

# NEUE NATIONAL GALLERIE DE BERLÍN

Aproximación arquitectónica y análisis estructural



AUTORA  
TUTOTES

Noelia Gorrís Vicent  
Ernesto Fenollosa Forner  
David Gallardo Llopis



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR  
D'ARQUITECTURA

Trabajo Final de Grado Curso 2015-2016  
Departamento de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar me gustaría agradecer a todos los profesores de estructuras que me han acompañado estos años, por descubrirme esta rama de la arquitectura que tanto me ha fascinado gracias a su pasión por la asignatura y sus ganas de compartir su conocimiento. En especial, agradecer por su dedicación a mi tutor Ernesto Fenolosa, por sus consejos y correcciones que tanto me han servido para la realización de este trabajo.

También me gustaría dar las gracias al resto del profesorado de la escuela, gracias a los cuales mi entusiasmo por la profesión ha aumentado desde el inicio del aprendizaje y así como mis competencias.

Por último, agradecerles a mi familia y amigos por apoyarme durante toda la carrera y en especial en este mes final, dándome fuerzas para abarcar este trabajo con toda la energía posible.

## 0. ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>06</b>
1.1 RESUMEN	07
1.2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	08
<b>2. MIES VAN DER ROHE</b>	<b>09</b>
2.1 ARQUITECTO	10
2.2 TRAYECTORIA Y OBRAS	11
2.2.1 Orígenes	11
2.2.2 Etapa alemana 1906-1938	12
2.2.3 Etapa americana 1938-1962	15
<b>3. LA NEUE NATIONAL GALLERIE</b>	<b>19</b>
3.1 ORIGEN	20
3.2 CONTEXTO	21
3.3 LOCALIZACIÓN	23
3.4 COMPOSICIÓN DEL EDIFICIO	24
3.5 FUNCIONALIDAD	26
3.6 MATERIALIDAD	28
3.7 PROCESO CONSTRUCTIVO	29
<b>4. ESTRUCTURA</b>	<b>31</b>
4.1 ESTRUCTURA DE LA CUBIERTA	32
4.2 ESTRUCTURA DEL SÓTANO	35
<b>5. MODELO ESTRUCTURAL</b>	<b>38</b>
5.1 ELEMENTOS MODELIZADOS	39
5.2 MODELIZACIÓN DE LA CUBIERTA	40
5.2.1 Emparrillado	41
5.2.2 Pilares cruciformes	42
5.3 MODELIZACIÓN DEL SÓTANO	43
5.3.1 Forjado reticular	43
5.3.2 Soportes	44
5.3.3 Muros de sótano	45
5.3.4 Cimentación	45

<b>6. ASIGNACIÓN DE CARGAS</b>	<b>46</b>
<b>6.1 CARGAS PERMANENTES</b>	<b>47</b>
6.1.1 Peso propio	47
<b>6.2 CARGAS VARIABLES</b>	<b>48</b>
6.2.1 Sobrecarga de uso	48
6.2.2 Nieve	49
6.2.3 Viento	49
<b>6.3 COMBINACIÓN DE CARGAS</b>	<b>50</b>
6.3.1 Hipótesis de carga	50
6.3.2 Combinaciones de hipótesis y coeficientes de seguridad	50
<b>7. ANÁLISIS ESTRUCTURAL</b>	<b>53</b>
<b>7.1 ANÁLISIS DE LA CUBIERTA</b>	<b>54</b>
7.1.1 Deformaciones	54
7.1.2 Tensiones	57
7.1.3 Pilares	63
<b>7.2 ANÁLISIS DEL FORJADO RETICULAR</b>	<b>65</b>
7.2.1 Deformaciones	66
7.2.2 Isovalores de momentos	67
<b>7.3 ANÁLISIS GLOBAL</b>	<b>69</b>
7.3.1 Desplazamientos horizontales	69
7.3.1.1 Planta sótano	70
7.3.1.2 Planta de cubierta	70
7.3.2 Pilares y muro	72
7.3.2.1 Pilares	73
7.3.2.2 Muro	75
<b>8. CONCLUSIONES</b>	<b>76</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>81</b>
<b>9.1 REFERENCIAS DE INFORMACIÓN</b>	<b>82</b>
<b>9.2 REFERENCIAS DE IMÁGENES</b>	<b>84</b>

# 1. INTRODUCCIÓN



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

La Neue National Gallerie es la última obra del arquitecto alemán Mies van der Rohe, en Berlín, cuyo encargo se produjo en 1962 y se finalizó su construcción en 1968. El arquitecto diseñó el museo como icono de modernidad y legado de sus principios arquitectónicos para su ciudad natal. El edificio está compuesto por una representativa cubierta metálica que está apoyada en un basamento de piedra, creando un hito moderno de referencias clásicas. La estructura metálica cubre un espacio diáfano de exposición, mientras que en el sótano la estructura de hormigón oculta el resto de funciones. El presente trabajo estudiará la vida del arquitecto y su obra, y describirá la galería desde diferentes ámbitos. Además se definirá minuciosamente su estructura, formada por emparillado en la cubierta y forjado reticular en el sótano, lo que permitirá realizar el modelo informático. Este se analizará y se extraerán conclusiones con las que se comprenderá el comportamiento del edificio y su lógica estructural extrapolable a edificios de similares características.

**Palabras clave:** Neue National Gallerie, Mies van der Rohe, Berlín, análisis estructural, estructura metálica, estructura de hormigón, emparillado, forjado reticular.

The New National Gallery is the last work of the German architect Mies van der Rohe in Berlin, its order was made in 1962 and its construction was finished in 1968. The architect designed the museum for his hometown as an icon of modernity and heritage of its architectural principles. The building is composed of a representative metal roof supported on a stone basement, creating a modern milestone based on classical references. The metal structure covers an open exhibition space, while in the basement the concrete structure hides the other functions. This project will examine the architect's life and work, describing the gallery from through different approaches. Moreover, its structure, formed by a grid and a waffle slab, will be thoroughly defined allowing the creation of the computer model. This model will be analysed and will provide conclusions in which the behaviour of the building will be understood, allowing its structural logic to be extrapolated to buildings of similar characteristics.

**Key words:** Neue National Gallerie, Neue National Gallerie, Mies van der Rohe, Berlin, structural analysis, metallic structure, concrete structure, grid, waffle slab.

La Neue National Gallerie és l'última obra de l'arquitecte alemany Mies van der Rohe, a Berlín, l'encàrrec del qual es va produir en 1962 y es va finalitzar la seua construcció en 1968. L'arquitecte va dissenyar el museu con a icona de modernitar y llegat dels seus principis arquitectònics per a la seua ciutat natal. L'edifici està compost per una representativa coberta metàl·lica que està recolzada en un basament de pedra, creant una fita moderna de referències clàssiques. L'estructura metàl·lica cobrix un espai diàfan d'exposició, mentres que en el soterrani l'estructura de formigó oculta la resta de funcions. El present treball estudiarà la vida de l'arquitecte i la seua obra, i descriurà la galeria des de diferents àmbits. A més es definirà minuciosament la seua estructura, formada per engraellat en la coberta y forjat reticular en el soterrani, la qual cosa permetrà realitzar el model informàtic. Este s'analitzarà i s'extrauran conclusions amb què es comprendrà el comportament de l'edifici i la seua lògica estructural extrapolable a edificis de semblants característiques.

**Paraules clau:** Nova Galeria Nacional, Neue National Gallerie, Mies van der Rohe, Berlin, anàlisi estructural, estructura metàl·lica, estructura de formigó, engraellat, forjat reticular.

## 1.2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

La Neue National Gallerie es el legado de modernidad del que Mies quiso dejar constancia en su ciudad natal plasmando sus principios arquitectónicos de claridad, minimalismo y modulación. Ya que esta fue su última obra, uno de los objetivos de este trabajo será conocer la evolución del arquitecto mediante su trayectoria, que será clave en el desarrollo de su pensamiento arquitectónico que finalmente empleará para proyectar este edificio.

Partiendo de la forma final en la que Mies entiende la arquitectura, se estudiará en detalle el museo, con el objetivo de entenderlo en todos los aspectos y sobretodo de mostrar las soluciones estructurales adoptadas en este edificio singular de grandes dimensiones. Además se explicará la modelización del edificio y la aplicación de cargas que permitirá analizarlo mediante un programa informático de cálculo.

A través del análisis estructural se pretende comprender el comportamiento de los distintos elementos, así como de la estructura en su globalidad, siendo este uno de los propósitos principales del trabajo. Por último se extraerán conclusiones acerca de los resultados obtenidos, señalando cuales serían las consideraciones a tener en cuenta para el diseño de edificios con características similares.

Para ello se propone la siguiente metodología:

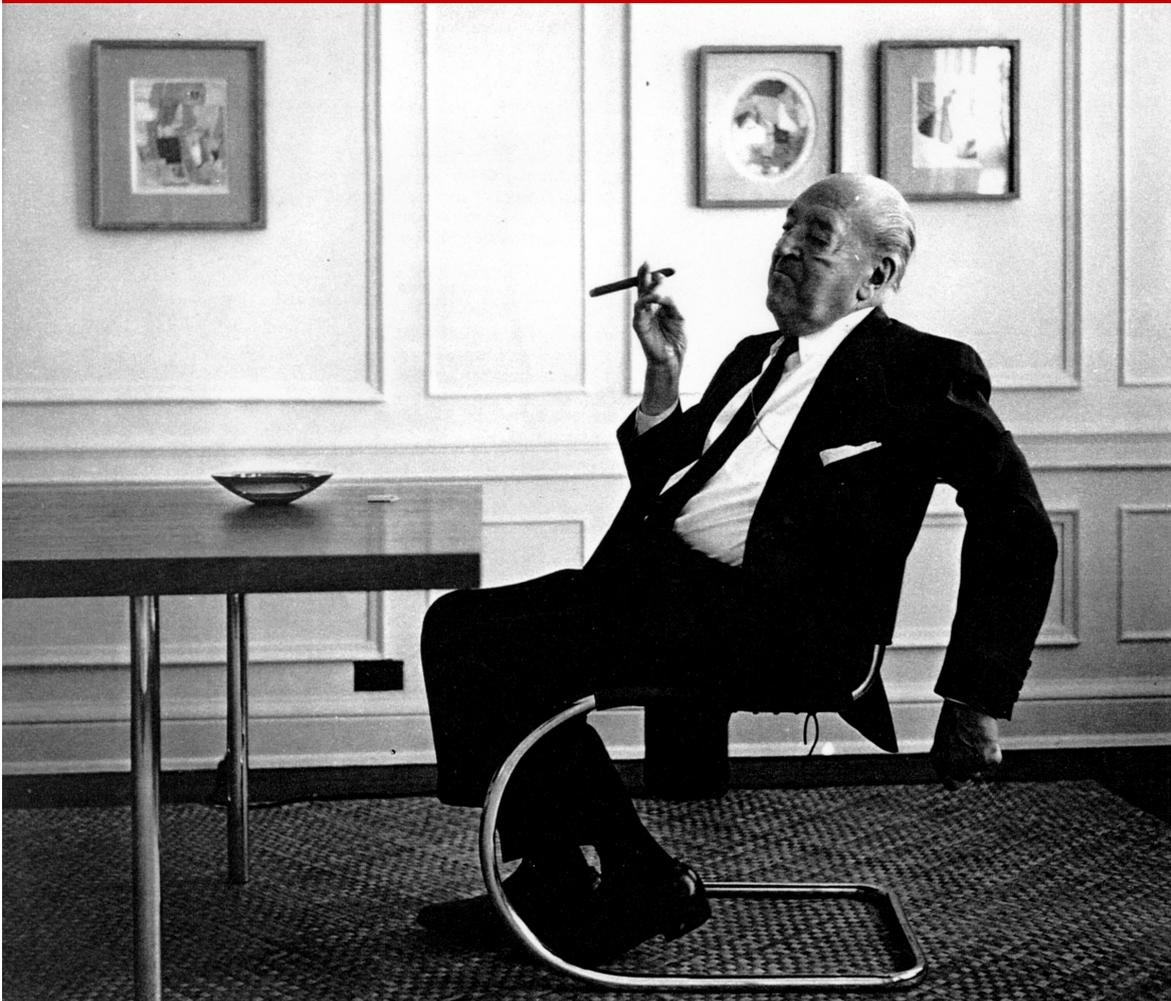
En primer lugar se llevará a cabo un estudio preliminar del arquitecto y de la obra, tratando de examinarlo desde diferentes aspectos que nos ayuden con el posterior modelo estructural. El estudio de la Neue National Gallerie no solo se realizará desde el punto de vista estructural, sino también desde el origen, el contexto, la localización, la composición, la funcionalidad, la materialidad y su proceso constructivo.

A partir de la información recopilada se realizará el modelo estructural aproximándolo lo máximo posible a la realidad utilizando el programa informático de análisis estructural por elementos finitos Architrave. A este modelo se le aplicarán un conjunto de cargas que permitirá realizar un estudio completo del comportamiento de la estructura.

Tras esta fase, se recogerán todos los resultados obtenidos del cálculo y se analizarán para determinar el comportamiento de los elementos individualmente y del edificio en su globalidad según las hipótesis establecidas.

Por último se extraerán conclusiones de este análisis que, conociendo la lógica estructural de la Neue National Gallerie, nos permitan aplicarlas a edificios de tipología estructural similar.

## 2. MIES VAN DER ROHE



## 2. MIES VAN DER ROHE

### 2.1 ARQUITECTO

Mies van der Rohe es considerado como una de las figuras clave para la arquitectura moderna. En su entrevista en Nueva York de 1955 Mies dijo: "No quiero ser interesante, quiero ser bueno". Esto define la personalidad de este arquitecto, perfeccionista y exigente. De este modo desarrolló su arquitectura, interesándose por su construcción y no por su juego formal, mostrando una estructura clara, considerando la claridad sinónimo de la calidad. Además era un arquitecto individualista, que pensaba que para que una idea fuera buena y clara debía ser concebida por un único hombre.

Se sentía alejado de sus contemporáneos, como Walter Gropius, Frank Lloyd Wright o Le Corbusier, y de los grupos de vanguardia, como De stijl o los constructivistas. Tubo gran influencia en Mies la figura de Santo Tomás de Aquino, sobre todo sus ideas sobre la razón: "La razón es el principio de toda obra humana". Este pensamiento le produjo un rechazo a lo no razonable y decidió conseguir, gracias a la razón, una arquitectura que todo el mundo pudiera utilizar. Quería encontrar un lenguaje común, no desarrollar sus ideas personales, sino encontrar un modelo objetivo de arquitectura que poder reproducir, ya que pensaba que la ausencia de este era un problema para su época. Para Mies van der Rohe la arquitectura era la expresión de su civilización, expresando la esencia verdadera de su época.



