equivalente en el *Section Cut* será el M22 global, o lo que es lo mismo, el momento en el eje Y. Por lo que se obtiene un momento de -102 KN, un valor no muy alejado de los 93 KN del momento último base soportado, muy localizado y que además se verá repartido con la aplicación de una cruceta. En conclusión, se desprecia este momento.

Finalmente se comprueban los cortantes con el armado base definitivo y los refuerzos establecidos para los pilares.

V13- ELUu (Ø16 c/20+ref) (122KNm/m.a)      M22- ELUu (Ø16 c/20+ref) (122KNm/m.a)

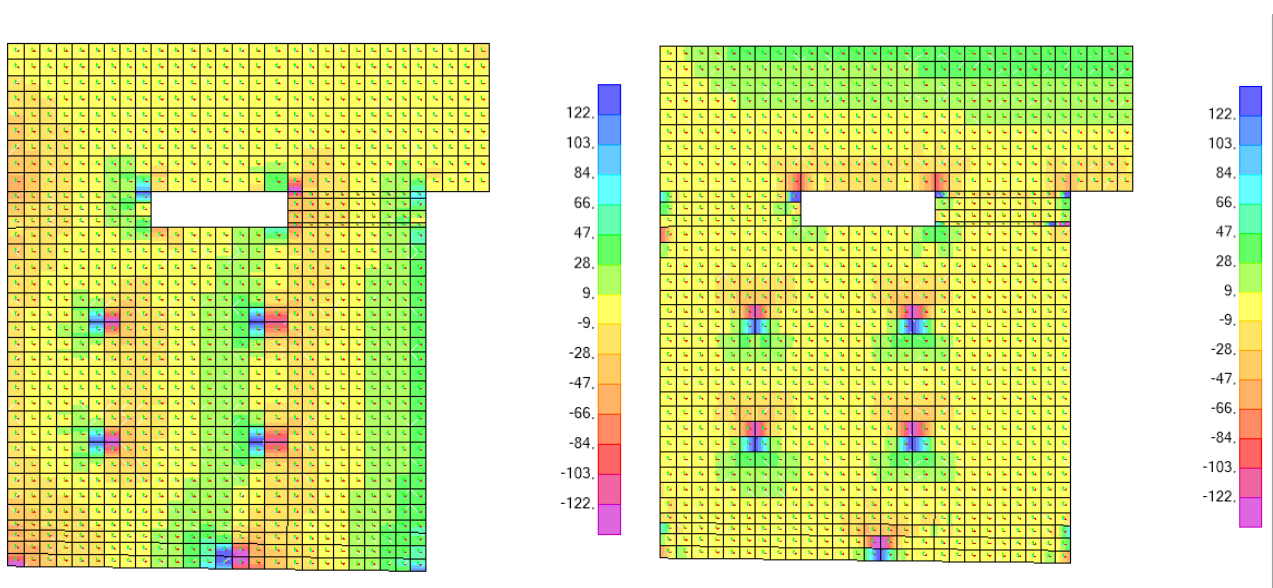


Figura 5.2.2.2-6. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Por lo general la losa soporta el esfuerzo cortante en la mayor parte de su superficie, sin embargo, se produce un exceso en los entornos de las cabezas de los pilares de la planta sótano. Esto es un suceso muy común debido al punzonamiento que estos ejercen sobre la losa. La solución es colocar una serie de crucetas metálicas embebidas en el hormigón que realizan una mejor distribución de esfuerzos, actuando estas como mecanismo de conexión entre la estructura metálica y la losa. Se suelen emplear UPN soldados al soporte.

Se establece en definitiva para el Forjado de Planta Baja un **armado base superior e inferior del # Ø16 c/20 con refuerzos de negativos del Ø12 c/20** en las zonas de los pilares más las correspondientes **crucetas metálicas**.

### 5.2.2.3 FORJADO DE PLANTA PRIMERA

Las características a tener en cuenta sobre este forjado son:

- Hormigón: HA-30
- Acero:  $f_yk = 500 \text{ N/mm}^2$
- Recubrimiento nominal: 35 mm
- Canto: 20cm
- Definición de la armadura: (según proceda)

Para un primer tanteo de la armadura de la losa, empezaremos con un emparrillado del  $\varnothing 12 \text{ c}/20$  y lo compararemos con el del  $\varnothing 16 \text{ c}/20$ .

M11- ELUu ( $\varnothing 12 \text{ c}/20$ ) (37KNm/m.a)

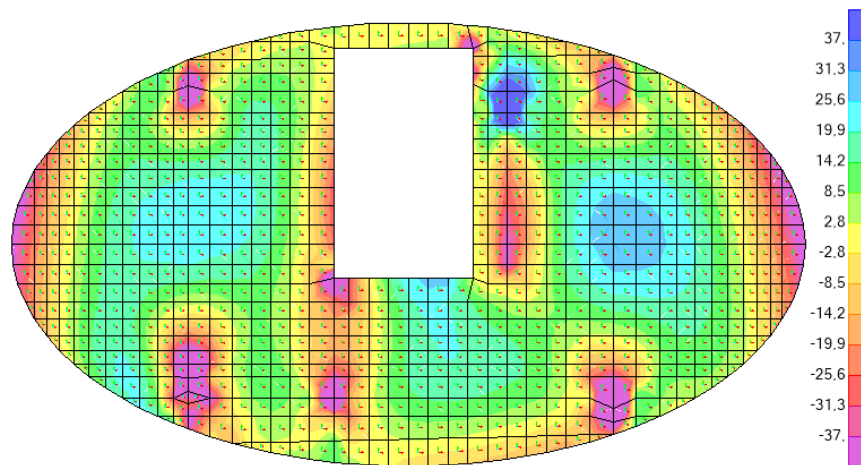


Figura 5.2.2.3-1. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

M22- ELUu ( $\varnothing 12 \text{ c}/20$ ) (37KNm/m.a)

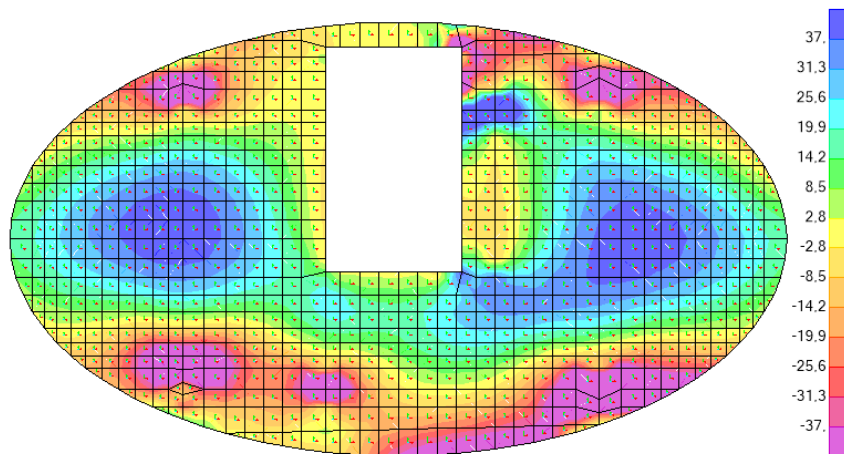


Figura 5.2.2.3-2. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.



M11- ELUu (Ø16 c/20) (63KNm/m.a)

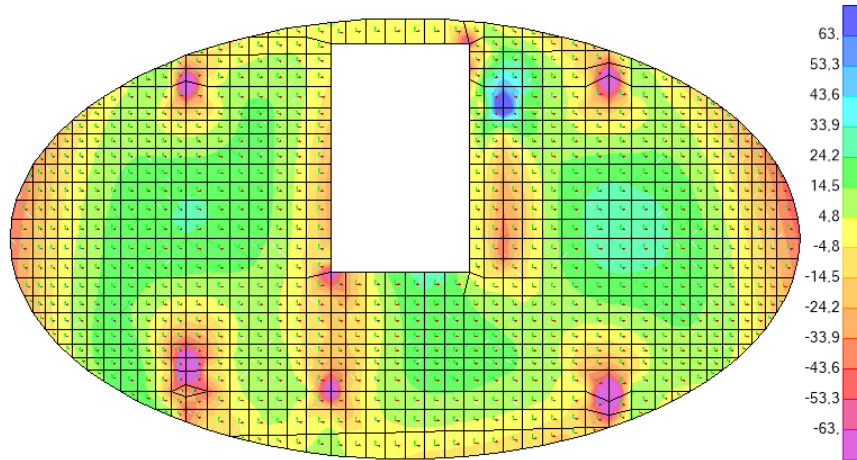


Figura 5.2.2.3-3. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

M22- ELUu (Ø16 c/20) (63KNm/m.a)

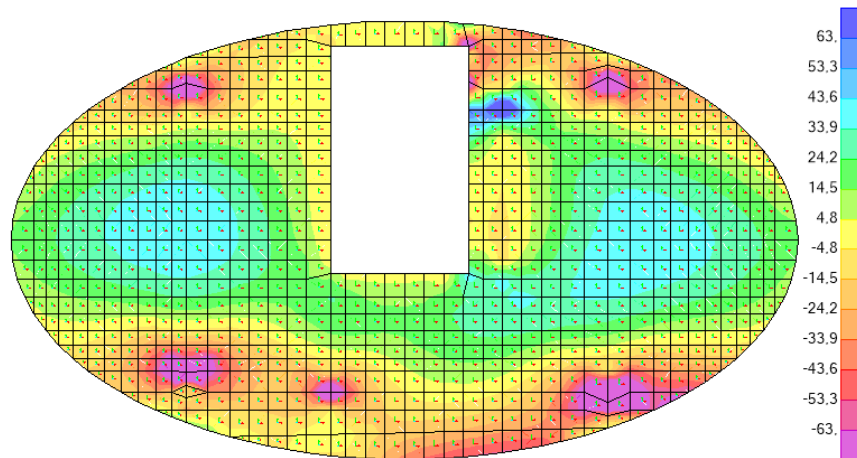


Figura 5.2.2.3-4. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Observamos pues una mejora notable con el armado del **Ø16 c/20**. Sin embargo se observan grandes picos de momentos negativos en las áreas correspondientes tanto de los pilares como en las esquinas de los muros. Por otro lado las dos áreas azules en ambos lados de la elipse denotan altos momentos positivos (40 KN), pero dado que se encuentran dentro de la resistencia última no será necesario aplicar refuerzos. Sin embargo, sí que hay una pequeña zona azul oscuro que habrá que estudiar con más detenimiento. Se estudian a continuación los refuerzos de negativos (zonas magenta) que deberán salvar momentos de hasta 190 KN, algo un tanto complicado de resolver con simples refuerzos de armado, no obstante vamos a estudiar las diferentes posibilidades junto con el armado base del Ø16 c/20.

M11- ELUu (+ref Ø20 c/20) (136KNm/m.a)

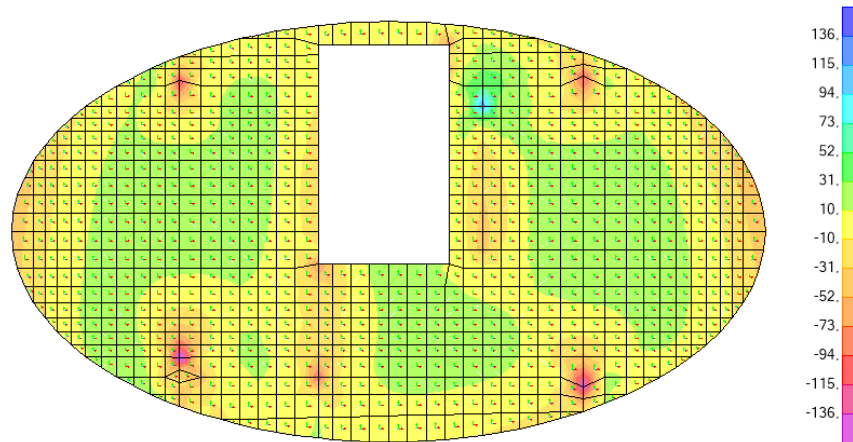


Figura 5.2.2.3-5. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

M22- ELUu (+ref Ø20 c/20) (136KNm/m.a)

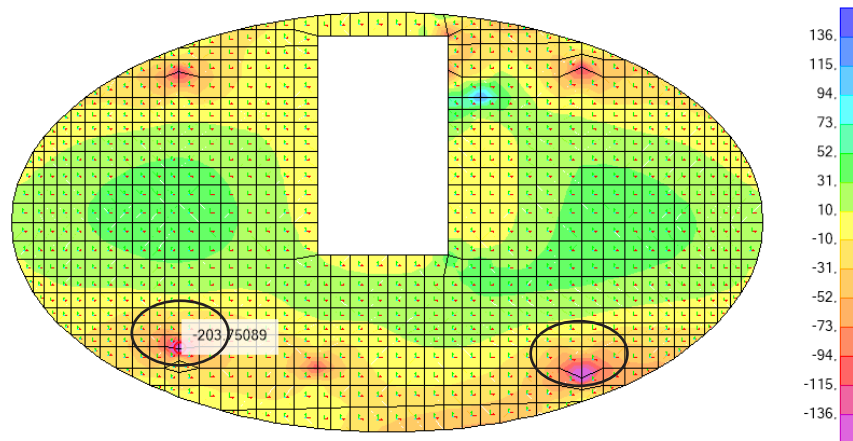


Figura 5.2.2.3-6. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Para reforzar estas zonas, la armadura máxima que podemos utilizar es del Ø20 c/20, ya que si nos vamos a diámetros mayores o separaciones menores la losa comienza a trabajar en el dominio 4, es decir, podría sufrir rotura frágil. Los dominios de trabajo del hormigón se encuentran entre el 2 y el 3.

Es cierto que se observa una gran mejoría en la absorción de momentos, y que las zonas punzonadas por los pilares superiores sí que se podrían ver resueltas con este refuerzo a nivel de momentos. Sin embargo, en las zonas de los dos pilares inferiores este refuerzo no llega a ser suficiente. Estudiaremos a continuación los cortantes contando solo con el armado base para ver las áreas más afectadas.

V13- ELUu ( Ø16 c/20) (101KNm/m.a)

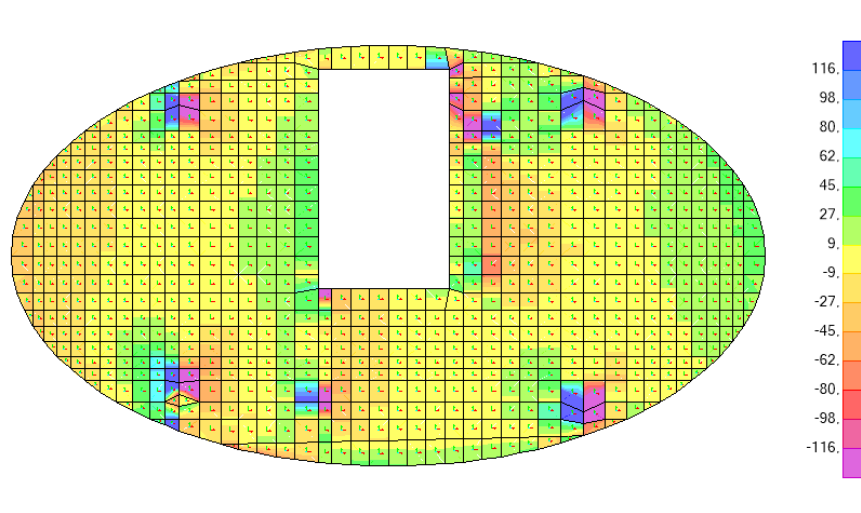


Figura 5.2.2.3-7. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

V23- ELUu (+ref Ø16c/20) (101KNm/m.a)

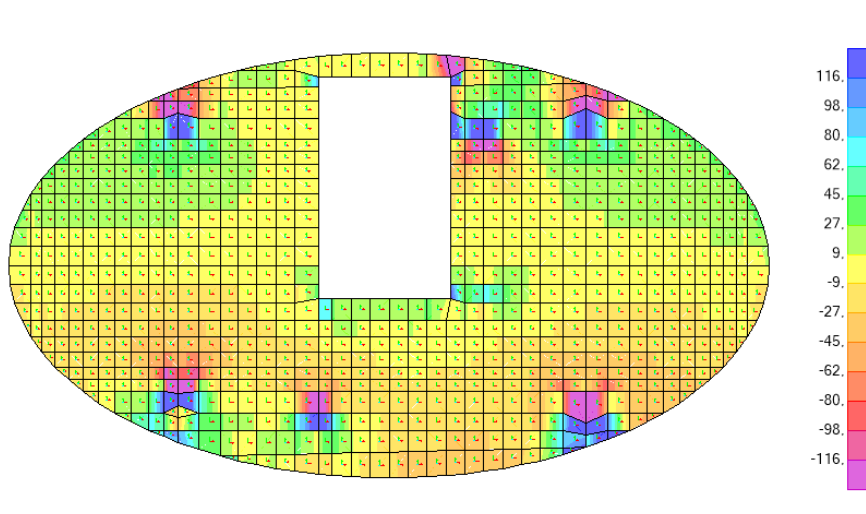


Figura 5.2.2.3-8. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Por lo general la losa soporta el esfuerzo cortante en la mayor parte de su superficie, sin embargo, y como sucedía anteriormente en la planta inferior, se produce un exceso en los entornos de los pilares debido al punzonamiento que estos ejercen sobre la losa. Debido a que no hay armadura de refuerzo que consiga solucionar este problema dentro de los dominios 2 y 3, una posible solución es colocar una serie de **perfiles metálicos** que absorban el exceso de momento y de cortante. Debido a la simplificación del trabajo esta cuestión queda anotada pero no se procederá al dimensionado y cálculo de estos perfiles.

Se procede a estudiar el refuerzo de las otras dos zonas afectadas por los momentos producidos por el encuentro con los muros. Como ya se ha analizado, partimos de un armado base del # Ø16 c/20.

