

MUSEO D VARGAS

Blanca Esquivias Román

TRABAJO FIN DE MÁSTER

“El Patrimonio es la herencia. El saber de dónde vienes, antes de saber adónde vas.
El patrimonio no es pasado, es futuro. La arquitectura es un deporte en equipo”.

- *Antonio Jiménez Torrecillas*

Márgenes de Arquitectura, 2010.

Trabajo Fin de Máster

Estudiante

Blanca Esquivias Román

Tutor

Santiago de Molina

Itinerario de Patrimonio

Máster habilitante en Arquitectura

Universidad de Alcalá (UAH)

Junio de 2021

ÍNDICE

RESUMEN	7
1. INTRODUCCIÓN	
1.1. Madrid, ciudad de museos	9
1.2. El Palacio de Vargas	10
1.3. El patrimonio artístico	15
2. EL MUSEO DE VARGAS	
2.1. Objetivos	19
2.2. Estrategia	19
2.3. Los nuevos habitantes	24
3. MEMORIA DESCRIPTIVA	
3.1. Descripción de la Solución Aportada	28
3.2. Descripción del Terreno	29
3.3. Decisiones Materiales	30
3.4. Método de Cálculo y Procedimiento	31
3.5. Normativa Utilizada	31
4. MEMORIA JUSTIFICATIVA	
4.1. Acciones y Metodologías usados en el cálculo	32
4.2. Cálculo de Cargas	40
4.3. Prontuarios Utilizados	55
4.4. Planimetría estructural	58

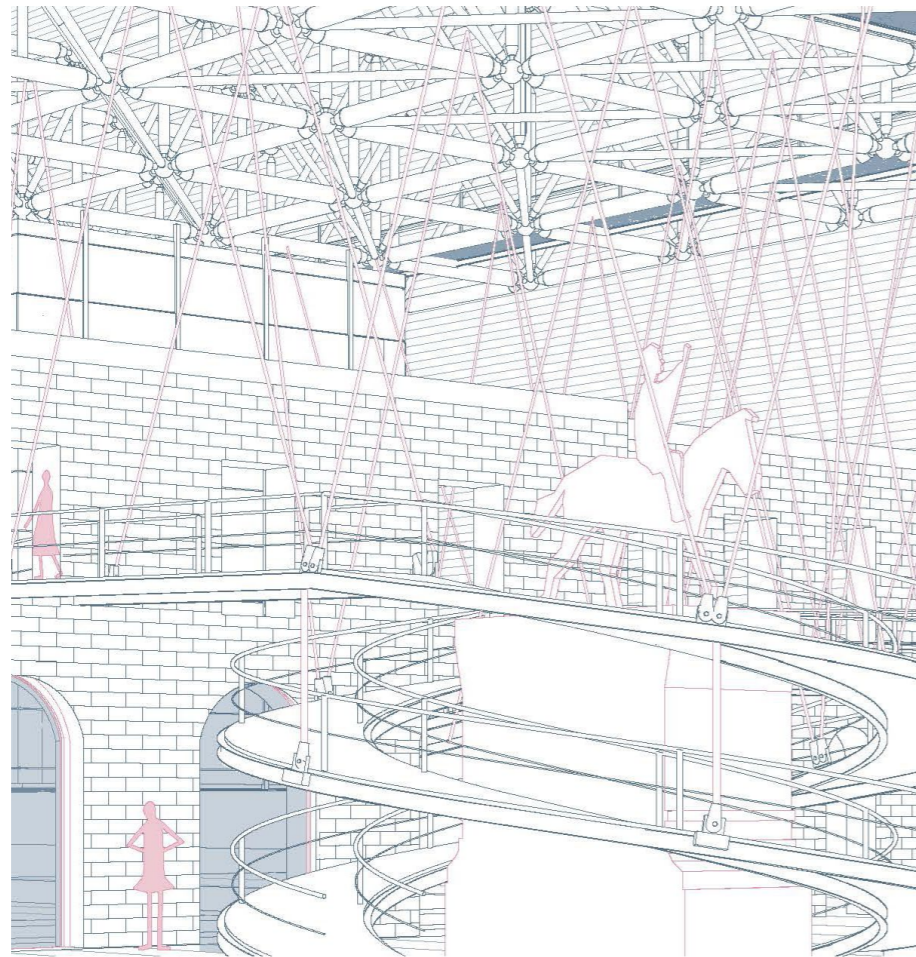


Figura 1. Vista perspectiva de la intervención

Resumen

Se propone un nuevo museo que albergará cinco obras de arte que pertenecieron históricamente al Palacio de Vargas, trasladándolas a su ubicación original y dotándolas de un espacio expositivo único. El nuevo museo busca una relación más intensa entre el sujeto y la obra de arte, generándose así **cinco espacios**, cada uno de ellos dotado de una personalidad propia ligada a la obra que alberga. La propuesta va más allá del nuevo programa edificado, ya que se traslada al plano urbano generando un gran espacio público bajo la nueva estructura, que convertirá al museo en un escenario activo más de la vida cotidiana de la ciudad de Madrid.

Tras el traslado de Felipe III a Madrid, la Corona adquirió el Palacio de Vargas, así como un abundante número de obras de arte para decorar el interior del palacio y los jardines. Hoy en día, se encuentran esparcidas por Madrid, muchas de ellas sin exponer, en depósitos o sótanos. De entre ellas, se han escogido cinco: **los nuevos habitantes de la casa**. Son obras de distinto formato, tamaño y estilo, desde los gigantescos tapices de Rubens hasta el tríptico del Jardín de las Delicias del Bosco, pasando por la estatua ecuestre de Felipe III. Algunas se expondrán en un espacio interior mientras que otras estarán al aire libre.

Para albergar estos “nuevos habitantes”, se propone una estructura que nace en los restos del Palacio de Vargas y se extiende hacia el Reservado Chico. Los espacios expositivos cuelgan de esta estructura mediante cables de acero. Para conectar las distintas salas, se propone un recorrido de pasarelas y rampas. De este modo, el proceso espacial que va de lo cerrado-oscuro a lo exterior-luminoso formará parte de **la experiencia artístico-arquitectónica**.

1.1. Madrid, ciudad de museos

Descentralizando el eje del Paseo del Prado

La ciudad de Madrid concentra una parte importante de las pinacotecas de España, siendo muchas de ellas conocidas internacionalmente. En el eje del Paseo del Prado, también conocido como Paseo del Arte, se encuentran tres de los museos más prestigiosos del mundo: el Museo del Prado, el Thyssen-Bornemisza y el Reina Sofía (Figura 2).

Uno de los objetivos de la intervención será el de ampliar dicho eje cultural, conectándola con el este, donde se encuentran el Palacio Real y la Casa de Campo. Dentro de la Casa e Campo, el proyecto se ubica en el Palacio de Vargas. Tanto este como su entorno se encuentran en un estado deteriorado, debido al paso del tiempo, la diversidad de usos y las reformas ejecutadas con falta de estudios previos.

El proyecto busca potenciar un nuevo uso cultural en el Palacio de Vargas, para así poner en valor patrimonio histórico de la ciudad, y conformar un segundo polo de interés similar al eje Prado- Recoletos.



Figura 2. Plano de Madrid señalando los museos de arte más relevantes. Elaboración propia.

01. Reina Sofía 02. Caixa Forum 03. Museo del Prado 04. Museo Thyssen-Bornemisza 05. Museo Ico 06. Círculo de Bellas Artes 07. Real Academia de Bellas Artes de San Fernando 08. Museo del romanticismo 09. Museo de la historia de Madrid 10. Zona de actuación

1.2. El Palacio de Vargas

El jardín renacentista

El Palacio Vargas, el jardín Reservado Chico y los alrededores constituyen un conjunto patrimonial único que pasa casi desapercibido para muchos habitantes de la ciudad de Madrid. El **jardín del Reservado Chico** consistía en un jardín renacentista rodeando el Palacio de Vargas, que posteriormente Felipe III amplió y enriqueció ornamentalmente

Los ejes principales (Figura 3)

El jardín del reservado es obra de Juan Bautista de Toledo, que estructuró el reservado a partir de dos ejes principales. El primero, en dirección norte-sur coincidiendo con la fachada del edificio. A lo largo de este eje se encontraban los elementos más relevantes del jardín: la estatua ecuestre de Felipe III (hoy ubicada en la Plaza Mayor); y la *Fuente del Águila*, una gran pieza de mármol diseñada por escultores italianos de la época. El segundo eje seguía la línea este-oeste, y terminaba en una fuente a modo de gruta llamada *El dios de las aguas*. Cabe destacar la existencia de un tercer eje importante, paralelo al anterior. Este pasaba por delante de la fachada norte del edificio y llevaba a la entrada de la Galería de las Grutas.

Los límites

Al analizar los límites del jardín se pueden identificar dos categorías principales: por un lado, separaciones visuales y físicas, es decir, que lograban una separación total entre dos espacios. Por otro lado solo físicos, aquellos límites que permitían ver pero no pisar. Los primeros generalmente se relacionaban con cuestiones de uso, como el de la huerta. Los segundos permitían que el paisaje mantuviese la unidad espacial, pero interrumpían la continuidad del recorrido, como la empalizada que separaba la Fuente del Águila o las dos arboledas del jardín.

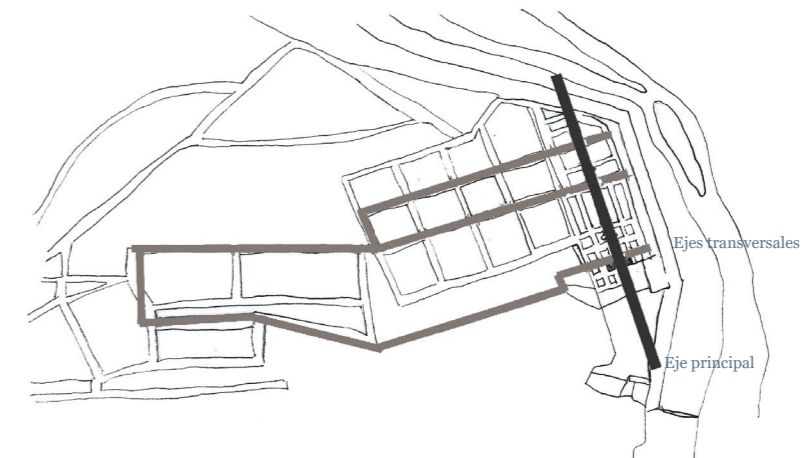


Figura 3. Esquema de ejes del jardín. Elaboración propia.

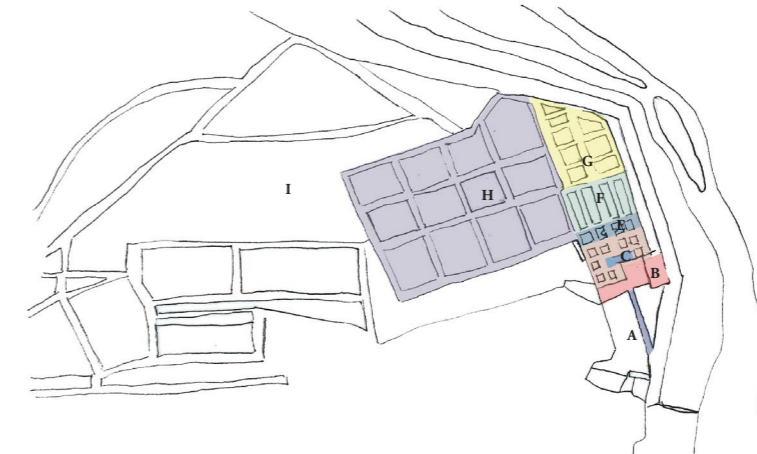


Figura 4. Esquema de zonas del jardín. Elaboración propia.
A. Avenida arbolada B. Plaza de acceso C. Palacete D. Jardín de cuadros E. Arboleda de la fuente del Águila F. Arboleda

El edificio

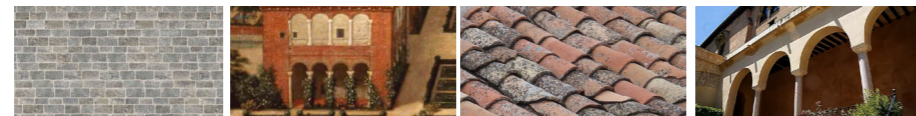
1565- FELIPE II

Traslado a Madrid y compra de la Casa de los Vargas

Felipe II adquirió la Casa de Campo a la familia Vargas en 1565, cuando se decidió instalar la corte en Madrid. La Casa de Vargas se encontraba a poco más de 500 metros del Palacio Real, de forma que el rey podía ir andando de un palacio al otro.

El entorno original consistía en una combinación de jardín de cuadros, grutas, fuentes, arboledas y lagos. La arquitectura era abierta y porosa, hecha para disfrutar del entorno. El edificio no se modificó prácticamente respecto a la casa original de los Vargas, que estaba edificada con una arquitectura de estilo toledano. Se diseñó para aprovechar, a través de sus arcos de fachada, el entorno inmediato: huertas, fuentes y jardines.

Análisis de fachada:



Ladrillo visto

Galerías
-arcos de medio punto
-arcos rebajados

Cubierta de teja cerámica

Arquitectura porosa y
abierta al jardín

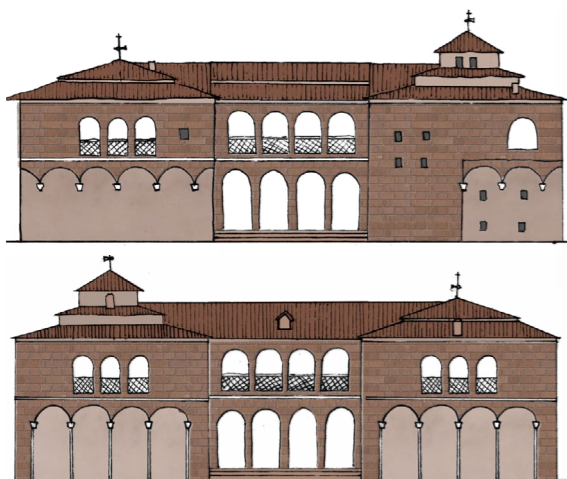


Figura 5. Recreación de los alzados del Palacio de Vargas en época de Felipe II. Elaboración propia.

1780- SABATINI

Reforma encargada por Carlos III

En torno a 1780, Carlos III encargó a Sabatini la reforma de la Casa de Campo. El edificio, tanto interior como exteriormente, fue transformado en su fachada, pues los muros originales y sus volúmenes fundamentales permanecieron intactos. Se construyó una nueva cubierta, construida con teja cerámica, de la misma forma que en la casa primitiva. La fachada pasó de ser de ladrillo visto a muro de piedra, y se derribaron las galerías. También cambiaron las proporciones, el edificio pasó a ser menos vertical y más apaisado.

Análisis de fachada:



Enfoscado

Cubierta de teja cerámica

Estilo renacentista



Figura 6. Alzados del Palacio de Vargas con la reforma de Sabatini

1976- REFORMA POR DECADENCIA

Reforma por el Ayuntamiento de Madrid

Tras la Guerra Civil (1936-1939) el Palacio de Vargas sufrió grandes destrozos. En 1967 el Ayuntamiento de Madrid reconstruyó el palacio para darle una imagen similar a la que le dio Sabatini.

Algunas de las modificaciones que tuvo el palacio fueron: reorganización del espacio interior, algunos tabiques y particiones fueron eliminados; construcción de una nueva **cubierta de pizarra**; inserción de un "frontón" a la altura de cubierta, sobre el cuerpo central del edificio.

Antes/ después en planta:

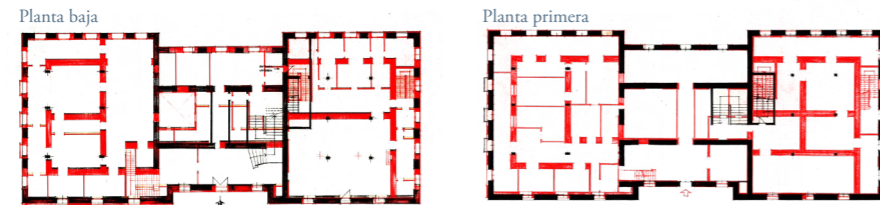


Figura 7. Antes/después de la distribución en planta. Elaboración propia

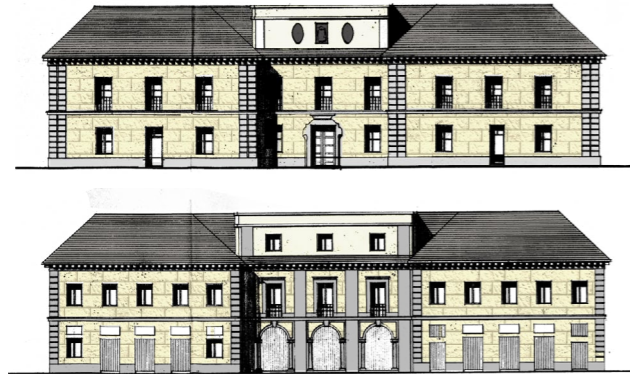


Figura 8. Alzados del Palacio de Vargas con la reforma de 1976

2021- ESTADO ACTUAL

A lo largo de los siglos el Palacio de los Vargas ha tenido numerosos usos y ha sido objeto de diferentes remodelaciones arquitectónicas, que han transformado sustancialmente su trazado original. A partir de esta situación se plantea este proyecto de intervención arquitectónica, siendo uno de los objetivos el de recuperar la identidad del palacio y el carácter de su construcción original.



Figura 9. Alzados del Palacio de Vargas en la actualidad

1.3. El patrimonio artístico

La colección del Palacio de Vargas

En el año 1703, a la muerte de Carlos II, se realizó para su testamento un inventario de las obras de arte que se encontraban en el Palacio de Vargas. En el desarrollo de este proyecto, se ha analizado dicho inventario con el objetivo de hacer una selección de aquellas obras que se propone exponer en el nuevo museo. La Figura 10 muestra la distribución de las salas en la época de Felipe II.