2.1 Mies, Berlín, 1934

2.2 Mies leyendo *Bauen seit 1900* in Berlín, 1967

## 2.2 TRAYECTORIA Y OBRAS

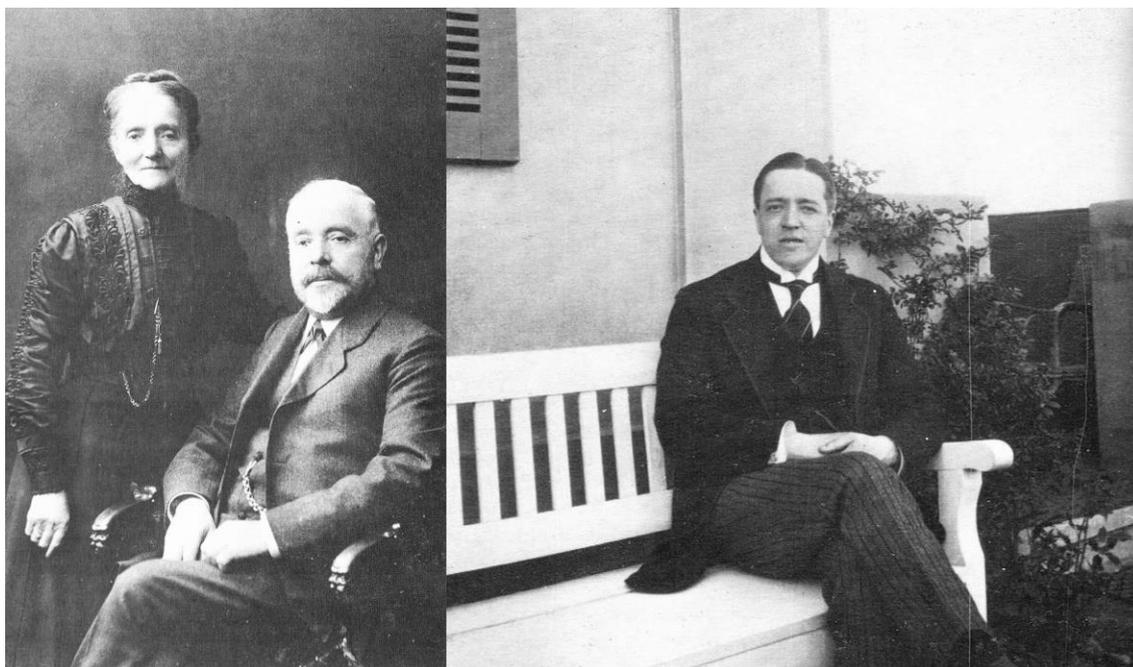
### 2.2.1 ORÍGENES

Ludwig Mies Van Der Rohe nació en Alemania en 1886. No contaba con el apoyo económico de su familia, ni con una formación de élite. Su padre Michael Mies era cantero y albañil, lo que le proporcionó su primer contacto con la construcción. Michael formó junto a Amalie Rohe una familia católica en la que Ludwig era el cuarto de cinco hermanos.

Sus estudios se componen por la asistencia a la Domschule católica de 1896 a 1899 y posteriormente a la Gewerbliche Tagesschule de 1899 a 1901, otorgándole una formación técnica y profesional, pero no clásica. Además complementa su aprendizaje con cursos de construcción, de estática, de matemáticas y de dibujo de desnudo.

Trabaja durante un año sin salario como obrero en las obras de la ciudad donde obtiene conocimiento de la construcción. También trabajó en la fábrica de moldes en yeso y estuco de Max Fisher. Con todas estas experiencias adquiere destreza práctica tanto artesanal como en estudios de arquitectos, en los que se convertirá en un dibujante apreciado para el trazado de ornamentos. Se formó en albañilería y en el desarrollo del dibujo a mano alzada, por lo que desde el principio los campos del diseño y la construcción formaban para Mies una unidad.

Los acontecimientos del siglo XX condicionaron la carrera de Mies y la dividieron en dos etapas: la alemana y la americana.

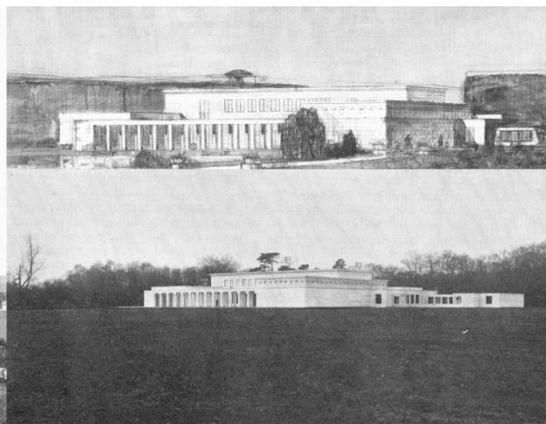


2.3 Amalie y Michael, padres de Mies    2.4 Mies van der Rohe en la casa Riehl (1912)

## 2.2.2 ETAPA ALEMANA 1906-1938



2.5 Casa Riehl (1906)



2.6 Casa Kröller-Müller (1912)

Cuando trabajaba para Albert Schneide descubrió la revista Die Zukunft de Maximilian Harden, que trataba de cultura y política, con la que empezó a leer y a interesarse por la vida intelectual. Es entonces cuando Mies viaja a Berlín, donde conoce a Bruno Paul y se convierte en delineante para su estudio, especializándose en el diseño de muebles. Al mismo tiempo, entre 1906 y 1908 estudió en la Escuela de Artes y Oficios y en la Escuela Superior de Artes Plásticas.

A sus 20 años recibe su primer encargo, la **Casa Riehl** (1906), que realiza individualmente para un catedrático de filosofía, que le introdujo en la sociedad del momento dándole cierto éxito. Gracias a este encargo puede realizar un viaje por Múnich, Roma, Florencia y Vicenza, donde queda impresionado por las Villas de Palladio y por el Palacio Pitti.

Tras este trabajo, Peter Behrens le contrata en su estudio (1908). Behrens muestra una alianza con la industria moderna y una gran pasión por la arquitectura de Karl Friedrich Schinkel, que contagiará a todos los integrantes de su estudio debido al contacto directo con su obra. Además, en esta etapa, Mies aprende de Behrens la gran forma y su manera de modelar los edificios industriales.

El encargo a Mies van der Rohe de la **Casa Kröller-Müller** (1912), produjo la ruptura con Behrens. Además esta separación se vio acusada por la admiración de Mies hacia Berlage y su obra de la Bolsa de Ámsterdam. La influencia de Berlage en Mies se manifiesta a lo largo de los años 20, del cual aprende su estructura, construcción y el proceso orgánico del descubrimiento racional de la forma absoluta.

En 1913 crea su propio estudio en Steglitz. Al principio construía casas privadas para berlineses acomodados en Berlín y Potsdam, con un estilo neoclásico aunque con cierta vanguardia. En sus comienzos de actividad alemana se

opuso a imitar los estilos del pasado, tratando de utilizar técnicas que tradujeran las propiedades de los materiales empleados y repudiando todo adorno, favoreciendo la expresión rigurosa de la construcción

Tras la Primera Guerra Mundial desarrolló un nuevo lenguaje arquitectónico. Entre 1921 y 1924 realizó cuatro proyectos teóricos que no llegaron a realizarse pero que lo situaron en la cima de la vanguardia.

En 1924 ingresó en la Deutsche Werkbund, organización muy influyente en la cultura moderna alemana, convirtiéndose en vicepresidente. Además forma el Ring, una organización destinada a combatir al Bund Deutscher Architekten, apostando por los ideales de la arquitectura moderna.

Tenía un concepto de construcción clara, utilizando materiales nuevos: el hormigón, el hierro y el vidrio, distanciándose de lo tradicional, tratando de resolver las necesidades del ser humano. Piensa en la estructura como en un todo, separando el cerramiento de la estructura. Realiza casas en esta etapa con similitudes a las Casas Californianas de Wright, influenciado por su exposición en Berlín y su publicación en la revista de arte Wendingen.

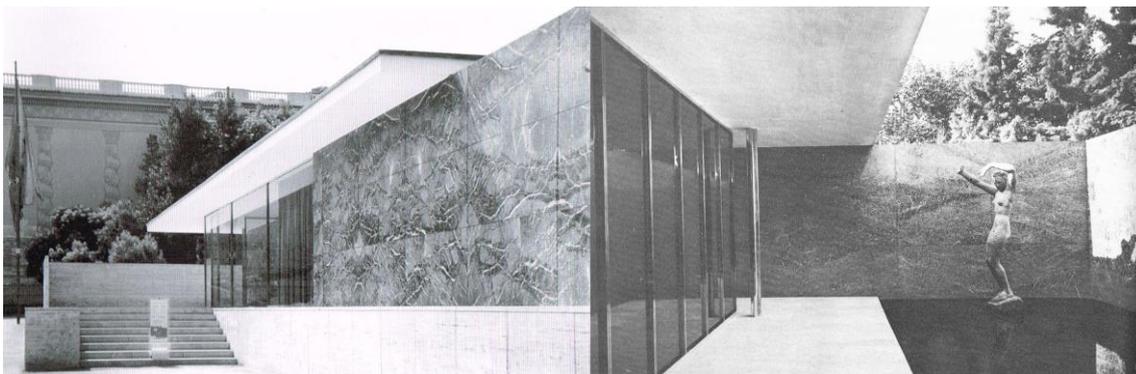
En 1925 recibe su único encargo de vivienda social: un conjunto de viviendas sobre los terrenos del Weissenhof de Stuttgart, que sirviera de ciudad expositiva del Deutscher Werkbund. En esta época cambia su visión de la arquitectura, no como una solución formal sino como la ejecución espacial de decisiones espirituales. Esta dimensión espiritual se ve reflejada en sus **Viviendas del Weissenhof de Stuttgart** (1927).

Mies se convierte en la figura central de la arquitectura alemana y del movimiento moderno internacional. A partir de 1926 adopta una posición idealista, apartándose de la posición materialista de los años 20, con la aceptación de la forma como expresión de la voluntad del artista y la estructura como esencia de la arquitectura.



2.7 Viviendas del Weissenhof de Stuttgart (1927)

2.8 Ordenación del Weissenhof de Stuttgart



2.9 Vista exterior del Pabellón de Barcelona

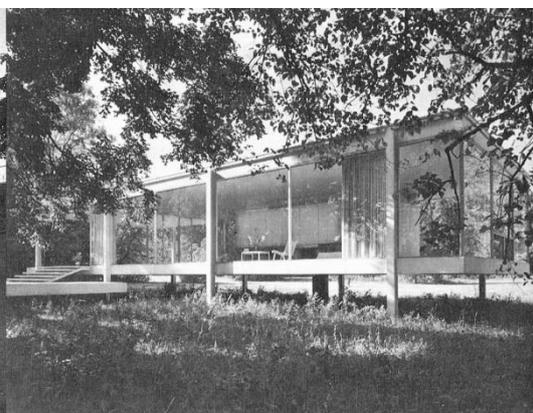
2.10 Vista del patio del Pabellón (1929)

Desarrolla una tipología de vivienda con patio en las que libera el espacio apoyando la cubierta sobre muros de ladrillo y pilares de hierro regularmente dispuestos. Este tipo de viviendas se desarrolló al máximo en el **Pabellón de Alemania para la exposición universal de Barcelona (1929)**. La construcción pura se transforma en arquitectura, dejando atrás las condiciones técnicas, centrándose en las cualidades espirituales de la materia. Durante la construcción de esta obra realizó también la **Casa Tugendhat en Brno (1929-1930)**, una vivienda muy lejos de la mínima casa reproducible, aproximándose al concepto de mansión lujosa. Estas dos obras dan la fama universal a Mies, creando las bases de un desarrollo que seguiría durante su carrera, con una nueva expresión de espacio dinámico al que se le asocia movimiento.

Crea distintas tipologías de vivienda, siguiendo los principios ya asentados, como las casas en vidrio con estructura metálica, en las que coloca los pilares al exterior dejando el interior libre para la disposición de tabiques. Los materiales empleados son el hierro y los grandes ventanales de vidrio, que dan al conjunto el aspecto de abierto a la naturaleza, como ocurre en la **Casa Farnsworth (1945-50)**.



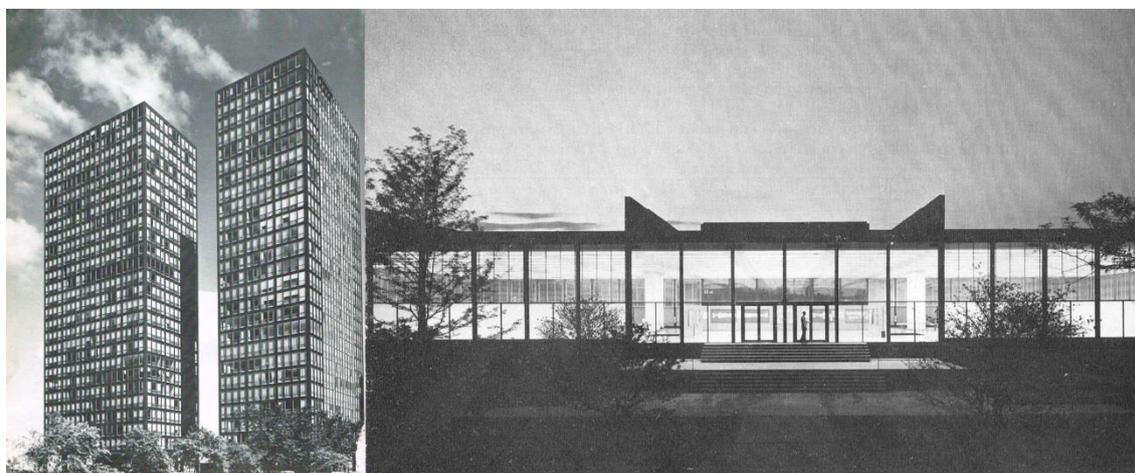
2.11 Casa Tugendhat en Brno (1929-1930)



2.12 Casa Farnsworth (1945-50)

Estos son los años más productivos de Mies, y en 1930 recibe un reconocimiento por su rendimiento con el puesto de director en la Bauhaus en Dessau. La Bauhaus es fundada en 1919 por Gropius en Weimar como idea de fusión entre la escuela de bellas artes y la de oficios artísticos, aunque posteriormente se traslada a Dessau por razones políticas. La vocación de Gropius era aunar arte, artesanía y producción industrial. Al dimitir Gropius ocupa su puesto el arquitecto Hannes Meyer, con el que se radicaliza la escuela, aportando una variable sociológica. Mies van der Rohe es su sucesor y el último director de la Bauhaus (1930-1933). Con él, la Bauhaus se convierte en prácticamente una escuela de arquitectura, potenciando los talleres de arquitectura y construcción. Presta especial atención a la aplicación de los materiales y a formar la vista y la mano.