M11- ELUu ( +ref Ø16 c/20) (114KNm/m.a)

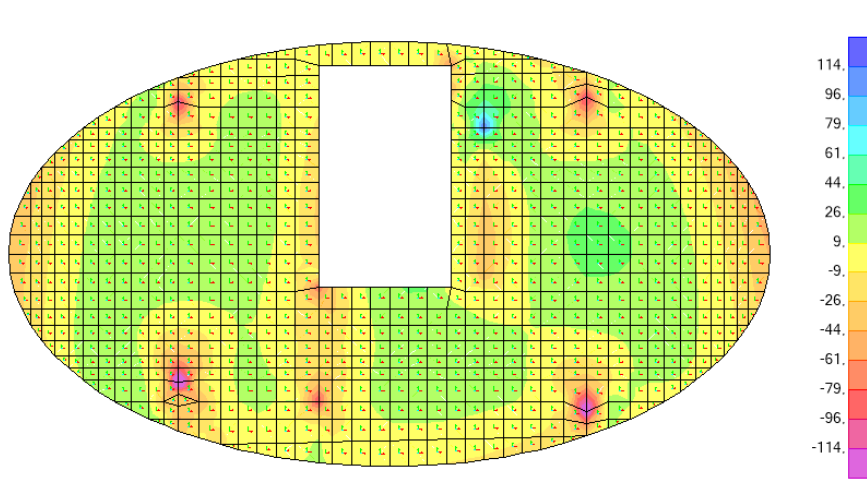


Figura 5.2.2.3-9. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

M22- ELUu (+ref Ø16c/20) (114KNm/m.a)

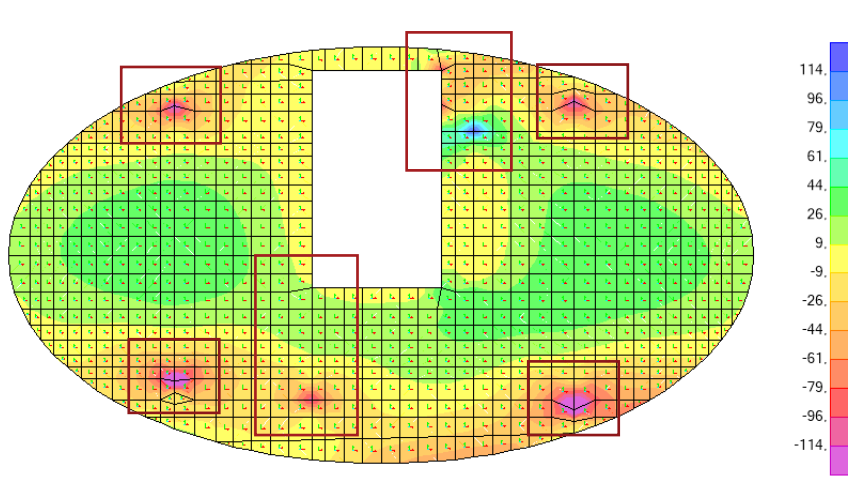


Figura 5.2.2.3-10. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Se observa que con un armado base del # Ø16 c/20 y un refuerzo también del # Ø16 c/20 se consiguen absorber todos los excesos de esfuerzos (excepto los originados por pilares como ya se ha comentado). Por tanto, estos momentos y cortantes causados por la interacción muro-losa, se solucionarán con:

- Recuadros: se colocará un armado de **refuerzo inferior y superior del # Ø16 c/20**

En definitiva, el forjado de planta primera se solucionará con un **armado base superior e inferior del # Ø16 c/20**, con sus respectivas zonas de **refuerzos del # Ø16 c/20 inferior y superior**, y con una serie de **perfiles metálicos** que deberán absorber, sobre los 4 pilares, la diferencia entre el cortante de cálculo y el cortante último resistido por las losas con su armado en esa zona.

### 5.2.2.4 FORJADO DE CUBIERTA

Las características a tener en cuenta sobre este forjado son:

- Hormigón: HA-30
- Acero:  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$
- Recubrimiento nominal: 45 mm
- Canto: 25cm
- Definición de la armadura: (según proceda)

Para un primer tanteo de la armadura de la losa, empezaremos con un emparrillado del  $\varnothing 12 \text{ c}/20$  y lo compararemos con el del  $\varnothing 16 \text{ c}/20$ .

M11- ELUu ( $\varnothing 12 \text{ c}/20$ ) (47KNm/m.a)

M11- ELUu ( $\varnothing 12 \text{ c}/20$ ) (47KNm/m.a)

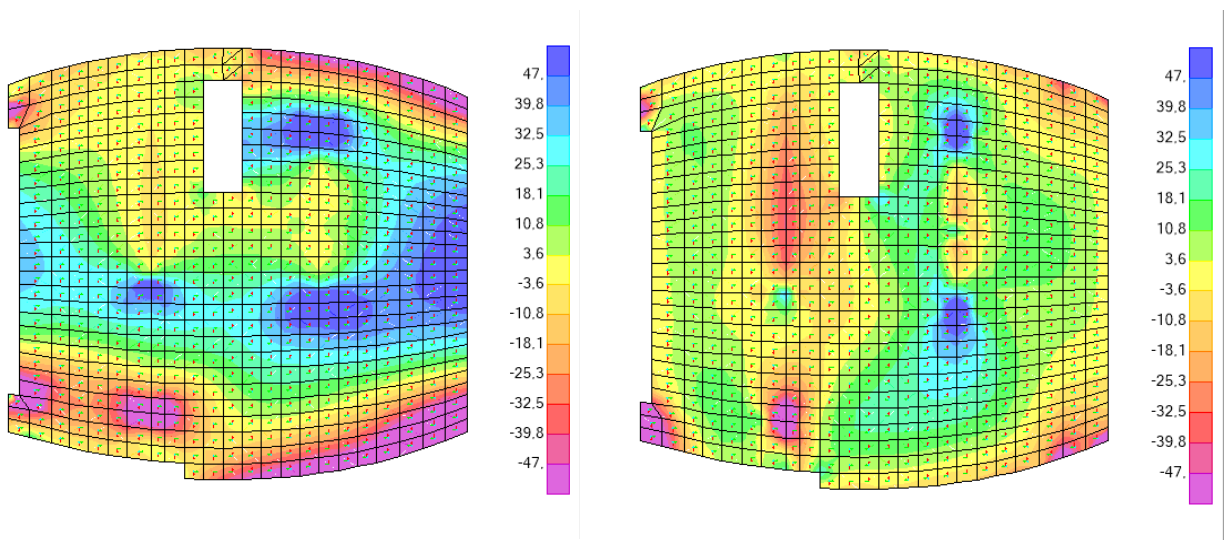


Figura 5.2.2.4-1. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

M11- ELUu ( $\varnothing 16 \text{ c}/20$ ) (80KNm/m.a)

M11- ELUu ( $\varnothing 16 \text{ c}/20$ ) (80KNm/m.a)

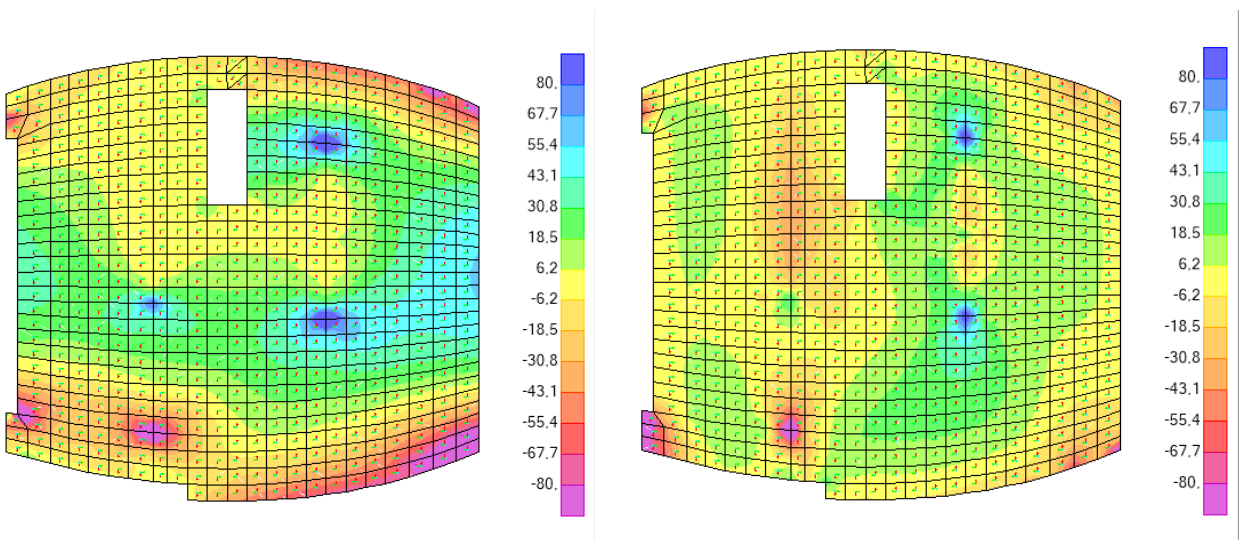


Figura 5.2.2.4-2. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Observamos pues una mejora notable con el armado del  $\varnothing 16$  c/20. Sin embargo se observan grandes picos de momentos en las áreas que tienen tanto interacción con un muro como con un pilar. Se estudian a continuación los refuerzos de estas zonas, partiendo de un armado base superior e inferior del  $\# \varnothing 16$  c/20.

M11- ELUu (ref  $\varnothing 12$  c/20) (121KNm/m.a)      M11- ELUu (ref  $\varnothing 12$  c/20) (121KNm/m.a)

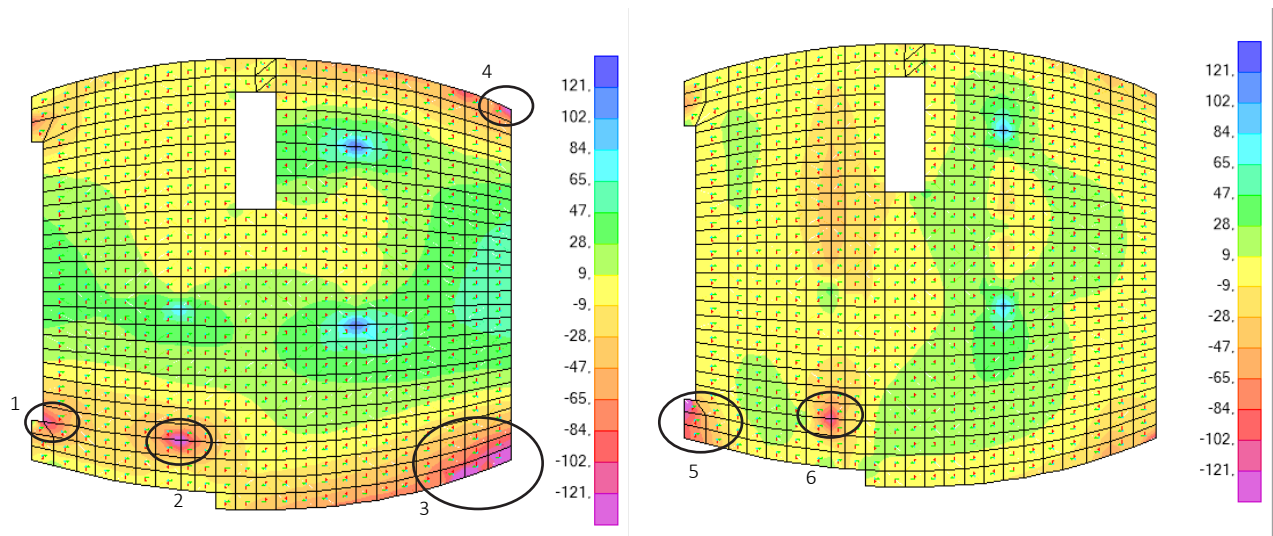


Figura 5.2.2.4-3. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Se observa que con el refuerzo del  $\# \varnothing 12$  c/20 se consiguen absorber todos los excesos de momento positivos (zonas azules), pues los valores máximos que estos alcanzan son de 119KN en la dirección del eje 11 local. Sin embargo, nos surgen algunas dudas con los momentos negativos (zonas magenta), por ello procedemos a realizar un *Section Cut* de cada una de las zonas que visualmente no cumplen.

**Section Cut 1**

El corte se realiza en la dirección del eje 11 local pues es la más desfavorable para este punto. En esta dirección el momento local M11 es igual al momento global en X, es decir el M11 global. Se obtiene un valor de 122,55 KN, por lo que, aunque bastante al límite, el refuerzo de negativos en este punto con una armadura del  $\varnothing 12$  c/20 a efectos de momentos sería válido. Faltará comprobar los cortantes en un siguiente paso.

COMBINACIÓN ELEGIDA		LONGITUD	
ELUU		1,0664	
Section Cut			
F1	240,2048	M1	130,6918
F2	134,8696	M2	8,8442
F3	175,5549	M3	-79,3192
F1/L	225,2455	M1/L	122,5527
F2/L	126,4703	M2/L	8,2934
F3/L	164,6219	M3/L	-74,3795

Figura 5.2.2.4-4. Section cut cubierta. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo

### Section Cut 2

El corte se realiza en la dirección del eje 11 local pues es la más desfavorable para este punto. En esta dirección el momento local M11 es igual al momento global en X, es decir el M11 global. Se obtiene un valor de 115,9 KN, por lo que el refuerzo de negativos en este punto con una armadura del  $\varnothing 12$  c/20 a efectos de momentos sería válido. Faltará comprobar los cortantes en un siguiente paso.

COMBINACIÓN ELEGIDA		LONGITUD	
ELUU		1,2444	
Section Cut			
F1	299,8378	M1	144,2369
F2	191,6403	M2	-32,2084
F3	210,2542	M3	-59,8780
F1/L	240,9484	M1/L	115,9082
F2/L	154,0014	M2/L	-25,8826
F3/L	168,9594	M3/L	-48,1178

Figura 5.2.2.4-5. Section cut cubierta. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo

### Section Cut 3

El corte se realiza del mismo modo que los dos casos anteriores. Sin embargo, se obtiene un valor de 221,6 KN. Este esfuerzo se debe al punzonamiento del pilar del forjado inferior. Al ser esta zona la más alejada de los muros intermedios que van soportando y absorbiendo parte de las cargas de la cubierta, experimenta esfuerzos de momento negativo mayores al resto, por lo que este refuerzo en este punto no es suficiente.

COMBINACIÓN ELEGIDA		LONGITUD	
ELUU		0,7989	
Section Cut			
F1	-26,2997	M1	177,0501
F2	443,7181	M2	50,7852
F3	170,3022	M3	62,3607
F1/L	-32,9204	M1/L	221,6206
F2/L	555,4193	M2/L	63,5699
F3/L	213,1739	M3/L	78,0593

Figura 5.2.2.4-6. Section cut cubierta. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo

### Section Cut 4

El corte se realiza del mismo modo que los otros casos anteriores. Se obtiene un valor de 109,6 KN, por lo que el refuerzo de negativos en este punto con una armadura del  $\varnothing 12$  c/20 a efectos de momentos sería válido. Faltará comprobar los cortantes en un siguiente paso.

COMBINACIÓN ELEGIDA		LONGITUD	
ELUU		0,7989	
Section Cut			
F1	-50,5920	M1	-87,5895
F2	-98,3869	M2	14,9254
F3	109,7985	M3	-13,3582
F1/L	-63,3286	M1/L	-109,6404
F2/L	-123,1561	M2/L	18,6829
F3/L	137,4406	M3/L	-16,7211

Figura 5.2.2.4-7. Section cut cubierta. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo

### Section Cut 5

El corte se realiza en la dirección del eje 22 local pues es la más desfavorable para este punto. En esta dirección el momento local M22 es igual al momento global en Y, es decir el M22 global. Se obtiene un valor de 182,07 KN, por lo que, en este punto, el refuerzo de negativos con una armadura del Ø12 c/20 no será suficiente.

COMBINACIÓN ELEGIDA		LONGITUD	
ELUU		0,4000	
Section Cut			
F1	119,4430	M1	67,2121
F2	143,9223	M2	-72,8317
F3	139,3509	M3	41,1799
F1/L	298,6076	M1/L	168,0302
F2/L	359,8058	M2/L	-182,0794
F3/L	348,3774	M3/L	102,9498

Figura 5.2.2.4-8. Section cut cubierta. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo

### Section Cut 6

El corte se realiza en la dirección del eje 22 local. En esta dirección el momento local M22 es igual al momento global en Y, es decir el M22 global. Se obtiene un valor de 104,30 KN, por lo que, en este punto, que además se corresponde con el Section Cut 2 en la otra dirección, el refuerzo de negativos con una armadura del Ø12 c/20 será suficiente. Faltará comprobar los cortantes en un siguiente paso.

COMBINACIÓN ELEGIDA		LONGITUD	
ELUU		1,0117	
Section Cut			
F1	-300,8628	M1	11,5056
F2	376,2026	M2	-105,5171
F3	150,0129	M3	72,8092
F1/L	-297,3870	M1/L	11,3727
F2/L	371,8564	M2/L	-104,2981
F3/L	148,2798	M3/L	71,9680

Figura 5.2.2.4-9. Section cut cubierta. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo

En conclusión, las zonas 1, 2, 4 y 6, podrían resolverse con una armadura del Ø12 c/20 (en la dirección que corresponda para cada uno de los puntos). Sin embargo, las zonas 3 y 5 experimentan momentos negativos demasiado altos que habría que resolver de otro modo. No obstante, primero comprobaremos el comportamiento de los cortantes haciendo uso de un armado base del Ø16 c/20 y un refuerzo del Ø12 c/20.