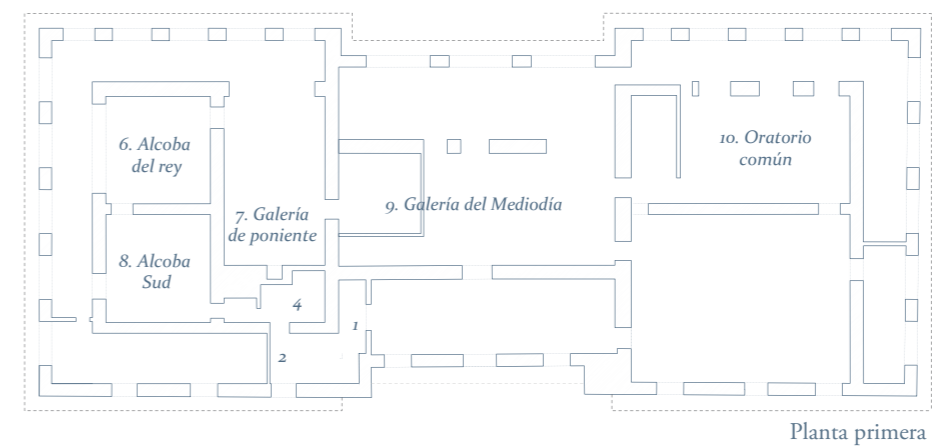
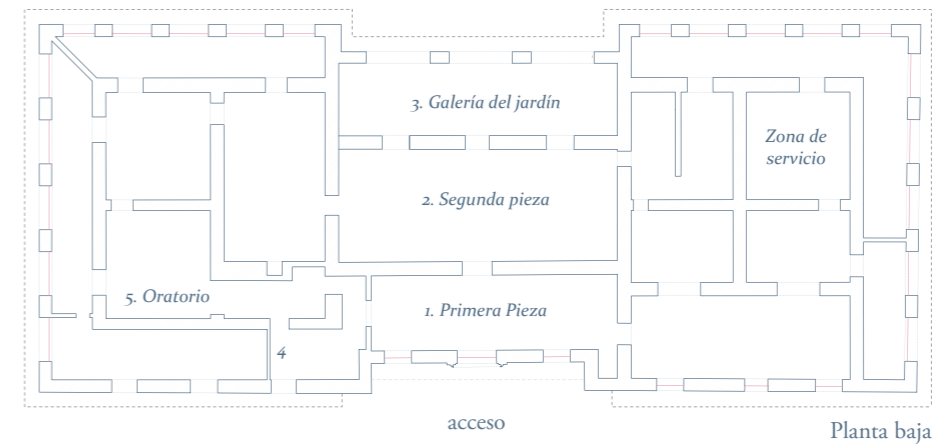
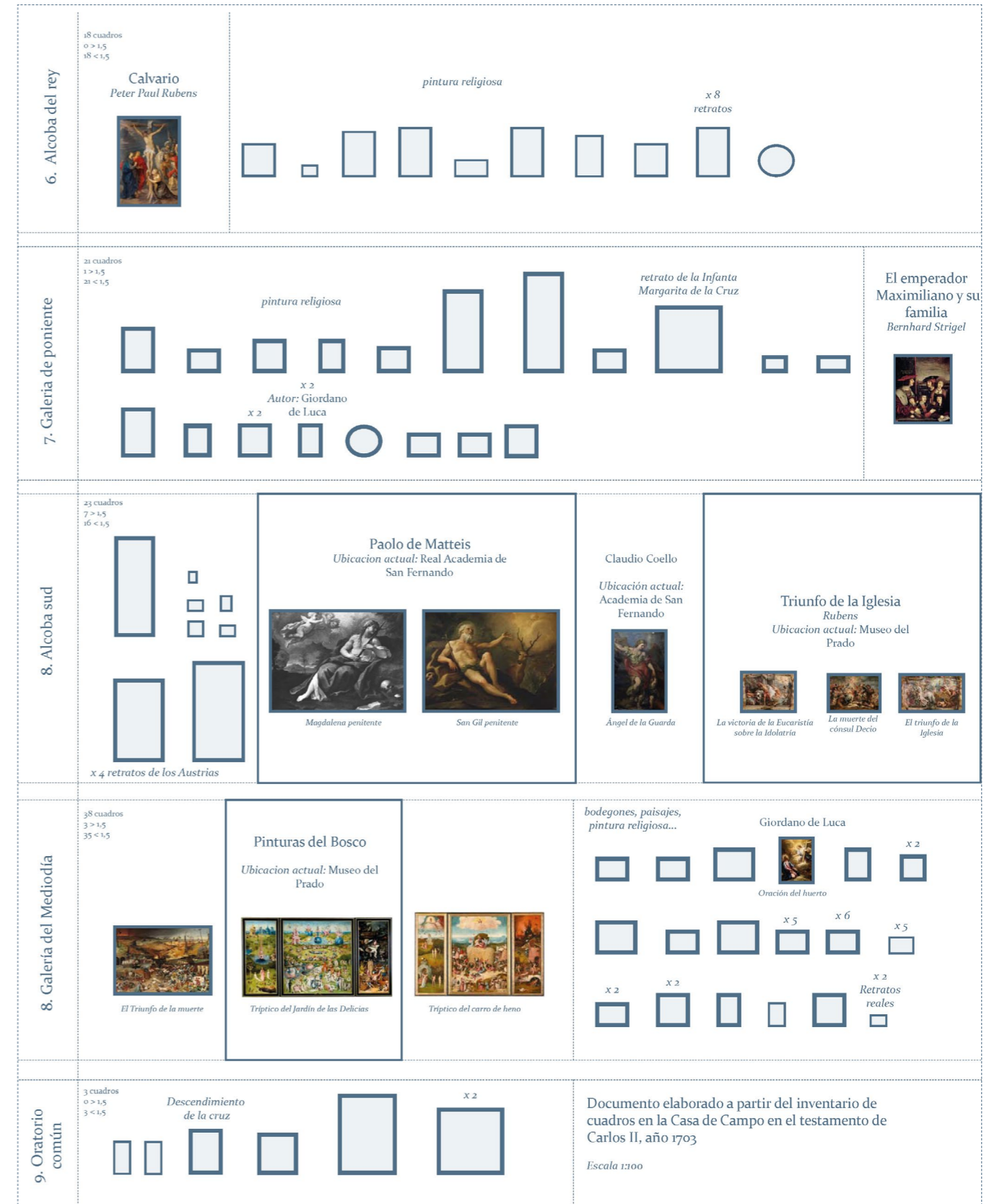
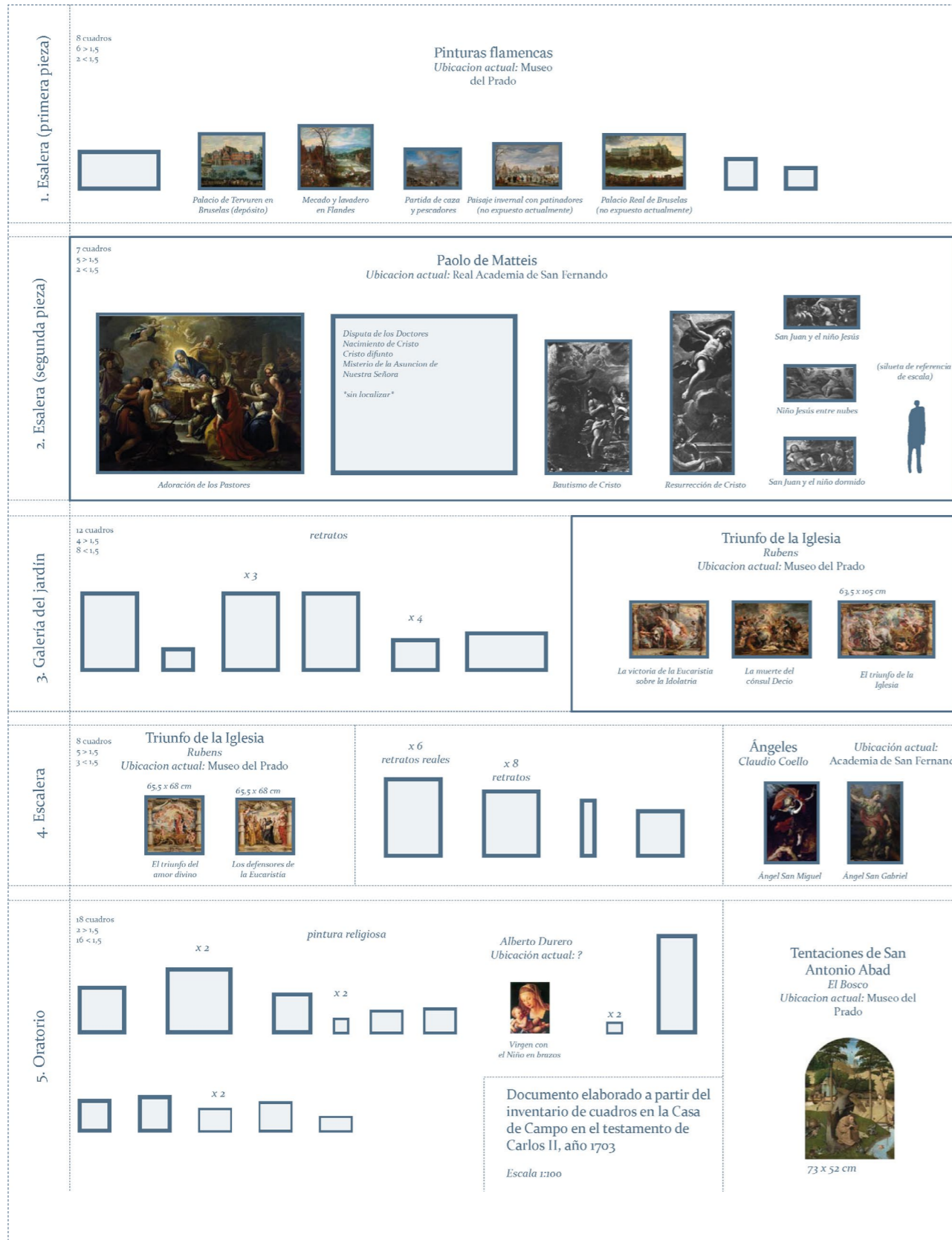
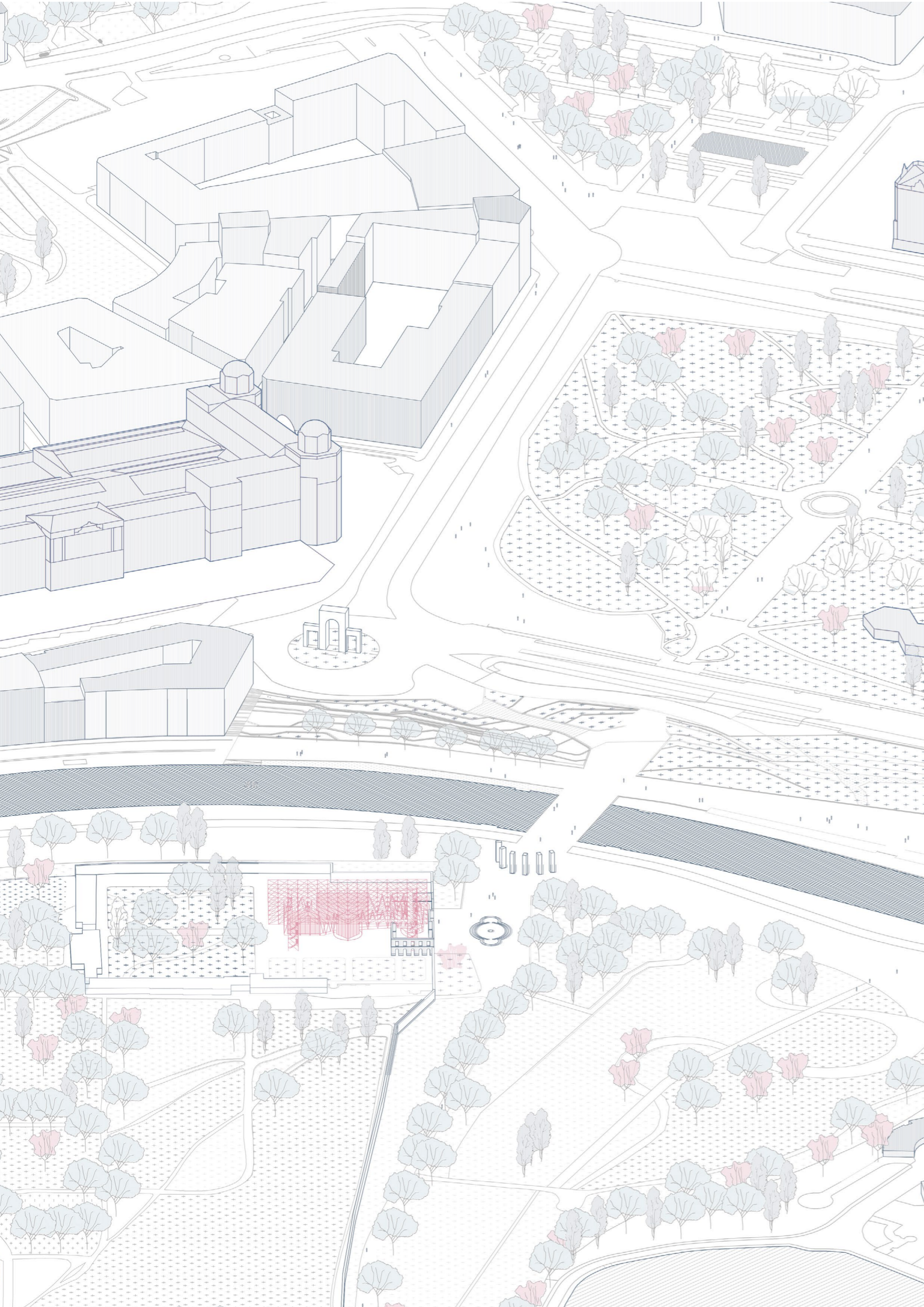


Figura 10. Distribución de las salas en época de Felipe II. Elaboración propia.

En las figuras 11 y 12 se muestra un documento gráfico con las dimensiones de las distintas obras mencionadas en el inventario, en el cual se adjunta la imagen y localización actual de aquellas que son más conocidas.



Figuras 11 y 12. Inventario de cuadros de la Casa de Campo elaborado a partir del testamento de Carlos II. Elaboración propia.



2. El Museo de Vargas

2.1. Objetivos

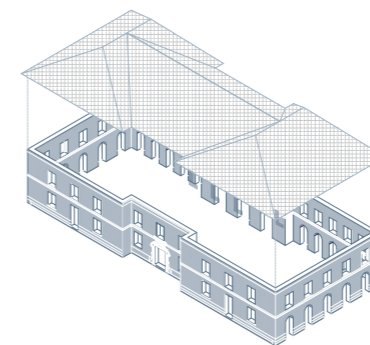
El objetivo general de este proyecto es la propuesta del Museo de Vargas, un nuevo museo situado en el Palacio de Vargas y su entorno, que albergará cinco obras de arte que estuvieron allí ubicadas en el siglo XVI, con el que se pretende dotar a la ciudad de Madrid de un espacio expositivo en el entorno de la Casa de Campo y el Palacio Real. Este objetivo general incluye los siguientes objetivos específicos:

- Reactivar el recinto del Palacio de la Casa de Campo, creando un nuevo foco de atracción pública con la inserción de un museo y una plaza.
- Recuperar y musealizar las pinturas y esculturas que hacían tan especial el conjunto, y a su vez crear un nuevo eje cultural similar al eje Prado- Recoletos.
- Recuperar la identidad del palacio y el carácter de su construcción original.
- Generar una intervención que, gracias a su escala y al contraste con el patrimonio histórico, tendrá un carácter sugerente para así atraer a los ciudadanos y visitantes, haciéndoles circular a través del museo, generando movimiento, actividad y un nuevo espacio en la ciudad de Madrid.

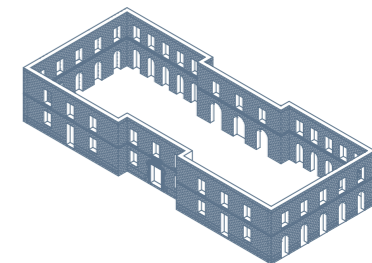
2.2. Estrategia

EL PALACIO DE VARGAS

1. Eliminación de la cubierta: Después del estudio sobre las intervenciones realizadas en el palacio a lo largo de los años, se han eliminado los “falsos históricos” y se ha vaciado la casa de tabiques y forjados.



1. Eliminación de la cubierta



2. Recuperación del ladrillo

2. Recuperación del ladrillo: la solución aportada parte de la memoria del lugar. Por ello, la recuperación de la fábrica original resulta una premisa de gran relevancia en el proyecto. Se ha retirado el enfoscado de la fachada para recuperar la identidad original del ladrillo, pero también se han conservado las geometrías diseñadas por Sabatini.

3. Inserción de una estructura espacial: con la intención de albergar los nuevos espacios para el museo, se ha generado una estructura que nace en el Palacio de Vargas y se extiende hacia el Reservado Chico, generando un claro contraste entre la pesadez de la fábrica original y la ligereza del metal y de la geometría de la intervención.

4. Generación de una plaza pública: la extensión del museo va más allá del nuevo programa edificado, se ha trasladado al plano urbano mediante un espacio ajardinado, una plaza y un mirador. Las piezas del museo cuelgan de la estructura metálica con la finalidad de poder crear bajo ellas un espacio en el que los ciudadanos puedan disfrutar su tiempo de ocio.

5. Recorrido perimetral: tratando un plano más urbanístico, la intervención invita a los visitantes a subir hasta la cubierta de la estructura y poder recorrerla perimetralmente, pudiendo así disfrutar de las vistas sobre las copas de los árboles de la Casa de Campo.

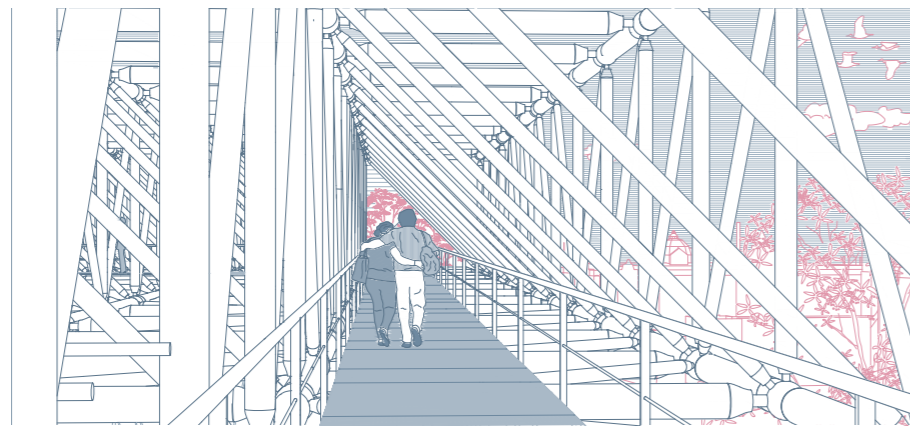
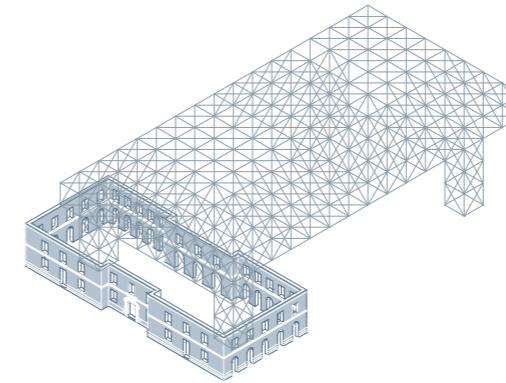


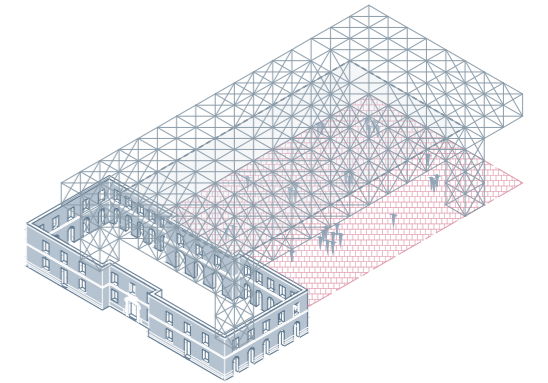
Figura 13. Perspectiva desde la pasarela/ mirador

6. “LOS NUEVOS HABITANTES”: se han generado cinco espacios adaptados a las cinco obras de arte seleccionadas. Estos espacios buscan una relación más intensa entre el sujeto y la obra de arte, por lo que cada uno de ellos estará dotado de una personalidad propia ligada a la obra que alberga.

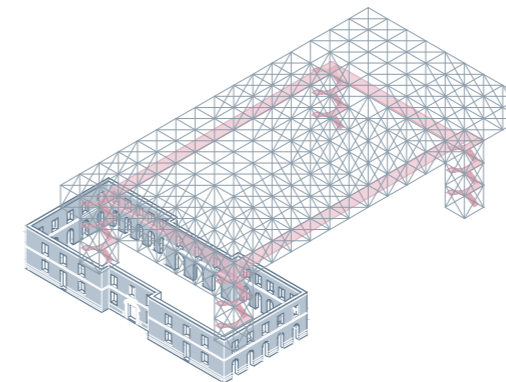
7. Rampas y pasarelas: para conectar las distintas salas, se propone un recorrido de pasarelas y rampas, siendo así el proceso espacial que sobrevuela la plaza pasando por las distintas salas, de lo cerrado-oscuro a lo exterior-luminoso, también parte de la experiencia artístico-arquitectónica.



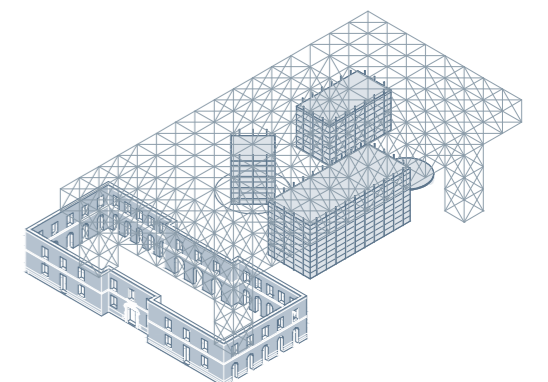
3. Estructura tridimensional triangulada.



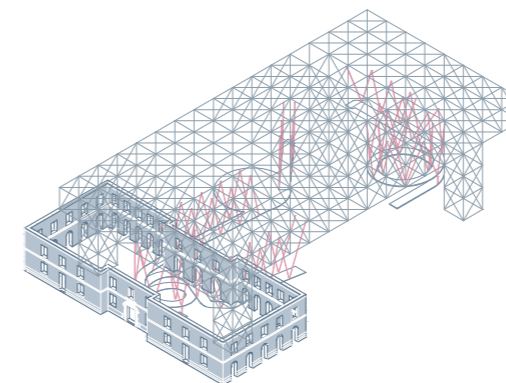
4. Plaza pública generada en el espacio bajo el museo. Toldo plegable para cubrirla en caso de lluvia.



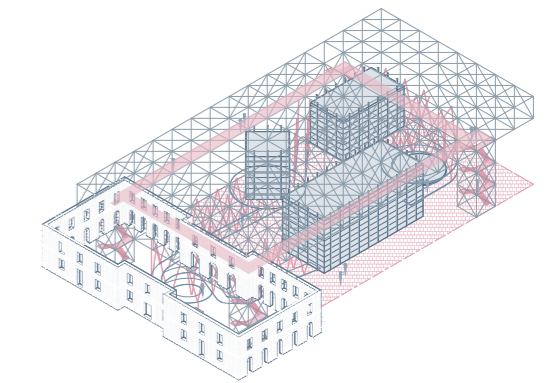
5. Recorrido perimetral: la pasarela/ mirador



6. “Los nuevos habitantes” -Espacios adaptados a cada obra de arte

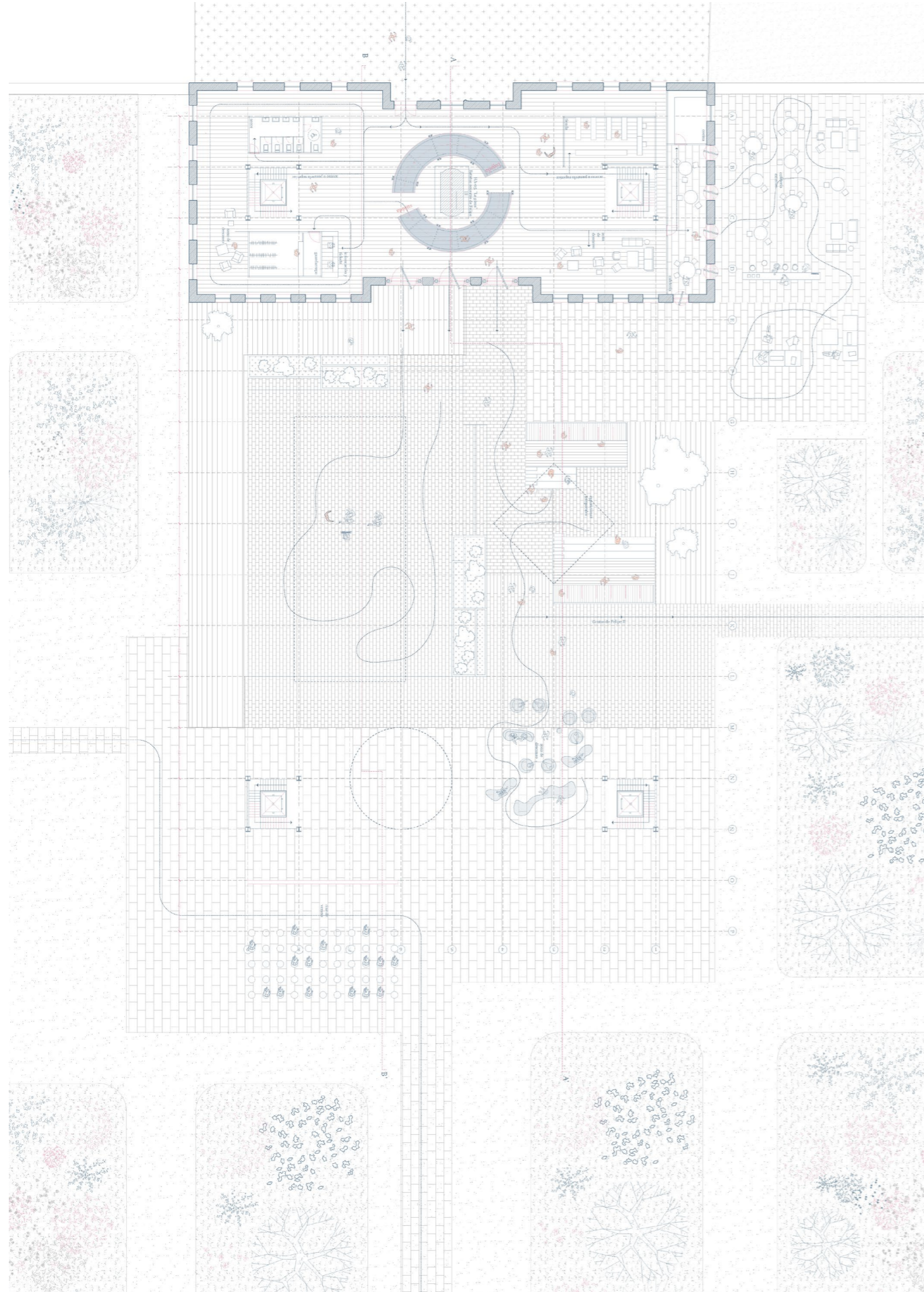


7. Rampas y pasarelas colgadas de la estructura conectando los distintos espacios

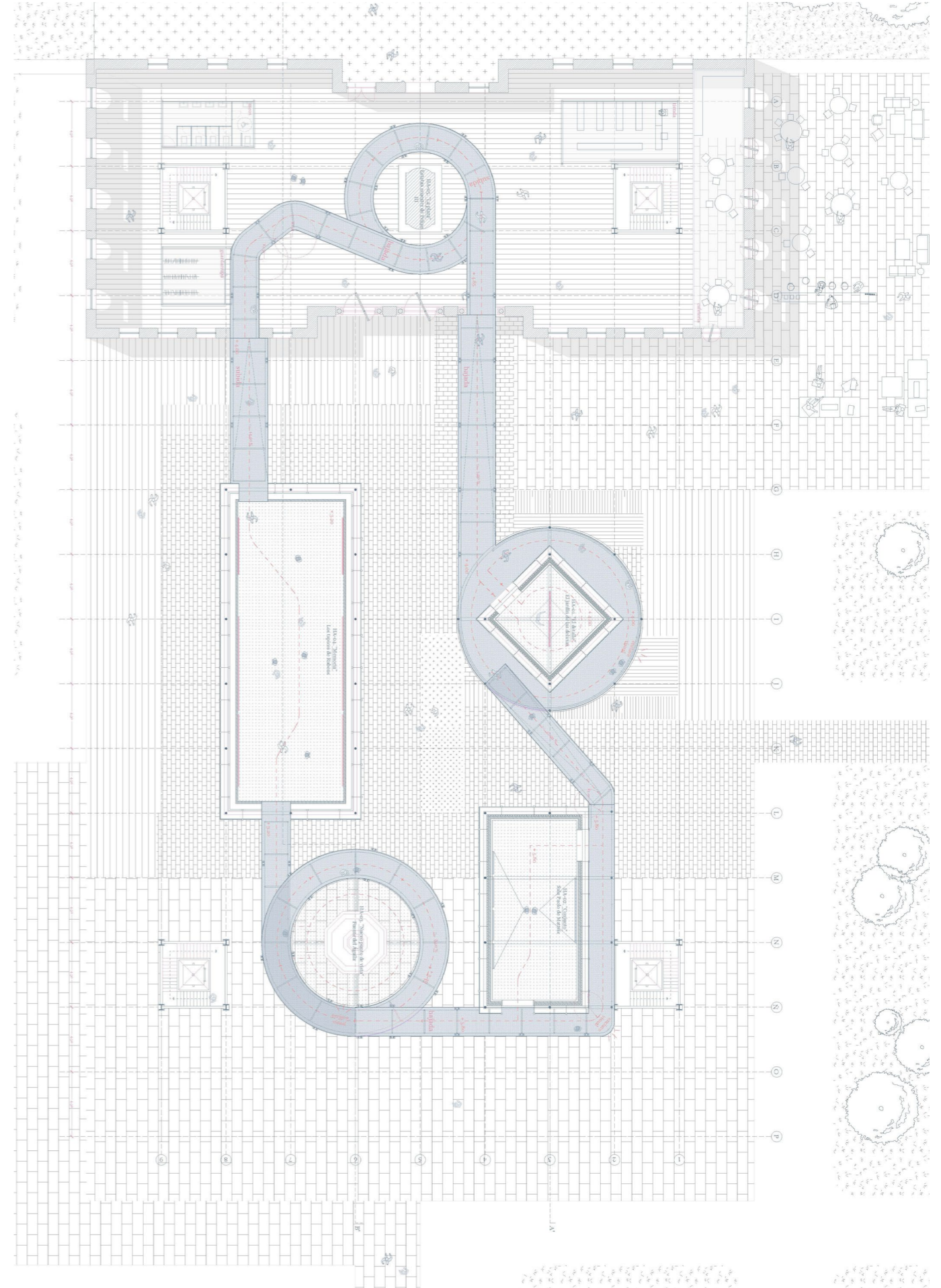


8. El conjunto

LA PLAZA
Planta baja



EL RECORRIDO
Planta principal



2.3 Los nuevos habitantes

Se han escogido cinco entre las obras de arte que formaban parte de la colección de la Casa de Campo, y se han generado cinco espacios adaptados a las cinco obras de arte seleccionadas. Estos espacios buscan una relación más intensa entre el sujeto y la obra de arte, por lo que cada uno de ellos estará dotado de una personalidad propia ligada a la obra que alberga. La Figura 16 muestra las cinco obras de arte que conformarán la exposición del museo, y el lugar donde se ubican actualmente.