### 2.2.3 ETAPA AMERICANA 1938-1962



2.13 Apartamentos Lake Shore Drive (1948-51)

2.14 Crown Hall del IIT en Chicago (1950-56)

A partir de 1933 se produce un rechazo del movimiento moderno en Alemania producido por cambios políticos, por lo que se cierra la escuela de la Bauhaus y en 1937 Mies viaja a EEUU.

En EEUU sufre una transformación, centra su atención en la construcción, la modulación y en crear soluciones tipo. Los primeros edificios en altura los realiza en hormigón, pero más tarde buscando la imagen de una fachada de hierro y vidrio pasará a realizar sus estructuras metálicas que gracias al avance tecnológico en la industria puede ejecutar construcciones metálicas de grandes proporciones. Sus rascacielos de viviendas se desarrollan mediante la superposición de casas individuales con estructura independiente y muros cortina. Esto le permite transmitir claridad, medida y precisión, ya que los perfiles de acero laminado o aluminio determinan la ordenación de las fachadas, como ocurre en los **Apartamentos Lake Shore Drive** (1948-51). Con

esta tipología las viviendas pierden la sensación de opresión y adquieren un nuevo sentimiento de espacio libre, bienestar e independencia.

Con el fin de dejar libre el interior para crear grandes naves sin pilares vuelve a unir la envolvente con la estructura. La cubierta queda suspendida en jácenas soportadas por pilares extremos que crean pórticos, fijando un sistema reticular con módulos. Es idóneo para disponer enteramente del espacio interior en grandes salas como en el **Crown Hall del IIT en Chicago** (1950-56).

Pese a todos estos cambios, continúa teniendo los enfoques de años anteriores como el desarrollo de tipos básicos y la búsqueda de un nuevo lenguaje formal. Los edificios de viviendas le sirven como ensayos para realizar edificios de oficinas o comerciales. Este tipo de edificios de despachos se globalizó por su economía de materiales y flexibilidad en cuanto a la distribución. Mies consiguió unir la ordenación racional de las fachadas con la estructura y logró economizar los elementos, como ocurre en el **Seagram Building en Nueva York** (1954-58).

En construcciones más bajas realiza una estructura de acero depurada, con una ordenación clara y detalles precisos, que podemos ver en la **Sede de Oficinas Bacardi en Méjico** (1957-1961). En estos edificios predomina la expresión plástica junto a la corrección técnica, llegando a una perfección que Mies admiraba en las obras clásicas.



2.15 Seagram Building (1954-58 )

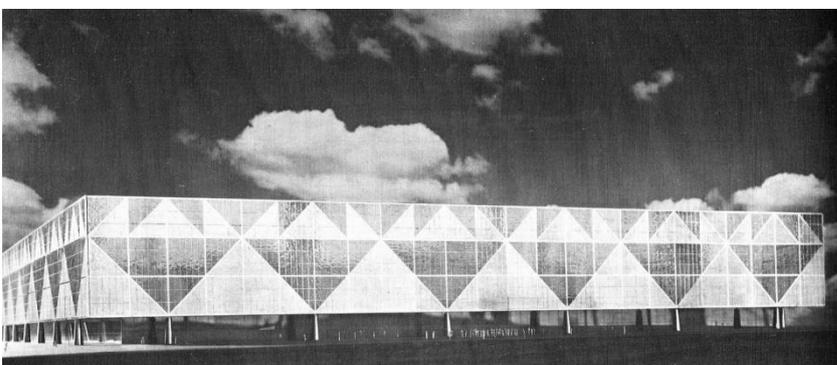
2.16 Sede de Oficinas Bacardi en Méjico (1957-1961)



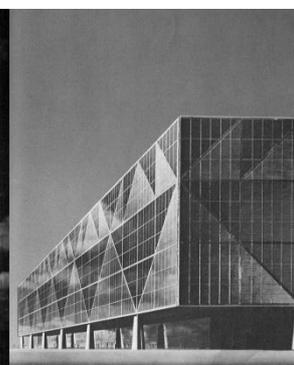
2.17 Lafayette Park en Detroit (1955)

Otra de sus facetas es la de urbanista. Se dedicará cada vez más a la planificación urbanística y a las soluciones de construcción industrial reproducible, donde se piensa menos en el arte y más en la rentabilidad. Estudia la incorporación de sus grandes construcciones a los conjuntos urbanos, distinguiendo entre vías de circulación y zonas de viviendas. Mies piensa que la densidad de viviendas debe compensarse con zonas verdes, zonas de comercios, establecimientos colectivos y mediante la organización racional del tráfico. Un ejemplo de su planificación urbanística es **Lafayette Park en Detroit** (1955).

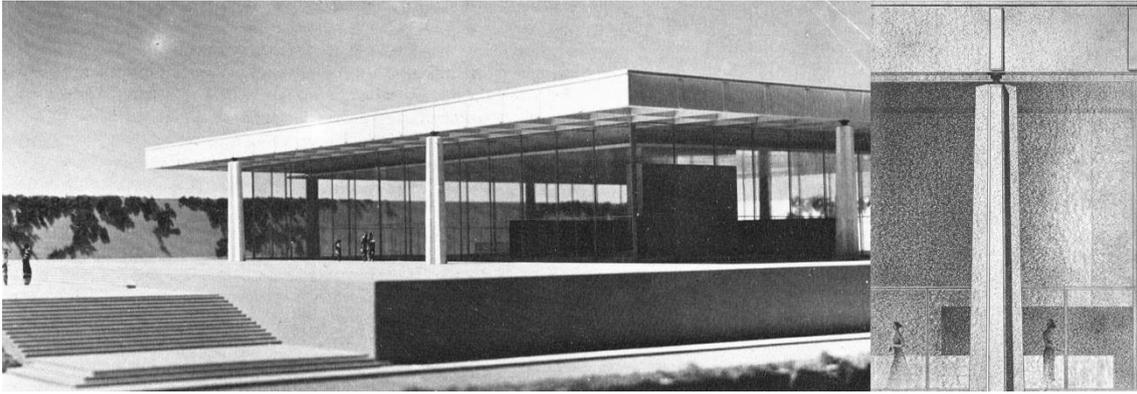
Vuelve a Alemania y desarrolla ejercicios teóricos separando la cubierta y sus soportes del espacio inferior creando un espacio amplio sin elementos de soporte visibles. Realiza la construcción de grandes naves, uniendo el conocimiento teórico y la sensibilidad estética. Trasladando al exterior los elementos portantes consigue liberar totalmente el espacio interior bajo una gran cubierta, siguiendo el principio de Tomás de Aquino de "Vivir en disposiciones libres". Algunos de sus proyectos son la **Sala de Convenciones de Chicago** (1953-1954) o el **Edificio Bacardi en Santiago de Cuba** (1957), pero el punto culminante de este principio es la construcción de la **Neue National Gallerie de Berlín** (1968). Esta será su última obra, en la que confía la dirección de obra a su nieto, por estar enfermo de artritis.



2.18 Sala de Convenciones de Chicago (1953-1954)



2.19 Maqueta fachada



2.20 Edificio Bacardi en Santiago de Cuba (1957)

2.21 Detalle soporte de hormigón

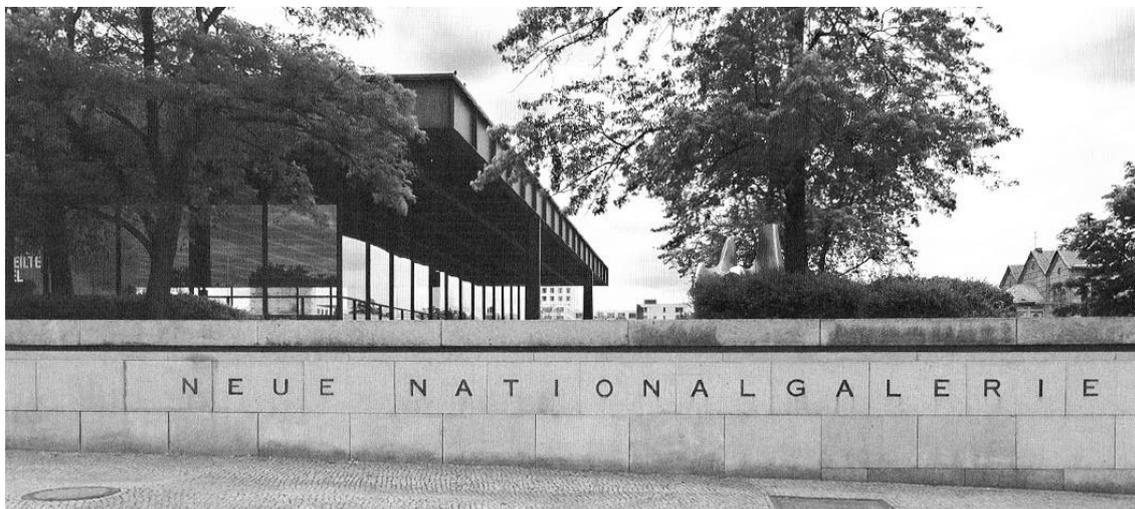
Finalmente el 17 de agosto de 1969 Mies van der Rohe muere en Chicago, dejando como legado su forma de ver la arquitectura. Rechazando la palabra alemana *Architektur*, asociada a la forma exterior, Mies utiliza la palabra *Baukunst*, compuesta por *Baun* (construcción) y *Kunst* (arte), que expresa el significado que tiene para él la arquitectura: el refinamiento de la construcción.

### 3. LA NEUE NATIONAL GALLERIE



### 3. LA NEUE NATIONAL GALLERIE

La Neue National Galerie es el último edificio de Mies van der Rohe en Berlín, al volver tras su etapa en América. Fue su primer edificio en su ciudad natal y en el que dejó constancia de sus postulados arquitectónicos que le caracterizan.

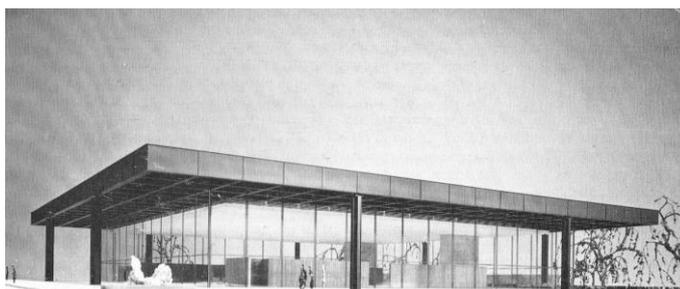


3.1 Imagen exterior de la Neue Nationalgalerie

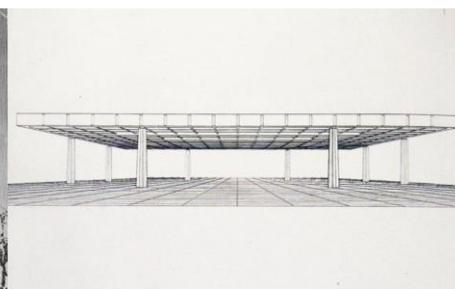
#### 3.1 ORIGEN

La Neue National Galerie es la obra que permite conectar la obra de Mies de su etapa alemana y americana. Surge de la creación de un nuevo tipo, el de los espacios grandes sin puntos portantes intermedios. Los elementos resistentes se trasladan al exterior liberando totalmente el espacio interior bajo una gran cubierta. Este tipo de edificaciones son similares a las grandes naves industriales, con la diferencia de que en sus construcciones Mies emplea proporciones, composición y sistema estructural original además de materiales contemporáneos que ensalzan su valor.

En el Edificio Bacardi en Santiago de Cuba de 1957 Mies abandona el principio de la fachada del Crown Hall debido a las condiciones climáticas y retira la superficie de vidrio hasta encontrar el abrigo del avance de la cubierta. Este proyecto se realiza en hormigón armado, y poco después en 1960, Mies van der Rohe traslada este principio a una construcción en acero gracias al encargo de El Museo Georg Schäfer en Schweinfurt.



3.2 Museo Georg Schäfer en Schweinfurt



3.3 Edificio Bacardi de Santiago de Cuba

La Nueva Galería Nacional deriva de este último proyecto, utilizando el mismo sistema que la Sala de Santiago de Cuba, reelaborándola y adaptándola, más que creando un nuevo proyecto. Mies quería hacer realidad a una escala monumental el espacio unitario y la estructura perimetral que había concebido para la Sede Bacardi. Lo mismo sucede con la enorme vitrina negra, que surgía directamente de otra blanca pensada para el sol del Caribe e indirectamente para la Casa 50 por 50.

La combinación de soportes y forjados de la Nueva Galería Nacional de Berlín enlaza, a pesar de las diferencias, con la gran tradición de épocas pasadas. El contraste entre las líneas horizontales de la losa y las verticales de los pilares crea una imagen análoga a la de un templo, con columnas, axialmente simétrico y elevado sobre un podio. También vemos relación con el legado de Shinkel. El Altes Museum se encontraba cerca, sobre su podio, separado de la Neue National Gallerie por el Muro de Berlín. A pesar de estar muy separados ideológicamente, el diseño de Mies había creado una conexión inmaterial con la tradición y con el maestro que ya veneraba desde su juventud. Además en la creación de las columnas se ve influenciado por la obra de la Turbinenhalle de Behrens, recuperando el tema de la rótula que, en este caso no articula los pórticos y el suelo, sino las columnas y la cubierta.



3.4 Altes Museum de Shinkel



3.5 Turbinenhalle de Behrens y sus articulaciones en los soportes

## 3.2 CONTEXTO

La Neue National Gallerie es el último edificio de Mies van der Rohe, en su ciudad natal, al volver tras su etapa en América. El regreso a Berlín fue una experiencia emocional profunda y trascendental ya que fue en Berlín donde dio forma a su arte y a su pensamiento y donde creó la visión de lo que tenía que ser la ciudad de arquitectura del siglo XX, aunque no había dejado allí ningún edificio moderno significativo para demostrarlo. Mies tuvo la ocasión de dejar su huella en su tierra natal con el encargo para el nuevo museo en la Kemperplatz, donde además se expondrían las pinturas y esculturas de su tiempo.

La obra de la Neue National Gallerie comenzó a proyectarse a partir de 1962 y fue construida entre 1965 y 1968. El propósito del arquitecto era crear un museo en el que el objeto más importante de la exposición era el propio museo.

El diseño del edificio comenzó cuando Mies tenía 76 años de edad. A lo largo de la obra estuvo en el hospital en diversas ocasiones, pero su determinación de llevar a cabo el proyecto en sus propios términos hizo que pese a esta situación ejerciera el máximo control sobre el diseño. También realizó varios viajes a Berlín a pesar de su estado de salud y participó en la ceremonia de colocación de la primera piedra en 1965.