V12- ELUu (ref Ø12 c/20) (153KNm/m.a)      V23- ELUu (ref Ø12 c/20) (153KNm/m.a)

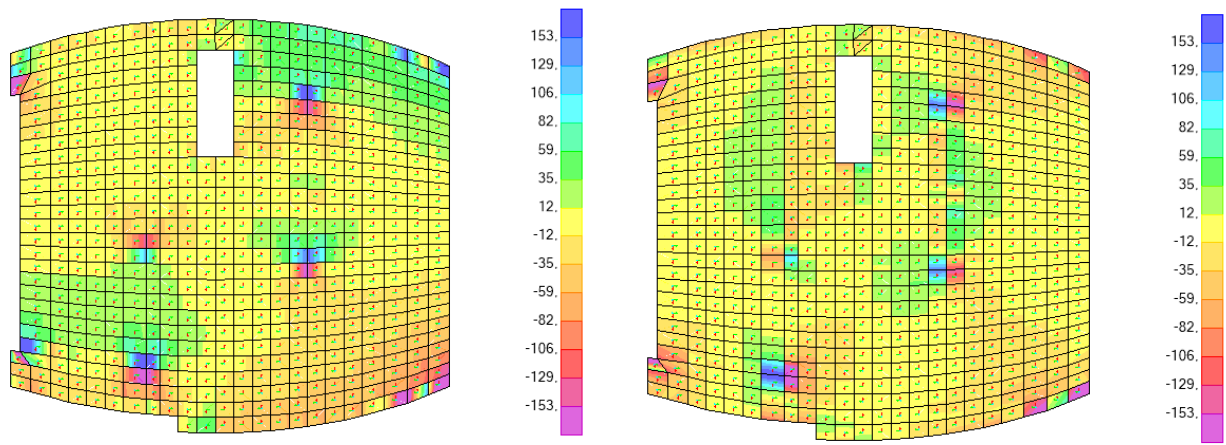


Figura 5.2.2.4-10. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Se observan varias zonas donde existen cortantes de valores excesivos. Esto se debe al punzonamiento de los pilares y de los muros. Se han probado distintos refuerzos y el más eficiente ha sido con refuerzos del Ø20 c/20.

V12- ELUu (ref Ø20 c/20) (181KNm/m.a)      V23- ELUu (ref Ø20 c/20) (181KNm/m.a)

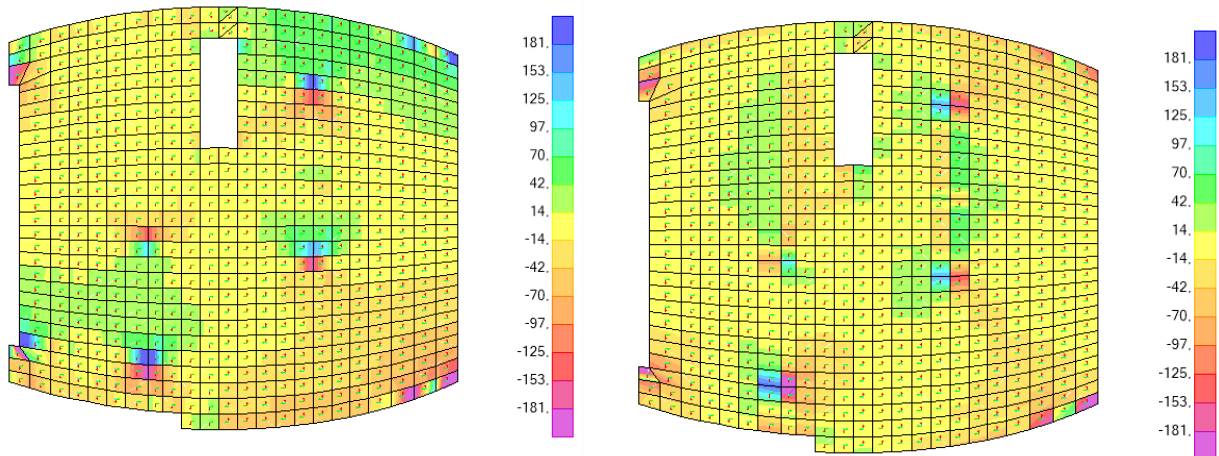


Figura 5.2.2.4-11. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Como podemos observar en la comparativa, la opción con base del Ø16 c/20 y un refuerzo del Ø12 c/20 queda descartada. En cuanto la segunda opción con refuerzos del Ø20 c/20, observamos que por lo general la losa soporta el esfuerzo cortante en la mayor parte de su superficie, sin embargo, y como sucedía anteriormente en la planta inferior, se produce un exceso de esfuerzos en los entornos de los pilares y extremos de muro que entran en contacto con la losa, causado por el punzonamiento que estos ejercen sobre ella.

Debido a que no hay armadura de refuerzo que consiga solucionar este problema, se recurre a la la opción de colocar de nuevo una serie de **perfiles metálicos** que absorban la diferencia entre el cortante de cálculo y el cortante último resistido por las losas con su armado en esa zona. No obstante, debido a la simplificación del trabajo esta cuestión queda anotada pero no se procederá al dimensionado y cálculo de estos perfiles.

Por tanto, los refuerzos de armado serán:

V12- ELUu (ref Ø20 c/20) (181KNm/m.a)

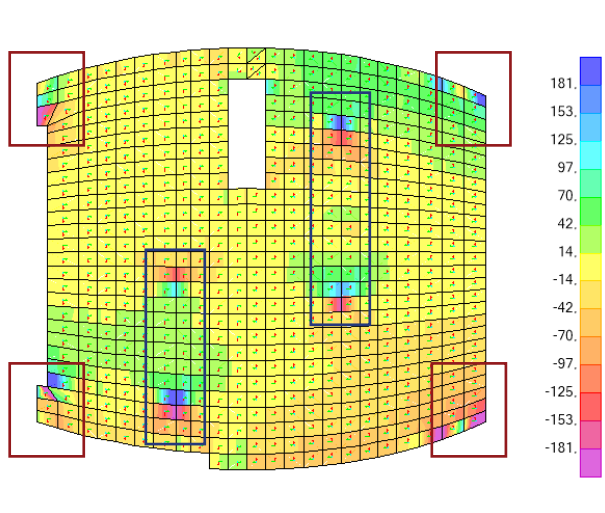
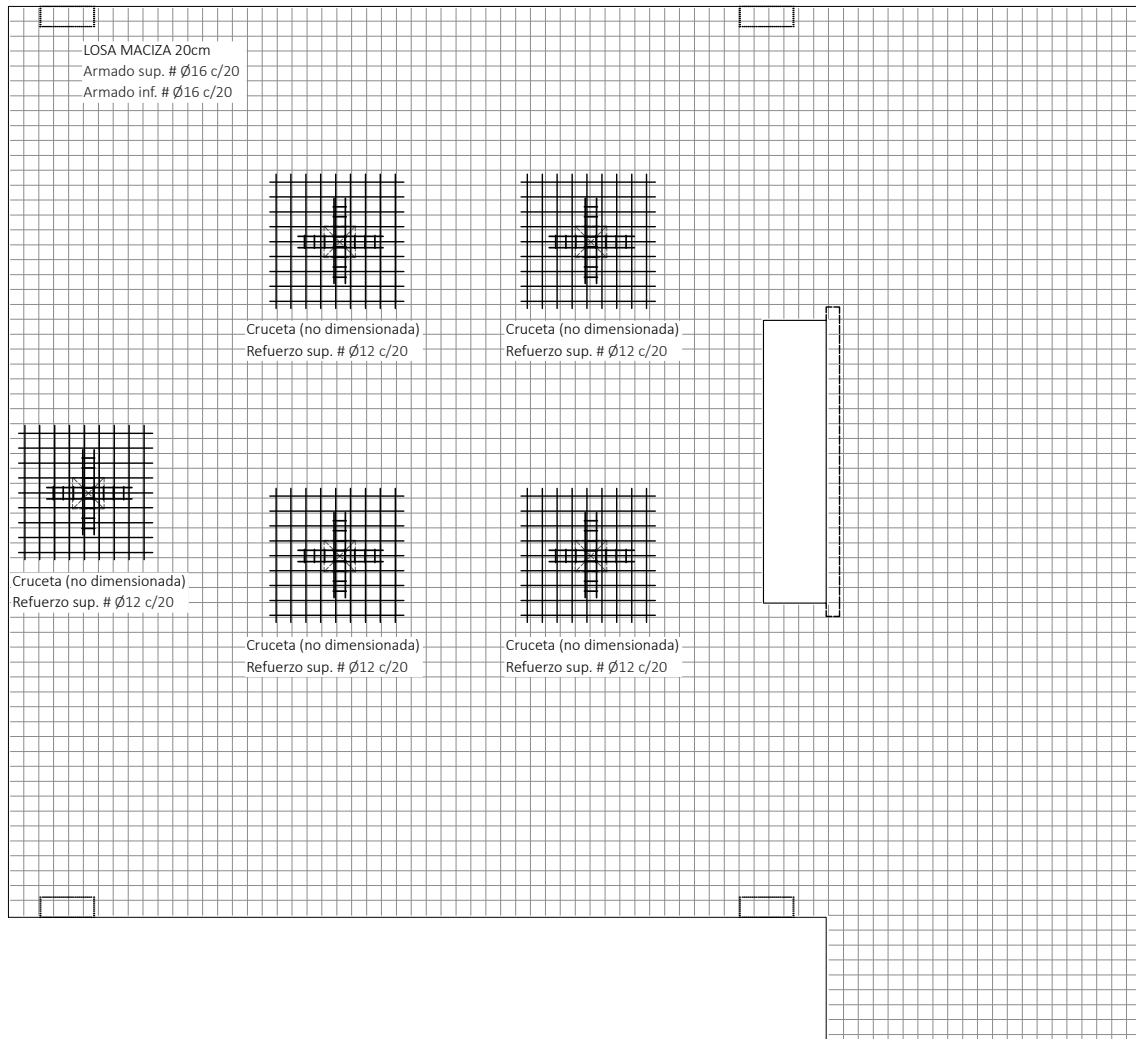


Figura 5.2.2.4-12. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

- Recuadros azules: se colocará un armado de **refuerzo inferior y superior del # Ø20 c/20**
- Recuadros rojos: se colocará un armado de **refuerzo superior del # Ø20 c/20**

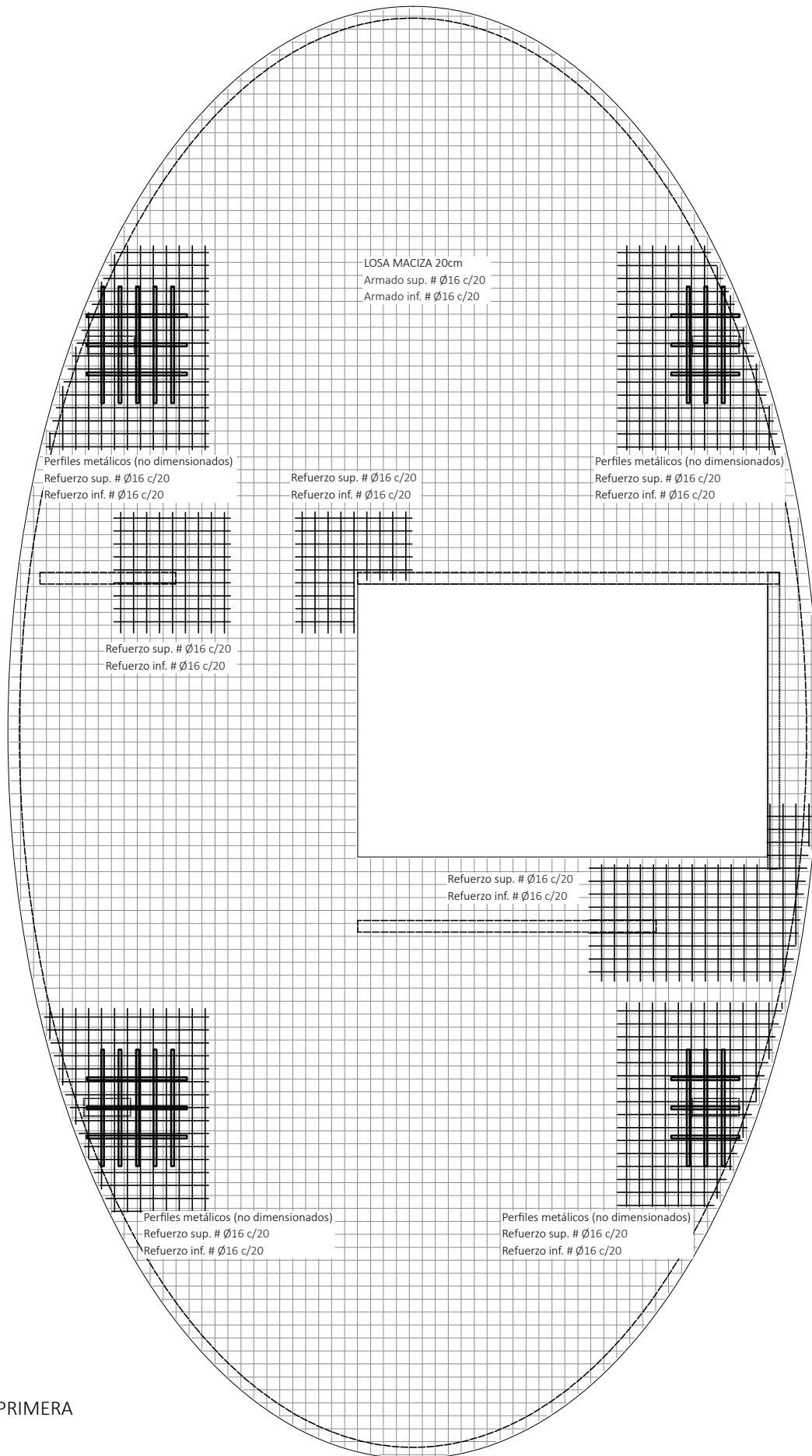
En definitiva, el forjado de planta cubierta se solucionará con un **armado base superior e inferior del # Ø16 c/20**, con sus respectivas zonas de **refuerzos del # Ø20 c/20**, y con una serie de **perfiles metálicos** que deberán absorber, sobre los 4 pilares, la diferencia entre el cortante de cálculo y el cortante último resistido por las losas con su armado en esa zona.

A continuación se exponen una serie de planos muy generales para mostrar simplemente la disposición de los armados obtenido en cada forjado.



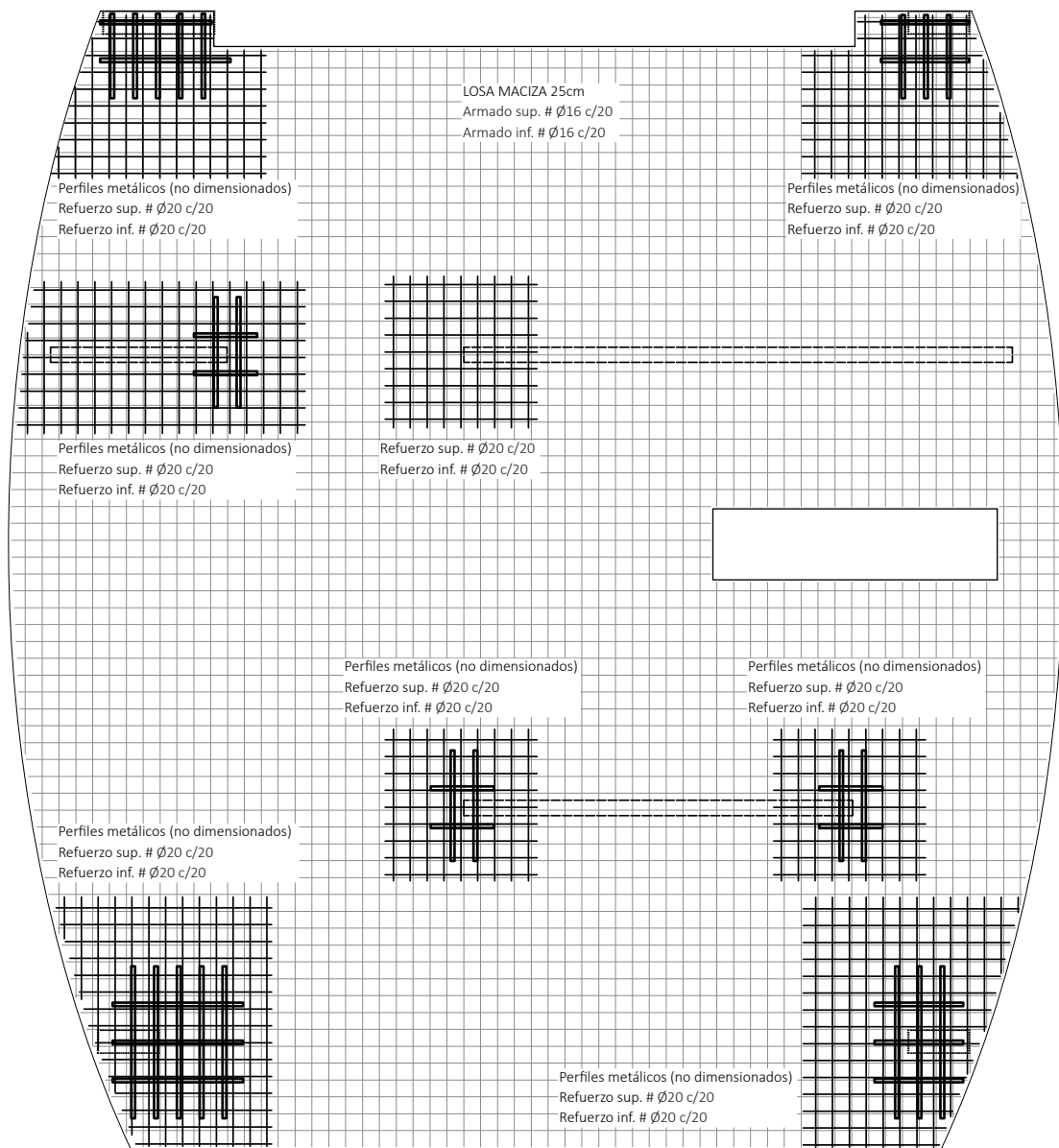
PLANTA BAJA

1:100



PLANTA PRIMERA

1:100



PLANTA CUBIERTA

1:100

## 5.2.3 COMPROBACIÓN DE LOS ELEMENTOS VERTICALES DE HORMIGÓN

### 5.2.3.1 MUROS DE SÓTANO

En este apartado se procede al análisis de de las secciones y armado de los muros de sótano. El hormigón que compone estos elementos es un HA-30 y la sección varía según el muro.

Para determinar la armadura correcta habrá que hacer comprobaciones de los cortantes tanto en la dirección del eje 1, como en el eje 2.