La adaptación de cada sala se ha generado siguiendo tres parámetros:

-Concepto: se ha estudiado cada obra de arte y se ha decidido qué cualidades de esta se quieren destacar, ya sea su tamaño, su memoria, su morfología...

-Disposición de la muestra: cada obra de arte se dispondrá según los criterios ligados al concepto que hace especial al objeto, de manera que destaque lo máximo posible.

-Iluminación: se ha realizado un estudio de iluminación en museos, para así poder determinar qué cantidad de luz es la adecuada para cada una de las salas. También se ha tenido en cuenta la orientación y horas de luz recibidas de los espacios para optimizar la entrada de luz (Figura 15).

Clases de sensibilidad

CATEGORÍA I esculturas, metal, piedra...	CATEGORÍA II pintura al óleo, cuero...	CATEGORÍA III textiles, tapicería...
Habitantes 3 y 5	Habitantes 1 y 2	Habitante 4
Sin restricciones	200 lux- 600.000 lux x h/ año	50 lux- 150.000 lux x h/ año
sin gestión de la luz diurna	gestión de la luz diurna	iluminación limitada

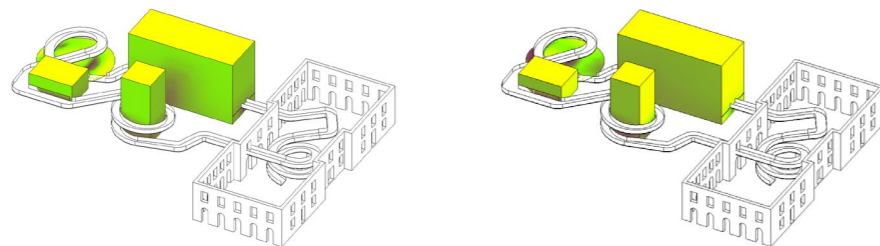


Figura 14. Se ha realizado un estudio de la entrada de la luz solar en las salas para determinar la iluminación en cada una de ellas

Página derecha: Figura 15. Descripción y ubicación de las obras de arte recuperadas.

Habitante 1



Museo del Prado
Objeto recuperado: EL JARDÍN DE LAS DELICIAS

Autor: El Bosco
Año: 1505

La obra cumbre del Bosco se encontraba en la sala principal del Palacio de Vargas, junto con otras obras del mismo autor. Fue trasladado al Museo del Prado en 1939 para su restauración, y se conserva allí desde entonces.

Habitante 2



Real Academia de Bellas Artes de San Fernando
Objeto recuperado: SERIE DE CUADROS DE PAOLO DE MATTEIS

Autor: Paolo de Matteis
Año: 1688

En el Palacio de Vargas se encontraba una serie de cuadros pintados por el artista napolitano Paolo de Matteis, discípulo de Lucas Jordán. El más distinguido de ellos es el de la Adoración de los Pastores, un lienzo de grandes proporciones (3,30 x 4,40 m) que hasta hace poco tiempo se consideraba perdido. Actualmente forman parte de la colección de pintura italiana de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando.

Habitante 3



Palacio Real de Madrid
Objeto recuperado: FUENTE DEL ÁGUILA

Autor: Giovanni Angelo Montorsoli
Año: 1584
Material: mármol

En 1998 se trasladó a Aranjuez con motivo de una exposición, y se creó una réplica que ahora se encuentra en la Universidad Reina Cristina. La fuente original se encuentra desmontada en los sótanos del Palacio Real desde 1998.

BIEN DE INTERÉS CULTURAL

Habitante 4



Monasterio de Las Descalzas Reales
Objeto recuperado: SERIE DE TAPICES DE RUBENS: EL TRIUNFO DE LA EUCARISTÍA

Autor: Peter Paul Rubens
Año: 1625

En torno al año 1625 Rubens diseñó una serie de veinte tapices con destino al Monasterio de las Descalzas Reales de Madrid, donde aún se conservan todos ellos. Rubens realizó varios bocetos preparatorios para esta serie, muchos de los cuales se encontraban expuestos en el Palacio de Vargas. Estos tapices se encuentran guardados en el monasterio debido a su inmenso tamaño, por lo que se propone exponerlos siguiendo la disposición original concebida por Rubens.

Habitante 5

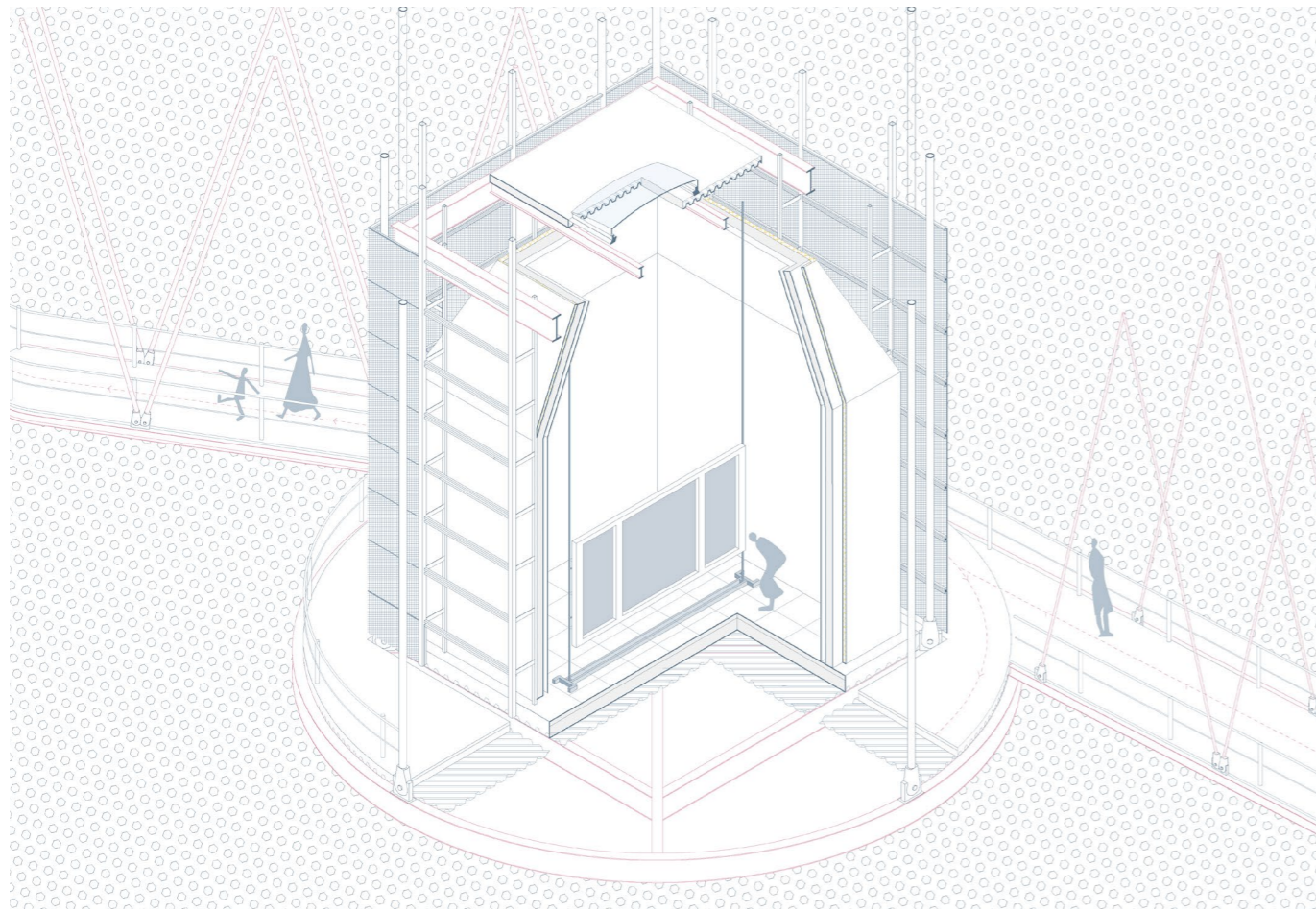


Plaza Mayor
Objeto recuperado: ESTATUA ECUESTRE DE FELIPE III

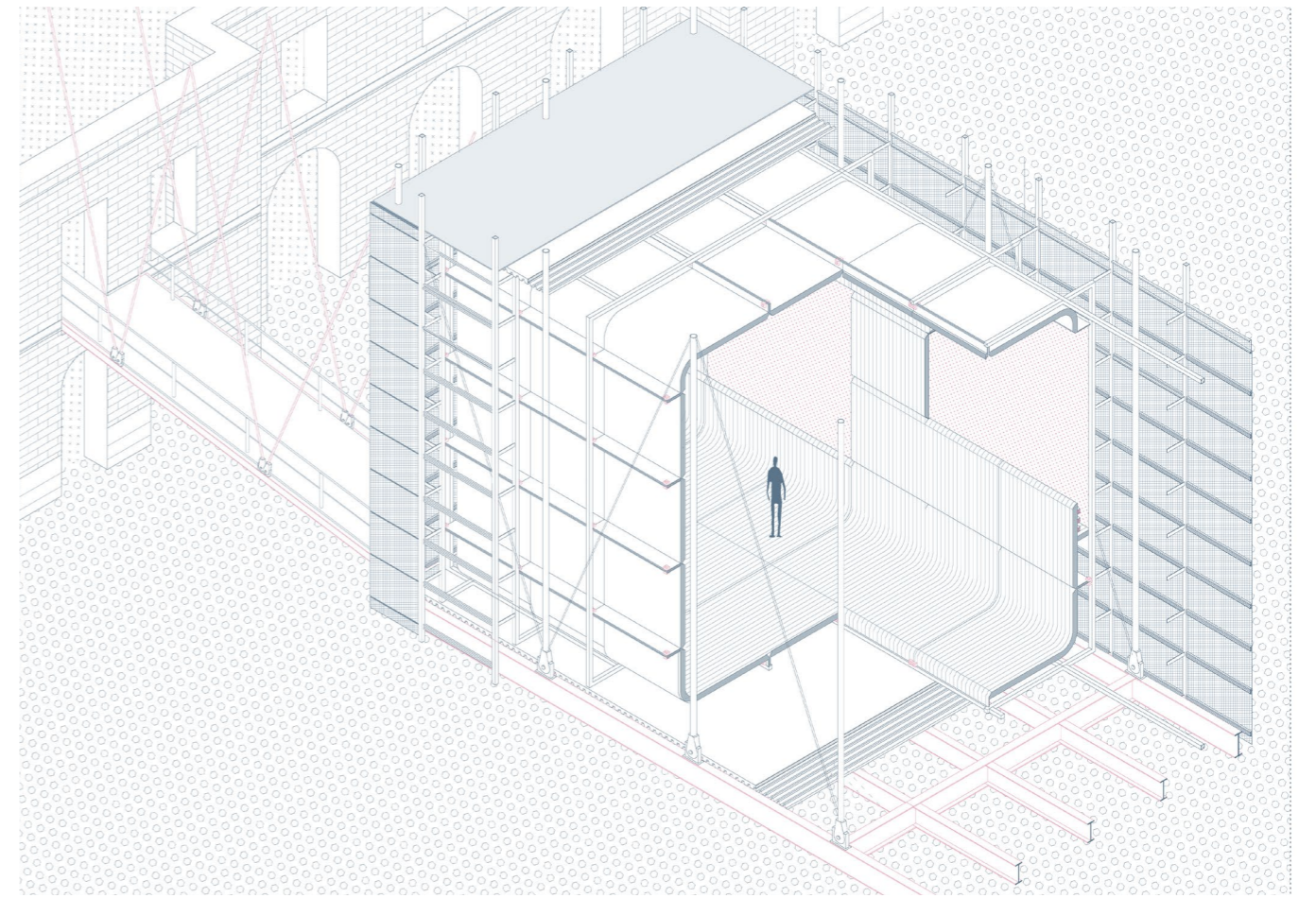
Autor: Juan de Bolonia y Pietro Tacca
Año: 1616
Material: Bronce; pedestal de granito y arenisca

La escultura fue un regalo del Gran Duque de Toscana a Felipe III, y permaneció en los jardines del Reservado del Palacio de Vargas hasta el 1846, cuando se trasladó a la Plaza Mayor. Se propone volver a trasladar la escultura a su lugar de origen y exponer una réplica de esta en la Plaza Mayor.

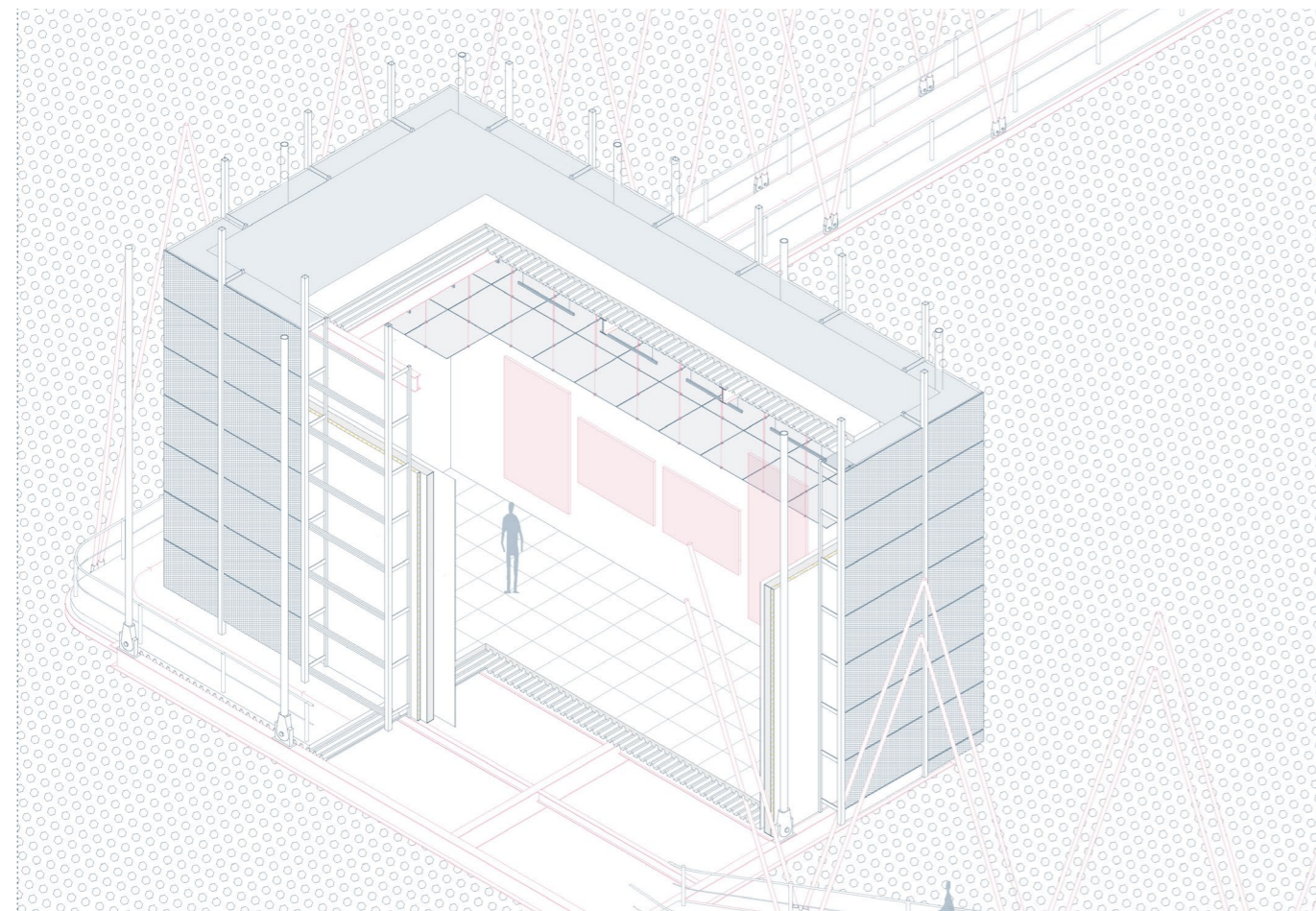
BIEN DE INTERÉS CULTURAL



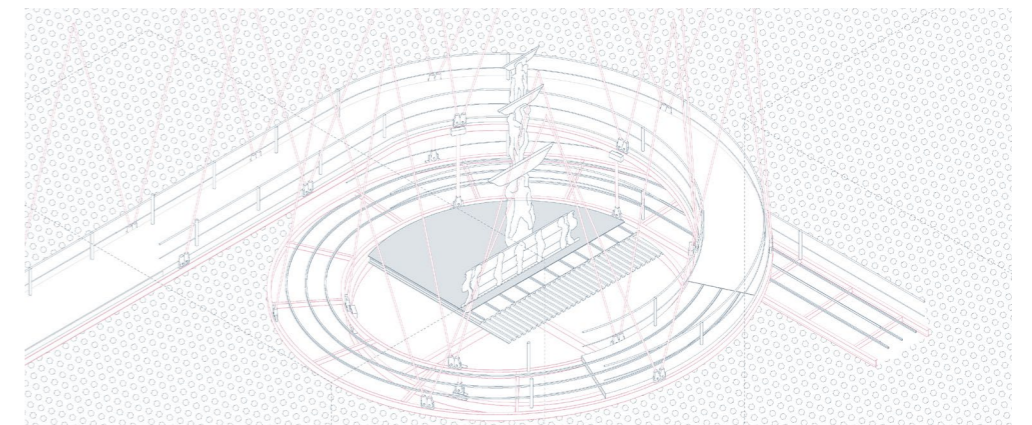
Habitante 1: El Jardín de las Delicias



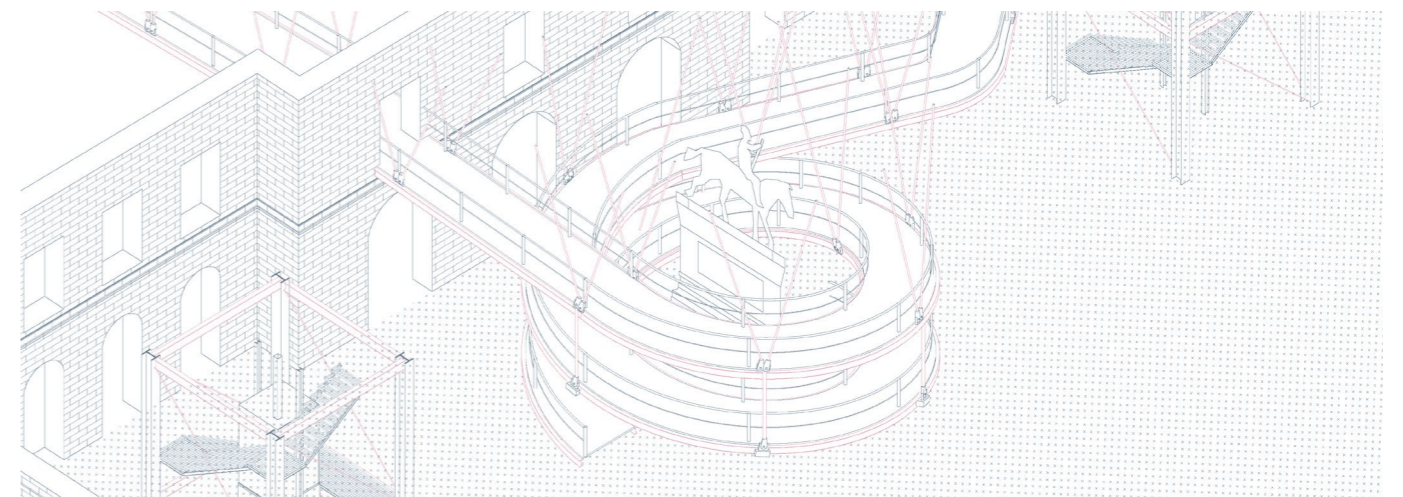
Habitante 3: Los tapices de Rubens



Habitante 2: Los cuadros de Paolo de Matteis



*Habitantes 4 y 5: La fuente del
Águila y la estatua ecuestre de
Felipe III*



3. Memoria descriptiva

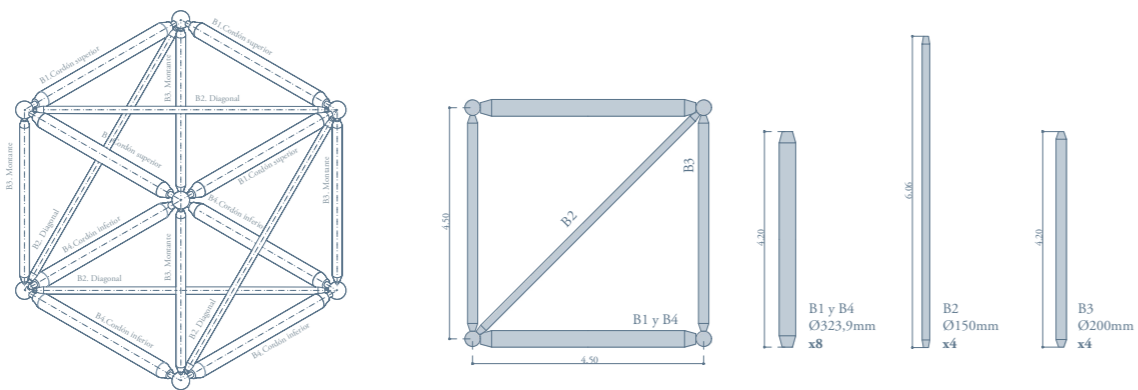
3.1. Descripción de la solución aportada

Se decide resolver el proyecto a través de una malla tridimensional metálica que conforma la cubierta y se eleva 16m de altura soportada por cuatro apoyos que a su vez están conformados por cuatro soportes distintos arriostrados entre si mismos.