El arquitecto estuvo presente en la elevación de la cubierta, la cual fue su última visita al museo ya que estaba impedido para regresar a Berlín con motivo de la inauguración oficial en septiembre de 1968. No obstante, gracias a esta obra su presencia en la ciudad quedó establecida permanentemente, siendo además en la forma que él más apreciaba, con una arquitectura clara y estructurada que fluía hacia el exterior de la Kemperplatz.

Mies, ya anciano, no se molestaba en justificar su solución en los términos habituales de la universalidad de la función:

“Es una sala grande que naturalmente supone grandes dificultades para exponer obras de arte. Soy perfectamente consciente de ello, pero tiene tales posibilidades que simplemente no puedo tener en cuenta esas dificultades”<sup>1</sup>

Al final de este retorno a Alemania debido a su enfermedad de artritis muere en Agosto de 1969, siendo la Nueva Galería Nacional su último legado.



3.6 Ceremonia de colocación de la primera piedra en 1965

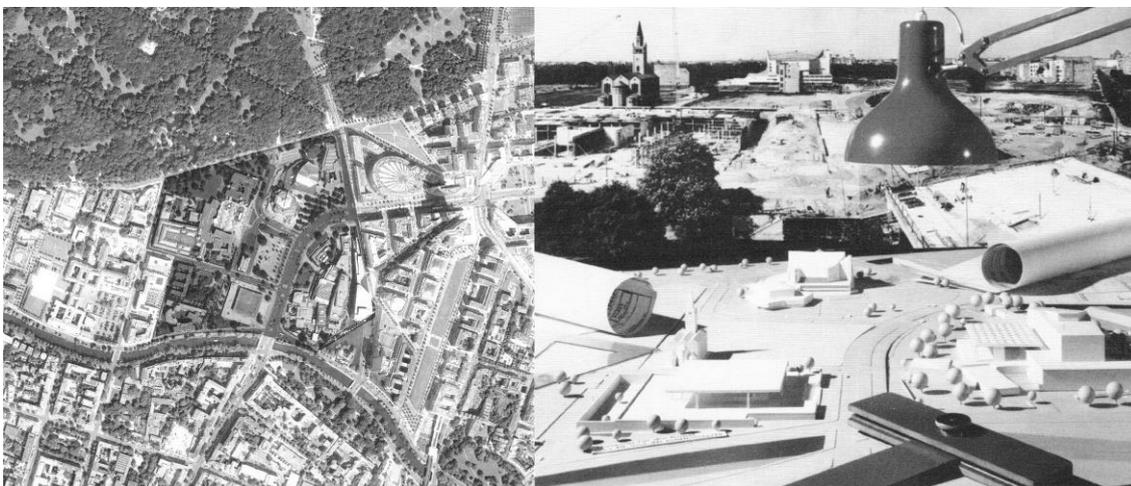
3.7 Henry Moore y Mies en la Neue National Gallerie en 1967

<sup>1</sup> SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume pp. 319-320.

### 3.3 LOCALIZACIÓN

La Neue National Gallerie está situada al sur del parque Tiergarten, en un área urbana en el distrito de Tiergarten de Berlín. Actualmente el Museo forma parte de un conjunto de importantes edificios culturales construidos a partir de 1960. Forman parte de esta agrupación: la Filarmónica (1960-1963), la Nueva Biblioteca del Estado (1967-1976), el Instituto de Estado de Investigación Musical y el Museo de Instrumentos Musicales (1976-1984), el Museo de Artes Aplicadas (1978-1985) y la Sala de la Música de Cámara (1984-1987). Este conjunto se conoce hoy en día como el Kulturforum. Este complejo está diseñado aparentemente con la ausencia de un plan general del área, quedando los edificios distantes y solitarios, sin relación con el contexto que les rodea, dando una imagen fragmentada y heterogénea de la zona.

El edificio se encuentra frente a la Iglesia de San Mateo (1844-1846) separados por la calle Sigismundstrasse al norte, delimitado por el este con la calle Postdamer Strabe y por el sur con el canal Landwehrkanal, al oeste de Postdamer Platz. Debido a la pendiente del terreno, la implantación del edificio se lleva a cabo utilizando esta inclinación para crear un patio al que desemboca la terraza superior rodeado de muros de donde toma luz la planta inferior. El edificio se encuentra apoyado sobre un basamento, lo que dificulta la relación con el lugar, debiendo acceder por unas escaleras al nivel cero del edificio.

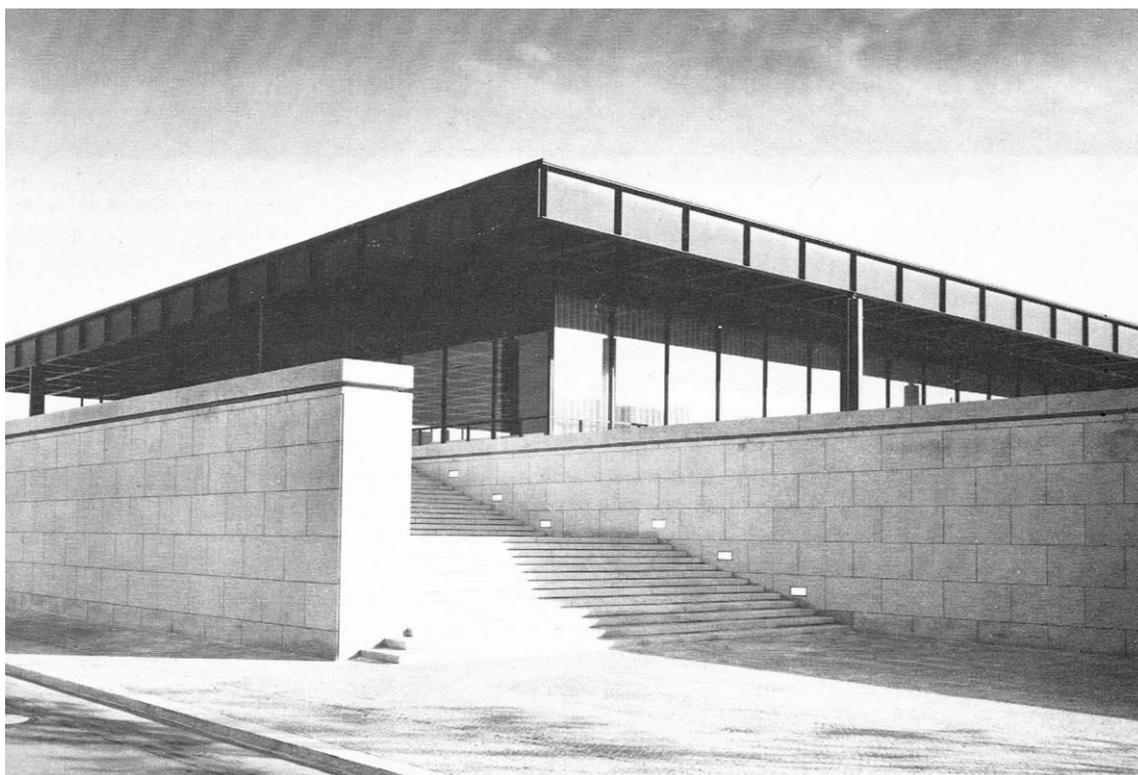


3.8 Vista actual del Kulturforum en Tiergarten, Berlín.

3.9 Maqueta del Kulturforum junto a él

### 3.4 COMPOSICIÓN DEL EDIFICIO

El edificio se lee como una caja de acero y vidrio que se levanta sobre un zócalo de piedra, generado por la diferencia de niveles de la calle. Se trata de un pabellón de dos plantas. La planta sobre rasante está compuesta por una gran cubierta de acero que cubre un espacio diáfano delimitado por paños de vidrio, separando la envolvente y la estructura. La planta sótano, bajo rasante, es la que forma el zócalo y vuelca a un patio que comunica ambos niveles.



3.10 Vista exterior del edificio

La planta superior es la que representa el proyecto. Se trata de una caja de cristal cuadrada simétrica y austera. Los casetones cuadrados de la retícula de la cubierta refuerzan la idea de regularidad en planta y se acentúa todavía más con la inmensa extensión interior rota únicamente por parejas opuestas de conductos de instalaciones revestidos de mármol y los tabiques que rodean las escaleras que bajan al sótano, que asimismo marcan el eje de simetría. Además queda implícita infinitud de movimiento en todas las direcciones más allá de las paredes transparentes, eliminando el límite entre el interior y el exterior, idea que fortalece utilizando un pavimento continuo dentro y fuera del edificio.

La vidriera está retranqueada de la estructura, dando lugar entre la fachada y los pilares a un deambulatorio o galería. Mies vuelve a la columna, tras proyectos en los que esta quedaba reducida a simples segmentos verticales y ocultaba la estructura real si era necesario.



3.11 Deambulatorio exterior

3.12 Espacio entre vidriera y soportes de cubierta

Se trata de un edificio totalmente modulado, con rigurosa geometría, desde la escala general hasta los detalles. Es un gran ejemplo de abstracción en su obra ya que se basa en su geometría, haciendo poca referencia a la función del edificio.

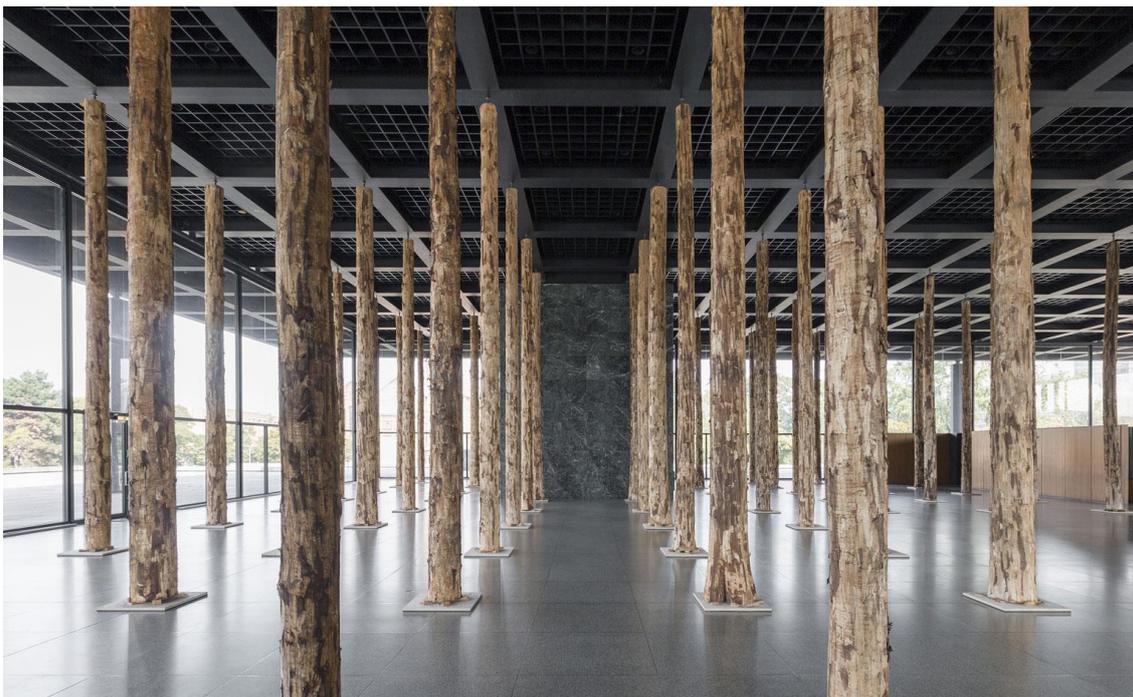


3.13 Modulación de la fachada, la cubierta y el pavimento

3.14 Vista de la cubierta

### 3.5 FUNCIONALIDAD

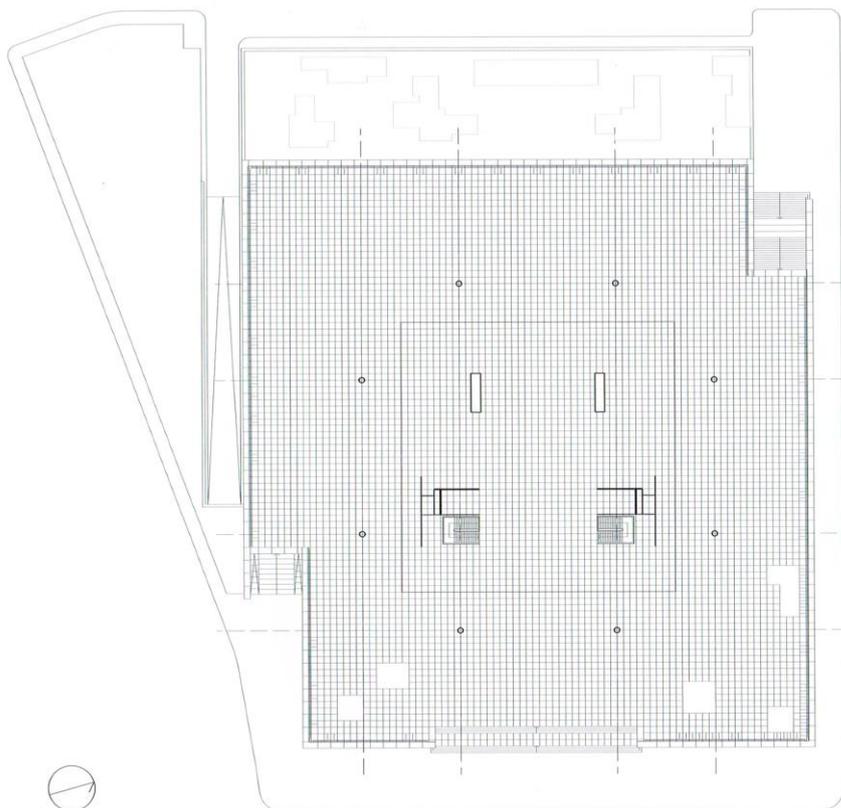
La función principal de la Nueva Galería Nacional es la de albergar obras de arte. La integración de las obras de arte y la arquitectura ha preocupado siempre a Mies. Incorporando cuadros y esculturas en el conjunto creando un todo coherente y armonioso. En esta obra crea una nueva forma de entender un museo, dejando de lado el edificio cerrado convencional compuesto por salas de exposición temáticas, y creando un gran espacio diáfano y versátil.