Al igual que en el caso de los elementos horizontales, todos estos cálculos se realizarán a través del excel *DimensionadoMuros.xlsx*. Los datos a introducir en esta tabla son los siguientes

Hormigón: HA-30

Acero:  $f_yk = 500 \text{ N/mm}^2$

Recubrimiento nominal: 35 mm

Canto: 30cm (para M01), 25cm (para M02) y 20cm (para M03)

Definición de la armadura: (según proceda)

La armadura variará según la el muro a analizar.

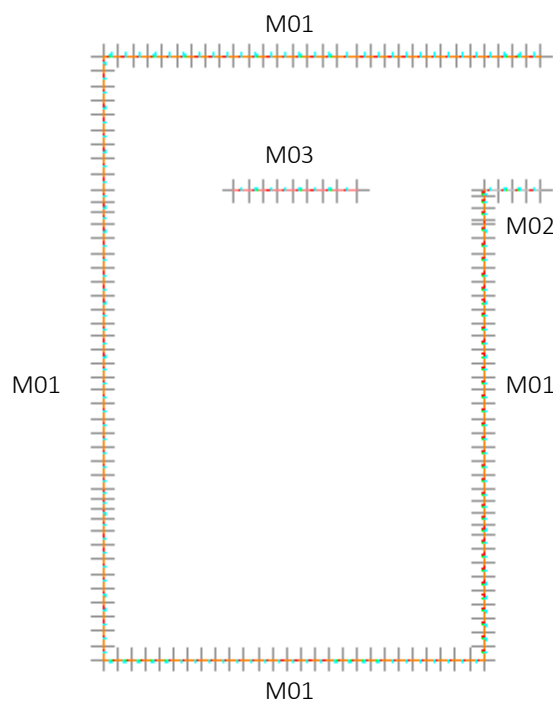


Figura 5.2.3.1-1. Tipologías de muros de sótano. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

### MUROS M01 (espesor = 30cm)

Separamos el estudio por muros con el mismo espesor. Comenzamos con los M01 que serán los de mayor canto de toda la estructura. Estos se corresponden con los muros pantalla del sótano.

Para su debido análisis se introducen los datos anteriores en la tabla excel *DimensionadoMuros.xlsx* y comenzamos a tantear la armadura base con una del Ø12c/20 tanto en la dirección vertical (eje 22 local) como horizontal (eje 11 local). En este caso se establece la armadura horizontal en la cara exterior, pues está tendrá un papel más importante en este tipo de muro que trata de soportar los empujes del terreno.

COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA DE MUROS - DAVID GALLARDO LLOPIS - ENERO 2015				
DATOS DE PARTIDA				
Materiales			Geometría	
Fck	30	N/mm <sup>2</sup>	Espesor muro	30 cm
Gc	1,50		Recubrimiento Neto	3,5 cm
Fcd	20,00	N/mm <sup>2</sup>	Armadura exterior	horizontal
Fyk	500	N/mm <sup>2</sup>	Recubrimiento armadura horizontal	4,10 cm
Gc	1,15		Recubrimiento armadura vertical	5,30 cm
Fyd (tracciones)	434,78	N/mm <sup>2</sup>		
Fyd (compresiones)	400,00	N/mm <sup>2</sup>		
ARMADO HORIZONTAL (simétrico en ambas caras)			ARMADO VERTICAL (simétrico en ambas caras)	
Armadura horizontal - fuerzas F11 [kN/m.a.]			Armadura vertical - fuerzas F22 [kN/m.a.]	
Diámetro de base horizontal	12	mm	Diámetro de base vertical	12 mm
Distancia vertical entre barras	20	cm	Distancia vertical entre barras	20 cm
Máxima compresión hormigón	5.100,00	kN/m.a.	Máxima compresión hormigón	5.100,00 kN/m.a.
Máxima compresión acero	452,39	kN/m.a.	Máxima compresión acero	452,39 kN/m.a.
<b>Máxima compresión</b>	<b>-5.552,39</b>	<b>kN/m.a.</b>	<b>Máxima compresión</b>	<b>-5.552,39</b> <b>kN/m.a.</b>
<b>Máxima tracción</b>	<b>491,73</b>	<b>kN/m.a.</b>	<b>Máxima tracción</b>	<b>491,73</b> <b>kN/m.a.</b>
Armadura horizontal - Momentos M11 [kNm/m.a.]			Armadura vertical - Momentos M22 [kNm/m.a.]	
Cuantía flexión transversal	245,86	kN / m.a.	Cuantía flexión transversal	245,86 kN / m.a.
<b>Momento último flexión transversal</b>	<b>58,27</b>	<b>kNm/m.a.</b>	<b>Momento último flexión transversal</b>	<b>58,27</b> <b>kNm/m.a.</b>
Armadura horizontal - Cortantes V13 [kN/m.a.]			Armadura vertical - Cortantes V23 [kN/m.a.]	
Epsilon	1,899843		Epsilon	1,922531
Cuantía geométrica	0,002288		Cuantía geométrica	0,002406
<b>Cortante último</b>	<b>107,04</b>	<b>kN/m.a.</b>	<b>Cortante último</b>	<b>104,78</b> <b>kN/m.a.</b>

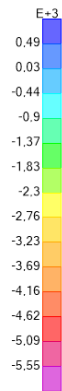
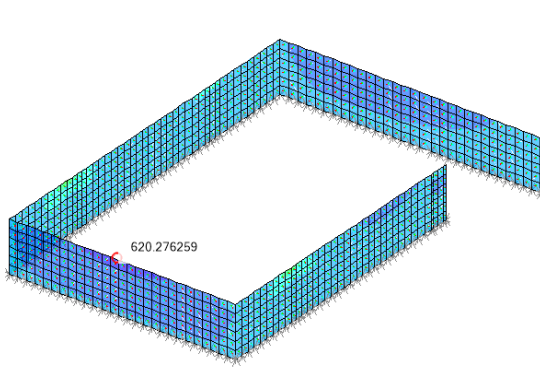
Figura 5.2.3.1-2. Tabla excel *DimensionadoMuros.xlsx*. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo.

La tabla calcula la máxima tensión y tracción capaz de resistir el elemento vertical con la armadura indicada, siguiendo siempre la normativa de la Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE-08).

Por tanto, esta armadura del Ø12c/20 proporciona compresión máxima de -5.552,39 KN/m.a, una tracción máxima de 491,73 KN/m.a, un momento último de flexión transversal de 58,27 kNm/m.a y un cortante último de 83,51 kN/m.a.

Procedemos a introducir estos datos en SAP2000 en la venta Show Forces Stress > Shells. Obteniendo los siguientes resultados.

F11- ELUu ( $\varnothing 12$  c/20)



F22- ELUu ( $\varnothing 12$  c/20)

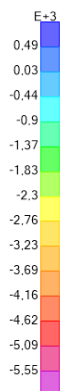
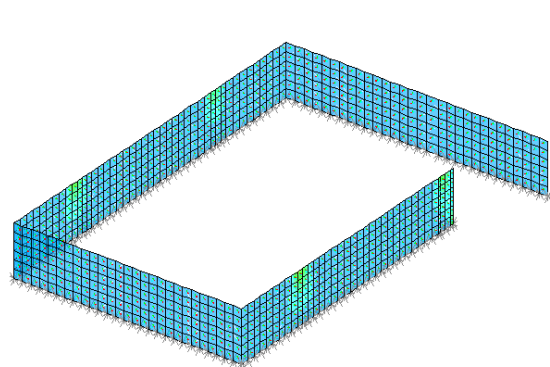
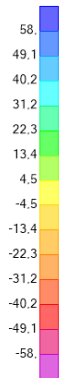
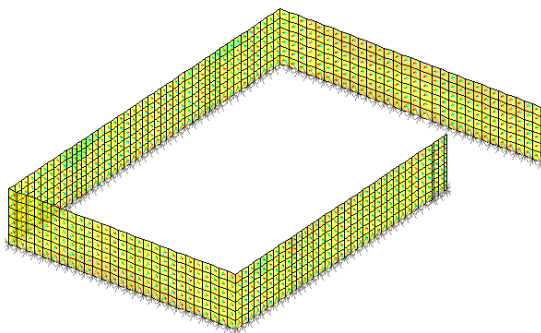


Figura 5.2.3.1-3. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

M11- ELUu ( $\varnothing 12$  c/20)



M22- ELUu ( $\varnothing 12$  c/20)

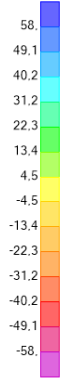
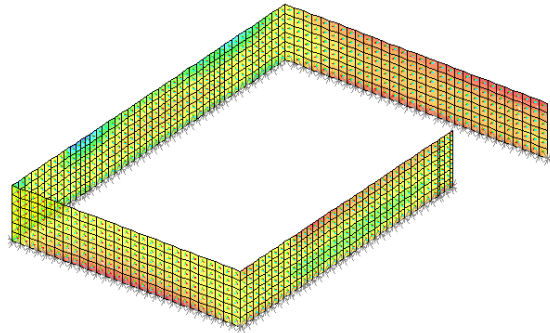
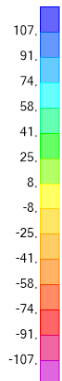
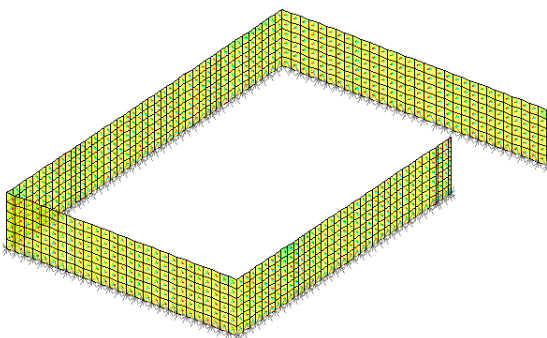


Figura 5.2.3.1-4. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

V13- ELUu ( $\varnothing 12$  c/20)



V23- ELUu ( $\varnothing 12$  c/20)

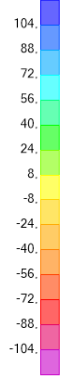
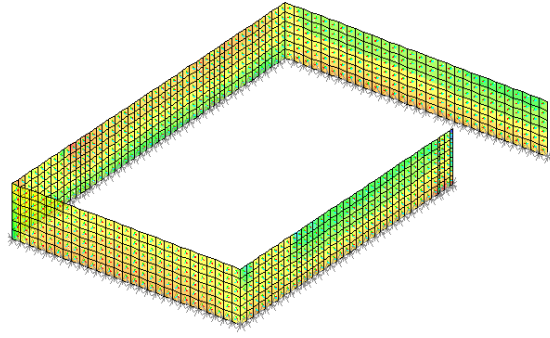


Figura 5.2.3.1-5. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.



Se observa que este armado es capaz de absorber los diferentes esfuerzos del muro. No obstante, se observa que los esfuerzos que más condicionan al muro son las fuerzas F11 y los momentos M22, aunque estos últimos no llegan a rebasar la resistencia límite.

Respecto al diagrama de fuerzas F11, observamos una zona en cabeza de muro azul oscuro que sobrepasa el límite de tracciones de 491,73 kN/m.a. por un exceso de 130 kN/m, alcanzando un valor máximo de 620 kN/m. Por lo que, para absorber esta diferencia de esfuerzos se añadirá un refuerzo en la coronación del muro. Estudiamos a continuación qué refuerzo sería válido.

ARMADO HORIZONTAL (simétrico en ambas caras)		
Armatura horizontal - fuerzas F11 [kN/m.a.]		
Diámetro de base horizontal	12	mm
Distancia vertical entre barras	50	cm
Máxima compresión hormigón	5.100,00	kN/m.a.
Máxima compresión acero	180,96	kN/m.a.
<b>Máxima compresión</b>	<b>-5.280,96</b>	<b>kN/m.a.</b>
<b>Máxima tracción</b>	<b>196,69</b>	<b>kN/m.a.</b>
Armatura horizontal - Momentos M11 [kNm/m.a.]		
Cuantía flexión transversal	98,35	kN / m.a.
<b>Momento último flexión transversal</b>	<b>23,20</b>	<b>kNm/m.a.</b>
Armatura horizontal - Cortantes V13 [kN/m.a.]		
Epsilon	1,899843	
Cuantía geométrica	0,000916	
<b>Cortante último</b>	<b>78,87</b>	<b>kN/m.a.</b>

Figura 5.2.3.1-6. Tabla excel DimensionadoMuros.xlsx. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo.

Mediante un *Section Cut* se ha observado que la zona afectada por la zona azul oscuro, en su sección más desfavorable, alcanza a afectar una zona del muro de hasta 50cm, por lo que se ha buscado un refuerzo capaz de absorber el exceso de los 130 kN/m producidos en el punto más desfavorable. Así pues, observamos que una barra extra del Ø12 (una en cada cara del muro) para un ámbito de trabajo de 50cm, logra absorber tracciones de hasta 196,69 kN/m.a., lo que significa, que esta barra será capaz de absorber nuestro exceso de 130 kN/m.

En conclusión, el **armado base** de los muros será del **Ø12 c/20** (simétrico), y aunque no sea estrictamente necesario, este **refuerzo de dos barras del Ø12 en coronación**, se aplicará en la cabeza de todos los muros de la cimentación, mejorando también así el diagrama de esfuerzos M22 y actuando de atado en la cabeza de todos los muros.

### MURO M02 (espesor = 25cm)

Este muro se corresponde con el muro de color gris de la imagen:

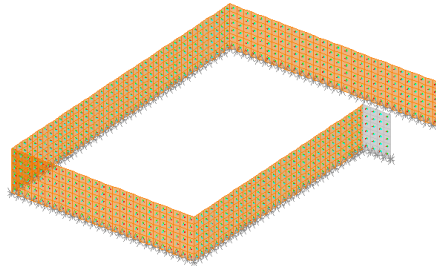


Figura 5.2.3.1-7. Esquema muros. Fuente: elaboración propia.

Puesto que este muro se trata de la continuación del muro anterior, se estudiará su comportamiento con la misma armadura del **Ø12 c/20** (simétrica).

F11- ELUu (Ø12 c/20)

F22- ELUu (Ø12 c/20)

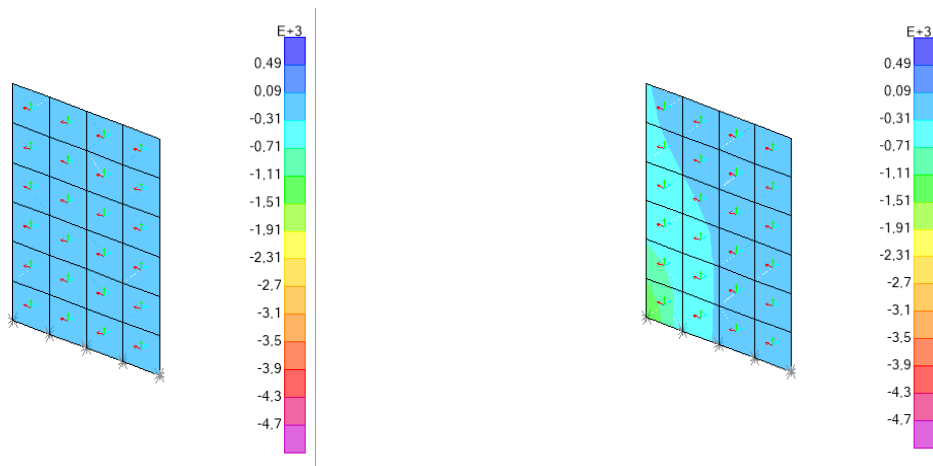


Figura 5.2.3.1-8. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

M11- ELUu (Ø12 c/20)

M22- ELUu (Ø12 c/20)

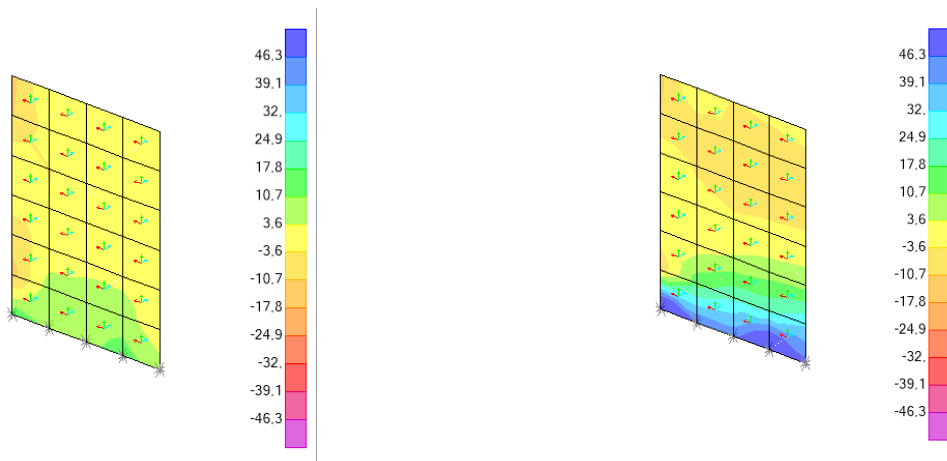


Figura 5.2.3.1-9. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

V13- ELUu (Ø12 c/20)

V23- ELUu (Ø12 c/20)

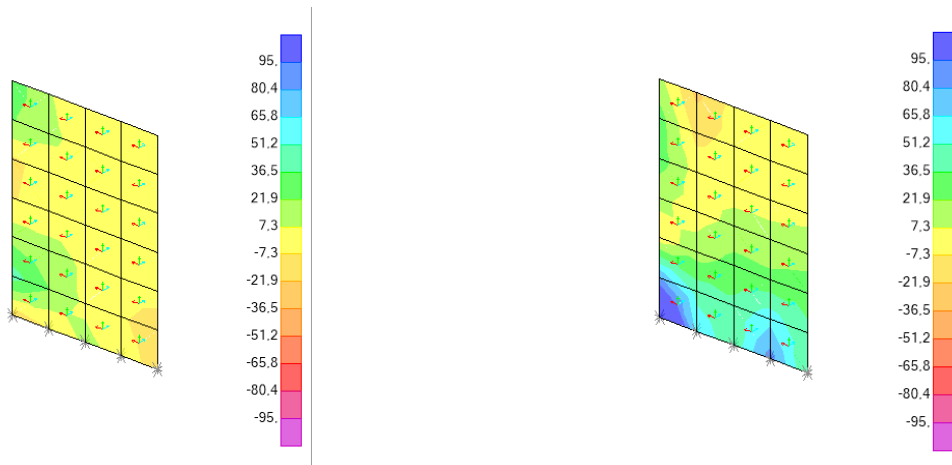


Figura 5.2.3.1-10. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Se debe anotar, como ya se ha citado anteriormente, que en el proyecto original, en esta zona existe una rampa de acceso rodado, y por tanto, el comportamiento tanto del muro como de la zapata en esta zona, no sería este, pues existiría una losa inclinada que conectaría ambos muros e impediría una parte de los movimiento producidos por los empujes del terreno. Al reducirse esta deformación horizontal, **se reduciría también el momento producido en la base del muro, por tanto la conexión con la zapata estaría mucho más relajada** de lo que se observa en los diagramas.