La cubierta o cercha tridimensional soportará, mediante tirantes en sus nudos tanto los distintos espacios de exposición de las obras de arte, así como el conjunto de pasarelas que conforman el recorrido museístico.

El módulo que define la cercha tridimensional metálica tiene una forma cúbica de cuatro metros y medio de lado; con un cordón superior, otro inferior, unos montantes que los unen, y unas diagonales que lo arriostran. Estas barras se dimensionan según su función estructural, dando como resultado distintas secciones. Los nudos que unen dichas barras son nudos rígidos, atándolas y no permitiendo torsión entre las mismas.

Por último, tanto los soportes como los arriostramientos horizontales y los tirantes diagonales que los unen, también se dimensionarán para poder comprobar mediante el programa de cálculo estructural SAP2000, si la estructura propuesta funciona y responde a las características normativas pertinentes.



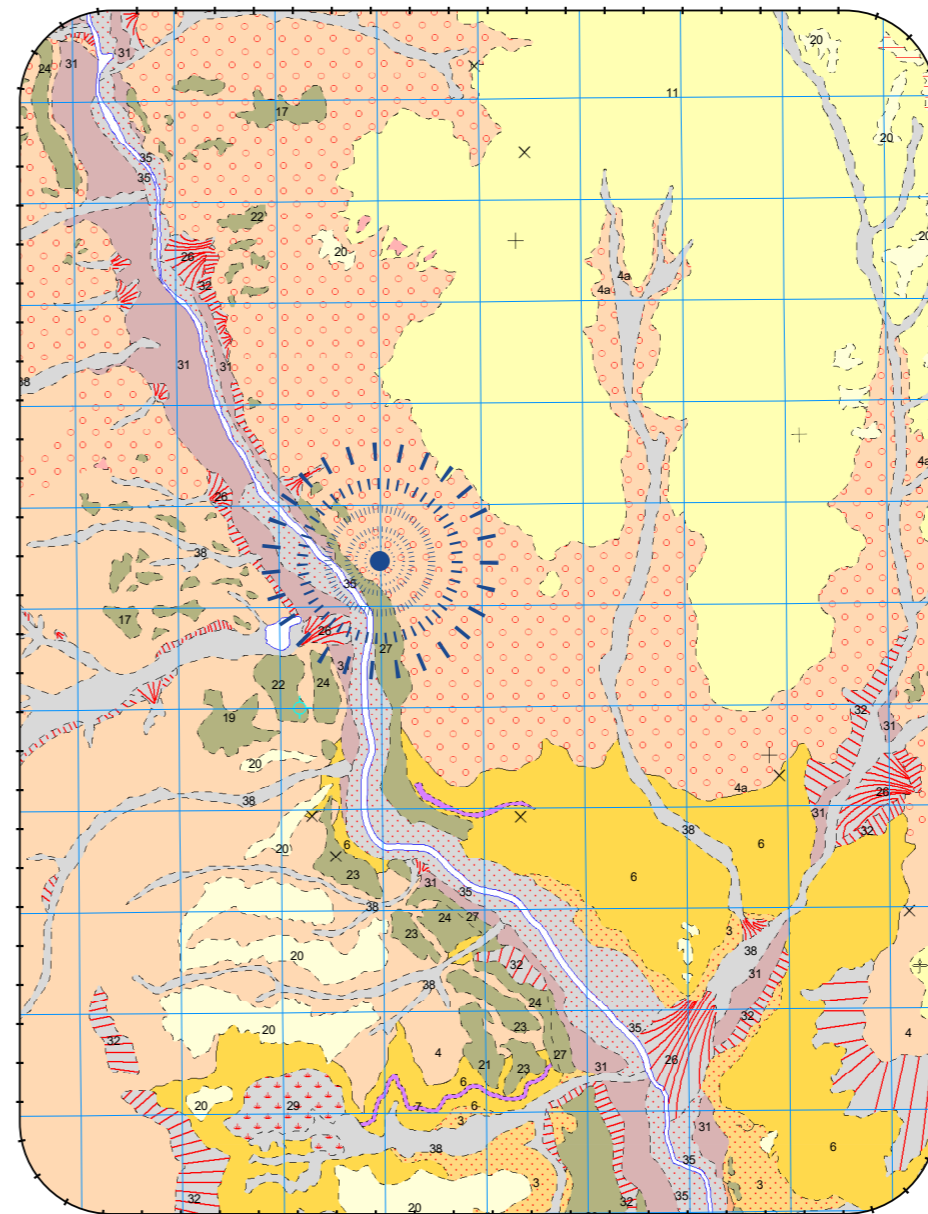
Definición estructural de un módulo

3.2. Descripción del terreno

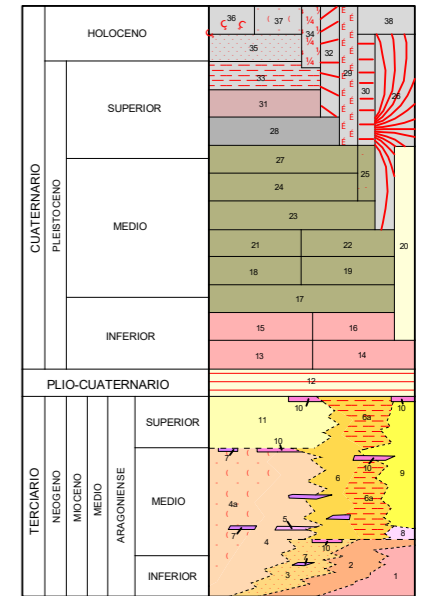
Se estudia el terreno donde se emplaza el proyecto, para tenerlo en cuenta en el proceso de decisiones, sobretodo, en el ámbito de la cimentación.

El suelo existente en la zona, es un suelo formado por arcosas gruesas con cantos, lechos de cantos, fangos y arenas.

La información se ha obtenido del Instituto Geológico y Minero de España, abajo podemos observar el mapa geológico de la ciudad de Madrid, y más en concreto el emplazamiento del proyecto marcado con un círculo de color azul.



LEYENDA



- 38, 36 Arenas cuarzo-feldespáticas, arcillas y limos arenosos con gravas dispersas (fondos de valle, lechos de canales y cauces abandonados)
- 37 Gravas, cantos y arenas (barras aluviales)
- 35 Limos arcillosos, arenas gravas y cantos poligénicos (llanuras aluviales)
- 34 Limos yesíferos
- 33 Arcillas arenosas con fragmentos de roca (Rellenos kársticos)
- 32, 30, 26 Arenas y limos con cantos dispersos (coluviones, derrames y conos aluviales)
- 31, 28, 27 Cantos y gravas poligénicos, arenas, limos y arcillas (terrazas)
- 29 Arcillas arenosas (fondos endorreicos)
- 25, 24, 23, 22, 21 Cantos y gravas poligénicos, arenas, limos y arcillas (terrazas)
- 20 Arenas cuarzo-feldespáticas con gravas y cantos (glacis y superficies)
- 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13 Cantos y gravas poligénicos, arenas, limos y arcillas (terrazas)
- 12 Arenas cuarzo-feldespáticas con gravas y cantos (glacis y superficies)
- 11 Arenas arcóscicas de grano grueso y arcillas pardas y rojizas
- 10 Niveles de sílex
- 9 Calizas dolomíticas y arcillas verdosas. Seudomorfo de yeso. Niveles finos de sepiolita
- 8 Yesos detríticos, arcillas verdosas y carbonatos, localmente yeso selenítico
- 7 Niveles de carbonatos (dolomías y caleretas)
- 6a Arcillas con intercalaciones frecuentes de bancos carbonáticos, en parte silicificados
- 6 Arcillas verdes y rosadas, arenas micáceas, margas y niveles de carbonatos y sílex
- 5 Niveles de sepiolita
- 4a Arcosas gruesas con cantos, lechos de cantos, fangos y arenas arcóscicas
- 4 Arenas arcóscicas de grano medio o fino, limos y arcillas marrones
- 3 Arcillas verdosas y marrones, localmente arenas micáceas, niveles de carbonatos y sílex
- 2 Yesos tableados y nodulares entre arcillas grises y marrones
- 1 Yesos masivos

3.3. Decisiones materiales

ACERO ESTRUCTURAL

Se propone el uso de acero laminado S275 para configurar la estructura metálica del proyecto. Se elige el acero frente a otras soluciones de carácter más rígido o pesado como modo de establecer un contraste claro entre la masividad de la fábrica de ladrillo de 80-130 cm de espesor preexistente y la nueva construcción.

Para la estructura en cubierta utilizaremos perfiles huecos tubulares de sección circular, que serán soldados en taller, de acero S275. Los soportes también estarán conformados de Acero S275, con sección HEB 360.

Los tirantes estructurales que soportan los diferentes espacios desde la cubierta; estarán conformados por acero tipo Y 1860-S.

ACERO EN ARMADURAS

Por último, en las armaduras de la cimentación, utilizaremos el acero de tipo B500S, corrugado, para garantizar mejor adherencia en las cimentaciones, soportes y losas.

HORMIGÓN

ACERO ESTRUCTURAL

Elemento estructural	Tipo de acero	Nivel de control	Coefficiente parcial de seguridad (γ_s)	Resistencia de cálculo (N/mm ²)
Estructura de cubierta	S-275	Intenso	1,15	275
Soportes verticales (pilares)	S-275	Normal	1,15	275
Tirantes	Y 1860 S	Alto	1,05	1771

ACERO EN ARMADURAS

Elemento estructural	Tipo de acero	Nivel de control	Coefficiente parcial de seguridad (γ_s)	Resistencia de cálculo (N/mm ²)
Cimentación	B 500 S	Normal	1,15	437,7

HORMIGÓN

Elemento estructural	Tipo de hormigón	Nivel de control	Coefficiente parcial de seguridad (γ_s)	Resistencia de cálculo (N/mm ²)
Cimentación	HA-25	Estadístico	1,5	16,66

3.4. Método de cálculo y procedimiento

La base de cálculo de la estructura se resume en el cálculo de la estructura principal del proyecto siguiendo la siguiente metodología:

- Definición geométrica de los distintos elementos estructurales y elección de los materiales correspondientes a los mismos.
- Predimensionado de los diversos elementos que la componen, con cálculos realizados a mano. Estos elementos son los soportes, los tensores, así como los elementos estructurales que conforman la cubierta metálica espacial.
- Aplicación las normas de acciones según el CTE-DB-SE-AE.
- Evaluación de las acciones aplicadas sobre la estructura. Esta parte se realiza con el apoyo del programa informático de cálculo de estructuras SAP2000.

3.5. Normativa Utilizada

Para el desarrollo de este trabajo se han adoptado y consultado diferentes documentos correspondientes a las siguientes normativas:

- * Código Técnico de la Edificación (CTE)
- * Documento básico sobre Seguridad Estructural (CTE DB-SE)
- * Documento básico sobre Seguridad en caso de incendio (CTE DB-SI)
- * Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)
- * Instrucción de Aplicación sobre Seguridad Estructural: Hormigón (DA-EHE-08)
- * Para las acciones se ha utilizado: (CTE-DB-SE-AE)

En el documento DB SE Seguridad Estructural del Código Técnico de la Edificación se plantean los principios en los que se debe basar el análisis estructural y el dimensionado de la estructura, definiéndose; las situaciones de dimensionado, los estados límites, los valores representativos de las acciones, los materiales y los modelos para el análisis estructural.

Los estados límites se pueden definir como situaciones que de ser superadas se debe considerar que el edificio no cumple con los requisitos estructurales para los que ha sido concebido. Por ello se tendrán en cuenta el E.L.U. y el E.L.S.

4. Memoria justificativa

4.1. Acciones y metodología usados en el cálculo

Se estudiarán las cargas que influyen en la estructura. Se consideran tres tipos de cargas: permanentes (G), variables de carga (Q) y variables de viento. Los valores tenidos en cuenta son los expresados en el documento básico del Código Técnico de la Edificación sobre Seguridad Estructural (CTEDB-SE).

ACCIONES VERTICALES

Las acciones se consideran según el CTE-DB SE-AE (Documento Básico sobre la Seguridad Estructural, Acciones en la Edificación):

- El peso propio a tener en cuenta es el de los elementos estructurales, los cerramientos y elementos separadores, todo tipo de carpinterías, revestimientos, etc.

- El valor característico del peso propio de los elementos constructivos; se determinará, en general, como su valor medio obtenido a partir de las dimensiones nominales y de los pesos específicos medios.

- La sobrecarga de uso es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso.

- La sobrecarga de nieve dependerá según la ubicación geográfica en la que nos encontremos.

- Valores de la sobrecarga: el valor característico del peso propio de los elementos constructivos; se determinará, en general, como su valor medio obtenido a partir de las dimensiones nominales y de los pesos específicos medios.

A partir de las Tablas C.1 Peso específico aparente de materiales de construcción, C.2 Peso por unidad de superficie de elementos de cobertura, C.5 Peso propio de elementos constructivos, 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso y 3.8: Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas (CTE-DB-SE-AE), se seleccionan los siguientes valores de las acciones y se realizan unas tablas propias en base al proyecto:

Cargas permanentes (G): Pesos específicos y pesos propios.

Tablas:

Tabla C.1 Peso específico aparente de materiales de construcción

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

⁽¹⁾ En hormigón armado con armados usuales o fresco aumenta 1 kN/m³

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

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

Tabla C.5 Peso propio de elementos constructivos

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

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

Cargas variables (Q): Sobrecarga de usos y sobrecarga de nieve. Tablas:

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

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

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

Capital	Altitud m	s _k kN/m ²	Capital	Altitud m	s _k kN/m ²	Capital	Altitud m	s _k kN/m ²
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	470	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	570	0,7	SanSebastián/Donostia	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	820	0,4	Santander	1.000	0,3
Badajoz	180	0,2	León	150	1,2	Segovia	10	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	380	0,5	Sevilla	1.090	0,2
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Logroño	470	0,6	Soria	0	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Tarragona	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tenerife	950	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	40	0,2	Teruel	550	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	130	0,2	Toledo	0	0,5
Ciudad Real	640	0,6	Orense / Ourense	230	0,4	Valencia/València	690	0,2
Córdoba	100	0,2	Oviedo	740	0,5	Valladolid	520	0,4
Coruña / A Coruña	0	0,3	Palencia	0	0,4	Vitoria / Gasteiz	650	0,7
Cuenca	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Zamora	210	0,4
Gerona / Girona	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	0	0,5
Granada	690	0,5	Pamplona/Iruña	450	0,7	Ceuta y Melilla		0,2

ACCIONES HORIZONTALES

El viento constituye la acción horizontal más relevante.

VIENTO (CTE-DB-SE-AE)

El edificio se comprueba ante la acción del viento en todas las direcciones. En cuanto a la acción del viento, una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto; se puede calcular a partir de la expresión dada en el apartado 3.3.2 del CTE-DB-SE-AE:

$$q_{\text{PRESIÓN}} = [\text{kN/m}^2] = q_b * C_e * C_p$$

Siendo:

- q_b : la presión dinámica del viento. De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse 0,5 kN/m². Pueden obtenerse valores más precisos mediante el anejo D, en función del emplazamiento geográfico de la obra. Por este motivo se recurre al anejo D del CTE-DB-SE-AE: La presión dinámica de Madrid es de 0,42 kN/m² al encontrarse en la zona A.

- C_e : coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción. Se determina de acuerdo a lo establecido en el anejo D.2 Coeficiente de exposición, ya que el proyecto tiene una altura de entre 28 y 30 metros, será de 2,55; interpolando entre los valores ofrecidos por la tabla.

- C_p : coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie; un valor negativo indica succión. La esbeltez del plano paralelo al viento, en nuestro caso, es mayor a 5 metros, por lo que tomamos los valores de presión y succión de 0,8/-0,7.



Tabla D.2 Coeficientes para tipo de entorno

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

Tabla 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

COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE LAS ACCIONES

Para la determinación del efecto de las acciones, así como de la respuesta estructural, se utilizan los valores de cálculo de las variables, obtenidos a partir de sus valores característicos, u otros valores representativos, multiplicándolos o dividiéndolos por los correspondientes coeficientes. Los coeficientes vienen dados en la Tabla 4.1. Coeficientes parciales de seguridad para las acciones del CTE-DB-SE.

Coeficientes parciales de seguridad de las acciones

Tipo de verificación	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		Desfavorable	Favorable
Resistencia	Permanente	1,35	0,80
	Variable	1,50	0
Estabilidad	Permanente	1,10	0,90
	Variable	1,50	0

Coeficiente de seguridad, según situación, sobre valor característico

Tipo de carga	Ordinaria	Extraordinaria	
		Sísmica	Incendios
Permanente	1,35	1,00	1,00
Sobrecarga de uso	1,50	1,00	1,00
Viento	1,50	1,00	-
Nieve	1,50	-	-

SEGURIDAD EN CASO DE INCENDIO

Según la tabla 3.1 Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales del CTE-DB-SI, la resistencia al fuego de las plantas sobre rasante para el proyecto que presenta una altura mayor de 28m es de R120.

Tabla 3.1 Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales

Uso del sector de incendio considerado ⁽¹⁾	Plantas de sótano	Plantas sobre rasante altura de evacuación del edificio		
		≤15 m	≤28 m	>28 m
Vivienda unifamiliar ⁽²⁾	R 30	R 30	-	-
Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	R 120	R 60	R 90	R 120
Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario	R 120 ⁽³⁾	R 90	R 120	R 180
Aparcamiento (edificio de uso exclusivo o situado sobre otro uso)		R 90		
Aparcamiento (situado bajo un uso distinto)		R 120 ⁽⁴⁾		

⁽¹⁾ La resistencia al fuego suficiente R de los elementos estructurales de un suelo que separa sectores de incendio es función del uso del sector inferior. Los elementos estructurales de suelos que no delimitan un sector de incendios, sino que están contenidos en él, deben tener al menos la resistencia al fuego suficiente R que se exija para el uso de dicho sector

⁽²⁾ En viviendas unifamiliares agrupadas o adosadas, los elementos que formen parte de la estructura común tendrán la resistencia al fuego exigible a edificios de uso Residencial Vivienda.

⁽³⁾ R 180 si la altura de evacuación del edificio excede de 28 m.

⁽⁴⁾ R 180 cuando se trate de aparcamientos robotizados.

COEFICIENTES DE SIMULTANEIDAD

Para cada situación de dimensionado y criterio considerado, los efectos de las acciones se determinarán a partir de la correspondiente combinación de acciones e influencias simultáneas.

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría F)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría G)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría H)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

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

CUADRO DE CARGAS

A continuación, se detallan las diferentes acciones que afectan a cada una de las partes del proyecto.

Se disponen las cargas divididas en permanentes y variables, y a su vez, agrupadas por partes del proyecto, así se comienza con la cubierta y se van realizando los diferentes espacios de exposición que cuelgan de la misma, indicando en cada uno de ellos el peso propio de la estructura y las diferentes sobrecargas que se encuentran en ellos, principalmente de uso.

Tipo de carga		qK (kN/m ²)	coeficiente	qd (kN/m ²)	
CUBIERTA	Permanente	Peso propio estructura metálica auxiliar	1	1,35	1,35
	Variable	Sobrecarga de nieve (Madrid)	0,30	1,5	0,45
		Sobrecarga de uso F (cubierta transitable)	1	1,5	1,5
	Total	CUBIERTA			3,30
	Variable	Sobrecarga de viento (Madrid)			0,458
SALA EXP 1/2/3	Permanente	Peso propio estructura forjado bidireccional	5	1,35	6,75
		Tarima de espesor 20mm	0,4	1,35	0,54
		Peso propio cerramiento simple	3	1,35	4,05
	Variable	Sobrecarga de uso C3 (salas de exposición)	5	1,5	8,04
	Total	SALA EXPOSICIONES 1/2/3			19,38
SALA EXP 4	Permanente	Peso propio estructura forjado bidireccional	5	1,35	6,75
		Tarima de espesor 20mm	0,4	1,35	0,54
	Variable	Sobrecarga de uso C3 (salas de exposición)	5	1,5	8,04
	Total	SALA EXPOSICIONES 4			15,33
PASARELAS	Permanente	Peso propio estructura forjado bidireccional	5	1,35	6,75
		Tarima de espesor 20mm	0,4	1,35	0,54
	Variable	Sobrecarga de uso C3 (zonas públicas transitables)	5	1,5	8,04
	Total	PASARELAS			15,33

4.2. Cálculo de cargas

CÁLCULO DE CARGAS ESTRUCTURA PORTANTE SIN SALAS DE EXPOSICIÓN

Para cada situación de dimensionado y criterio considerado, los efectos de las acciones se determinarán a partir de la correspondiente combinación de acciones e influencias simultáneas.

En azul, sombreado, podemos observar el sumatorio total de cargas según cada parte del proyecto.