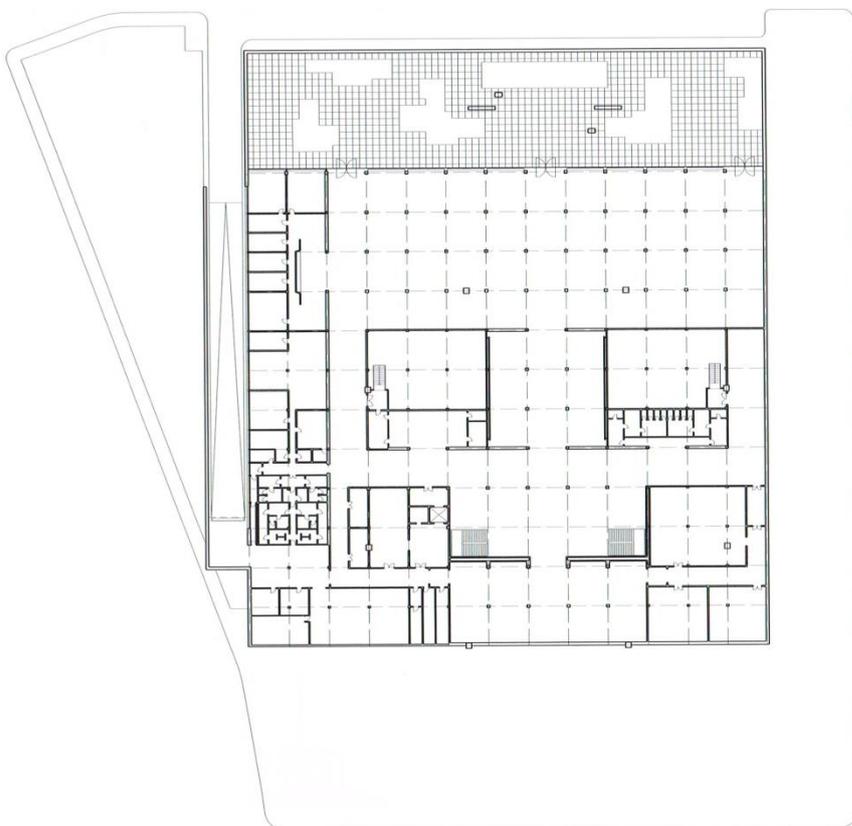
3.15 Exposición de Chipperfield llamada "Sticks and Stones"

La gran sala de planta cuadrada bajo la cubierta albergaría las exposiciones temporales. Contradictoriamente a las intenciones que tenía Mies, esta gran sala ha quedado como un espacio no tan flexible, más bien rígido, que dificulta la exposición de obras de arte y en el que finalmente solo se exhiben los objetos más grandes. Albergadas en el podio encontramos la exposición de la colección permanente de pintura junto con las oficinas administrativas y los servicios auxiliares, como almacenes. Las galerías inferiores se organizan mediante recorridos iluminados en su mayoría artificialmente, ya que esta planta se encuentra privada de luz natural vertical. Esta parte más funcional del edificio queda oculta ante la percepción exterior, respetando la imagen principal del edificio.

Las plantas del edificio se distribuyen como muestran los siguientes planos, una sala diáfana en planta baja y un espacio más fragmentado en la planta sótano:

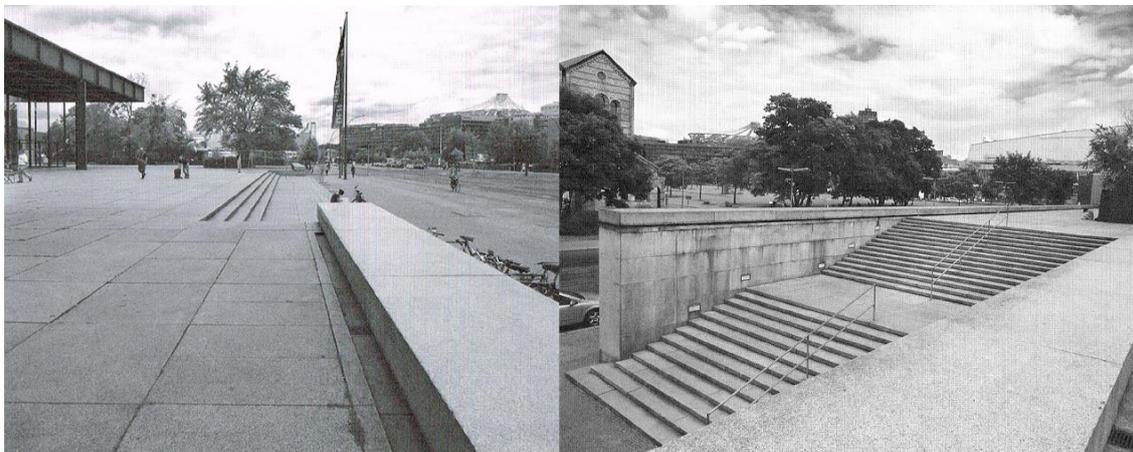


3.16 Planta baja



3.17 Planta sótano

El acceso al edificio se realiza por la terraza del pódium a la cual se accede principalmente por medio de una escalera axial situada al este. Además Mies coloca otras dos escaleras secundarias en las esquinas noroeste y sureste de la plataforma, rompiendo con el precedente clásico.

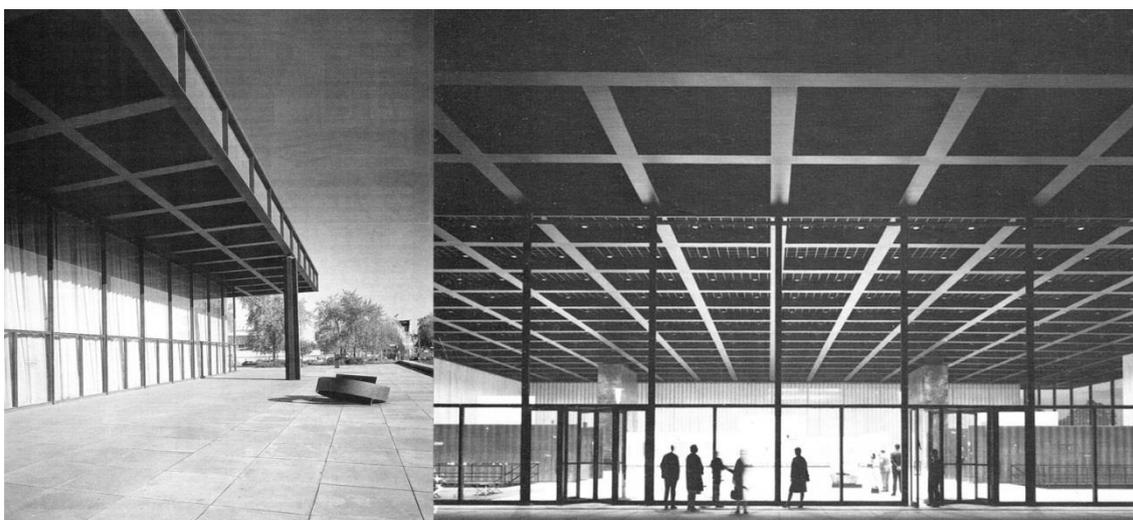


3.18 Acceso principal a la terraza

3.19 Acceso secundario a la terraza

### 3.6 MATERIALIDAD

Los materiales principales del edificio son el acero de la gran cubierta representativa y la piedra en el basamento del edificio. La planta superior, a parte del acero estructural pintado de negro, se compone de grandes paramentos de vidrio. En el interior de la sala solo encontramos dos elementos revestidos de mármol donde se alojan las instalaciones y diversos tabiques forrados de madera que rodean las escaleras y crean dos espacios de recepción. El pavimento de la terraza, del acceso al pódium y de la sala es uniforme, compuesto por losas de granito de 1.2x1.2m.



3.20 Vista con materiales exteriores

3.21 Vista interior exterior

La planta sótano tiene una estructura de hormigón armado recubierta en su exterior por losas de piedra. En esta planta las baldosas son de terrazo y el techo está blanqueado mediante jabalga, que es la mezcla de cal, polvo de mármol y agua. Los tabiques son recubiertos de madera y de pintura y están iluminados con reflectores. Además los objetos expuestos en la sala están alumbrados con los proyectores colgados del techo, según las necesidades.

En el interior del edificio encontramos la silla Barcelona como parte del mobiliario, diseñada por Mies en 1928 para el Pabellón de Barcelona.



3.22 Interior de la sala principal



3.23 Mobiliario interior

3.24 Silla Barcelona

### 3.7 PROCESO CONSTRUCTIVO

Mies era exigente en cuanto a su atención por la estructura, en el edificio en general y en la exactitud de los detalles. De las columnas realizó un amplio estudio y varias maquetas hasta encontrar la proporción perfecta.

La construcción de la cubierta se realizó cuando el nivel inferior de hormigón armado ya estaba finalizado. La superficie de hormigón fue reforzada y utilizada como base para la plataforma auxiliar de montaje del emparrillado.

El proceso de montaje de la cubierta duró 9 horas en las que estuvo presente Mies observando todo el procedimiento desde un Mercedes blanco. Debido a su enfermedad de artritis debió confiar una gran parte de la dirección de obra a su nieto Dirk Lohan, pese a su voluntad de querer llevar a cabo el proyecto él mismo.



3.25 Mies en la elevación de la cubierta



3.26 Mies en la obra

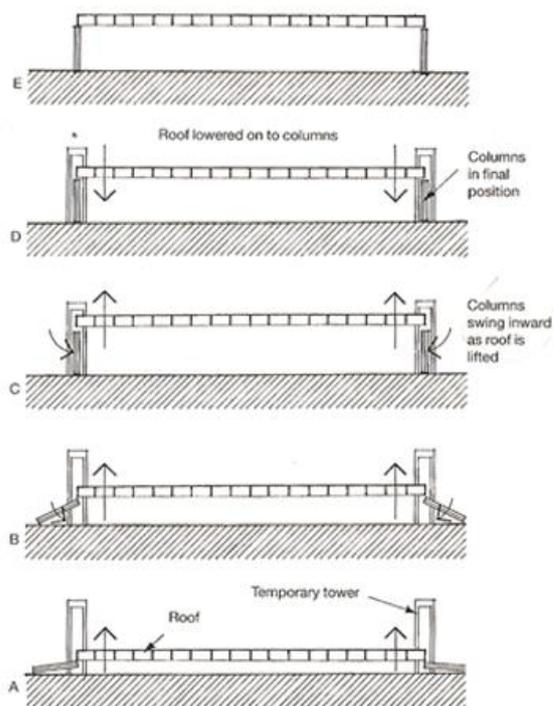


3.27 Gatos hidráulicos

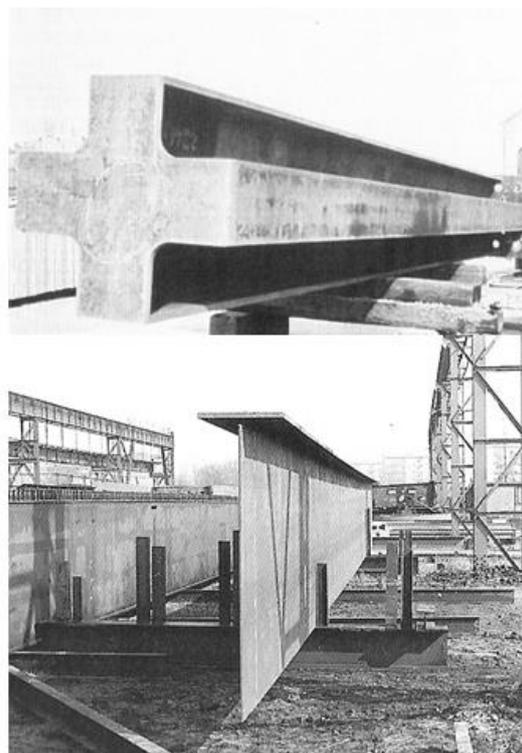


3.28 Elevación de la cubierta

La retícula de la cubierta fue construida por secciones in situ y alzada como una sola pieza con gatos hidráulicos situados en los puntos del perímetro de la cubierta que finalmente ocuparían los soportes. Los gatos estaban sincronizados con tal precisión que las diferencias de elevación de la cubierta de 1250 toneladas nunca excedieron más de 2mm mientras subía. En el momento en que la gran parrilla se había levantado lo suficiente del suelo como para colocar los soportes, se aseguraron en sus apoyos mediante una placa base y tornillos. Finalmente, una vez colocados, se bajó la cubierta hasta apoyar en las articulaciones de las columnas, unión que se puede ver en la imagen 4.3 del apartado de Estructura.



3.29 Proceso de elevación de la cubierta



3.30 Pilar y viga en obra antes de su colocación

Al finalizar este proceso, Mies van der Rohe dijo a los presentes:

“Yo tan solo quiero dar las gracias aquí a los tipos del acero y del hormigón. Y cuando la gran cubierta se elevó sin un solo ruido, ¡me quedé estupefacto!”<sup>2</sup>

<sup>2</sup> SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume p.321.

## 4. ESTRUCTURA

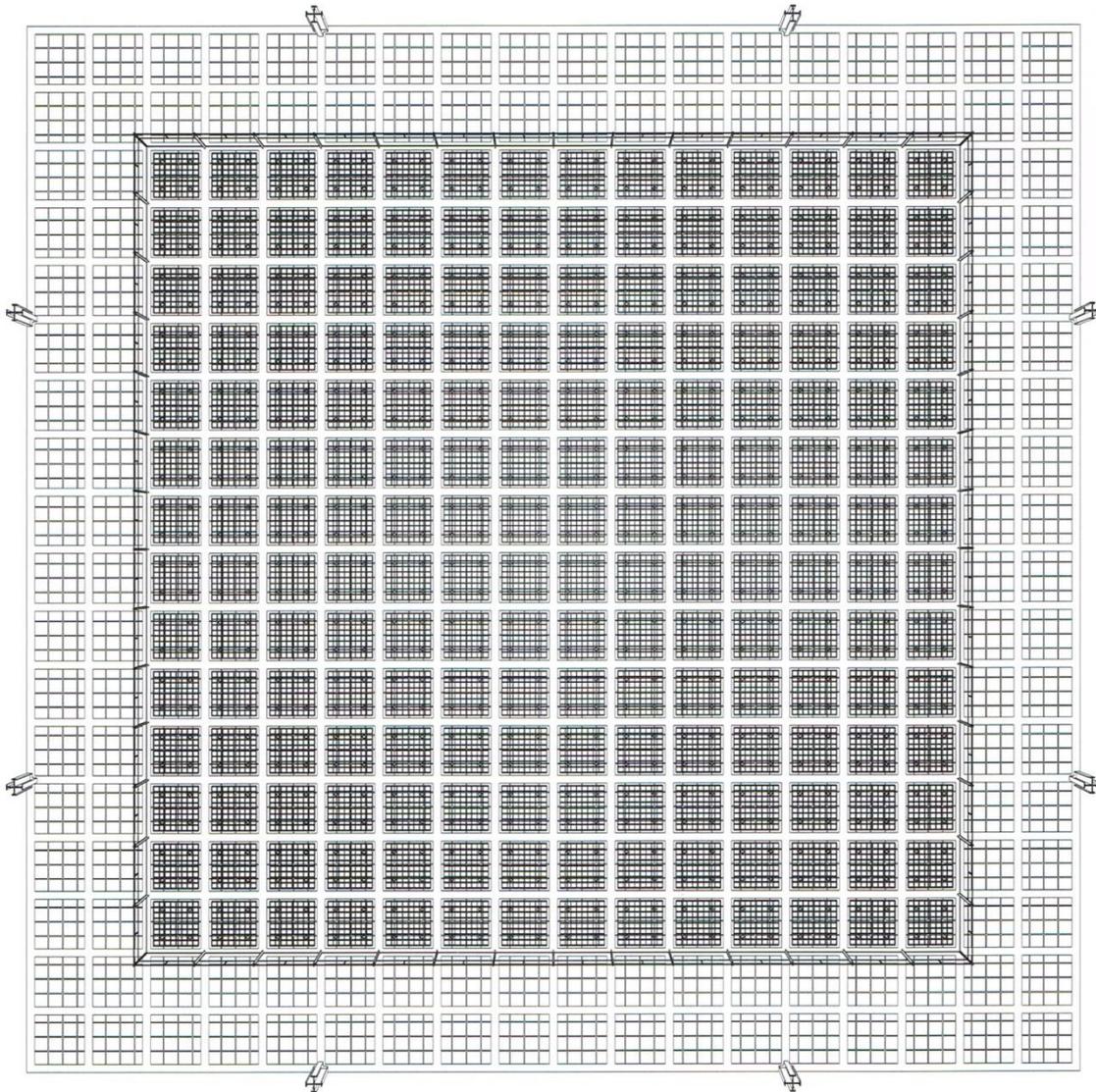


## 4. ESTRUCTURA

La Neue National Gallerie tiene una estructura metálica en la cubierta y sus soportes y de hormigón armado en los elementos de la planta de semisótano, tanto en el forjado como en los pilares y los muros. La estructura de la cubierta y la estructura del sótano son independientes, conectándose únicamente en 8 puntos de forma rígida.