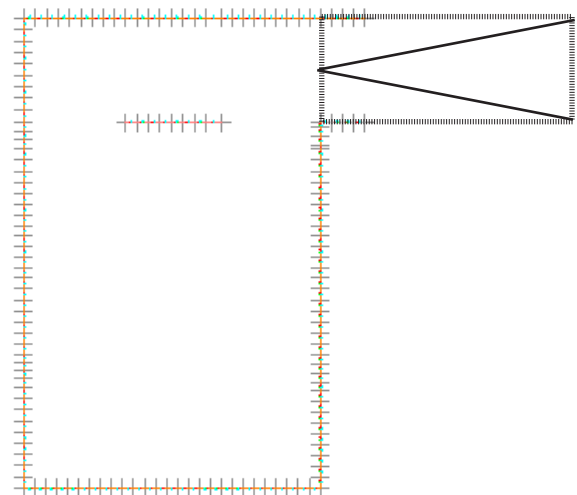


Figura 5.2.3.1-11. Esquema P-1. Fuente: elaboración propia.

Es por este motivo por el que se va a despreciar el exceso de momento y de cortante en este punto, ya que no representa la realidad y, en el caso de que no existiese la rampa, ese tramo de muro sería inexistente, pues se cerraría el perímetro de los muros formando un rectángulo.

Así pues, se establece un **armado base** del # **Ø12 c/20** (simétrico).

### MURO M03 (espesor = 20cm)

Este muro se corresponde con el muro de color rojo de la imagen:

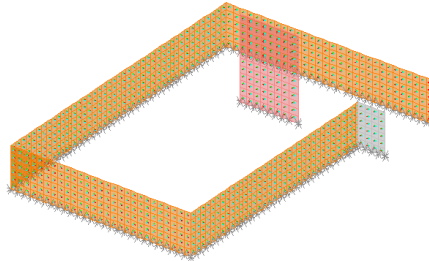


Figura 5.2.3.1-12. Esquema muros. Fuente: elaboración propia.

El objetivo principal de este muro es el de servir de apoyo para las losas de las escaleras y el de dar rigidez frente a movimientos horizontales de la estructura.

F11- ELUu (Ø12 c/20)

F22- ELUu (Ø12 c/20)

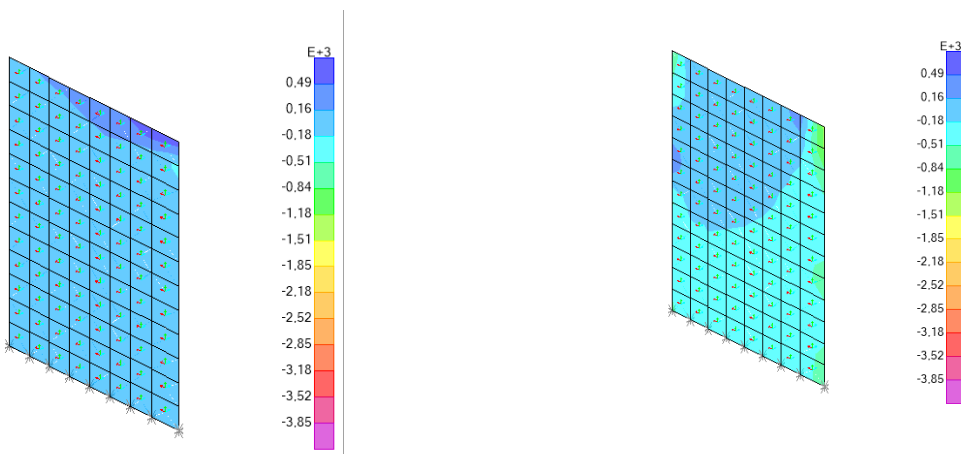


Figura 5.2.3.1-13. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

M11- ELUu (Ø12 c/20)

M22- ELUu (Ø12 c/20)

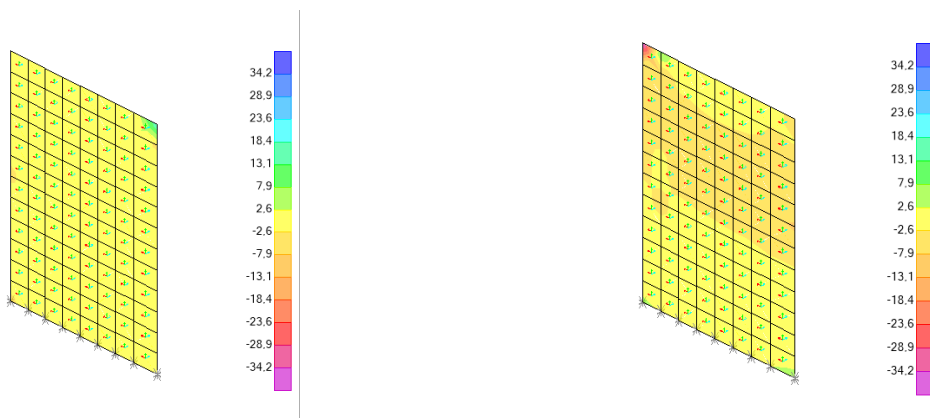


Figura 5.2.3.1-14. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

V13- ELUu ( $\varnothing 12$  c/20)

V23- ELUu ( $\varnothing 12$  c/20)

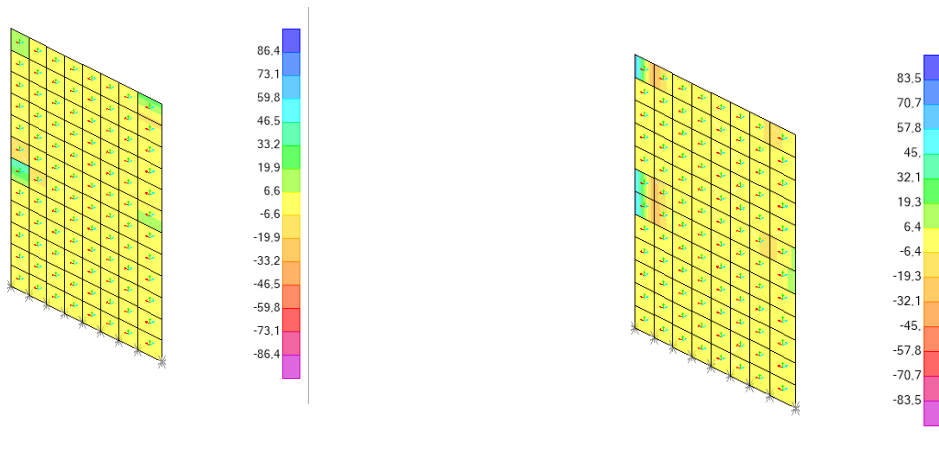


Figura 5.2.3.1-15. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Se ha colocado un armado base del  $\varnothing 12$  c/20 (simétrico) tanto en la dirección vertical como horizontal. Este armado proporciona una compresión máxima de 3.852,39 KN/m.a, una tracción máxima de 491,73 KN/m.a, un momento último de flexión transversal de 34,15 kNm/m.a y un cortante último de 83,51 kN/m.a.

Como observamos en los diagramas de colores, ninguno de los esfuerzos producidos supera los esfuerzos máximos admitidos con este armado, por lo que se concluye que para este muro un **armado base** del #  $\varnothing 12$  c/20 (simétrico) será válido.

### 5.2.3.2 MUROS DE PLANTA PRIMERA (espesor = 20cm)

En este apartado se procede al análisis de las secciones y armado de los muros de planta primera. El hormigón que compone estos elementos es un HA-30 y la sección varía según el muro. Se trata de los muros rosas y amarillos de la imagen siguiente:

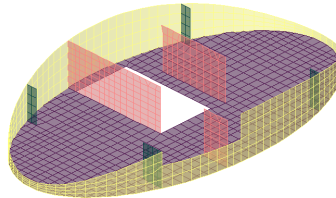


Figura 5.2.3.2-1. Esquema muros. Fuente: elaboración propia.

Para esta tipología de muros, los datos a introducir en la tabla excel *DimensionadoMuros.xlsx* serán los siguientes:

- Hormigón: HA-30
- Acero:  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$
- Recubrimiento nominal: 35 mm
- Canto: 20cm
- Definición de la armadura: (según proceda)

Empezamos con un armado base del #  $\varnothing 12 \text{ c}/20$  (simétrico):

F11- ELUu ( $\varnothing 12 \text{ c}/20$ )

F22- ELUu ( $\varnothing 12 \text{ c}/20$ )

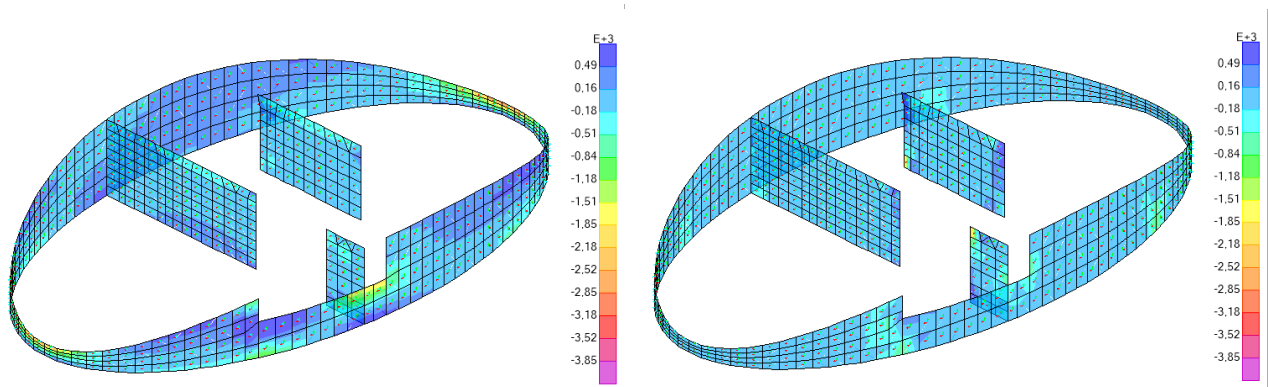


Figura 5.2.3.2-2. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

M11- ELUu (Ø12 c/20)

M22- ELUu (Ø12 c/20)

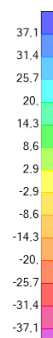
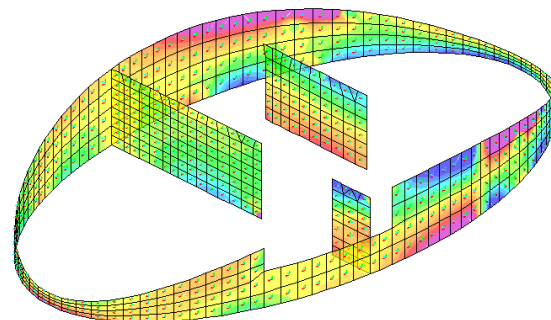
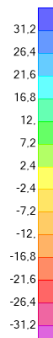
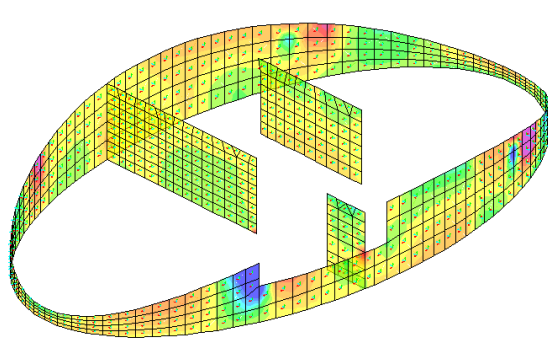


Figura 5.2.3.2-3. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

V13- ELUu (Ø12 c/20)

V23- ELUu (Ø12 c/20)

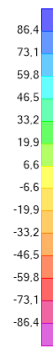
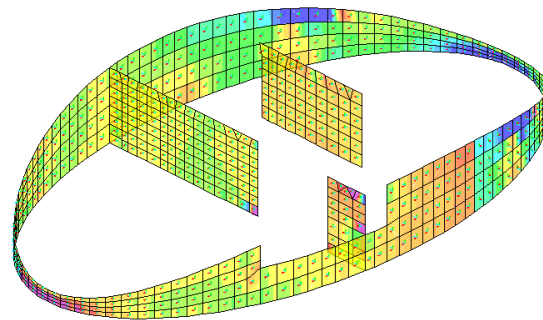
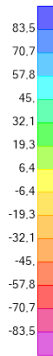
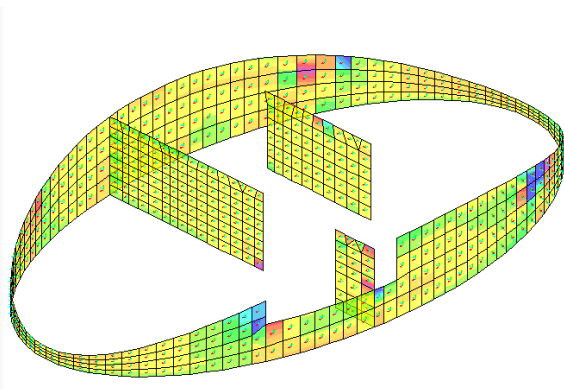


Figura 5.2.3.2-4. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Se ha colocado un armado base del Ø12 c/20 (simétrico) tanto en la dirección vertical como horizontal. Este armado proporciona una compresión máxima de 3.852,39 KN/m.a, una tracción máxima de 491,73 KN/m.a, un momento último de flexión transversal de 31,24 kNm/m.a y un cortante último de 83,51 kN/m.a.

Como podemos observar, los diagramas en los que se presentan situaciones más desfavorables son en M22 y en V23, es decir, la armadura que se corresponde con la dirección horizontal, y en F11, que corresponde con la vertical. Además, todas estas situaciones se producen en la envolvente elíptica, mientras que los esfuerzos de los muros interiores quedan dentro de los límites, expto en algún punto muy localizado y mínimo para el que se considera que estos esfuerzos pico serán repartidos en un área mayor.

Es por esto que se va estudiar la opción de un armado vertical y horizontal del del # Ø16c/20 para el anillo de la envolvente.

F11- ELUu (Ø16 c/20)

F22- ELUu (Ø16 c/20)

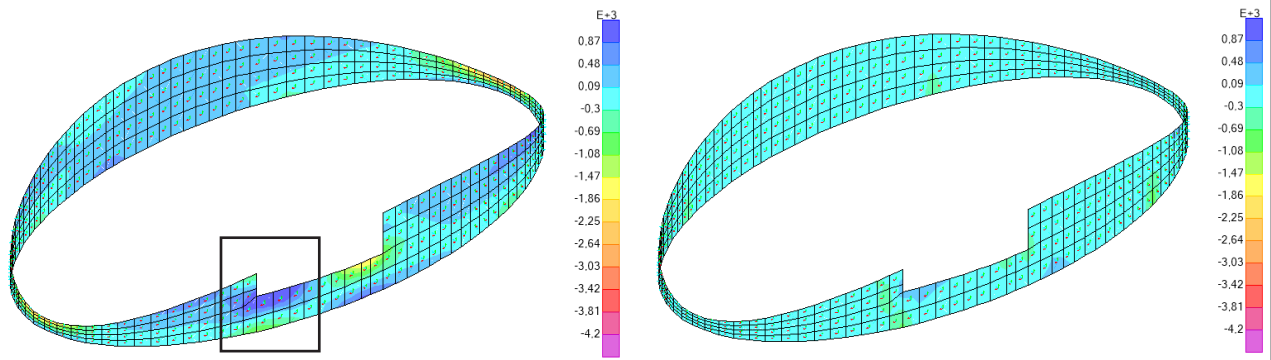


Figura 5.2.3.2-5. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

M11- ELUu (Ø16 c/20)

M22- ELUu (Ø16 c/20)

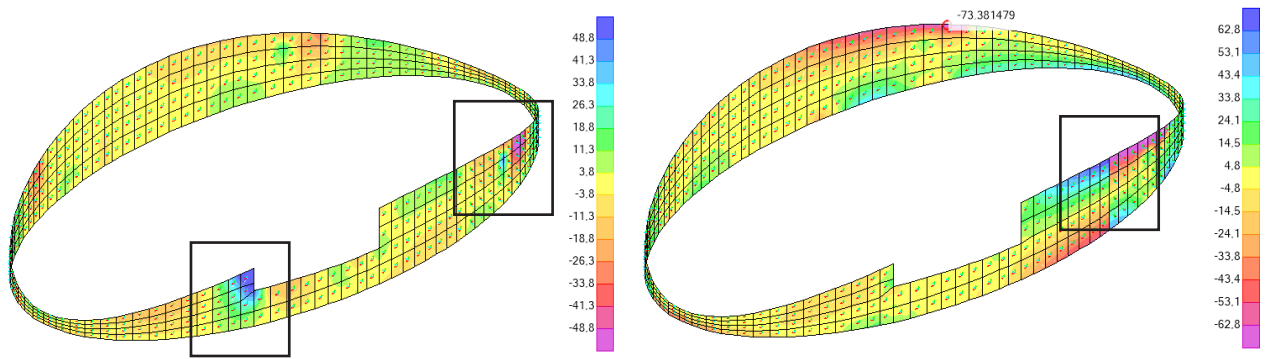


Figura 5.2.3.2-6. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

V13- ELUu (Ø16 c/20)

V23- ELUu (Ø16 c/20)

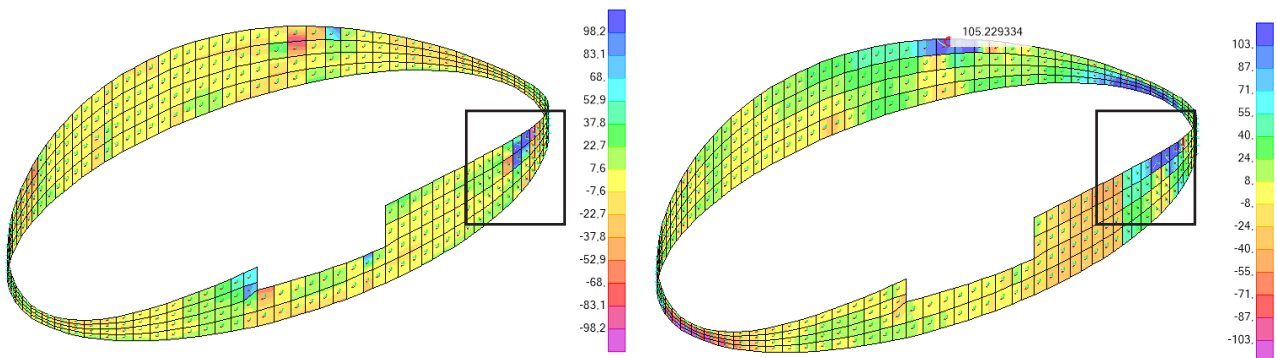


Figura 5.2.3.2-7. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.