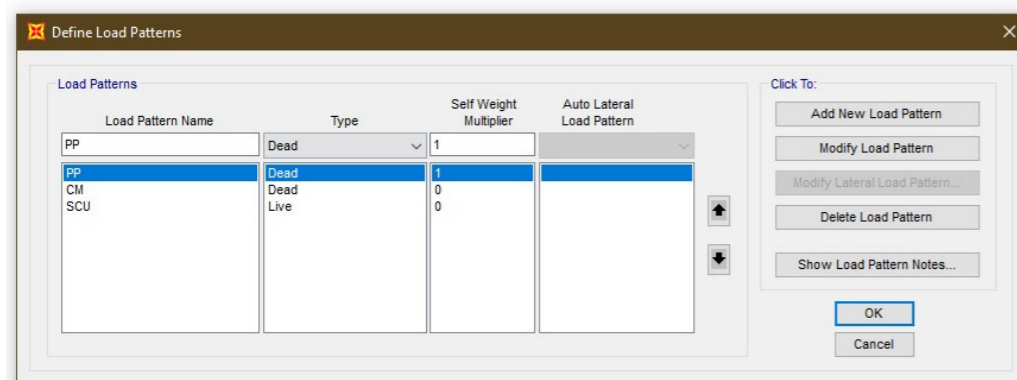
MATERIALES: ACERO ESTRUCTURAL

Elemento estructural	Tipo de acero	Nivel de control	Coefficiente parcial de seguridad (γ_s)	Resistencia de cálculo (N/mm ²)
Estructura de cubierta	S-275	Intenso	1,15	275
Soportes verticales (pilares)	S-275	Normal	1,15	275
Tirantes	Y 1860 S	Alto	1,05	1771

CARGAS APLICADAS

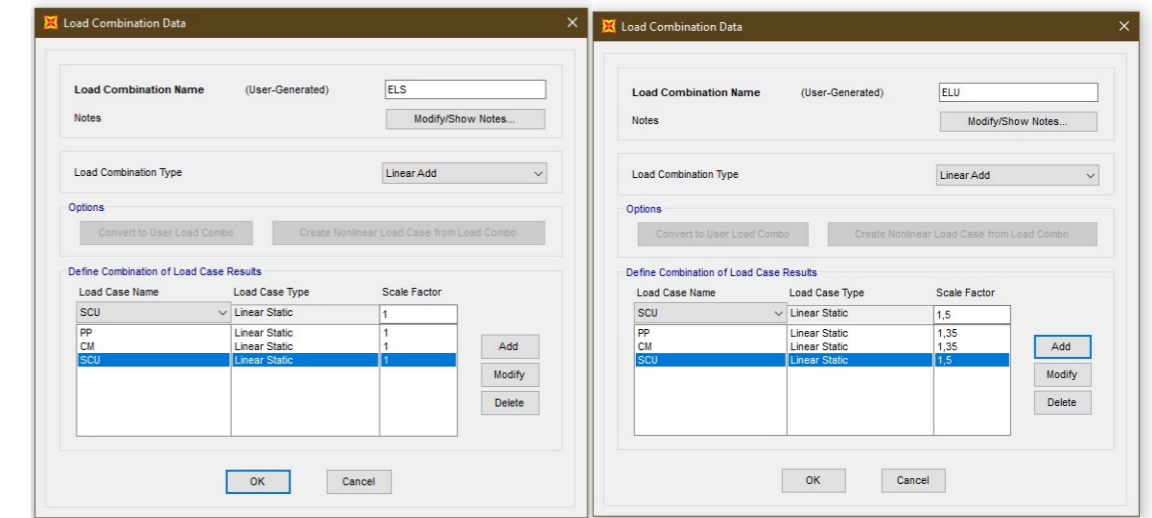
Tipo de carga		qK (kN/m ²)	coeficiente	qd (kN/m ²)
CUBIERTA	Permanente	Peso propio estructura metálica auxiliar	1	1,35
	Variable	Sobrecarga de nieve (Madrid)	0,30	1,5
		Sobrecarga de uso F (cubierta transitable)	1	1,5
	Total	CUBIERTA		3,30
	Variable	Sobrecarga de viento (Madrid)		

A continuación, procederemos a definir los casos básicos de carga que utilizaremos en el cálculo de las losas: PP (peso propio), CM (carga muerta), SCU (sobrecarga de uso)

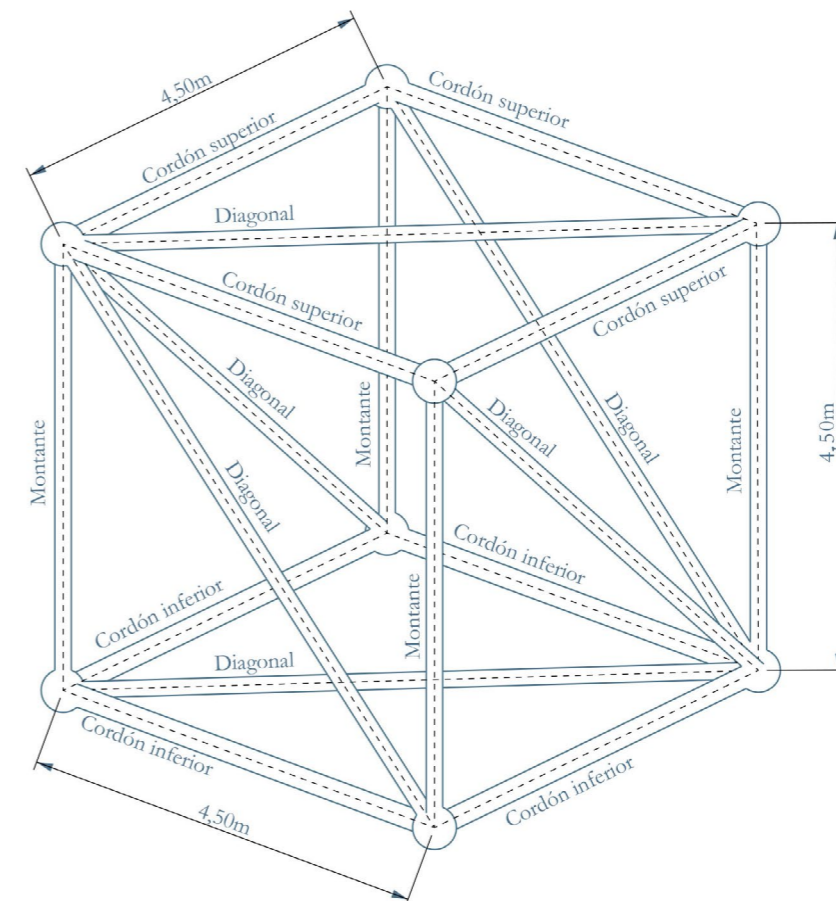


Una vez definidos los casos básicos de carga, procedemos a establecer las diferentes combinaciones de carga que se usarán para el cálculo de los diferentes forjados del proyecto.

Por un lado, tendremos el Estado Límite de Servicio (ELS) y por otro el Estado Límite Último (ELU)

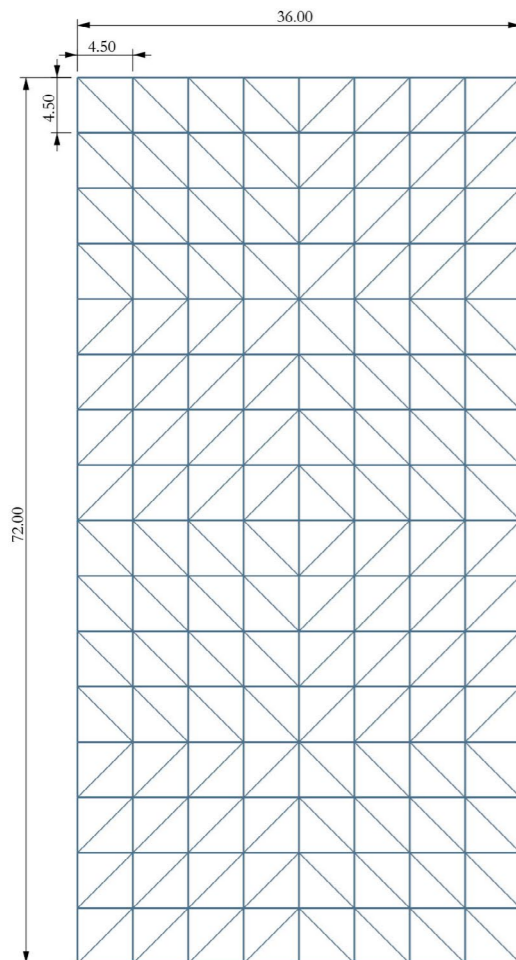
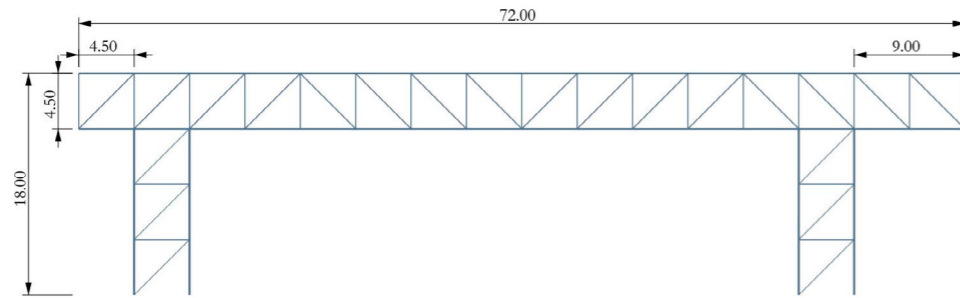
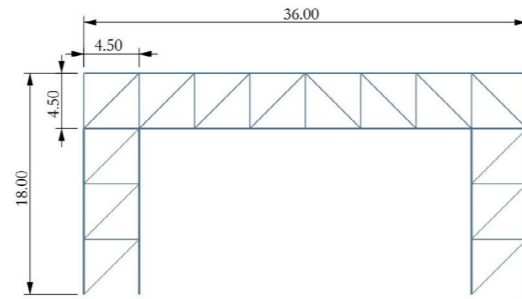


El módulo que define la malla tridimensional metálica de barras que conforma la estructura de la cubierta se define así:



El conjunto estructural se define mediante una malla tridimensional metálica que se soporta por cuatro apoyos que a su vez están conformados por cuatro soportes que siguen las dimensiones del módulo tridimensional cúbico de 4,50m de lado.

Más abajo se procede a calcular las cargas que sufre cada barra según su ubicación en el conjunto, dirección y cargas de cubierta calculadas previamente.



Carga de cubierta = 3,30KN/m²

$$\frac{3,30\text{KN/m}^2}{2} = 1,65\text{KN/m}^2$$

Dirección 1 (16 pórticos | 72m)

$$\text{---} \quad 1,65\text{KN/m}^2 \times 72\text{m} = 118,8\text{KN/m}$$

$$\text{---} \quad \frac{118,8\text{KN/m}}{16} = 11,80\text{KN/m}$$

Dirección 2 (8 pórticos | 36m)

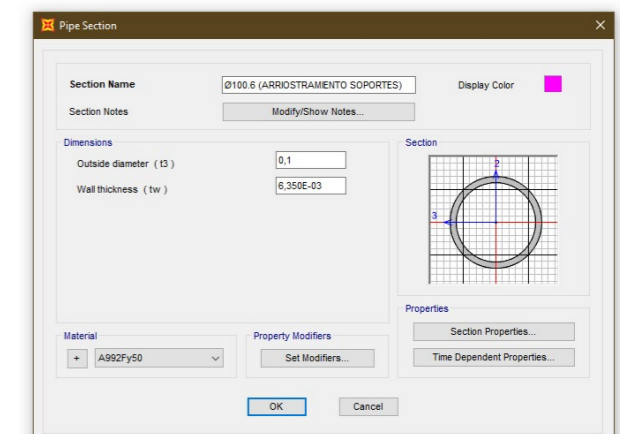
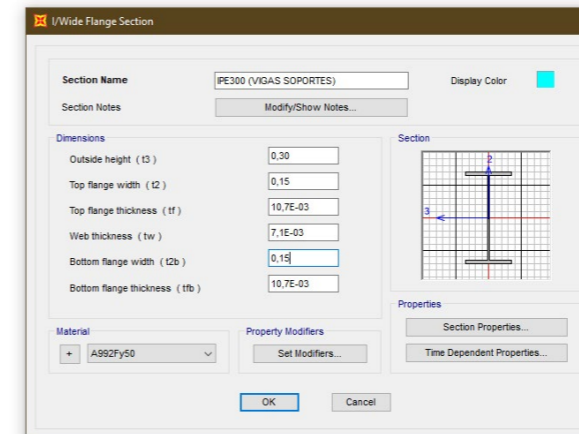
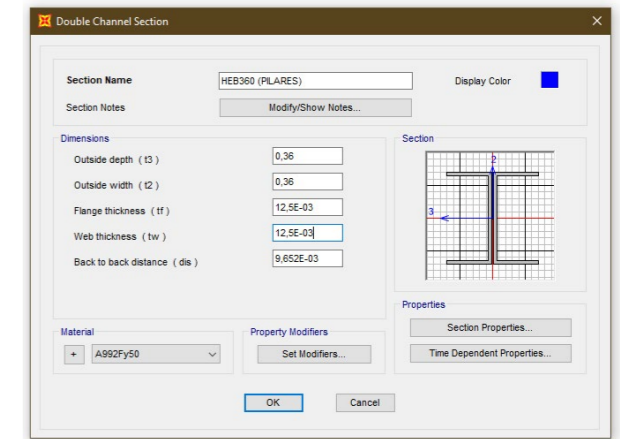
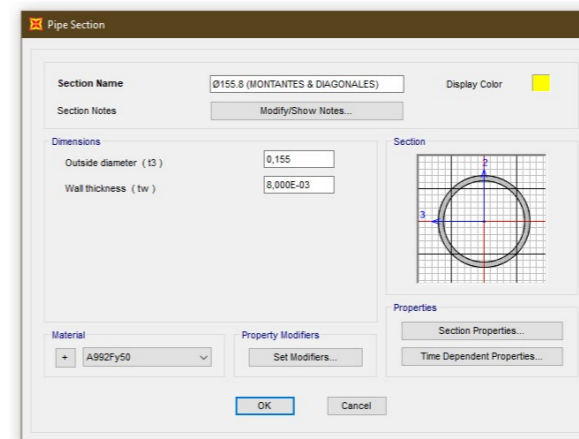
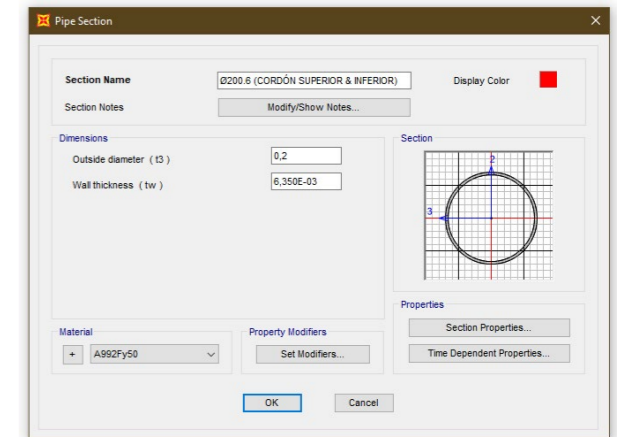
$$\text{|||} \quad 1,65\text{KN/m}^2 \times 36\text{m} = 59,40\text{KN/m}$$

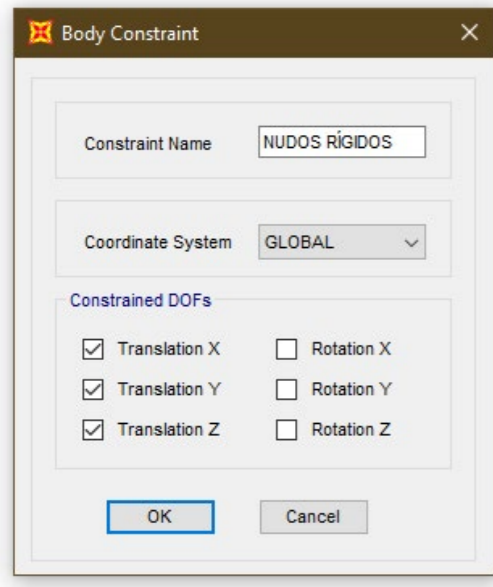
$$\text{|||} \quad \frac{59,40\text{KN/m}}{8} = 7,43\text{KN/m}$$

ELECCIÓN DE PERFILES

Tras calcular las cargas que soporta nuestra estructura procedemos al predimensionado mediante cálculos a mano para la selección de los perfiles correspondientes para cada elemento estructural del conjunto.

Las secciones seleccionadas para la estructura son: perfil tubular circular de sección Ø323,9x6 para los cordones superior e inferior, perfil tubular circular de menor sección, Ø200x8 para los montantes y un perfil de Ø150x8 para las diagonales; para los soportes perfil HEB 360 en los pilares, vigas IPE300 perimetrales y por último perfiles tubulares de sección circular Ø100x6 que arriostran estos soportes.

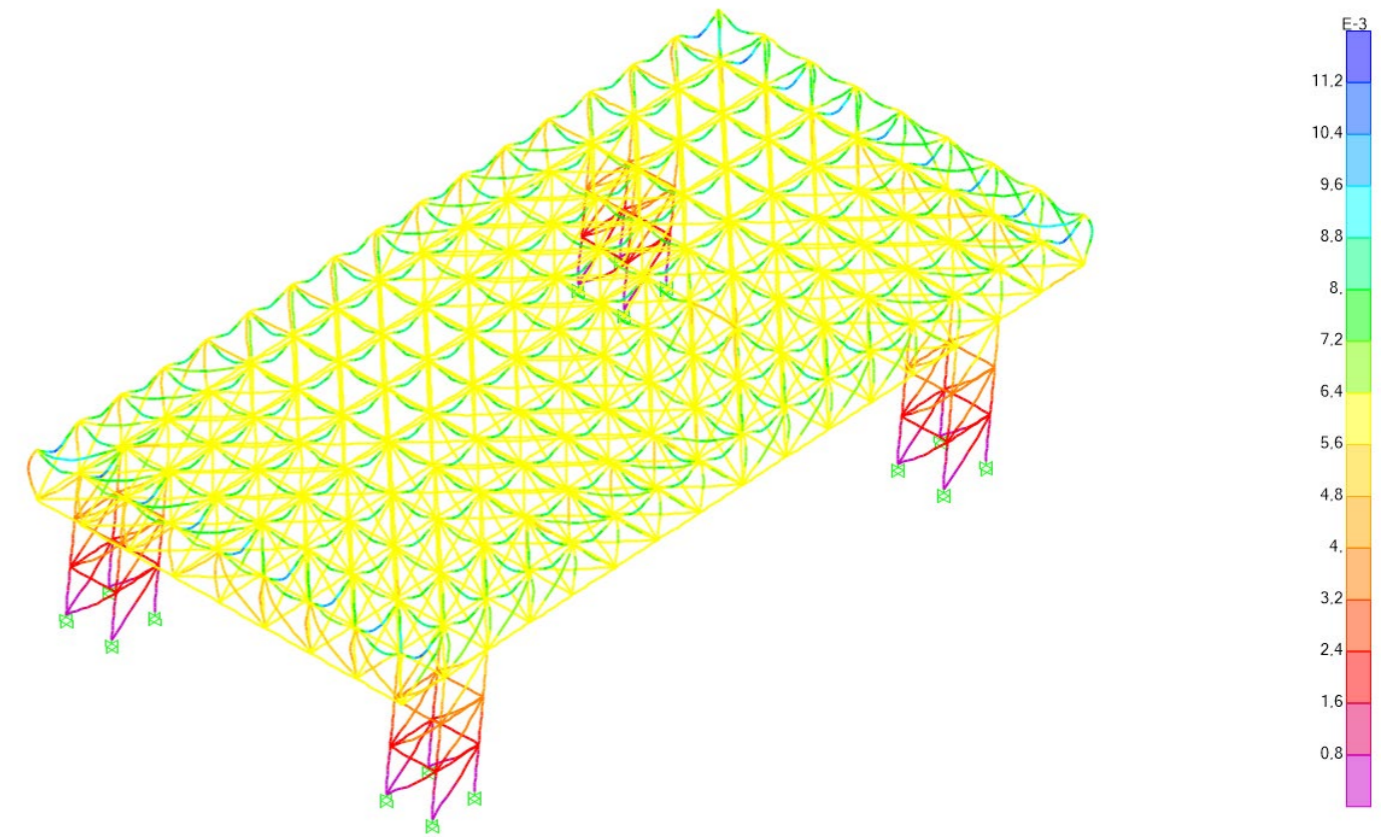
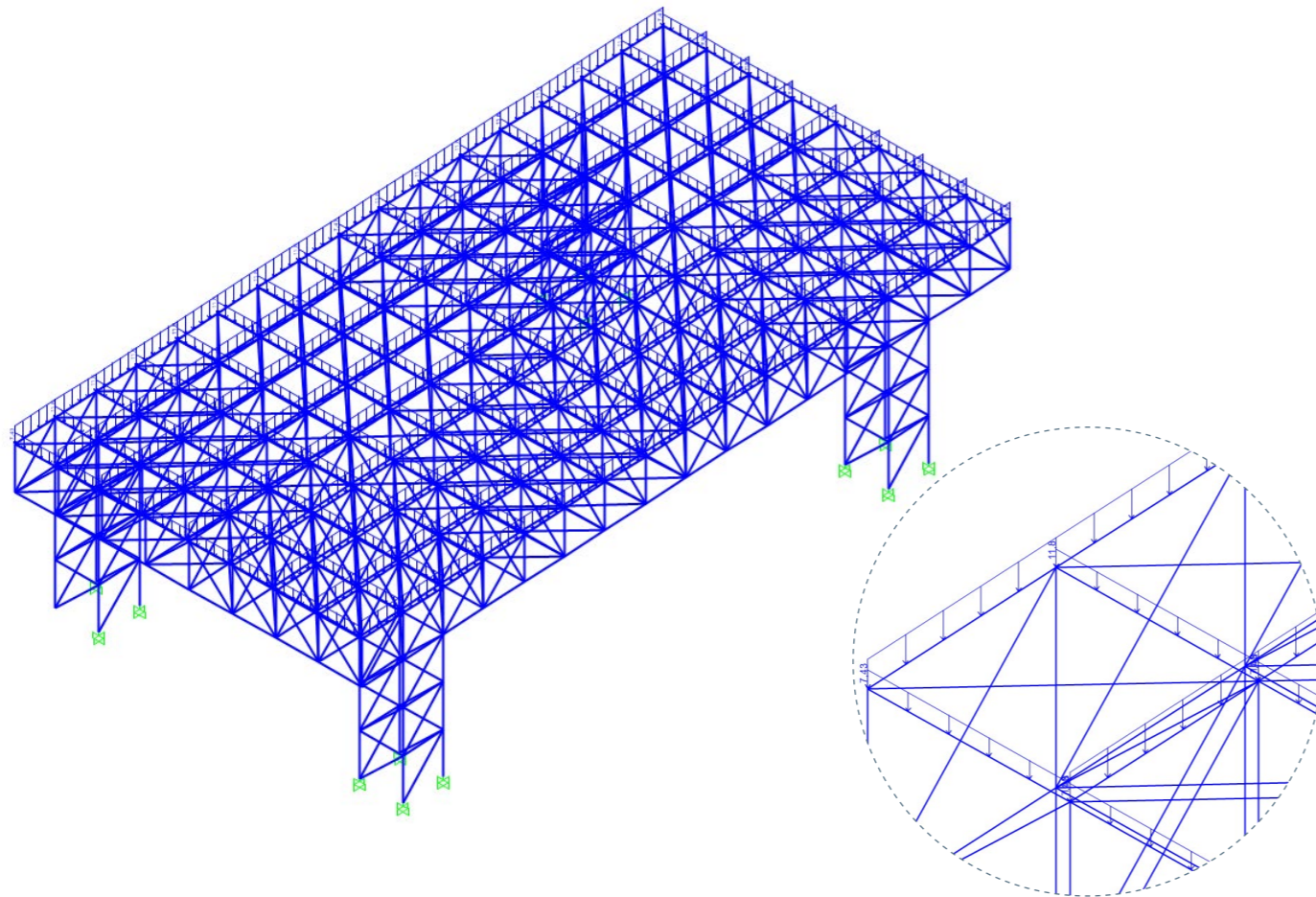




El siguiente paso será definir los nudos rígidos que conforman la estructura tridimensional metálica. Estos nudos funcionan como rígidos no permitiendo ningún tipo de giro en sus barras. Las barras que unen poseen todas perfiles tubulares de sección circular, pero variando su diámetro, tal y como hemos definido anteriormente.

Para el cálculo de la estructura a tratar será fundamental que en el programa de cálculo definamos dichos nudos eliminando en dichos puntos cualquier tipo de rotación.

Proseguimos añadiéndole al pórtico la carga distribuida que le corresponde por PP, CM y SCU, al igual que la sobrecarga de nieve, en ELS y ELU, para posteriormente ver como es su comportamiento ante dicha carga.

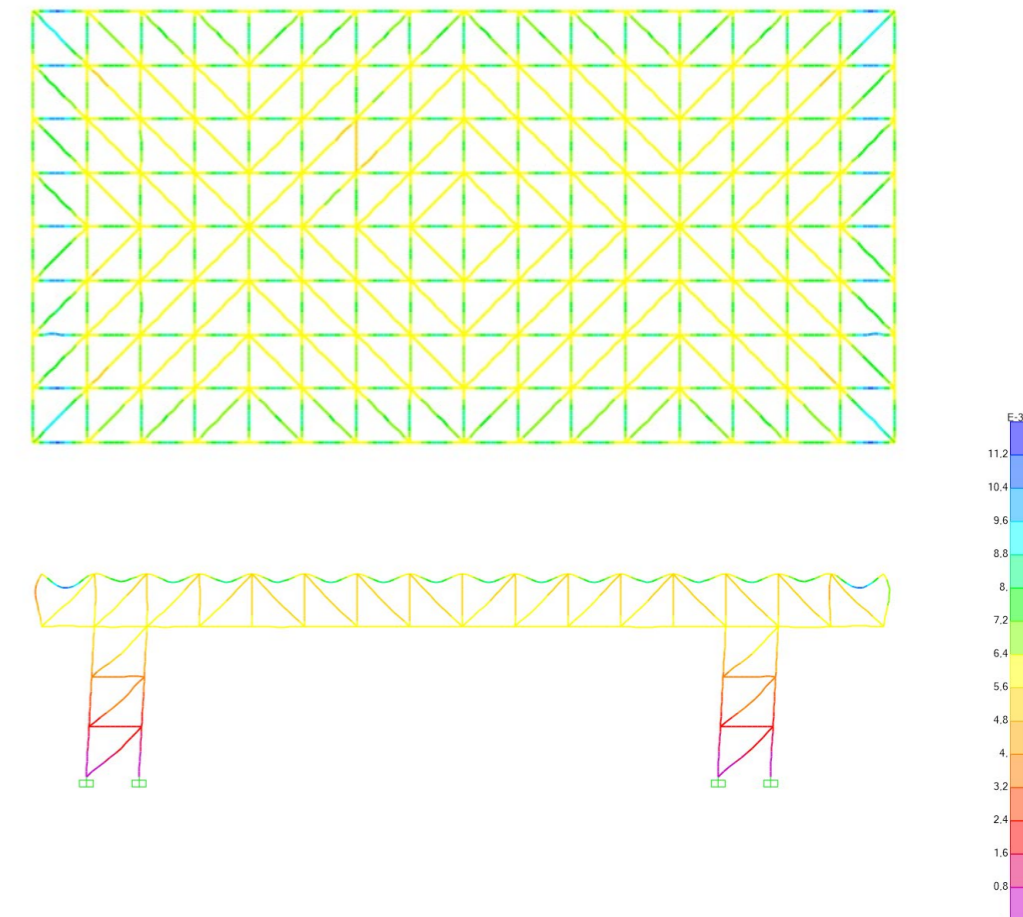


Como se muestra en el siguiente esquema, la **DEFORMADA** sufre un descenso bastante escaso en su punto más desfavorable, con un descenso máximo de 1,12 centímetros.