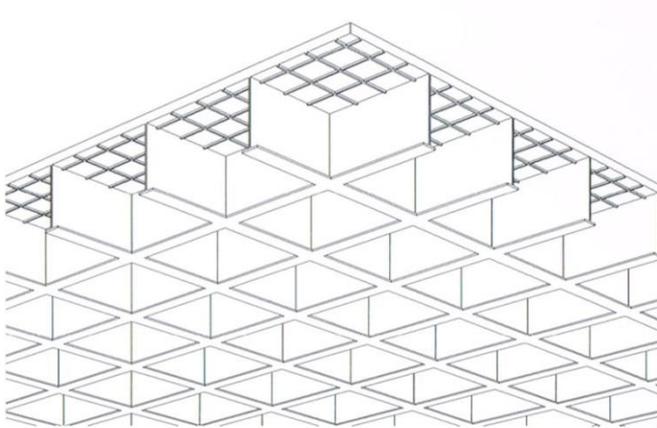
### 4.1 ESTRUCTURA DE LA CUBIERTA

El aspecto más característico de la Neue National Gallerie es la gran cubierta metálica que recoge el espacio diáfano de exposición. La altura total del edificio sobre rasante es de 10.405m y su altura libre bajo la cubierta es de 8.4m. Sus dimensiones en planta son de 64.8m en ambas direcciones entre ejes de pilares.

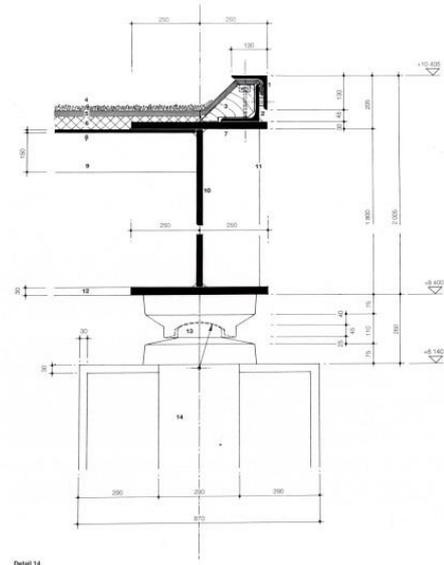


4.1 Vista cenital de la cubierta

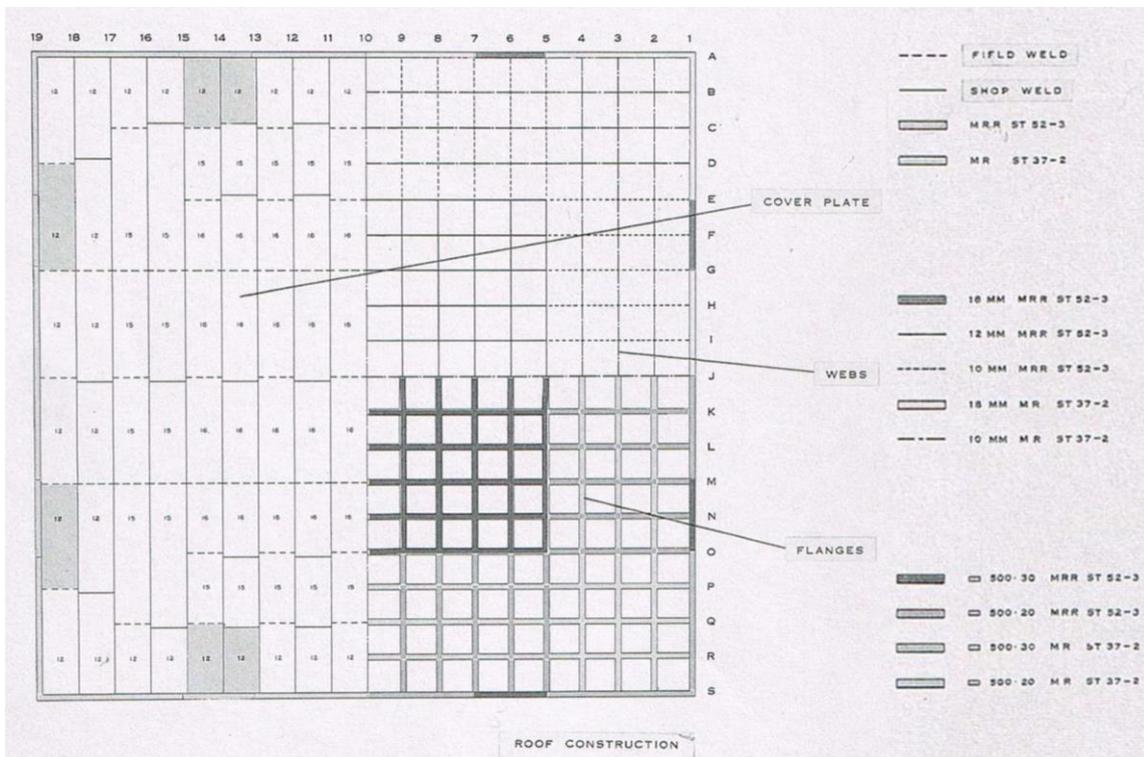
Se trata de una cubierta bidireccional formada por una trama de vigas armadas de acero en forma de doble T de 1.83m de canto y 0.5m de ancho. La modulación de la cubierta es de 3.6m entre ejes de vigas en ambas direcciones. Estas vigas están conformadas por chapas soldadas entre sí, con espesores de alma y ala variables según la zona que ocupan en la planta. Sobre esta estructura principal apoya una chapa de acero de 12mm, protegida con una capa de gravas, finalizando así la cubierta.



4.2 Axonometría cubierta



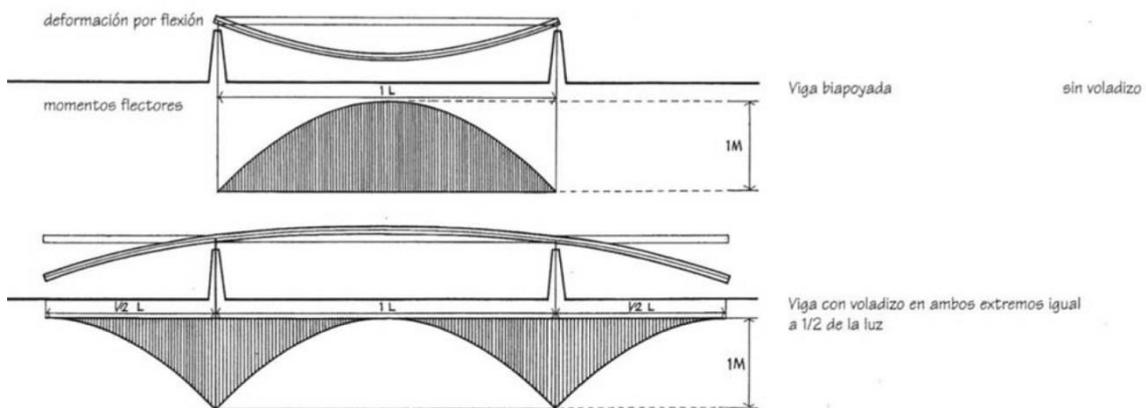
4.3 Detalle viga



4.4 Espesores de cubierta



Además Engel expone el comportamiento que tendrán las vigas en cuanto a la influencia del voladizo en la eficacia de la viga.

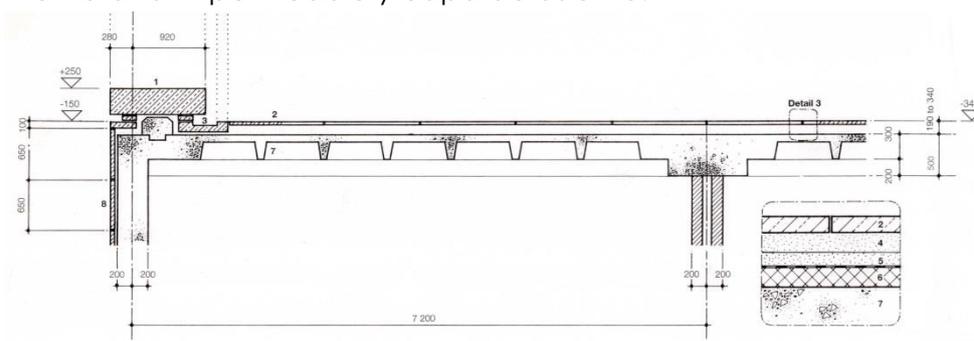


4.8 Influencia del voladizo en la eficacia de la viga según Engel

## 4.2 ESTRUCTURA DEL SÓTANO

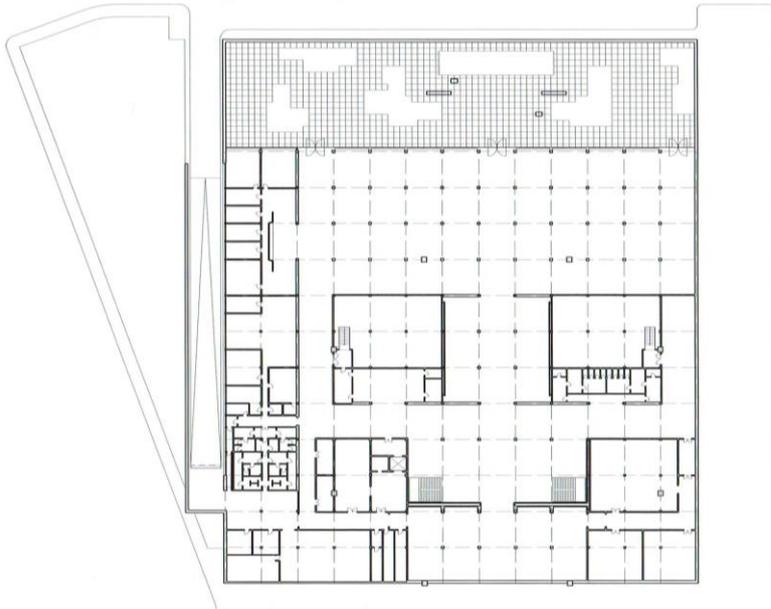
La planta de sótano utiliza una estructura íntegramente de hormigón armado. Sus dimensiones en planta son de  $86.4 \times 93.6$  m entre ejes de pilares. La parte superior del forjado crea la terraza a cota cero, y el pavimento del sótano se encuentra a una profundidad de  $5.5$  m, quedando una altura libre de  $4.66$  m.

Se trata de un forjado reticular de canto  $30$  cm, aligerado con casetones de  $25$  cm de canto. Sobre él se disponen diversas capas sobre las que apoya el pavimento de baldosas de granito: hormigón ligero de apoyo, aislante, membrana impermeable y capa de asiento.



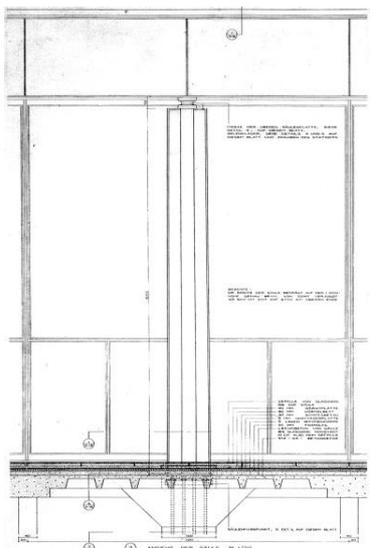
4.9 Sección forjado de sótano por la terraza

El espacio está modulado creando una retícula de  $7.2 \times 7.2$  m donde se encuentran los pilares que tienen una sección de  $40 \times 40$  cm. Sobre los pilares encontramos una sección escalonada creada por un reguesamiento del forjado, generando un ábaco de  $50$  cm de canto. Esta retícula de pilares tiene una variación en una zona de la planta donde se omiten 3 pilares para lograr una mayor diafanidad en el hall junto a las escaleras de acceso al sótano.

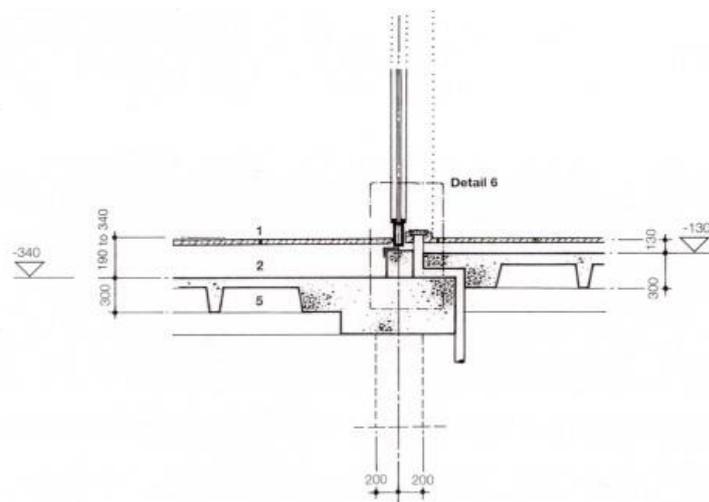


4.10 Retícula de pilares en planta sótano con omisión en el hall

Existen varias particularidades de esta planta. Una de ellas son los regresamientos tanto del pilar como del ábaco bajo los pilares de cubierta, quedando estos en el centro de uno de los ejes de la retícula de sótano. Estos pilares tienen una sección mayor, de 1.2x1.2 m, y están coronados por un gran capitel tronco piramidal. Otra peculiaridad es la junta de dilatación cuadrada que separa la zona interior superior de la zona exterior. Esta junta se resuelve apoyando una zona del forjado en la otra sin duplicar el pilar.