Con este armado base del **# Ø16c/20** se han conseguido solventar los excesos de esfuerzos en F11 y gran parte de los momentos y cortantes M22 y V23. Sin embargo, las áreas señaladas con un rectángulo, son las áreas que todavía exceden los esfuerzos límite. Estas zonas serán reforzadas con barras horizontales y/o verticales según corresponda. Vamos a estudiar cuál sería este refuerzo.

M11- ELUu Ø16 c/10)

M22- ELUu (Ø16 c/10)

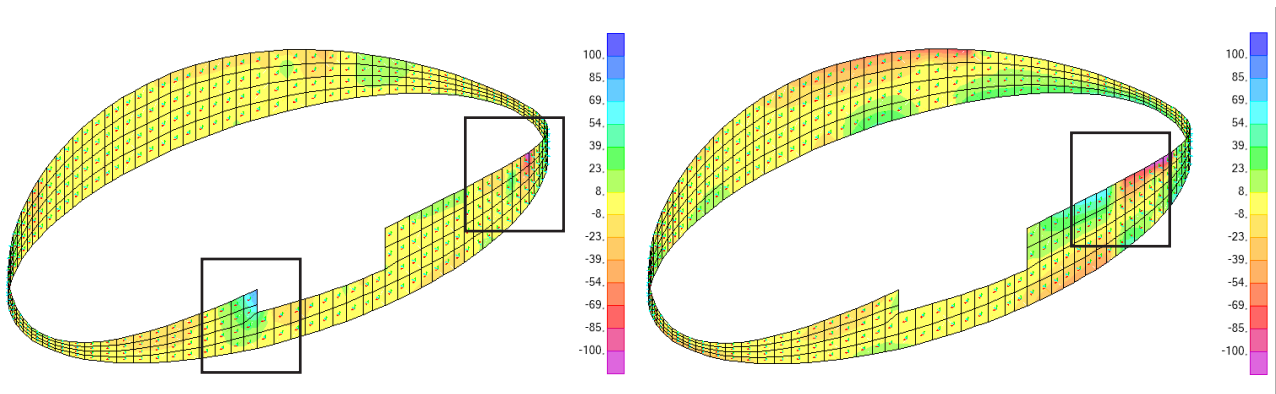


Figura 5.2.3.2-8. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

V13- ELUu (Ø16 c/10)

V23- ELUu (Ø16 c/10)

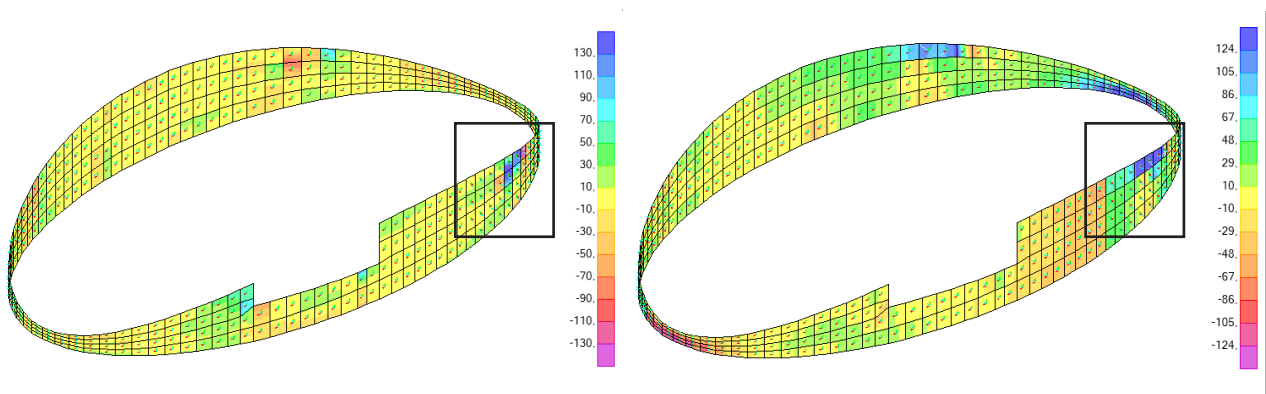


Figura 5.2.3.2-9. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Observamos que si duplicamos la densidad de armado, es decir, si colocamos barras del **Ø16 cada 10cm** en los tramos donde existen excesos de esfuerzo podemos obtener la resistencia última necesaria. No obstante, queda algún pico puntual de momento o de cortante, sin embargo, al tratarse de un área tan reducida, se despreciarán estos valores asumiendo que esos pequeños excesos se repartirán en un área mayor.

Como conclusión de todos los muros de este forjado, el esquema de armado sería:

- Muros interiores: Armadura horizontal y vertical (simétrica) : **Ø12c/20**
- Muro envolvente elíptica: Armadura horizontal y vertical (simétrica) : **Ø16c/20**  
**excepto en la zonas señalas de refuerzo que se dispondrán cada 10cm.**

### 5.2.3.3 PILARES

La estructura está sustentada principalmente por cuatro pilares que arrancan de la planta baja y continúan por la planta primera hasta llegar a la cubierta. Se trata de los siguientes pilares:

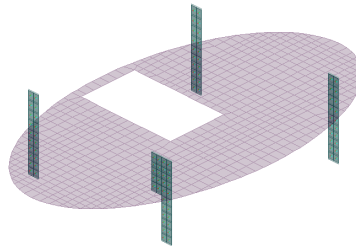


Figura 5.2.3.3-1. Esquema pilares. Fuente: elaboración propia.

Observamos, que todos los pilares tienen la misma dimensión (30x80) excepto uno que es más ancho ubicado en la planta superior (30x150). Por tanto, realizaremos un estudio de todos aquellos que tienen la misma sección y posteriormente estudiaremos este último.

#### PILARES (30cm x 80cm)

Para el estudio de estos pilares, al estar modelizados mediante elementos finitos, deberemos realizar *Section Cuts* para poder obtener los esfuerzos resultantes tales como el axil, y el momento y cortante en sus dos direcciones. Una vez obtenidos estos datos, procederemos a introducirlos en la tabla excel *ELU\_v4.xls*, desarrollada por David Gallardo, que permite el dimensionamiento de pilares de hormigón. En ella, introduciremos las características físicas de la sección y las armaduras propuestas. Con estos datos, la tabla genera una gráfica donde se representan los esfuerzos admisibles de la sección. Introduciendo los esfuerzos que hemos obtenido mediante el *Section Cut* podremos observar si las armaduras dispuestas son suficientes o hay que modificarlas.

Las características iniciales a tener en cuenta de la sección son:

- Hormigón: HA-30
- Acero:  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$
- Recubrimiento nominal: 35 mm
- Bxh: 30cm x 80 cm
- Definición de la armadura: (según proceda)

Se ha realizado un *Section Cut* de cada uno de los pilares, quedándonos con el que más esfuerzos arroja. Se han probado también distintas combinaciones, entre ellas la de sismo y la de viento, sin embargo sigue siendo ELUu la más desfavorable.

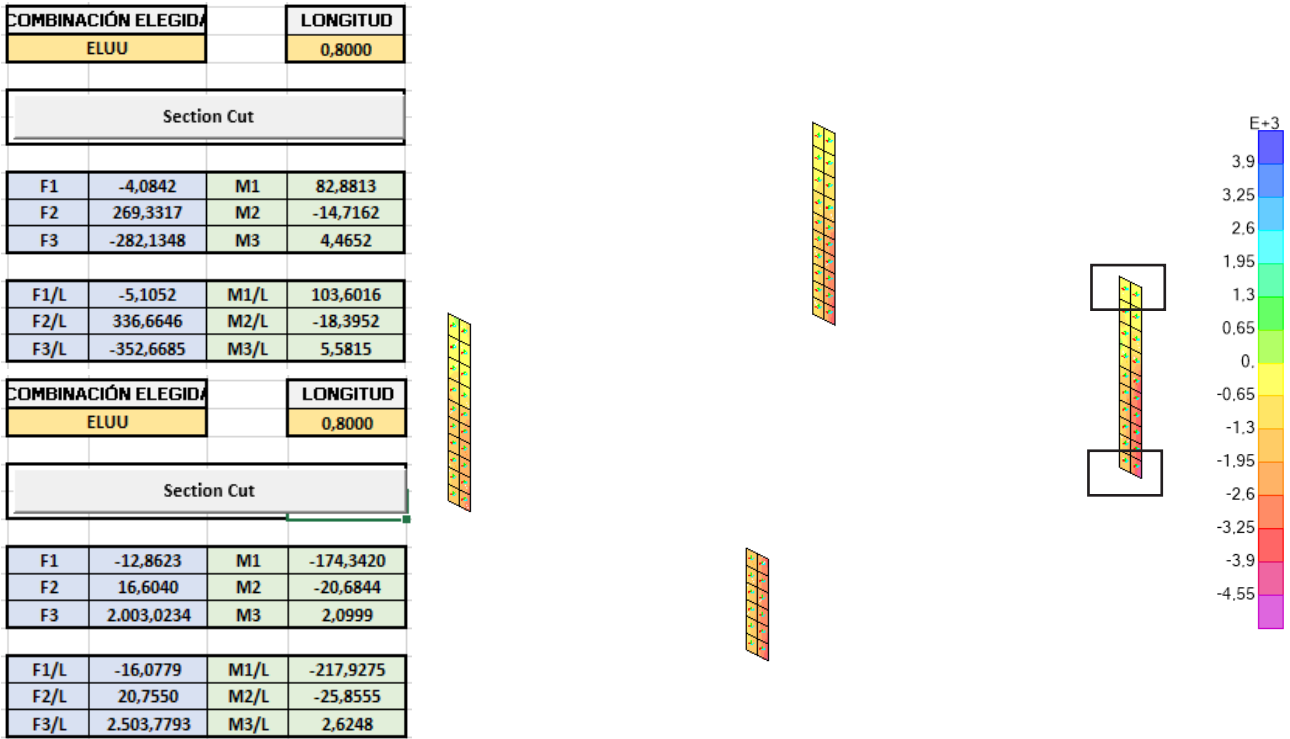


Figura 5.2.3.3-2. Section Cut. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo

Figura 5.2.3.3-3. Ventana Esfuerzos F22 de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

A la hora de emplear el *Section Cut*, hay que prestar atención a la correspondencia entre ejes locales y globales. Para este caso, los esfuerzos de los axiles, a nivel local, se verán representados por las fuerzas F22, pues el eje22 es el eje vertical ubicado sobre los elementos finitos bidimensionales. Sin embargo, a nivel global, este valor tendrá correspondencia con el eje Z, que se ve representado en la tabla de *Section Cut* por F3. De este modo, podemos observar que estamos tratando con un axil de valor **F3=2003,02 kN**.

Del mismo modo que el anterior, deberemos hacer todas las correspondencias pertinentes e introducir los valores de estos esfuerzos en la tabla excel junto a una propuesta inicial de armado. Se ha tenido en cuenta que para la flexocompresión es más desfavorable el máximo momento con el mínimo axil de compresión. Teniendo en cuenta esto y la combinación más desfavorable, que como ya hemos comentado, sigue siendo ELUu, se procede a dimensionar el armado de los pilares.

Para un primer tanteo, se van a introducir los armados reales que hoy por hoy existen en la Casa Balint, gracias a los planos proporcionados por David Gallardo. Este armado se corresponde con el de la imagen.

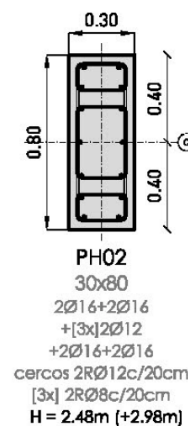


Figura 5.2.3.3-4. Pilar 02 Casa Balint. Fuente: David Gallardo.

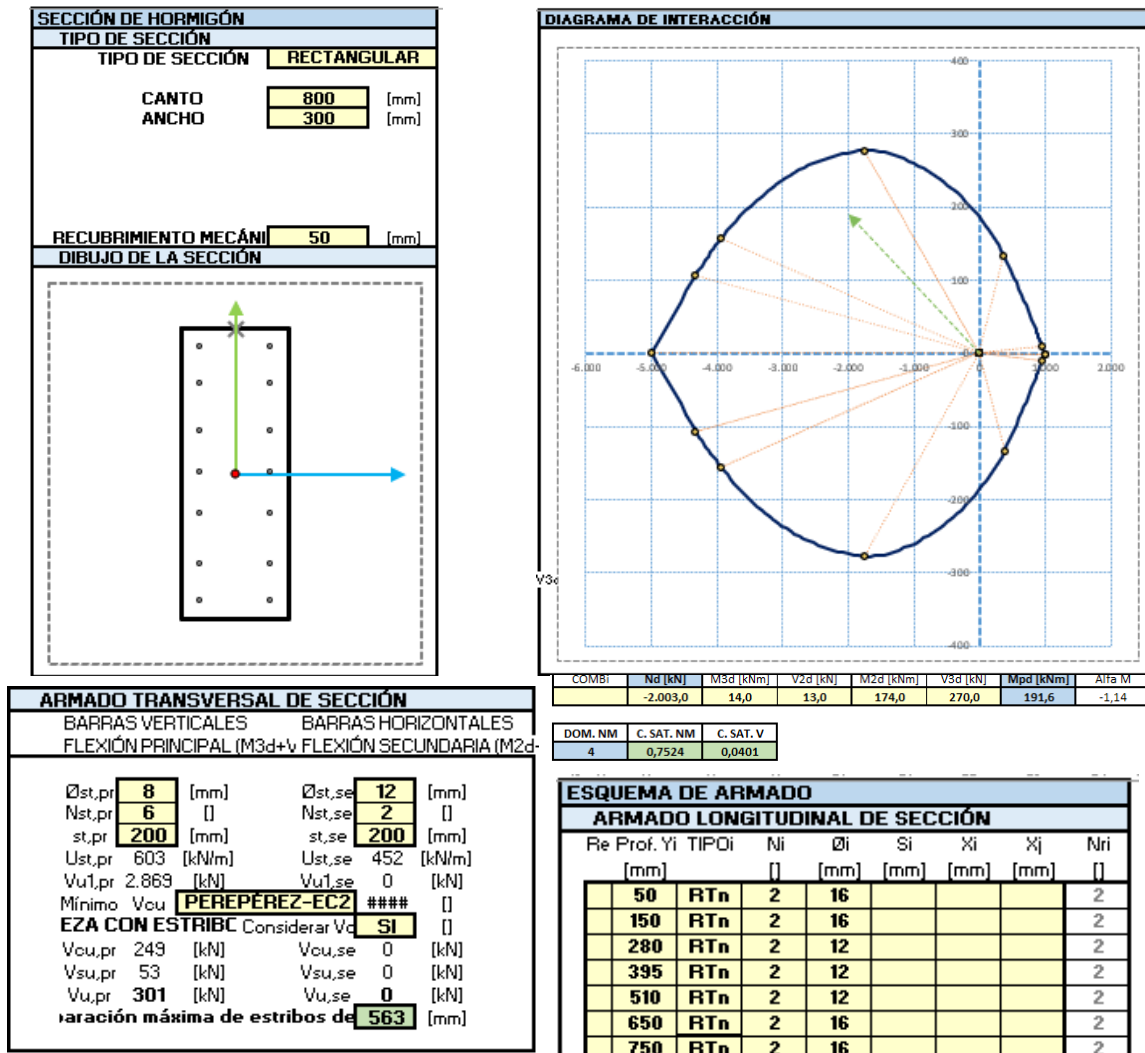


Figura 5.2.3.3-5. Tabla excel ELU\_v4. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo

Tras probar con distintas combinaciones con mínimo axil y máximo momento y viceversa, esta ha sido la que más esfuerzos proyecta. Observamos como este armado cumple de sobra tanto a axil como a cortante. Como cada modelo de cálculo es un mundo y uno nunca sale igual que el anterior, se va a realizar a continuación un dimensionado propio con el objetivo de optimizar un poco más la sección.