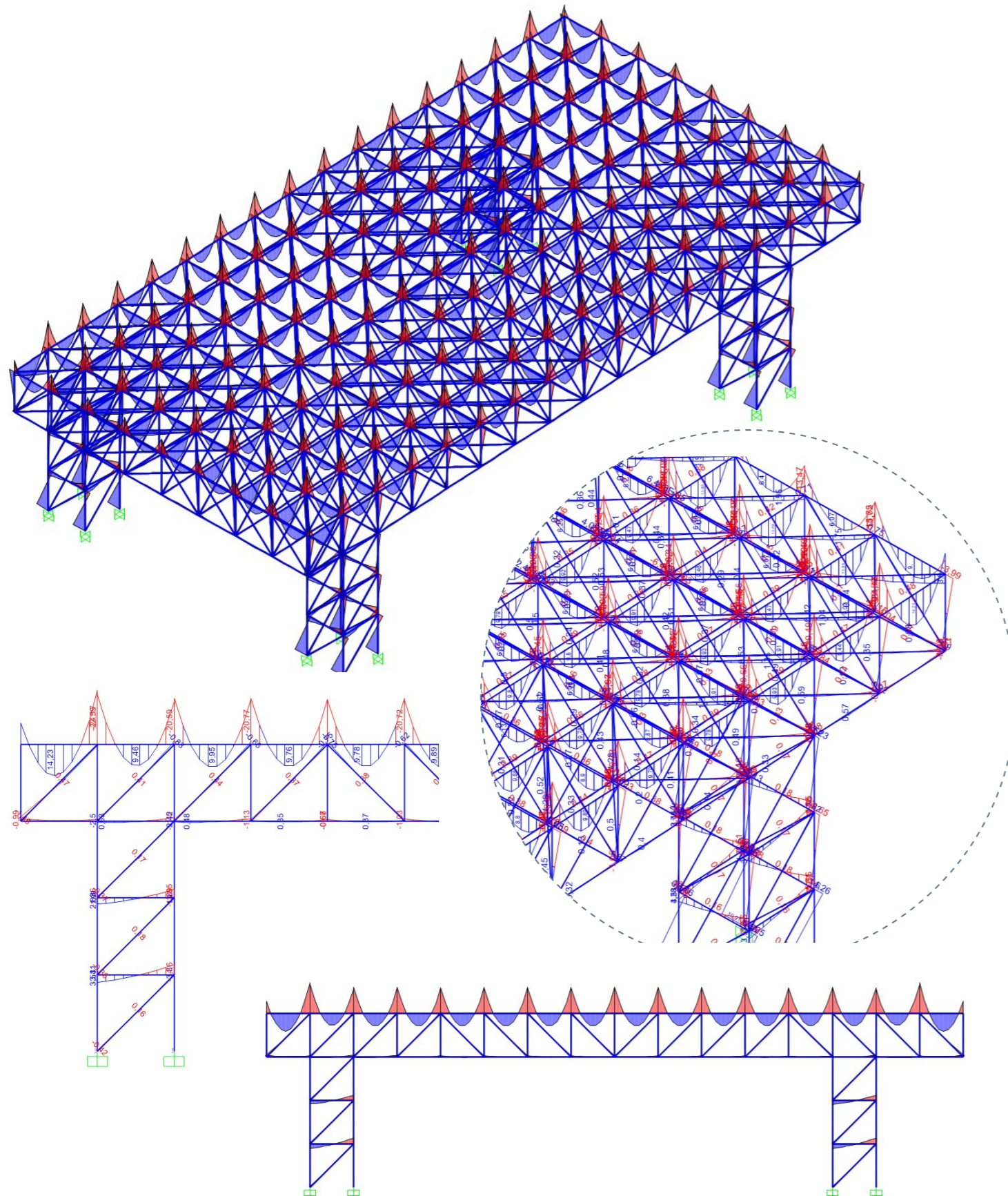
Tal y como podemos observar, aparentemente la estructura sufre una deformación mayor en los cordones superiores de los extremos, que además están en voladizo.

A pesar de esta deformación del orden de 1,12cm, esta resulta insignificante para la dimensión de la estructura y está acorde con los parámetros y normativa utilizada.

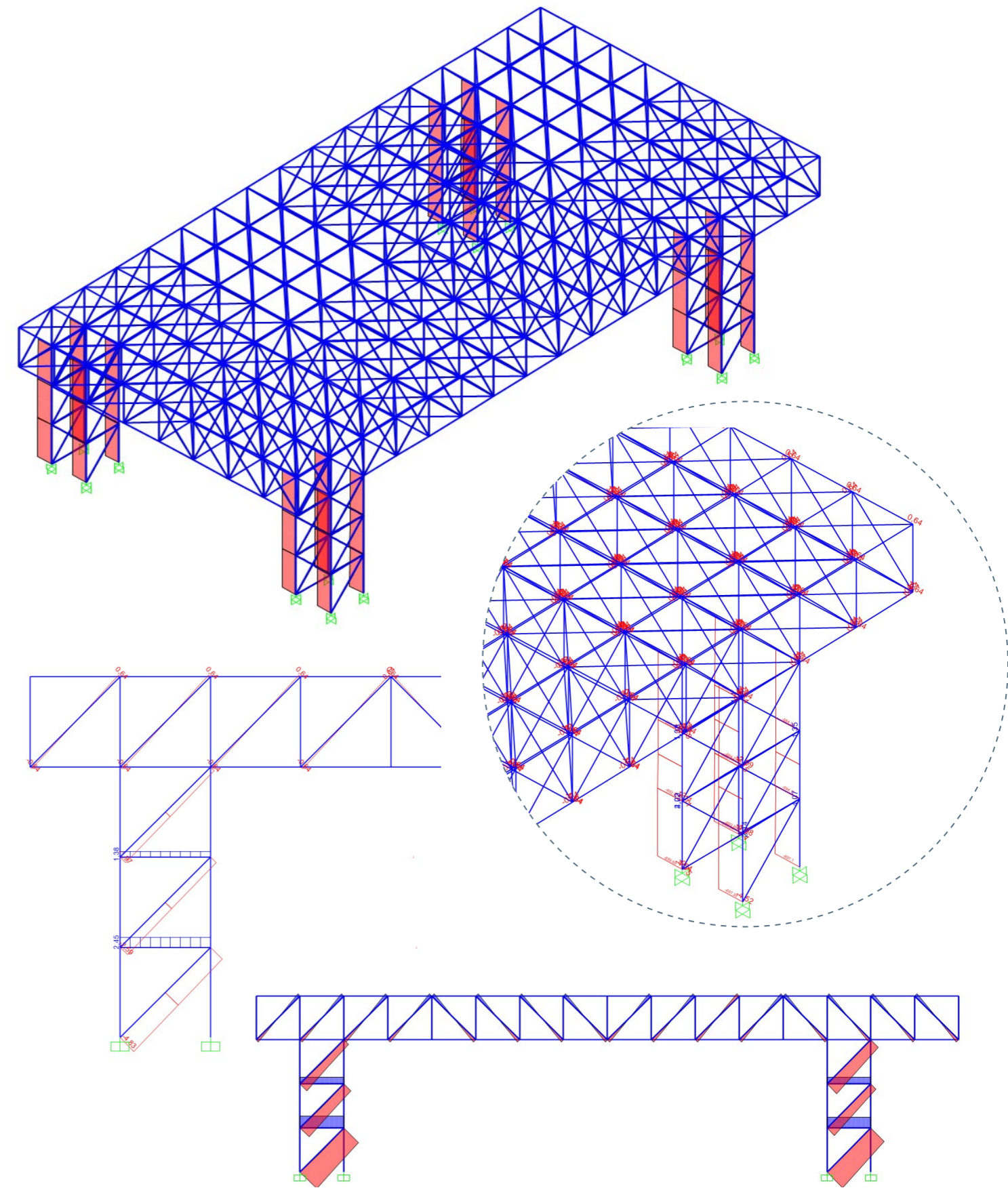
Por lo tanto: la estructura portante sin los espacios de exposición a deformada: **CUMPLE**



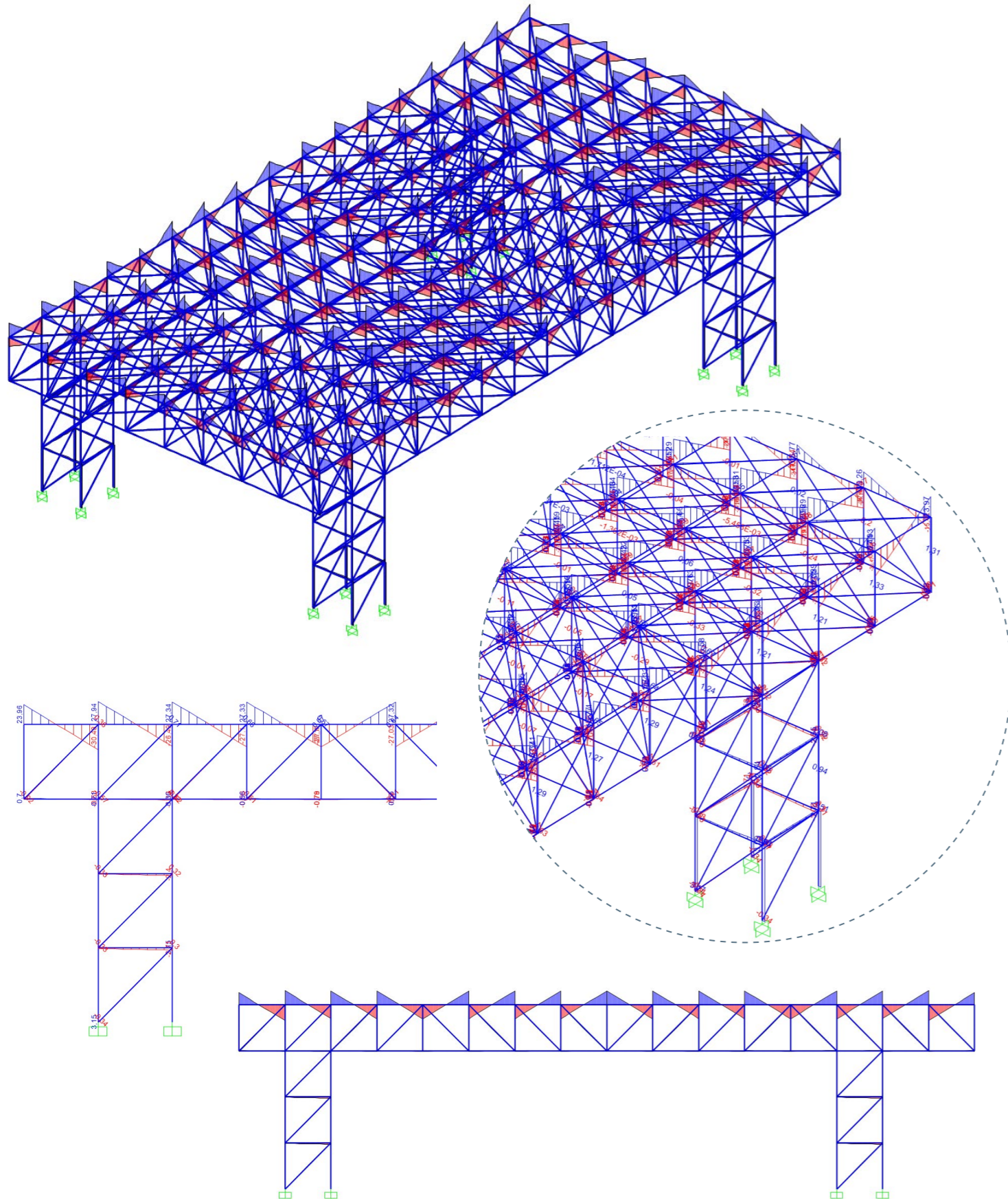
A continuación, se muestra cómo funciona la estructura a **MOMENTOS**, según las cargas ELU, para después hacer un zoom sobre los puntos críticos de unión entre las barras y comprobar que los momentos en esos puntos cumplen con los perfiles asignados y poder afirmar que la estructura a momentos **CUMPLE**.



En el diagrama inferior observamos el diagrama de **AXILES** tras la aplicación de cargas ELU. Se observa cómo los pilares trabajan a compresión, mientras que el resto de la estructura posee un trabajo a axiles prácticamente despreciable, por lo que la estructura a axiles **CUMPLE**.



Se muestra a continuación el diagrama de **CORTANTES** obtenido en esta primera hipótesis sin las salas de exposición. Al apreciar los valores podemos afirmar que la estructura **CUMPLE** a cortantes:

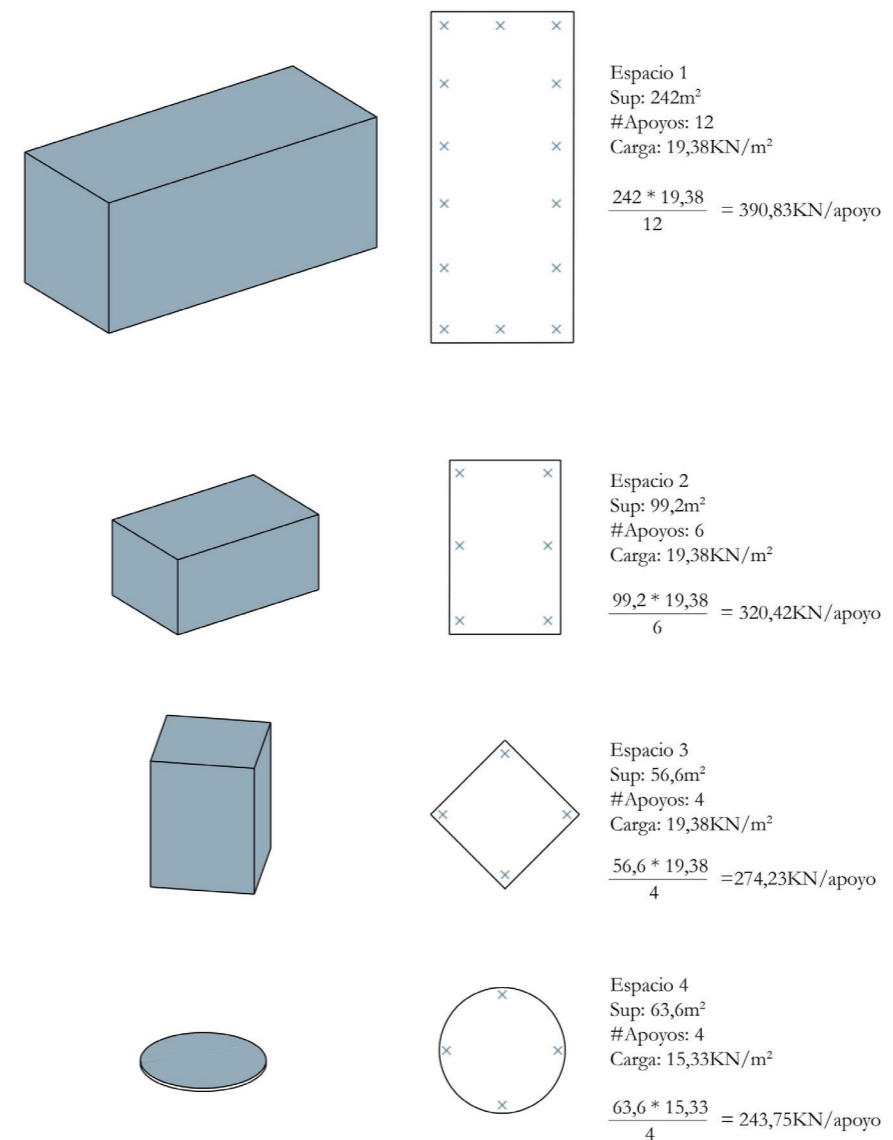


CÁLCULO DE CARGAS ESTRUCTURA COMPLETA CON SALAS DE EXPOSICIÓN

Una vez comprobado que la estructura portante funciona con las cargas sobre la misma y los perfiles que predimensionamos, procedemos a realizar la comprobación estructural del conjunto del proyecto, añadiéndole a la malla espacial soportada por cuatro apoyos, una serie de espacios que cuelgan de la misma y que no tocan el suelo.

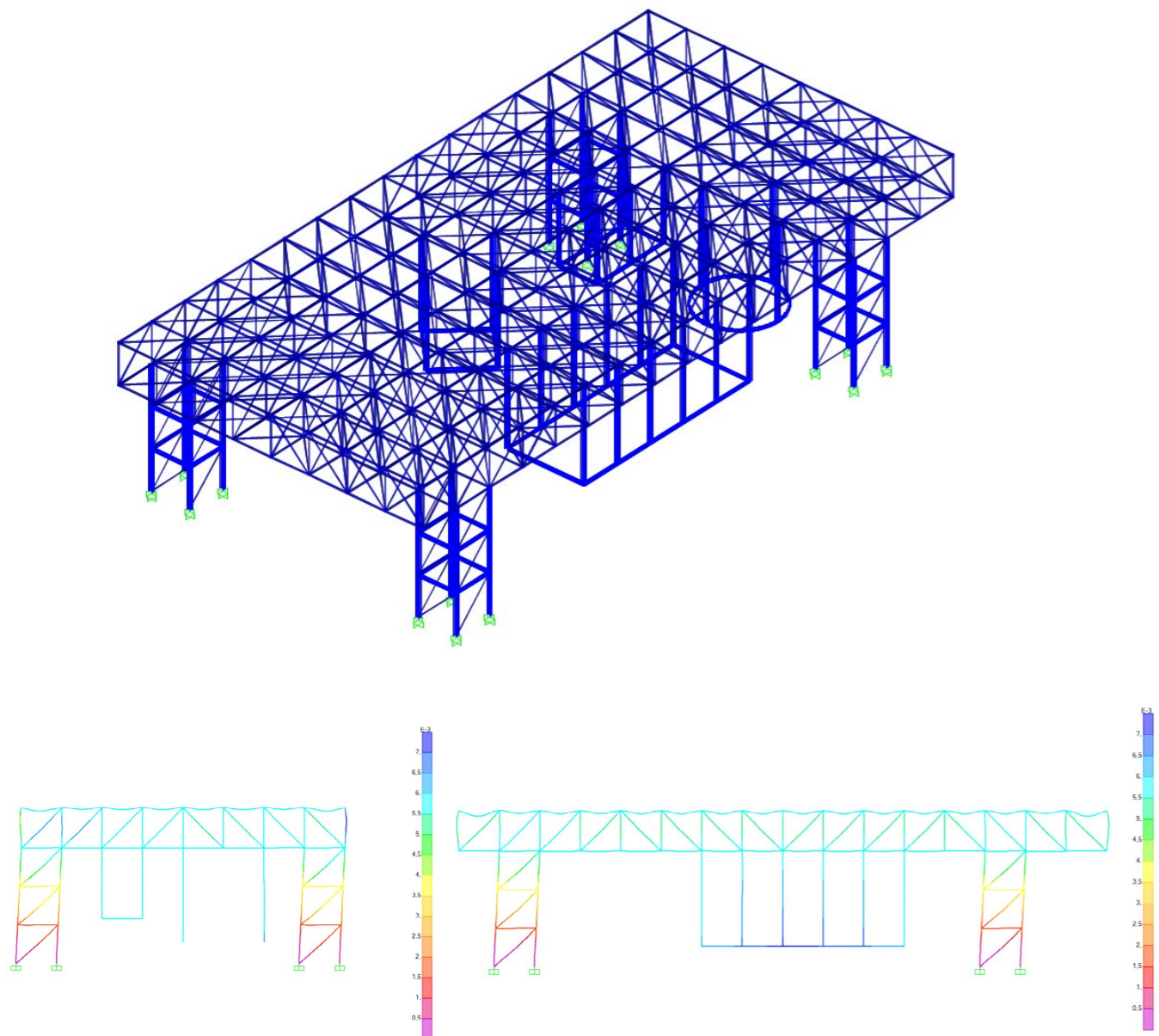
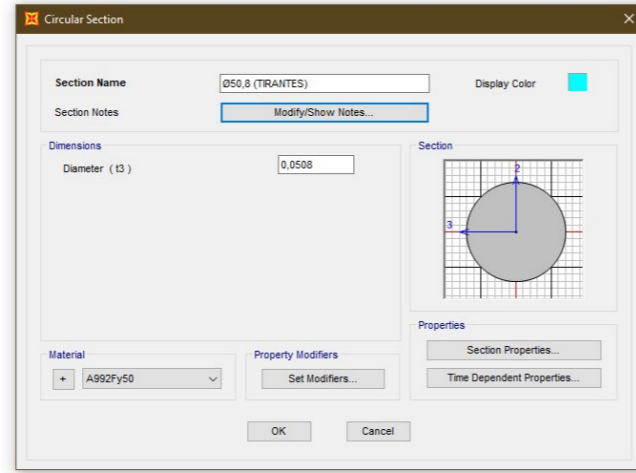
Dichos espacios constituyen en el proyecto las distintas salas de exposición que albergarán las obras de arte para los cuales fueron diseñados.

A continuación se muestran las áreas que conforman cada una de las salas, así como los distintos apoyos que tiene cada una de ellas y cuantos KN deberemos aplicar como fuerza puntual en el nudo de la malla espacial del que cuelga.



Al introducir en el programa de cálculo las salas de exposiciones, debemos definir los tirantes por medio de los cuales estas salas se cuelgan de la malla espacial tridimensional, para ello definiremos su sección en el programa informático de cálculo estructural SAP2000, en el que lo definiremos como cables de diámetro 14 cm.

Seguidamente procedemos a introducir las cargas puntuales en aquellos puntos donde los tirantes están soportando a dichas salas.