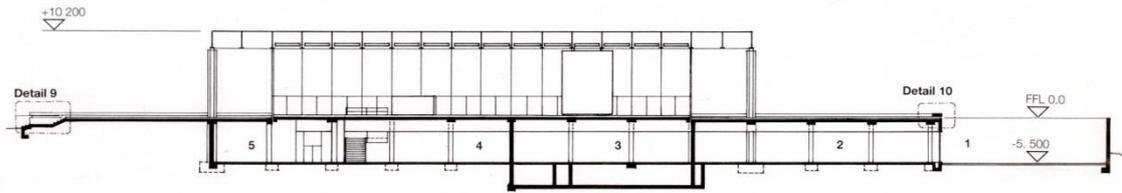


4.11 Capitel bajo pilar de cubierta



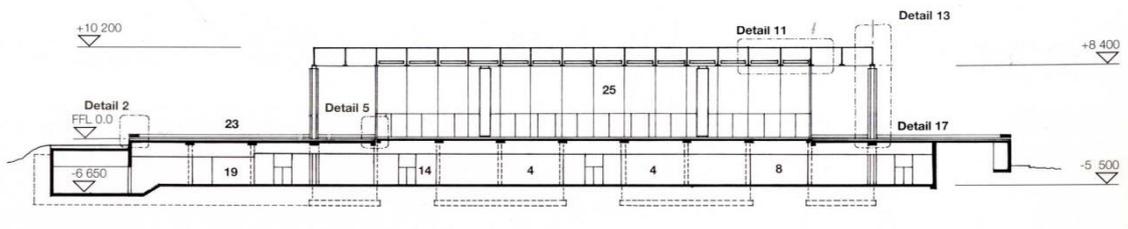
4.12 Junta de dilatación

Por otro lado al ser una planta sótano se encuentra rodeada por tres muros de contención. En el cuarto lado no hay muro por la existencia de un patio inglés al que se abre el sótano.



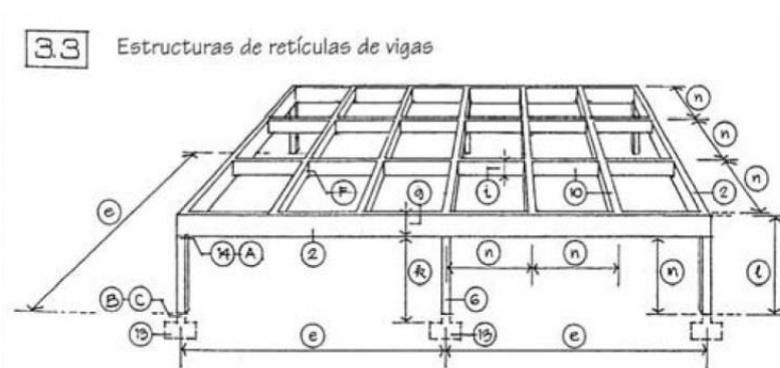
4.13 Sección por el patio

La cimentación está realizada con zapatas. Consta de una zapata corrida perimetral bajo el muro de sótano y de zapatas aisladas, combinadas y corridas bajo los pilares.



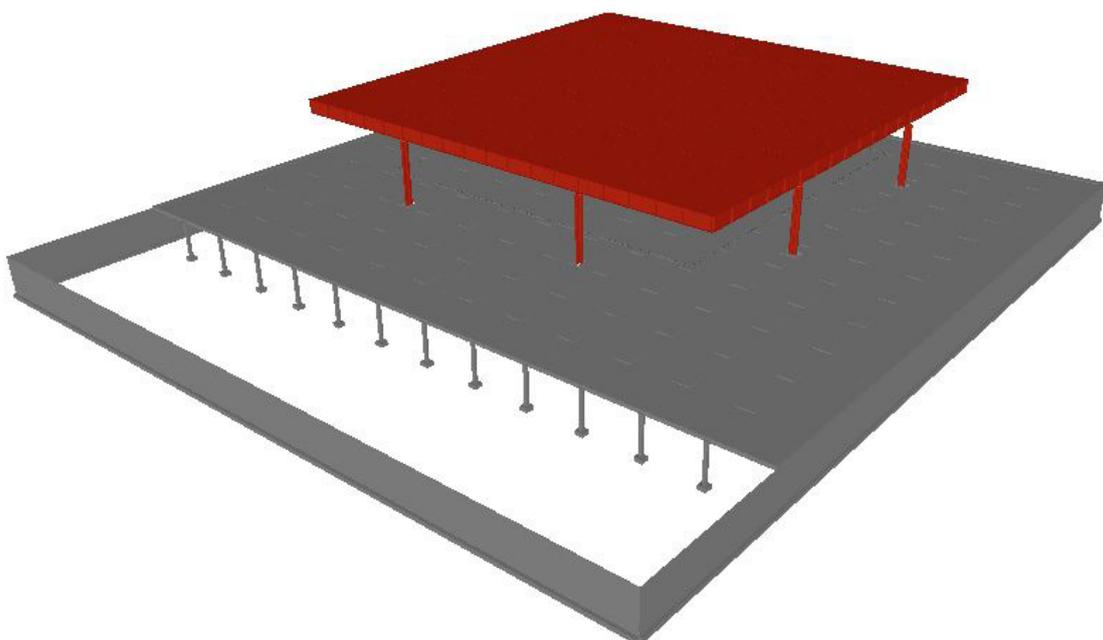
4.14 Sección por la cimentación corrida

El sistema estructural de la planta sótano se identifica con el modelo denominado por Engel "de sección activa", concretamente el de Estructuras de retículas de vigas (o forjado reticular). Es el mismo modelo estructural que en el caso de la cubierta ya que funcionan de la misma forma. Se trata de una losa nervada en la que son los nervios los que transmiten las fuerzas externas a través de tensiones internas en su sección actuando como pequeñas vigas.



4.15 Estructuras de retículas de vigas según Engel

## 5. MODELO ESTRUCTURAL



## 5. MODELO ESTRUCTURAL

Para poder analizar el comportamiento del edificio se modelizan sus elementos estructurales principales mediante una herramienta informática, el programa de análisis estructural por Elementos Finitos Architrave. Esta modelización supone una simplificación de la realidad, convirtiendo la estructura en elementos sencillos que permitan conocer de la forma más aproximada posible el comportamiento de la estructura.

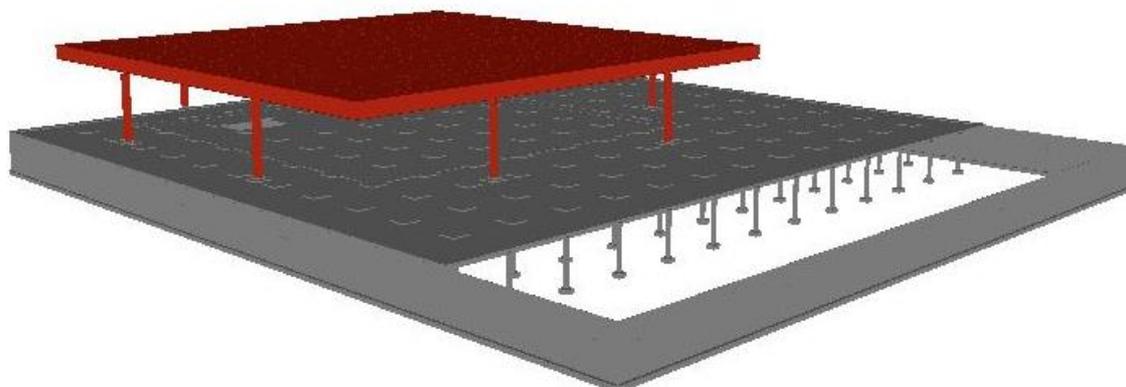
### 5.1 ELEMENTOS MODELIZADOS

Se modelizarán los elementos principales de cada nivel:

- En la cubierta:                      Emparrillado  
    Pilares cruciformes
- En la planta sótano:              Forjado reticular  
    Pilares  
    Muros de sótano  
    Cimentación

RESUMEN DE ELEMENTOS		Nudos	Elementos finitos	Barras
<b>Modelo global</b>		62919	66478	342
<b>Cubierta</b>	<b>Emparrillado</b>	50793	54936	-
	<b>Pilares cruciformes</b>	1904	1990	-
<b>Planta sótano</b>	<b>Forjado reticular</b>	8032	7612	196
	<b>Pilares</b>	292	-	146
	<b>Muros de sótano</b>	2328	1940	-

Tiempo de cálculo 3'25''



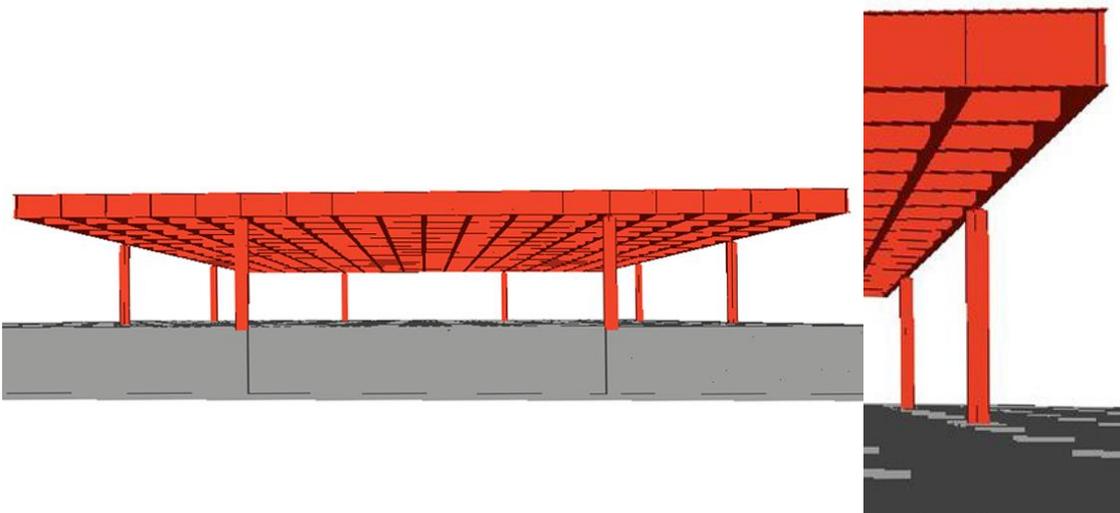
5.1 Vista general del conjunto



5.2 Vista frontal del edificio



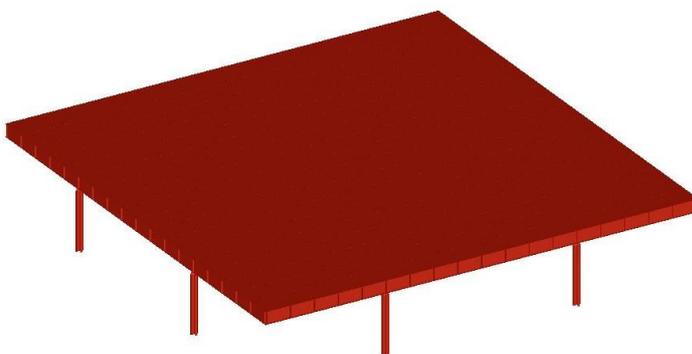
5.3 Cubierta real del edificio



5.4 Vistas del modelo del edificio

## 5.2 MODELIZACIÓN DE LA CUBIERTA

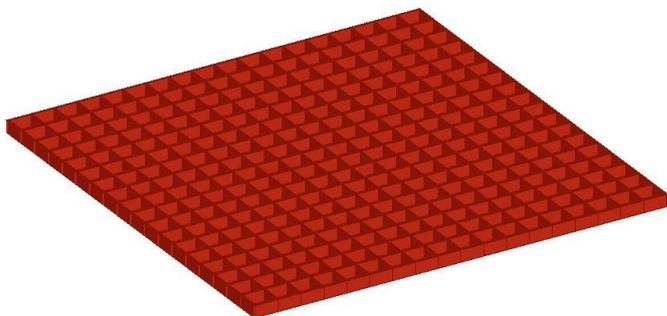
El acero más empleado en la estructura real es el ST 52-3, que equivale en Europa al acero S355, y que será el empleado en el modelo de la cubierta.



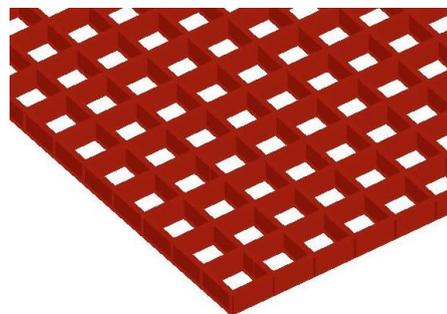
5.5 Vista general de la cubierta

### 5.2.1 EMPARRILLADO

En el forjado bidireccional de cubierta se han modelizado las vigas (alma y alas) y los elementos de cubrición con elementos finitos. Estos elementos finitos tienen un tamaño medio de 0,5m.



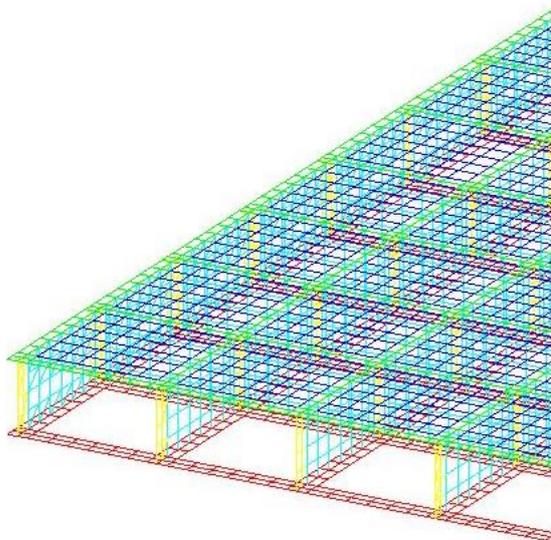
5.6 Emparrillado de vigas



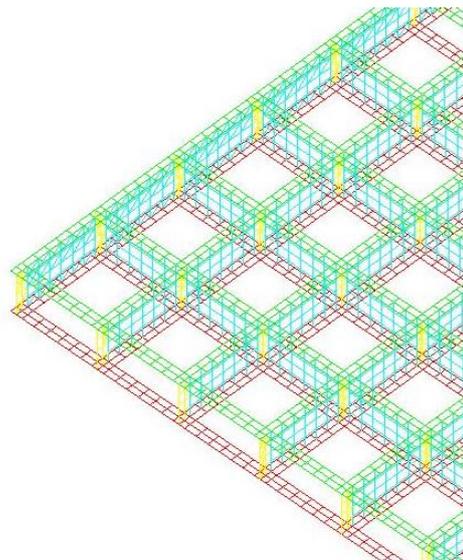
5.7 Detalle cubierta

Esta modelización de las vigas se debe a la gran sección del perfil, realizado en el edificio con chapas soldadas, difícilmente equiparable a los perfiles normalizados. Se simplifica la variación de espesores, según la zona, de alma y ala que tiene lugar en la realidad, optando por un espesor medio y uniforme de 12mm en el alma y 30 mm en las alas.