Tras realizar diversas pruebas, se ha conseguido aumentar el porcentaje de trabajo un 13%, es decir, hemos pasado de un 75% a un **83%** reduciendo simplemente el diámetro de la armadura y quitando un par de barras

Los cambios respecto a la armadura original han sido:

- Reducción del número de barras y reducción de diámetros:

$$2\varnothing 16 + 2\varnothing 16 + [3x] 2\varnothing 12 + 2\varnothing 16 + 2\varnothing 16 \rightarrow [6x] 2\varnothing 12$$

$$\text{cercos } 2R\varnothing 12 \text{ c/20} + [3x] 2R\varnothing 8 \text{ c/20} \rightarrow \text{cercos } 2R\varnothing 8 \text{ c/20} [3x] 2R\varnothing 8 \text{ c/20}$$

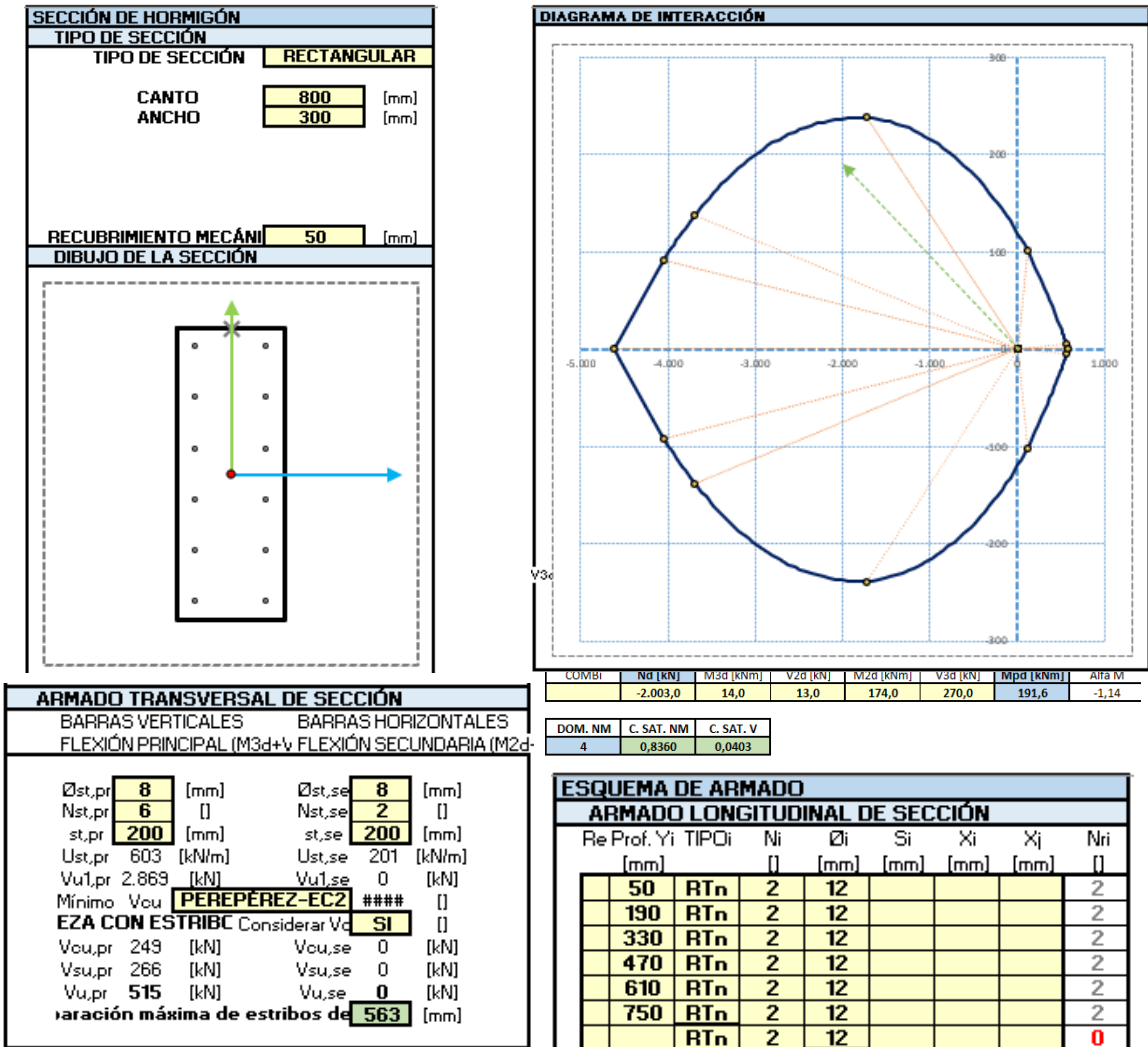


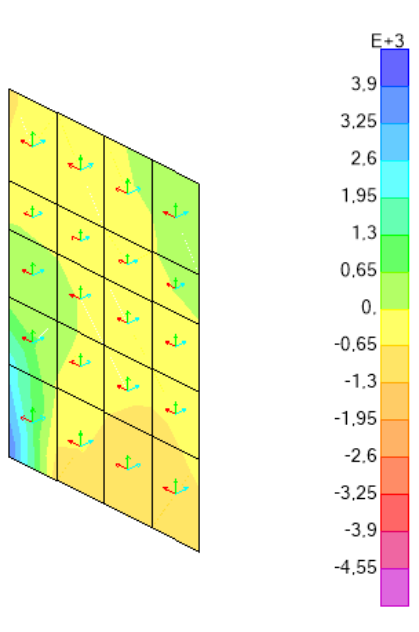
Figura 5.2.3.3-6. Tabla excel ELU\_v4. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo

### PILAR (30cm x 150cm)

Las características iniciales a tener en cuenta de la sección son:

- Hormigón: HA-30
- Acero:  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$
- Recubrimiento nominal: 35 mm
- Bxh: 30cm x 150 cm
- Definición de la armadura: (según proceda)

Procederemos de la misma forma que en el caso de los pilares anteriores. En este caso, al tratarse de un pilar en particular, realizaremos un *Section Cut* del pilar tanto en su base como en su cabeza para conocer con exactitud las reacciones que se están generando.



COMBINACIÓN ELEGIDA	LONGITUD
ELUU	1,6000

Section Cut			
F1	-227,7259	M1	-265,1046
F2	-384,6212	M2	159,6737
F3	-154,6040	M3	-7,9533

F1/L	-142,3287	M1/L	-165,6904
F2/L	-240,3882	M2/L	99,7961
F3/L	-96,6275	M3/L	-4,9708

COMBINACIÓN ELEGIDA	LONGITUD
ELUU	1,6000

Section Cut			
F1	13,4675	M1	-779,2059
F2	273,2821	M2	45,3049
F3	493,6834	M3	-93,4966

F1/L	8,4172	M1/L	-487,0037
F2/L	170,8013	M2/L	28,3155
F3/L	308,5521	M3/L	-58,4354

Figura 5.2.3.3-7. Ventana Esfuerzos F22 de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 5.2.3.3-8. Section Cut. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo.

A la hora de emplear el *Section Cut*, como ya se ha mencionado en ocasiones anteriores, hay que prestar atención a la correspondencia entre ejes locales y globales. Para este caso, los esfuerzos de los axiles, a nivel local, se verán representados por las fuerzas F22, pues el eje22 es el eje vertical ubicado sobre los elementos finitos bidimensionales. Sin embargo,

a nivel global, este valor tendrá correspondencia con el eje Z, que se ve representado en la tabla de *Section Cut* por F3. De este modo, podemos observar que estamos tratando con un axil de valor  $F3 = 493,68 \text{ kN}$  en la base del pilar.

Del mismo modo que el anterior, deberemos hacer todas las correspondencias entre ejes locales y globales. Se introducirán los las combinaciones de esfuerzos más desfavorables para la flexocompresión. Para un primer tanteo del armado, se van a introducir los armados reales que hoy por hoy existen en la Casa Balint, gracias a los planos proporcionados por David Gallardo. Este armado se corresponde con el de la imagen.

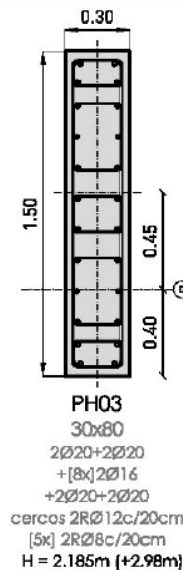


Figura 5.2.3.3-9. Pilar O2 Casa Balint. Fuente: David Gallardo.

SECCIÓN DE HORMIGÓN	
TIPO DE SECCIÓN	RECTANGULAR
CANTO	1500 [mm]
ANCHO	300 [mm]
RECUBRIMIENTO MECÁN	50 [mm]
DIBUJO DE LA SECCIÓN	

ARMADO TRANSVERSAL DE SECCIÓN			
BARRAS VERTICALES		BARRAS HORIZONTALES	
FLEXIÓN PRINCIPAL (M3d+)		FLEXIÓN SECUNDARIA (M2d)	
Øst,pr	8 [mm]	Øst,se	12 [mm]
Nst,pr	10 [ ]	Nst,se	2 [ ]
st,pr	200 [mm]	st,se	200 [mm]
Ust,pr	1.005 [kN/m]	Ust,se	452 [kN/m]
Vu1,pr	4.922 [kN]	Vu1,se	0 [kN]
Mínimo Vcu	PEREPÉREZ-EC2	### [ ]	
EZA CON ESTRIBI	Considerar Vc	\$I [ ]	
Vcu,pr	199 [kN]	Vcu,se	0 [kN]
Vsu,pr	843 [kN]	Vsu,se	0 [kN]
Vu,pr	### [kN]	Vu,se	0 [kN]
varación máxima de estribos de	600 [mm]		

DIAGRAMA DE INTERACCIÓN							
COMBI	Nd [kN]	M3d [kNm]	V2d [kN]	M2d [kNm]	V3d [kN]	Mpd [kNm]	Alfa M
	-154,6	779,2	-227,0	-265,0	-384,6	823,0	0,33
DOM. NMC. SAT. NMC. SAT. V							
	3	0,5311	0,2322				

ESQUEMA DE ARMADO								
ARMADO LONGITUDINAL DE SECCIÓN								
Re	Prof. Yí	TIPOI	Ni	Øi	Si	Xi	Xj	Nri
[mm]	[ ]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[ ]	[ ]
50	RTn	2	20					2
177	RTn	2	20					2
304	RTn	2	16					2
431	RTn	2	16					2
558	RTn	2	16					2
685	RTn	2	16					2
812	RTn	2	16					2
939	RTn	2	16					2
1066	RTn	2	16					2
1193	RTn	2	16					2
1320	RTn	2	20					2
1447	RTn	2	20					2

Figura 5.2.3.3-10. Tabla excel ELU\_v4. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo



Observamos como este armado cumple de sobra tanto a axil como a cortante. Como ya hemos dicho anteriormente, y como un modelo de cálculo nunca sale igual que otro, se ha estudiado la forma de optimizar la sección para este modelo

Al igual que en el caso anterior, se han ido probando diferentes combinaciones como la de sismo y viento, tratando de encontrar aquella que ofrezca una situación más desfavorable, sin embargo la más altos valores provoca es la de ELUu.

También, a la hora de introducir las reacciones en la tabla excel, se han escogido las combinaciones más desfavorables como coger el máximo momento con el mínimo axil de compresión.

Los cambios respecto a la armadura original han sido:

- Reducción de diámetros:

2Ø20+ 2Ø20+ [8x]2Ø16+ 2Ø20 +2Ø20  
cercos 2RØ12 c/20 + [5x] 2RØ8 c/20

2Ø16+ 2Ø16+ [8x]2Ø12+ 2Ø16 +2Ø216  
cercos 2RØ8 c/20 + [3x] 2RØ8 c/20

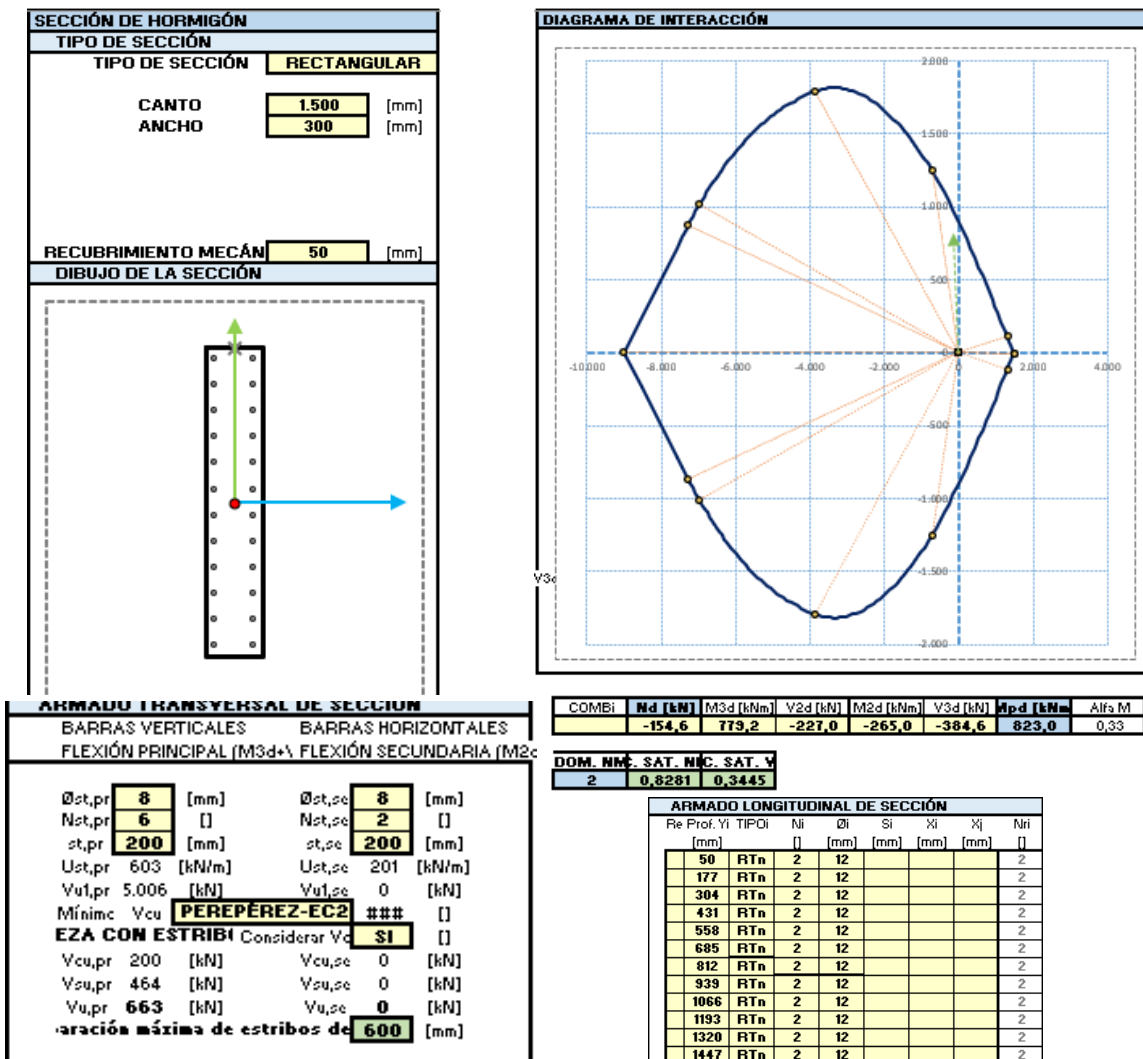


Figura 5.2.3.3-11. Tabla excel ELU\_v4. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo

De esta forma hemos conseguido pasar de un 53% de trabajo a un 83%. Hemos optimizado la sección un 20%.

A modo de comentario final a cerca de las diferencias de resultados entre el modelo original y este modelo de cálculo, para asegurarnos de que los resultados de este modelo no eran incorrectos se ha llevado a cabo una serie de comprobaciones:

1. Hacer *Section Cuts* en los cuatro soportes buscando el más desfavorable.
2. Considerar las combinaciones de sismo y viento, por si arrojaran más esfuerzos laterales y momentos que la combinación ELUu
3. Tener en cuenta que, en general, para la flexocompresión es más desfavorable el máximo momento con el mínimo axil de compresión.

Una vez comprobados todos estos puntos, concluimos como válidos estos nuevos resultados de cálculo. Esta diferencia de resultados puede ser debida a muchas cosas, entre ellas, el modelo, pues el hecho de estar formado en su totalidad por elementos finitos, significa que puede haber infinitas variaciones de este, ya que la distribución y división de estos elementos nunca será la misma.



## 6. CONCLUSIONES

Este trabajo, que ha sido el fruto de un proceso de investigación, interpretación y cálculo estructural, me ha permitido conocer desde dentro el enfoque de Fran Silvestre Arquitectos. Una filosofía y unos valores que, a pesar de haber leído sobre ello, hasta que no se estudia una obra desde dentro, desde su historia, no se alcanza a comprender con total precisión. Existe un doble compromiso presente en todos sus proyectos. Por un lado, esa resolución técnica que da respuesta a una serie de necesidades desde la belleza, la innovación y la precisión, y por otro, ese propósito, esa intención tan lograda de reflejar en la arquitectura proyectada la identidad de quien va a vivir en ella.

Una vez conocidas las intenciones del proyecto y con una nueva perspectiva sobre este, comprendemos el por qué de esta forma tan peculiar, la cual no se da por simple deseo. Viene dada por una serie de peticiones del propietario junto con una serie de restricciones normativas que derivan en una propuesta muy singular. Una propuesta capaz de satisfacer a todas las partes. Se trata pues, de una estructura de hormigón armado donde en esencia, la cubierta, gracias a su forma curvada, por el efecto arco se sostiene sobre cuatro pilares. A su vez, de esta cubierta cuelga la planta primera, gracias a la envolvente elíptica que además de aportar canto a todo el perímetro del forjado reduciendo sus deformaciones, permite conectarlo a la cubierta. Nos damos cuenta en este momento, de que la estructura es la propia imagen de la vivienda.

Respecto a las conclusiones más relevantes del cálculo estructural, destaca la deformación a flecha (Estados Límite de Servicio), ya que sucede algo que nos enseña que los programas de estructuras son siempre orientativos. Y es que tanto el cálculo original de la estructura como el cálculo realizado en este trabajo, cumplen con las limitaciones del CTE. Sin embargo, el cálculo de la flecha diferida en una estructura tan tridimensional y compleja, en la que todos los elementos participan de un modo u otro en varias funciones estructurales, hace muy difícil predecir la flecha diferida exacta en esa zona. Tanto es así, que la flecha real final fue mayor que la prevista. Este descuelgue se producía sobre el dintel del gran ventanal corredero de la piscina, provocando así el bloqueo de este ventanal motorizado, el cual hubo de ser reparado, volviendo a generar esa holgura entre la carpintería y la estructura.