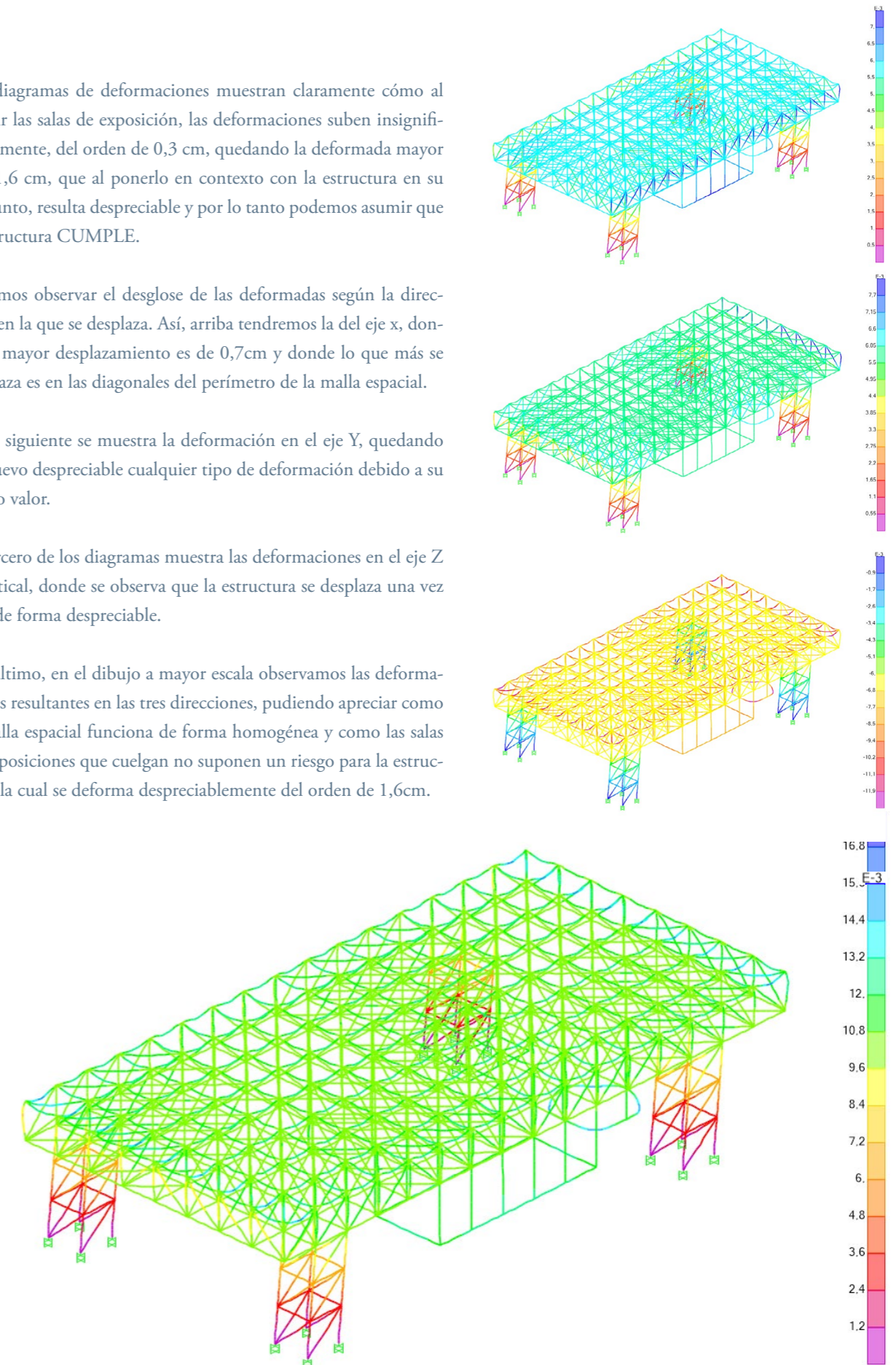
Los diagramas de deformaciones muestran claramente cómo al añadir las salas de exposiciones, las deformaciones suben insignificadamente, del orden de 0,3 cm, quedando la deformada mayor con 1,6 cm, que al ponerlo en contexto con la estructura en su conjunto, resulta despreciable y por lo tanto podemos asumir que la estructura CUMPLE.

Podemos observar el desglose de las deformadas según la dirección en la que se desplaza. Así, arriba tendremos la del eje x, donde el mayor desplazamiento es de 0,7cm y donde lo que más se desplaza es en las diagonales del perímetro de la malla espacial.

En el siguiente se muestra la deformación en el eje Y, quedando de nuevo despreciable cualquier tipo de deformación debido a su escaso valor.

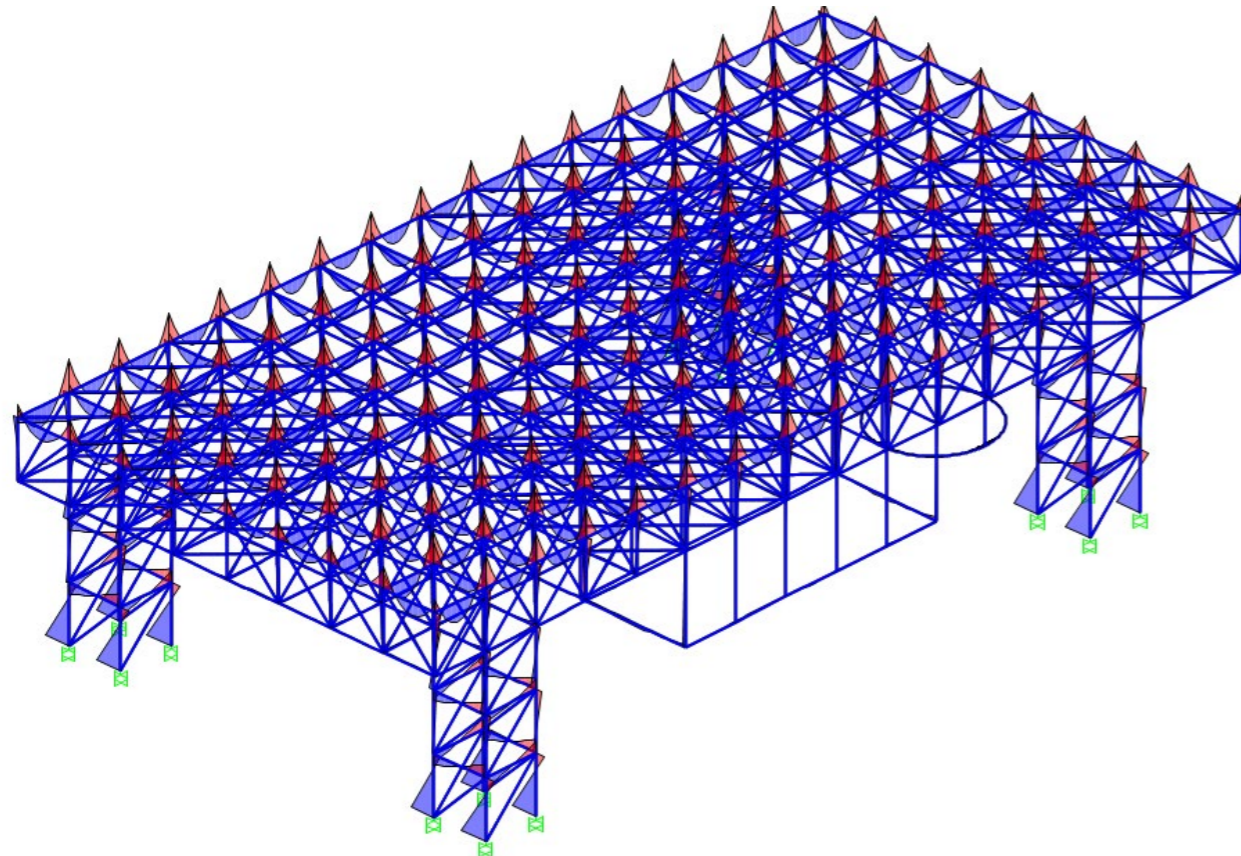
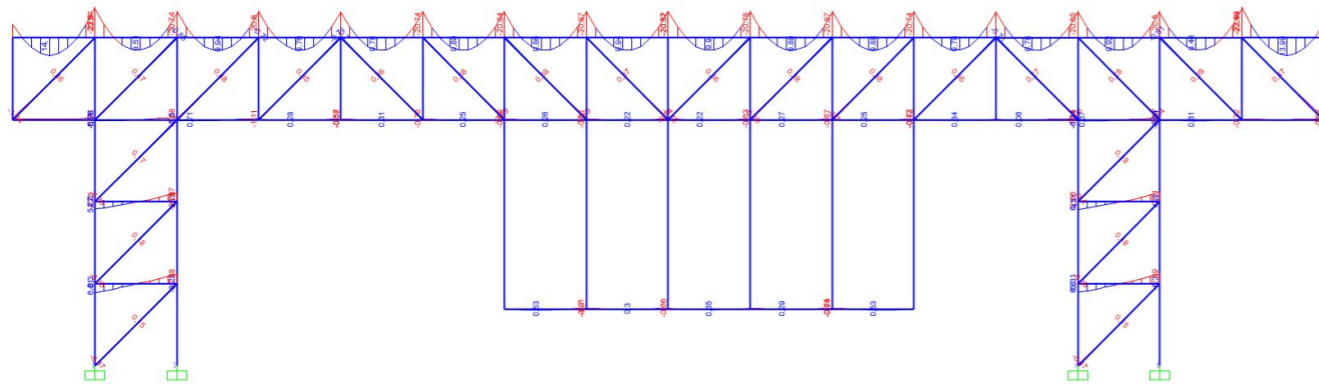
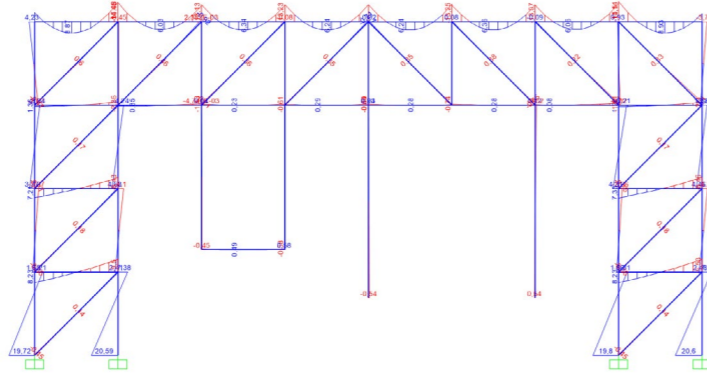
El tercero de los diagramas muestra las deformaciones en el eje Z o vertical, donde se observa que la estructura se desplaza una vez más de forma despreciable.

Por último, en el dibujo a mayor escala observamos las deformaciones resultantes en las tres direcciones, pudiendo apreciar como la malla espacial funciona de forma homogénea y como las salas de exposiciones que cuelgan no suponen un riesgo para la estructura, la cual se deforma despreciablemente del orden de 1,6cm.



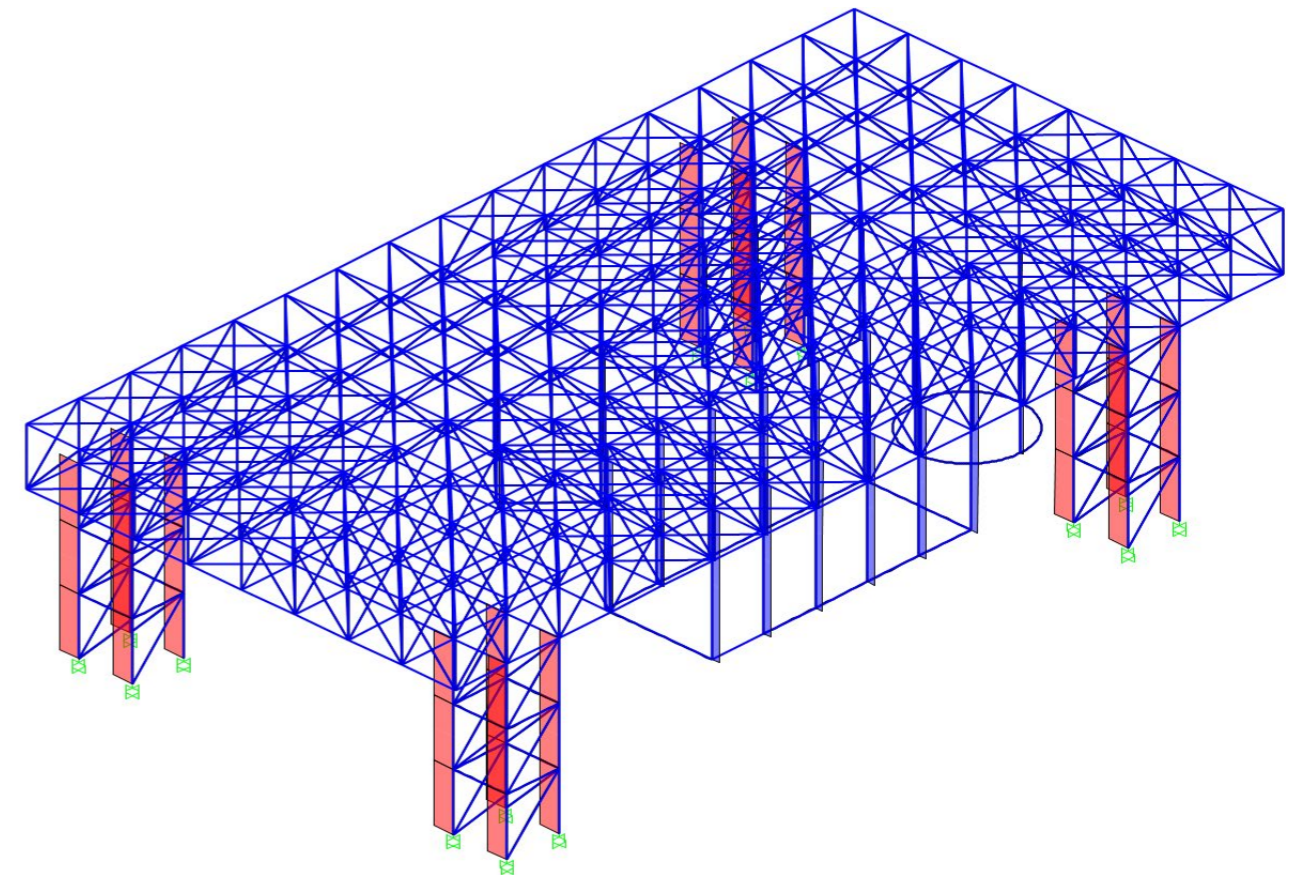
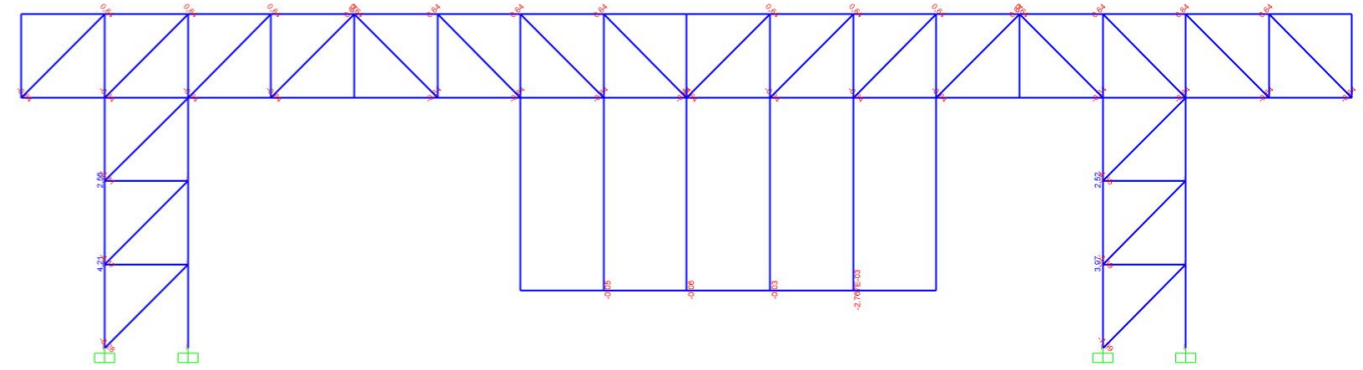
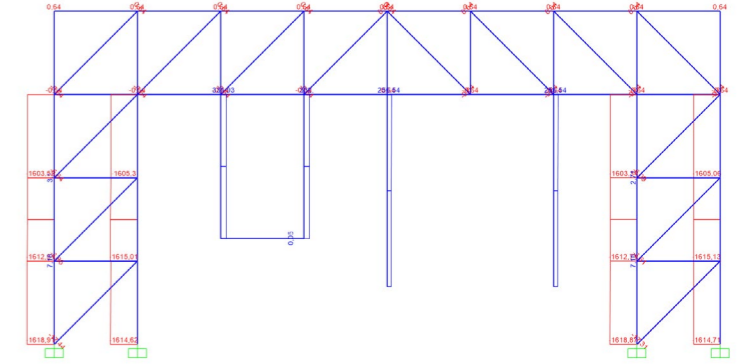
Comprobamos la estructura en su conjunto y cómo se comporta a **MOMENTOS** viendo que sigue funcionando con momentos máximos en los soportes del orden de 20KN/m, en el cordón superior del orden de entre 5 y 10KN/m y despreciables en el resto de la estructura.

Por lo que, tras comprobar la estructura en su conjunto podemos afirmar que a momentos **CUMPLE**.



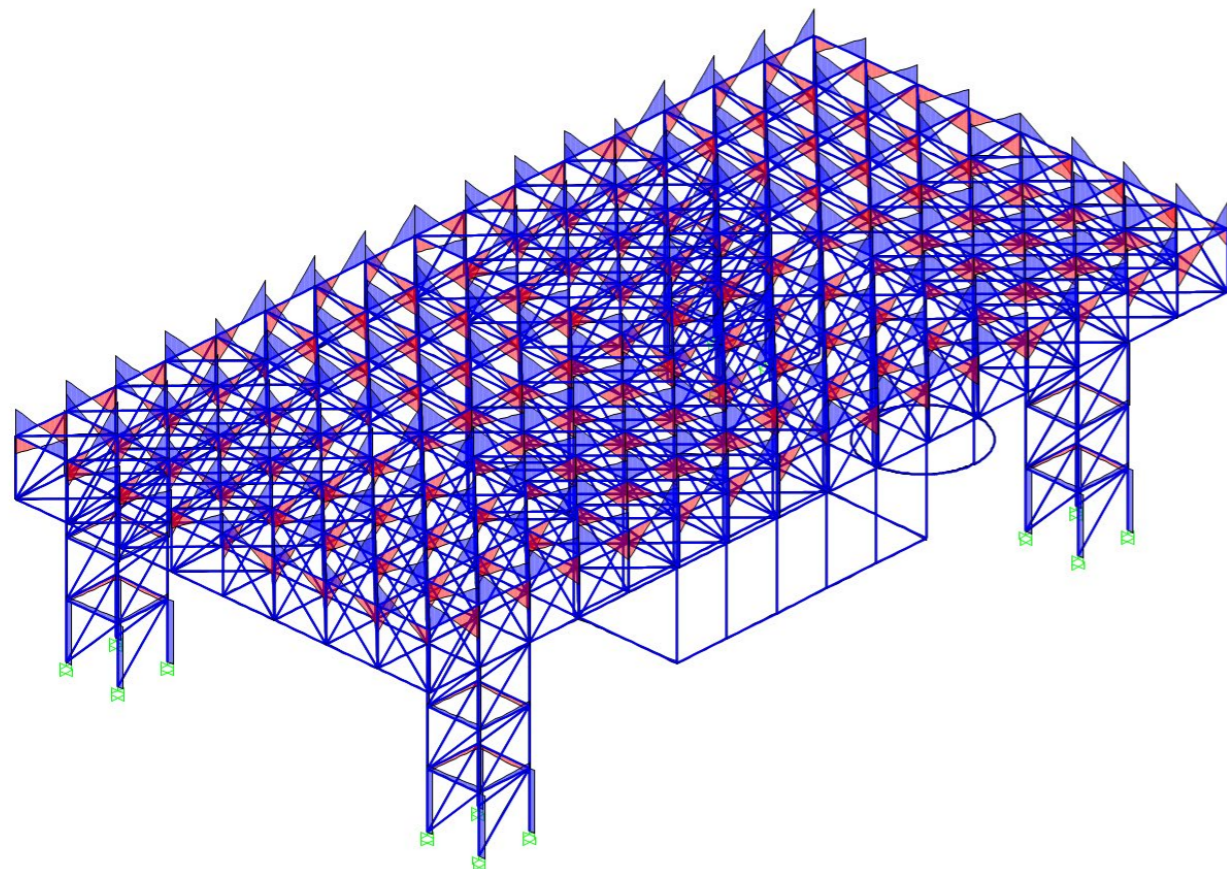
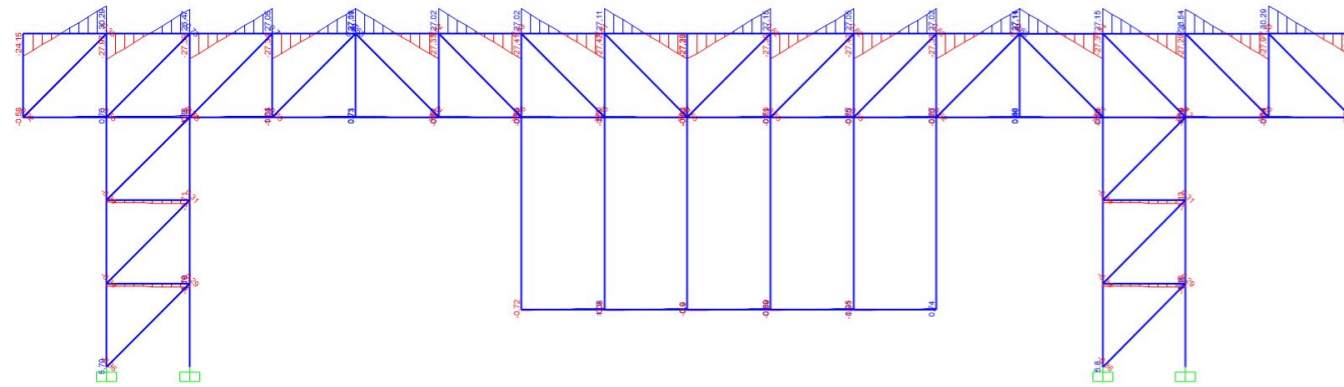
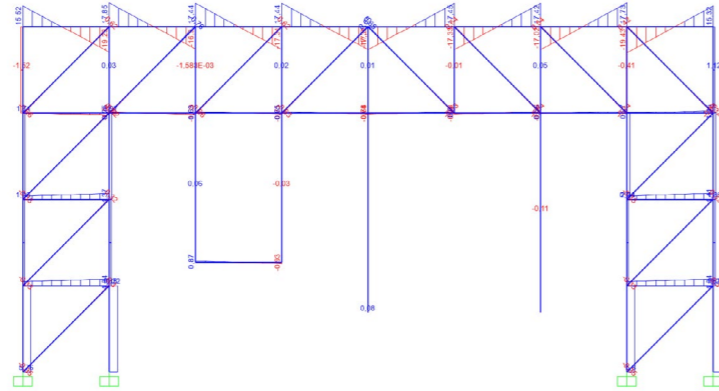
Comprobamos la estructura en su conjunto y su comportamiento a **AXILES** viendo que sigue funcionando con valores máximos en los soportes, estando estos bastante comprimidos y el resto de la estructura funcionando de forma óptima.

Por lo que, tras comprobar la estructura en su conjunto podemos afirmar que a esfuerzos axiales **CUMPLE**.



Comprobamos la estructura en su conjunto y como se comporta a **CORTANTES** viendo que sigue funcionando con valores máximos en el cordón superior del orden de entre 15 y 20KN, en el resto de la estructura poseen unos valores despreciables.

Por lo que, tras comprobar la estructura en su conjunto podemos afirmar que esta a esfuerzos cortantes **CUMPLE**.

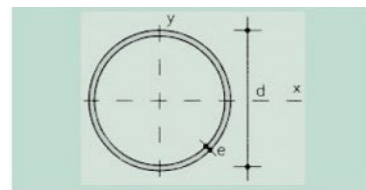


4.3. Prontuarios utilizados

PERFILES TUBULARES ESTRUCTURA TRIDIMENSIONAL

Diámetro (mm) d	Peso en kg/m: espesores (e) en mm															
	1,5	2,0	2,5	2,9	3,0	3,2	3,6	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	12,5	16,0	
20	0,68	0,89														
21,3		0,95	1,16													
22	0,76	0,99														
25	0,87	1,13	1,39													
26,9		1,23	1,50													
28	0,98	1,28	1,57													
30	1,05	1,38	1,70													
32	1,13	1,48	1,82													
33,7		1,56	1,92		2,27											
35	1,24	1,63	2,00													
38	1,35	1,78	2,19													
40	1,42	1,87	2,31		2,74											
42,4		1,99	2,46	2,82	2,91											
45	1,61	2,12	2,62		3,11											
48,3		2,28	2,82	3,25	3,35	3,56		4,37	5,34							
50	1,79	2,37	2,93		3,48			4,54								
55	1,98	2,61	3,24		3,85			5,03								
60,3	2,18	2,88	3,56		4,24			5,55	6,82	8,03						
70		3,35	4,16		4,96			6,51	8,01							
76,1		3,65	4,54	5,24	5,41			7,11	8,77	10,40						
88,9		4,29	5,33		6,36	6,76		8,38	10,30	12,30	16,00	19,50				
101,6		4,91	6,11		7,29		8,70	9,63	11,90	14,10	18,50	22,60				
114,3		5,54	6,89		8,23			10,90	13,50	16,00	21,00					
127					9,17			12,13	15,04	17,90	18,25					
133					9,60			12,70	15,80	18,80						
139,7					10,10			13,40	16,60	19,80	26,00	32,00				
152,4					11,10			14,60	18,20	21,70	28,50	35,10				
159					11,50			15,30	19,00	22,60	29,80					
168,3					12,20			16,20	20,10	24,00	31,60	39,00	48,00			
177,8								17,10	21,30	25,40	33,50					
193,7					14,10			18,70	23,30	27,80	36,60	45,30	53,80			
219,1					16,00			21,20	26,40	31,50	41,60	51,60	61,30			
244,5								23,70	29,50	35,30	46,70	57,80	68,80		90,20	
273								26,50	33,00	39,80	52,30	64,90	77,20		101,00	
323,9									31,60	39,30	47,00	62,30	77,40	92,30		121,00
355,6										43,20	51,70	68,60	85,20	102,00		134,00

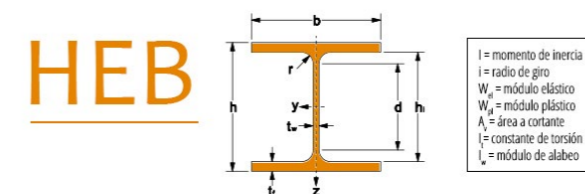
PERFILES TUBULARES ESTRUCTURA TRIDIMENSIONAL



u = Perímetro
 A = Área de la sección
 S = Momento estático de media sección, respecto a un eje baricéntrico
 I = Momento de inercia de la sección, respecto a un eje baricéntrico
 W = 2I : d. Módulo resistente de la sección, respecto a un eje baricéntrico
 i = $\sqrt{I/A}$. Radio de giro de la sección, respecto a un eje baricéntrico
 I_t = Módulo de torsión de la sección

Perfil	Dimensiones			Términos de sección						Peso p kg/m	
	d mm	e mm	u mm	A cm ²	S cm ³	I cm ⁴	W cm ³	i cm	I _t cm ⁴		
∅ 40.2	40	2	126	2,39	1,44	4,33	2,16	1,35	8,66	1,88	P
∅ 40.3	40	3	126	3,49	2,05	6,01	3,00	1,31	12,00	2,74	P
∅ 40.4	40	4	126	4,52	2,60	7,42	3,71	1,28	14,80	3,55	C
∅ 45.2	45	2	141	2,70	1,85	6,26	2,78	1,52	12,50	2,12	P
∅ 45.3	45	3	141	3,96	2,65	8,77	3,90	1,49	17,50	3,11	P
∅ 45.4	45	4	141	5,15	3,37	10,90	4,84	1,45	21,80	4,04	C
∅ 50.2	50	2	157	3,02	2,30	8,70	3,48	1,69	17,40	2,37	P
∅ 50.3	50	3	157	4,43	3,31	12,20	4,91	1,66	24,50	3,47	P
∅ 50.4	50	4	157	5,78	4,23	15,40	6,16	1,63	30,80	4,53	P
∅ 55.2	55	2	173	3,33	2,81	11,70	4,25	1,87	23,40	2,61	C
∅ 55.3	55	3	173	4,90	4,06	16,60	6,04	1,84	33,20	3,85	C
∅ 55.4	55	4	173	6,41	5,21	21,00	7,64	2,01	42,00	5,03	C
∅ 60.2	60	2	188	3,64	3,36	15,30	5,11	2,05	30,60	2,86	P
∅ 60.3	60	3	188	5,37	4,87	21,80	7,29	2,01	43,70	4,21	P
∅ 60.4	60	4	188	7,04	6,27	27,70	9,24	1,98	55,40	5,52	P
∅ 65.2	65	2	204	3,96	3,97	19,70	6,06	2,23	39,40	3,11	C
∅ 65.3	65	3	204	5,84	5,78	28,10	8,65	2,19	56,20	4,58	C
∅ 65.4	65	4	204	7,67	7,46	35,80	11,60	2,16	71,60	6,02	C
∅ 70.2	70	2	220	4,27	4,62	24,70	7,05	2,41	49,40	3,35	P
∅ 70.3	70	3	220	6,31	6,73	35,50	10,10	2,37	71,00	4,95	P
∅ 70.4	70	4	220	8,29	8,72	45,30	12,90	2,34	90,60	6,51	C
∅ 75.2	75	2	236	4,58	5,33	30,50	8,15	2,58	61,10	3,60	P
∅ 75.3	75	3	236	6,78	7,78	44,00	11,70	2,54	88,00	5,32	P
∅ 75.4	75	4	236	8,92	10,10	56,30	15,00	2,51	113,00	7,00	P
∅ 80.2	80	2	251	4,90	6,09	37,30	9,33	2,76	74,60	3,85	C
∅ 80.3	80	3	251	7,26	8,90	53,90	13,50	2,72	108,00	5,70	C
∅ 80.4	80	4	251	9,55	11,60	69,10	17,30	2,69	138,00	7,50	C
∅ 90.3	90	3	283	8,19	11,40	77,60	17,30	3,07	155,00	6,43	P
∅ 90.4	90	4	283	10,80	14,80	100,00	22,30	3,04	200,00	8,48	P
∅ 90.5	90	5	283	13,40	18,10	121,00	26,90	3,01	242,00	10,50	P
∅ 100.3	100	3	314	9,14	14,10	108,00	21,50	3,43	215,00	7,17	P
∅ 100.4	100	4	314	12,10	18,40	139,00	27,80	3,39	278,00	9,47	P
∅ 100.5	100	5	314	14,90	22,60	169,00	33,80	3,36	338,00	11,70	P
∅ 100.6	100	6	314	17,70	26,50	196,00	39,30	3,33	393,00	13,90	C
∅ 125.4	125	4	393	15,20	29,30	279,00	44,60	4,28	557,00	11,90	C
∅ 125.5	125	5	393	18,80	36,00	340,00	54,40	4,24	680,00	14,80	C
∅ 125.6	125	6	393	22,40	42,50	398,00	63,70	4,21	796,00	17,60	C
∅ 155.5	155	5	487	23,60	56,20	663,00	85,50	5,30	1.330,00	18,50	C
∅ 155.6	155	6	487	28,10	66,60	781,00	101,00	5,27	1.560,00	22,10	C
∅ 155.8	155	8	487	36,90	86,50	1.000,00	129,00	5,21	2.000,00	29,00	C
∅ 175.5	175	5	550	26,70	72,30	966,00	110,00	6,01	1.330,00	21,00	C
∅ 175.6	175	6	550	31,90	85,70	1.140,00	130,00	5,98	2.280,00	25,00	C
∅ 175.8	175	8	550	42,00	112,00	1.470,00	168,00	5,92	2.940,00	33,00	C
∅ 200.5	200	5	628	30,60	95,10	1.460,00	146,00	6,91	2.920,00	24,00	C
∅ 200.6	200	6	628	36,60	113,00	1.720,00	172,00	6,86	3.440,00	28,70	C
∅ 200.8	200	8	628	48,30	148,00	2.230,00	223,00	6,79	4.460,00	37,90	C

PILARES



Perfil	Dimensiones							Área A mm ² x10 ²	Propiedades mecánicas											Peso p kg/m	
	h	b	t _w	t _f	r	h _i	d		Propiedades respecto al eje fuerte					Propiedades respecto al eje débil							
HEB	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	I _y	I _x	W _{el,y}	W _{pl,y}	A _w	I _z	I _y	W _{el,z}	W _{pl,z}	A _w	I _t	I _w		
HEB 100	100	100	6,0	10,0	12	80	56	26,0	449,5	4,16	89,9	104,2	21,30	167,3	2,53	33,5	51,4	9,04	9,25	3,38	20,40
HEB 120	120	120	6,5	11,0	12	98	74	34,0	864,4	5,04	144,1	165,2	27,63	317,5	3,06	52,9	81,0	10,96	13,84	9,41	26,7
HEB 140	140	140	7,0	12,0	12	116	92	43,0	1509,0	5,93	215,6	245,4	34,88	549,7	3,58	78,5	119,8	13,08	20,06	22,48	33,7
HEB 160	160	160	8,0	13,0	15	134	104	54,3	2492,0	6,78	311,5	354,0	43,58	889,2	4,05	111,2	170,0	17,59	31,24	47,94	42,6
HEB 180	180	180	8,5	14,0	15	152	122	65,3	3831,0	7,66	425,7	481,4	52,38	1363,0	4,57	151,4	231,0	20,24	42,16	93,75	51,2
HEB 200	200	200	9,0	15,0	18	170	134	78,1	5696,0	8,54	569,6	642,5	62,80	2003,0	5,07	200,3	305,8	24,83	59,28	171,10	61,3
HEB 220	220	220	9,5	16,0	18	188	152	91,0	8091,0	9,43	735,5	827,0	73,14	2843,0	5,59	258,5	393,9	27,92	76,57	295,40	71,5
HEB 240	240	240	10,0	17,0	21	206	164	106,0	11260,0	10,31	938,3	1053,0	85,40	3923,0	6,08	326,9	498,4	33,23	102,70	486,90	83,2
HEB 260	260	260	10,0	17,5	24	225	177	118,4	14920,0	11,22	1148,0	1283,0	95,90	5135,0	6,58	395,0	602,2	37,59	123,80	753,20	93,0
HEB 280	280	280	10,5	18,0	24	244	196	131,4	19270,0	12,11	1376,0	1534,0	105,78	6595,0	7,09	471,0	717,6	41,09	143,70	1130,00	103,0
HEB 300	300	300	11,0	19,0	27	262	208	149,1	25170,0	12,99	1678,0	1869,0	120,28	8563,0	7,58	570,9	870,1	47,43	185,00	1688,00	117,0
HEB 320	320	300	11,5	20,5	27	279	225	161,3	30820,0	13,82	1926,0	2149,0	129,22	9299,0	7,57	615,9	939,1	51,77	225,10	2069,00	127,0
HEB 340	340	300	12,0	21,5	27	297	243	170,9	36660,0	14,65	2156,0	2408,0	135,26	9690,0	7,53	646,0	985,7	56,09	257,20	2454,00	134,0
HEB 360	360	300	12,5	22,5	27	315	261	180,6	43190,0	15,46	2400,0	2683,0	141,23	10140,0	7,49	676,1	1032,0	60,60	292,50	2883,00	142,0
HEB 400	400	300	13,5	24,0	27	352	298	197,8	57680,0	17,08	2884,0	3232,0	150,28	10820,0	7,40	721,3	1104,0	69,98	355,70	3817,00	155,0
HEB 450	450	300	14,0	26,0	27	398	344	218,0	79890,0	19,14	3551,0	3982,0	162,28	11720,0	7,33	781,4	1198,0	79,66	440,50	5258,00	171,0
HEB 500	500	300	14,5	28,0	27	444	390	238,6	107200,0	21,16	4267,0	4815,0	174,21	12620,0	7,27	841,6	1292,0	99,82	538,40	7018,00	187,0
HEB 550	550	300	15,0	29,0	27	492	438	254,1	136700,0	23,20	4971,0	5591,0	180,30	13080,0	7,17	871,8	1341,0	100,10	600,30	8856,00	199,0
HEB 600	600	300	15,5	30,0	27	540	486	270,0	171000,0	25,17	5701,0	6435,0	186,30	13520,0	7,08	922,0	1391,0	110,80	667,20	10965,00	212,0
HEB 650	650	300	16,0	31,0	27	588	534	286,3	210600,0	27,12	6480,0	7320,0	192,22	13960,0	6,99	932,3	1441,0	122,00	739,20	13360,00	225,0
HEB 700	700	300	17,0	32,0	27	636	582	306,4	256900,0	28,96	7340,0	8327,0	198,28	14440,0	6,87	962,7	1495,0	137,10	830,90	16060,00	241,0
HEB 800	800	300	17,5	33	30	734	674	334,2	359100,0	32,78	8977,0	10230,0	205,75	14900,0	6,68	993,6	1553,0	161,80	946,00	21840,00	262
HEB 900	900	300	18,5	35	30	830	770	371,3	494100,0	36,48	10980,0	12580,0	217,75	15820,0	6,53	1054,0	1658,0	188,80	1137,00	29460,00	291
HEB 1000	1000	300	19	36	30	928	868	400	644700,0	40,15	12890,0	14860,0	223,68	16280,0	6,38	1085,0	1716,0	212,50	1254,00	37640,00	314

CABLES

CABLE DE ACERO ALMA DE FIBRA - METÁLICA



CABLE 6x37 STANDARD (1+6+12+18)+FE = 222 HILOS

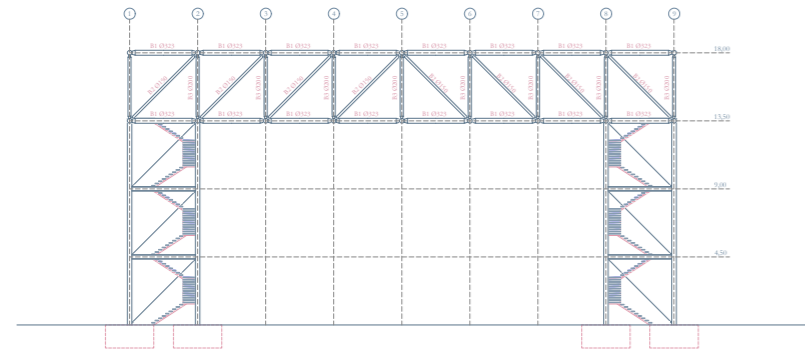


CD	CI	CD	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Carga de rotura calculada		Carga de rotura mínima	
					(kN)	(kp)	(kN)	(kp)
9380500	9380501	9380502	5	0,0865	15,8	1610	13	1330
9380600	9380601	9380602	6	0,125	22,8	2320	18,8	1

4.4. Planimetría estructural

Estructura principal

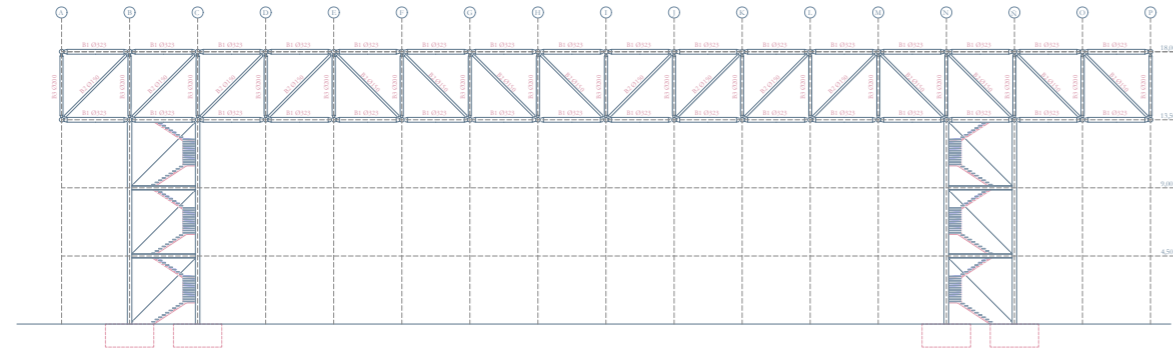
ALZADO NORTE
e: 1/250



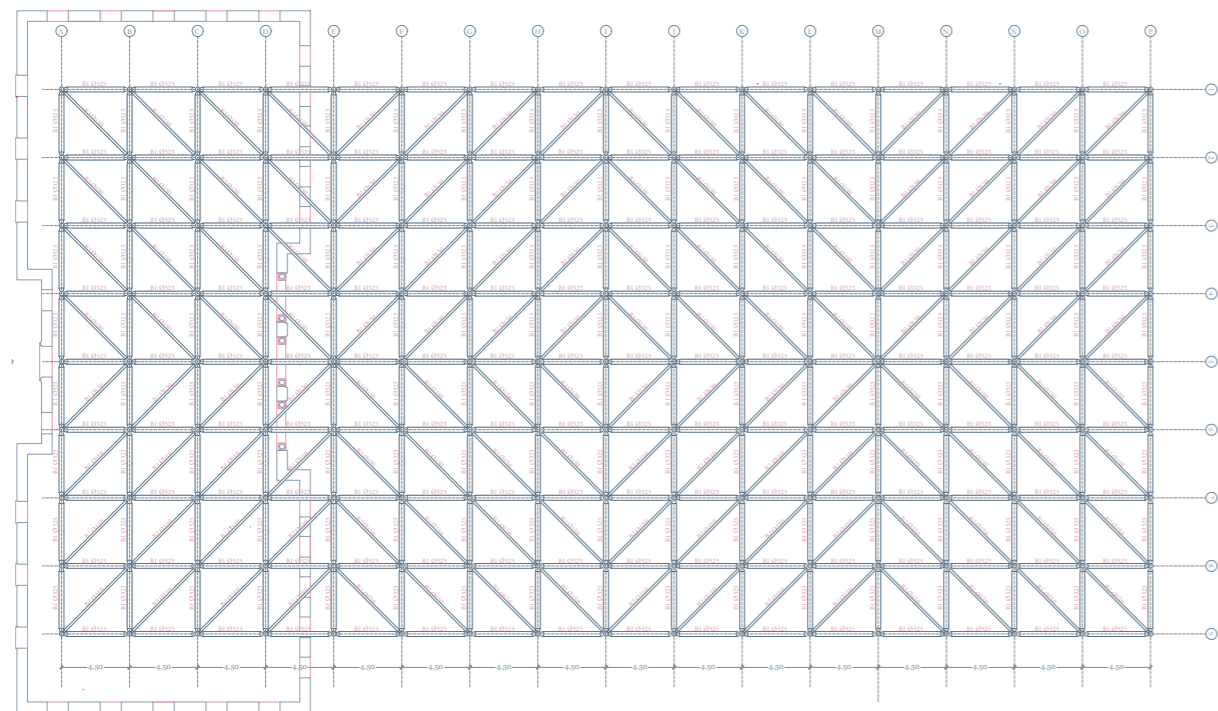
Legenda de barras

- B1. Barra cordón superior. Perfil tubular acero Ø323,9mm
- B2. Barra diagonal. Perfil tubular acero Ø150mm
- B3. Montante. Perfil tubular acero Ø200mm
- B3. Barra cordón superior. Perfil tubular acero Ø323,9mm

ALZADO ESTE
e: 1/250

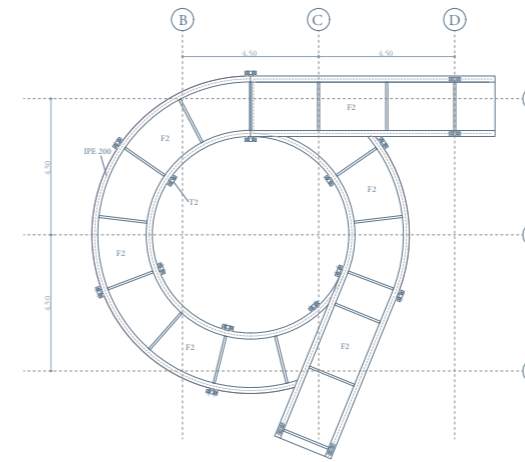


PLANTA DE CUBIERTAS
e: 1/250

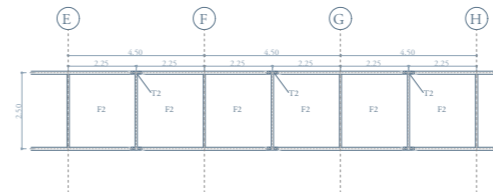


Estructura de las rampas

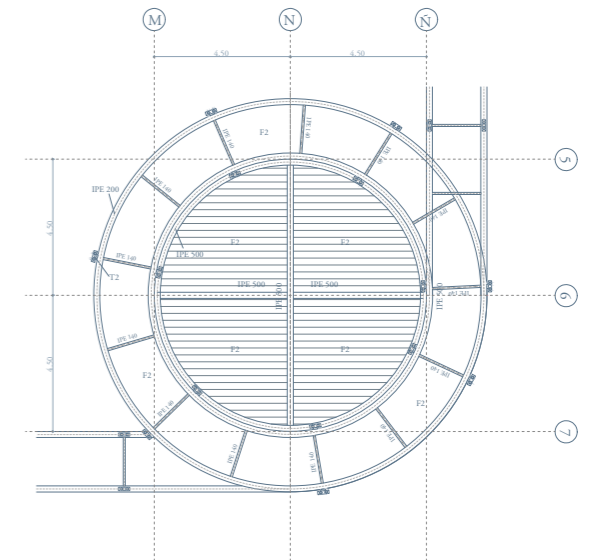
HA 5: Estatua ecuestre de Felipe III



Estructura de las pasarelas, E: 1/250



HA 3: Fuente del Águila

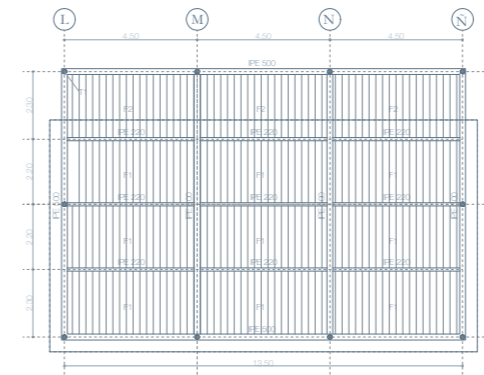


Elementos estructurales

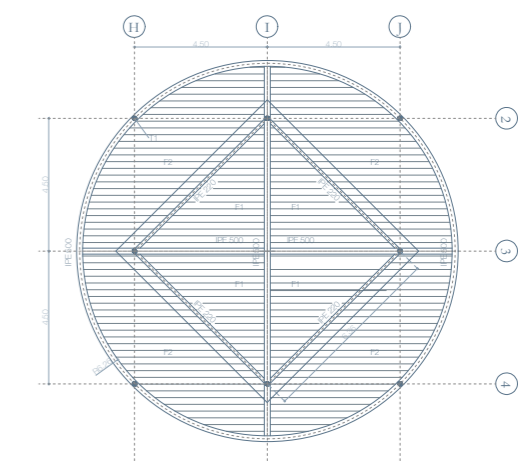
- T1: tirante espacios. Acero. Ø140 mm
- T2: tirante pasarelas. Acero. Ø40mm
- F1: forjado espacios interiores. e= 32mm
- F2: forjado pasarelas. e=15 mm
- V1: viga metálica principal IPE 500 (habitantes 1 y 2)
- V2: viga metálica principal IPE 600 (habitante 3)
- V3: viga metálica secundaria IPE 220
- V4: viga metálica principal pasarelas IPE 200
- V5: viga metálica secundaria pasarelas IPE 140

Estructura de las salas

HA 2: Sala de Paolo de Matteis



HA 1: Jardín de las Delicias



HA 4: Los tapices de Rubens