Por otro lado, caben destacar algunos de los resultados obtenidos a partir de los Estados Límite Últimos, es decir, la resistencia de la estructura. Tras comprobar uno a uno todos los elementos que conforman la estructura, encontramos ciertos puntos críticos en la cubierta, principalmente en la ventana del cuarto de baño del piso superior, puesto que al concentrarse los esfuerzos en el pilar izquierdo inferior se produce un punzonamiento bastante importante. Para poder resolver esta concentración de esfuerzos se deben disponer una serie de crucetas especiales, unas pletinas fabricadas con un gran espesor,

las cuales quedan embebidas en la losa y reconducen los esfuerzos desde la losa de hormigón a los soportes. Este es el punto más desfavorable, no obstante, hay más zonas en la propia cubierta que por exceso de cortante también necesitan de este refuerzo.

Pese a algunas dificultades y puntos críticos, la estructura cumple con la normativa establecida en el Código Técnico de la Edificación, tanto las comprobaciones de resistencia como de flecha. Esta ha sido una de las partes más gratificantes del trabajo, no solo por ver el cumplimiento de todos los elementos, sino porque el hecho de que SAP2000 no automatice planos de ejecución y no presuponga nada, es una gran oportunidad para comprender el verdadero comportamiento de cada elemento, brindando la posibilidad de ser tú quien los dimensione, haciendo uso de tu propio entendimiento e interpretación, pudiendo manejar los resultados según tu conveniencia. Esta libertad abre un campo de posibilidades a la hora de diseñar una estructura, que otros programas rigidizan, obligando a dimensionamientos e imposibilitando caminos.

Por tanto, y a modo de conclusión final, el propósito de este trabajo a nivel teórico, ha sido el de estudiar, analizar y comprender a nivel estructural una de las obras de Fran Silvestre; La Casa Balint. Sin embargo, paralelamente y a nivel personal, este trabajo ha supuesto una forma de demostrarme a mi misma que las estructuras no son tan complejas y rígidas como parecen, y que en realidad, se trata de un trabajo mucho más conceptual y de diseño de lo que en un principio aparentan ser, donde el juego con las normas, tanto físicas como escritas, es indispensable para poder alcanzar soluciones que no parecían ser posibles.





## 8. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Uno de los objetivos de desarrollo sostenible que podemos encontrar vinculado con esta obra es el de *Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos* (objetivo 8). Dentro de este objetivo se encuentra la meta 8.2 **Lograr niveles más elevados de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación**. Esto se ve directamente vinculado con el hecho de que se utilizan materiales completamente innovadores como es el uso de Krion en fachada, siendo pioneros en España en la utilización de este material como revestimiento exterior.

Sin embargo, esta vivienda no cuenta con muchos más objetivos de desarrollo sostenible. Es por esto que me gustaría añadir algunas ideas que se podrían haber incluido en la construcción, como son la inclusión de paneles solares o la implementación de un recolector de energía geotérmica, logrando así una gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.





## 8. BIBLIOGRAFIA

### 8.1 LISTADO DE REFERENCIAS TEXTUALES

DE MARCO, Paolo, 2020. Mito, poética, ciencia. El color blanco en la arquitectura contemporánea. En: Riunet UPV [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/160488/Marco%20-%20ARQUITECTURA%20BLANCA.%20MITO%2C%20PO%2C%20CIENCIA.%20EL%20COLOR%20BLANCO%20EN%20LA%20ARQUITECTURA%20CONTEMPOR....pdf?sequence=5&isAllowed=y>  
[Consulta: 25/06/2021]

FRAN SILVESTRE ARQUITECTOS, n.d. Equipo. En: Fran Silvestre Arquitectos [En línea]. Disponible en: <https://fransilvestrearquitectos.com/equipo/>  
[Consulta: 19/12/2020]

FRAN SILVESTRE ARQUITECTOS, n.d. Casa Balint. En: Fran Silvestre Arquitectos [En línea]. Disponible en: <https://fransilvestrearquitectos.com/projects/casa-balint/>  
[Consulta: 25/12/2020]

Gobierno de España. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico de Seguridad Estructural. 28 de marzo de 2006. <<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE.pdf>> [Consulta: 22/05/2021]

Gobierno de España. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico de Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación. 28 de marzo de 2006.  
<<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-AE.pdf>>  
[Consulta: 23/05/2021]

Gallardo Llopis, David (2015). Introducción a SAP2000 para arquitectura. Valencia, España.

Normativa sismorresistente. NCSE-02 (2002). [En línea]. Disponible en: <[https://www.fomento.gob.es/recursos\\_mfom/0820200.pdf](https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/0820200.pdf)> [Consulta: 20/06/2021]

Software SAP2000 (Nº de versión 20). (2019). Windows. Estados Unidos: Computers and Structures, Inc.

SILVESTRE, Fran y HOFMANN, Alfaro, 2010. Fran Silvestre, Alfaro Hofmann : arquitectura de la casa, Valencia : Los autores. ISBN 9788461434305. [Consulta: 19/12/2020]

## 8.2 LISTADO DE FIGURAS

Figura 2.1.-1. Retrato de Fran Silvestre. Fuente: InHAUS . Extraído de: <https://casasinhaus.com/visionary-talent-fran-silvestre-arquitectos/>

Figura 2.1.-2. Espacios de la arquitectura de FSA. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos. Extraído de: <https://fransilvestrearquitectos.com/>

Figura 2.1.-2. Casa Balint. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos

Figura 3.1.-1. Plano catastral. Fuente: Sede electrónica del catastro. Extraído de: <https://www.sedecatastro.gob.es/>

Figura 3.1.-2. Plano planta sótano. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos.

Figura 3.1.-3. Plano planta baja. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos.

Figura 3.1.-4. Plano planta primera. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos.

Figura 3.1.-5. Sección Casa Balint. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos.

Figura 3.1.-6. Esquemas distribución de cargas. Fuente: elaboración propia.

Figura 3.1.-7. Fotos obra Casa Balint. Anillo perimetral de canto variable. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos

Figura 3.2.-2. Fotos obra Casa Balint. Vista frontal. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos

Figura 3.2.-3. Fotos obra Casa Balint. Voladizo y piscina. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos

Figura 3.2.-4. Fotos obra Casa Balint. Terraza de planta primera. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos

Figura 3.2.-5. Fotos obra Casa Balint. Doble altura interior. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos

Figura 3.2.-6. Fotos obra Casa Balint. Escalera principal. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos

Figura 3.2.-7. Detalle constructivo Casa Balint. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos

Figura 3.2.-8. Detalle constructivo Casa Balint. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos

Figura 3.2.-9. Imágenes Casa Balint. Vista frontal. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos

Figura 3.2.-10. Imágenes Casa Balint. Vista sur. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos

Figura 3.2.-11. Imágenes Casa Balint. Voladizo trasero. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos

Figura 3.2.-12. Imágenes Casa Balint. Vano baño superior. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos

Figura 3.2.-12. Imágenes Casa Balint. Doble altura interior. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos

Figura 3.2.-13. Imágenes Casa Balint. Habitación principal. Fuente: Fran Silvestre Arquitectos

Figura 4.1.-1. Geometría del modelo de cálculo. Fuente: elaboración propia.

Figura 4.1.-1. Geometría del modelo de cálculo. Fuente: elaboración propia.

Figura 4.1.-2. Geometría del modelo de cálculo. Fuente: elaboración propia.

Figura 4.1.-3. Geometría del modelo de cálculo. Fuente: elaboración propia.

Figura 4.1.-4. Ventana Tube Section. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 4.1.-5. Ventana Rectangular Section. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 4.1.-6. Ventana Rectangular Section. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 4.3-1. Restricciones de movimiento en cimentación. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 4.3-2. Restricciones de movimiento en cimentación. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 4.3-3. Estudio geotécnico. Fuente: David Gallardo.

Figura 4.3-4. Tabla excel ModuloBalasto.xlsm. Fuente: David Gallardo.

- Figura 4.3-4. Tabla excel ModuloBalasto.xlsm. Fuente: David Gallardo.
- Figura 4.3-5. Assaign Springs Area Object. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 4.3-6. Display Deformed Shape. ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 4.3-6. Display Soil Pressure. ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 4.4.1-1. Cargas muertas permanentes (CMP). Fuente: David Gallardo (Tabla de acciones de la Casa Balint)
- Figura 4.4.1-2. Esquema muros de sótano. Fuente: Elaboración propia.
- Figura 4.4.1-3. Ventana Define Pattern Name. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000
- Figura 4.4.1-4. Tabla excel Empujes de Terreno. Fuente: David Gallardo
- Figura 4.4.1-5. Ventana Assaign Joint Pattern. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 4.4.1-6. Surface Pressure. CMP. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 4.4.1-1. Cargas muertas permanentes (CMP). Fuente: David Gallardo (Tabla de acciones de la Casa Balint)
- Figura 4.4.2.2-1. Tabla D.1 Valor básico de la velocidad del viento, del Anejo D del DB-SE-AE del Código Técnico de la Edificación. Fuente: Ministerio de Fomento, 2009
- Figura 4.4.2.2-2. Tabla 3.4 Valores del coeficiente de exposición  $C_e$  del DB-SE-AE del Código Técnico de la Edificación. Fuente: Ministerio de Fomento, 2009
- Figura 4.4.2.2-3. Tabla 3.5 Coeficiente eólico en edificios de pisos del DB-SE-AE del Código Técnico de la Edificación. Fuente: Ministerio de Fomento, 2009
- Figura 4.4.2.2-4. Esquemas explicativos sobre la aplicación de cargas de viento 1. Fuente: elaboración propia
- Figura 4.4.2.2-5. Esquemas explicativos sobre la aplicación de cargas de viento 1. Fuente: elaboración propia
- Figura 4.4.3.1-2. Ventana Mass Source. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000
- Figura 4.4.3.1-3. Valores de aceleración sísmica básica y coeficiente de contribución. Anejo 1. Fuente: NCSE 02
- Figura 4.4.3.1-4. Tabla 3.1. Valores del coeficiente de respuesta. Fuente: NCSE 02
- Figura 4.4.3.1-5. Tabla del estudio geotécnico. Fuente: David Gallardo.
- Figura 4.4.3.1-6. Tabla 3.1. Valores del coeficiente de respuesta. Fuente: NCSE 02
- Figura 4.4.3.1-6. DatosSismoDinamico.xlsl. Fuente: David Gallardo
- Figura 4.4.3.1-6. Tabla 3.1. Ventana Response Spectrum. Fuente: elaboración propa mediante SAP2000.
- Figura 4.4.3.1-7. Ventana Load Case Response Spectrum. Fuente: elaboración propa mediante SAP2000.
- Figura 4.4.3.1-8. Apartado 4.2.2 Combinación de acciones. Fuente: CTE DB SE.
- Figura 4.4.3.1-9. Ventana Load Combination Data. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 4.4.3.1-10. Ventana Load Combination Data. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 4.4.3.1-11. Ventana Load Combination Data. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 4.4.3.1-12. Ventana Load Combination Data. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 4.4.3.1-13. Ventana Load Combination Data. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 4.4.3.1-14. Ventana Load Combination Data. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 4.4.3.1-15. Ventana Load Combination Data. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 4.4.3.1-16. Ventana Load Combination Data. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 4.4.3.1-17. Ventana Load Combination Data. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 4.4.3.1-18. Ventana Load Combination Data. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 4.4.3.1-19. Ventana Modal Load Participation Ratios. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 4.4.4.-1. CMP. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 4.4.4.-2. CMP. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 4.4.4.-3. CMP. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 4.4.4.-4. CMP. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 4.4.4.-5. CMP. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 4.4.4.-6. CMP. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 4.4.4.-7. SCU. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 4.4.4.-8. SCU. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 4.4.4.-9. SCU. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 4.4.4.-10. SCN. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 4.4.4.-11. SCN. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 4.4.4.-12. SCVx. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 4.4.4.-13. SCVy. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 4.5-1. Tabla 4.2 del DB-SE del Código Técnico de la Edificación. Fuente: Ministerio de Fomento, 2009

Figura 4.5-2. Tabla 4.1 del DB-SE del Código Técnico de la Edificación. Fuente: Ministerio de Fomento, 2009

Figura 4.5.3-1. Hipótesis de carga definidas para el modelo de cálculo. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

Figura 4.5.3-2. Combinaciones de acciones. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

Figura 4.5.3-3. Combinaciones de acciones. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

Figura 5.1.1-1. Deformada de la estructura. Combinación ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

Figura 5.1.1-2. Deformada de la estructura. Combinación ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

Figura 5.1.1-3. Deformada del forjado de planta primera. Combinación ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

Figura 5.1.1-4. Momentos dirección eje local 22. Combinación ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

Figura 5.1.1-5. Momentos del forjado de planta primera. Combinación ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

Figura 5.1.1-6. Momentos más desfavorables del forjado de planta primera. Combinación ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 5.1.1-7. Deformada en los puntos más desfavorables del forjado de planta primera. Combinación ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 5.1.1-8. Resultados de la comprobación a flecha en uno de los puntos más desfavorables del forjado de planta primera. Fuente: elaboración propia mediante excel proporcionado por David Gallardo.

Figura 5.1.1-9. Momentos planta primera. Combinación ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

Figura 5.1.1-10. Momentos M22. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 5.1.1-11. Deformada. Combinación ELSu. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.

Figura 5.1.1-12. Resultados de la comprobación a flecha en uno de los puntos más desfavorables del forjado de planta primera. Fuente: elaboración propia mediante excel proporcionado por David Gallardo.

Figura 5.1.2-1. Deformada horizontal. Combinación ELSvx +. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

Figura 5.1.2-2. Deformada horizontal. Combinación ELSvy +. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

Figura 5.1.3-1. Deformada horizontal. Combinación ELSvy +. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

Figura 5.1.3-2. Deformada horizontal. Combinación ELSvy +. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000

Figura 5.1.3-3. Introducción de características para la limitación de vibraciones. Fuente: elaboración propia. Excel de David Gallardo.

- Figura 5.1.3-4. Selección del excel de los modos más significativos. Fuente: elaboración propia. Excel de David Gallardo.
- Figura 5.1.3-5. Los modos más significativos ubicados en el diagrama que relaciona la masa modal con su correspondiente frecuencia. Fuente: elaboración propia. Excel de David Gallardo.
- Figura 5.1.3-6. Deformada en el modo 23. Combinación MODAL. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000
- Figura 5.1.3-7. Deformada en el modo 23, sección. Combinación MODAL. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000
- Figura 5.2.1-1. Comprobación a resistencia de los pilares tubulares de la planta sótano. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.1-1. Cimentación. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.1-2. Introducción de características para la limitación de vibraciones. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo.
- Figura 5.2.2.1-3. Ventana Esfuerzos (ELUu) de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.1-4. Ventana Esfuerzos (ELUu) de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.1-5. Ventana Esfuerzos (ELUu) de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.1-6. Ventana Esfuerzos (ELUu) de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.1-7. Ventana Esfuerzos (ELUu) de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.1-8. Ventana Esfuerzos (ELUu) de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.1-9. Ventana Esfuerzos (ELUu) de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.1-10. Ventana Esfuerzos (ELUu) de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.2-1. Comprobación de resistencia de losas macizas. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo.
- Figura 5.2.2.2-2. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.2-3. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.2-4. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.2-5. Section Cut del forjado de planta baja. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo.
- Figura 5.2.2.2-6. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.3-1. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.3-2. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.3-3. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.3-4. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.3-5. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.3-6. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.3-7. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.3-8. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.3-9. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.3-10. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.4-1. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.4-2. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.4-3. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.4-4. Section cut cubierta. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo
- Figura 5.2.2.4-5. Section cut cubierta. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo
- Figura 5.2.2.4-6. Section cut cubierta. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo

- Figura 5.2.2.4-7. Section cut cubierta. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo
- Figura 5.2.2.4-8. Section cut cubierta. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo
- Figura 5.2.2.4-9. Section cut cubierta. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo
- Figura 5.2.2.4-10. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.4-11. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.2.4-12. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.3.1-1. Tipologías de muros de sótano. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.3.1-2. Tabla excel DimensionadoMuros.xlsx. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo.
- Figura 5.2.3.1-3. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.3.1-4. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.3.1-5. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.3.1-6. Tabla excel DimensionadoMuros.xlsx. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo.
- Figura 5.2.3.1-7. Esquema muros. Fuente: elaboración propia.
- Figura 5.2.3.1-10. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.3.1-11. Esquema P-1. Fuente: elaboración propia.
- Figura 5.2.3.1-12. Esquema muros. Fuente: elaboración propia.
- Figura 5.2.3.1-13. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.3.1-14. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.3.1-15. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.3.2-1. Esquema muros. Fuente: elaboración propia.
- Figura 5.2.3.2-2. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.3.2-3. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.3.2-4. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.3.2-5. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.3.2-6. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.3.2-7. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.3.2-8. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.3.2-9. Ventana Esfuerzos de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.3.3-1. Esquema pilares. Fuente: elaboración propia.
- Figura 5.2.3.3-2. Section Cut. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo
- Figura 5.2.3.3-3. Ventana Esfuerzos F22 de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.3.3-4. Pilar 02 Casa Balint. Fuente: David Gallardo.
- Figura 5.2.3.3-5. Tabla excel ELU\_v4. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo
- Figura 5.2.3.3-6. Tabla excel ELU\_v4. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo
- Figura 5.2.3.3-7. Ventana Esfuerzos F22 de SAP2000. Fuente: elaboración propia mediante SAP2000.
- Figura 5.2.3.3-8. Section Cut. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo.
- Figura 5.2.3.3-9. Pilar 02 Casa Balint. Fuente: David Gallardo.
- Figura 5.2.3.3-10. Tabla excel ELU\_v4. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo
- Figura 5.2.3.3-11. Tabla excel ELU\_v4. Fuente: elaboración propia. Excel: David Gallardo