Los elementos de cubrición se modelizan mediante elementos finitos porque son elementos superficiales. De la misma forma que en las vigas, se escoge un espesor medio uniforme de 12mm para estos elementos de cubrición.



5.8 Detalle modelo alámbrico



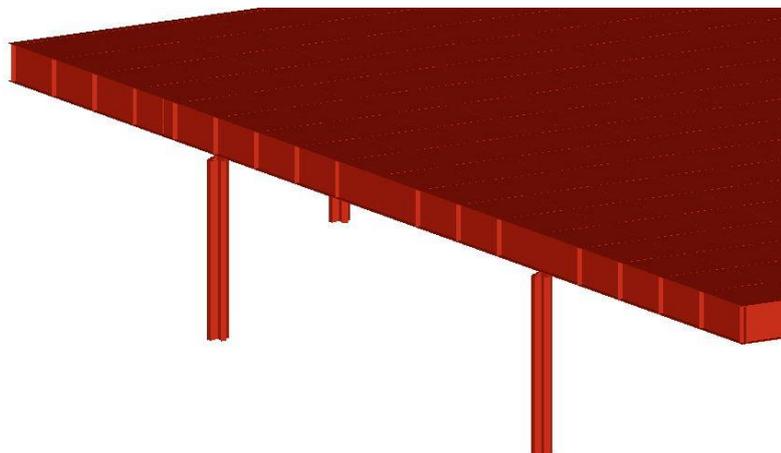
5.9 Detalle modelo alámbrico sin elemento de cubrición

## 5.2.2 PILARES CRUCIFORMES

Los pilares cruciformes también se han modelizado con elementos finitos tanto las alas como las almas, con un tamaño medio de 0,5m. Estos elementos superficiales componen cada una de las caras de la cruz, con un espesor de 30mm. La altura del soporte se ha contado desde el apoyo hasta el punto medio del forjado, quedando el soporte de 8.73m de altura.



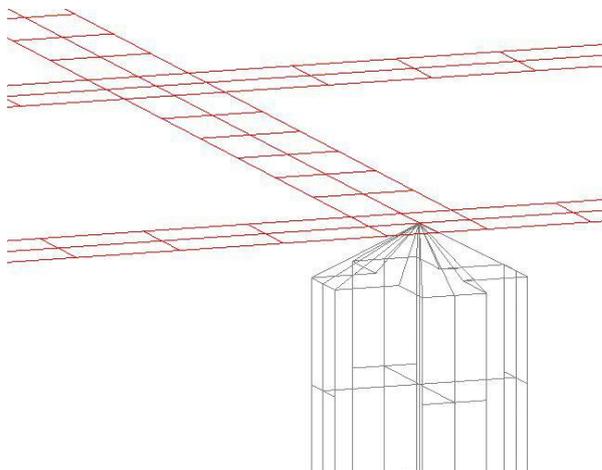
5.10 Detalle pilar



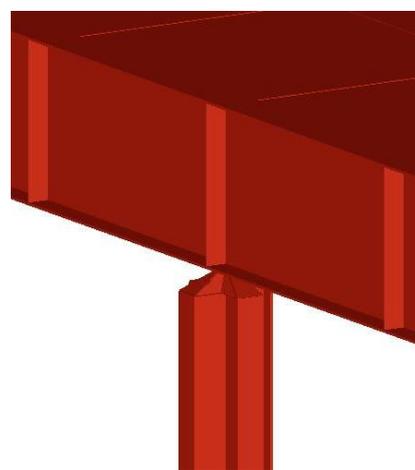
5.11 Pilares en la cubierta

Se ha simplificado la reducción de la sección que existe en la realidad, ya que esta era de 2 cm y su repercusión sería casi despreciable, modelizando el pilar con sección uniforme del tamaño de su base, siendo el ancho de su ala de 32cm.

En la parte superior los soportes se encuentran articulados con el forjado bidireccional de cubierta. Esta articulación se ha modelizado mediante la unión entre ambos elementos en un solo punto. Se han subdividido las superficies del ala inferior sobre el pilar para conseguir un punto de intersección central y se ha acabado el pilar en forma piramidal para crear un único nudo en ese punto.



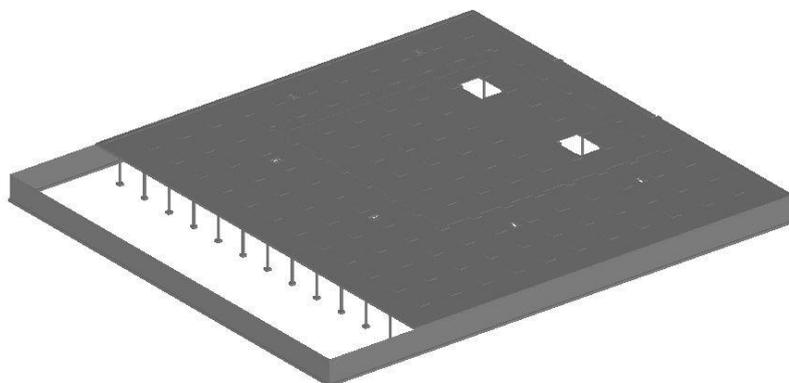
5.12 Detalle articulación



5.13 Detalle articulación sólida

### 5.3 MODELIZACIÓN DEL SÓTANO

El hormigón empleado en la estructura es el H-25, que será el empleado en el modelo de la planta de sótano.

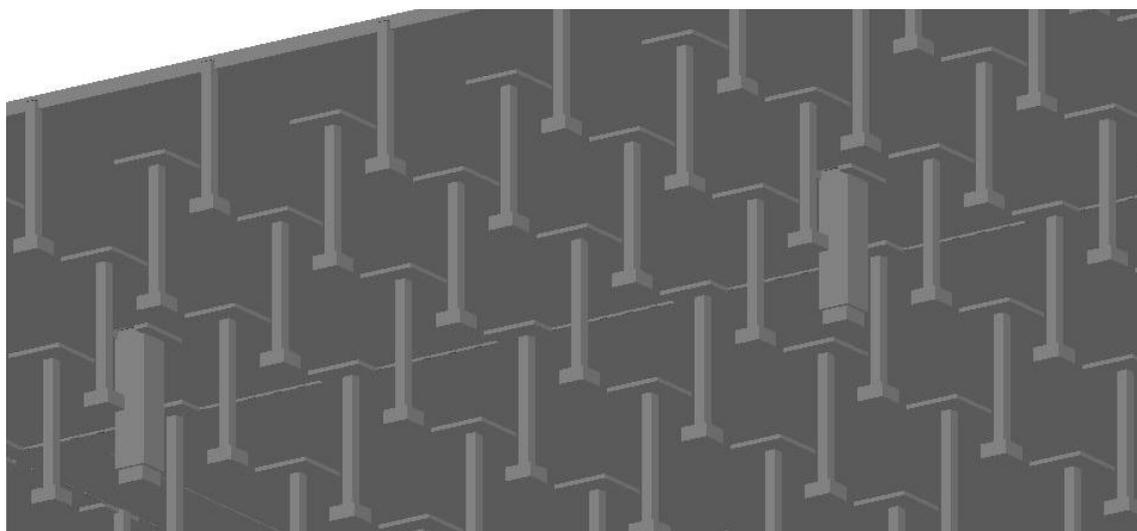


5.14 Vista general del sótano

#### 5.3.1 FORJADO RETICULAR

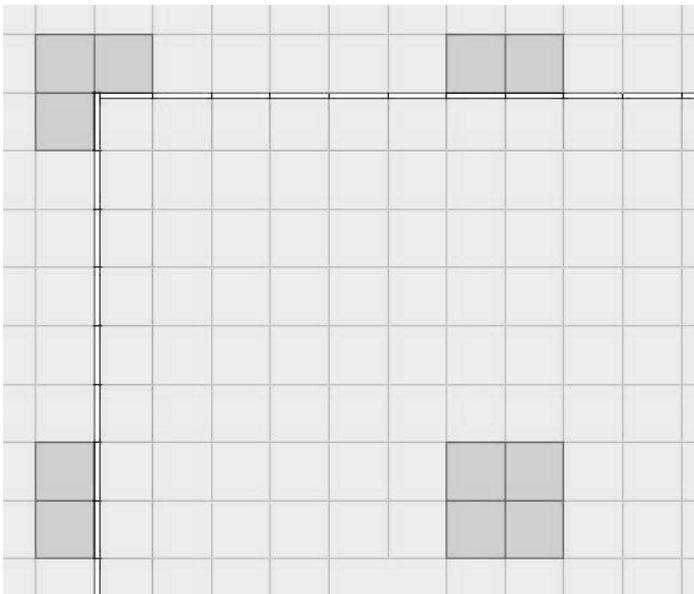
El forjado reticular se ha modelizado mediante elementos finitos, con un tamaño medio de 1m. La losa nervada se modeliza mediante una losa maciza en la que se ha reducido el canto del forjado, que era de 30cm, por un valor medio de 20 cm para simular la rigidez de los nervios.

A los ábacos generales se les ha asignado su espesor real, 50 cm. Los ábacos tronco piramidales que se encuentran bajo los pilares de cubierta se han simplificado mediante una sección escalonada, en la que se ha aumentado el espesor central hasta 1m de canto.

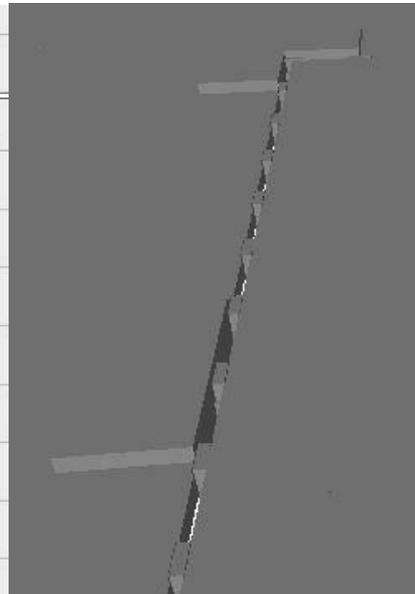


5.15 Vista cenital sótano

Este forjado tiene una junta de dilatación entre el interior y el exterior del edificio. Esta desconexión se ha modelizado dejando una separación entre ambos lados de la losa de 10cm y uniendo estas partes mediante barras de gran rigidez a las que se les deja libre el desplazamiento en x y el giro en z.



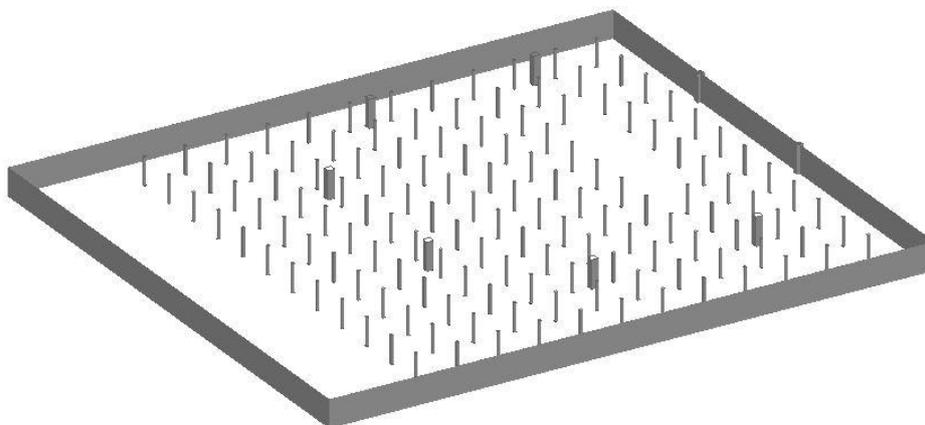
5.16 Junta de dilatación en planta



5.17 Junta de dilatación

### 5.3.2 SOPORTES

Los soportes se modelizan mediante barras, asignándoles una sección de hormigón de 40x40 cm, en los pilares generales, o de 120x120cm, en los que se encuentran bajo los pilares de cubierta. La altura de los pilares es de 4,91m a ejes de los forjados.

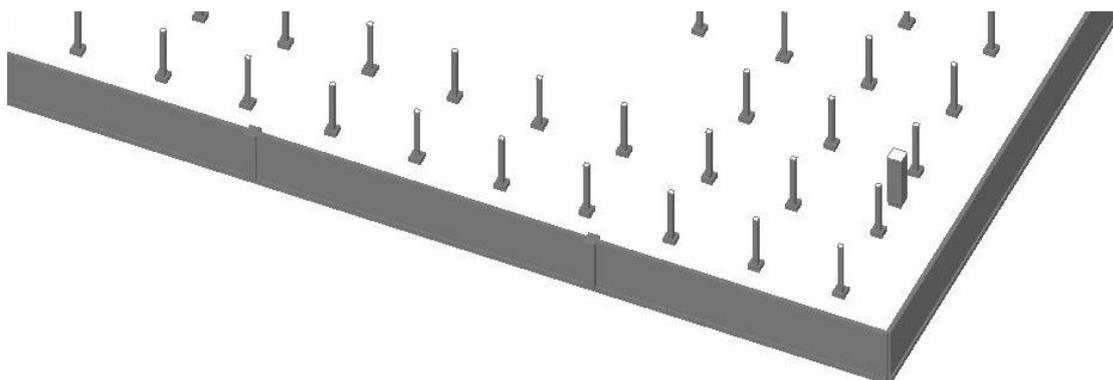


5.18 Soportes y muros de sótano

### 5.3.3 MUROS DE SÓTANO

Los muros perimetrales de sótano se han modelizado como elementos finitos con un tamaño medio de 1m. A estos elementos superficiales se les asigna un grosor de 40cm, con un regresamiento en el punto de apoyo de los pilares de cubierta, quedando un espesor de 1.2m en uno de los muros (alzado este).

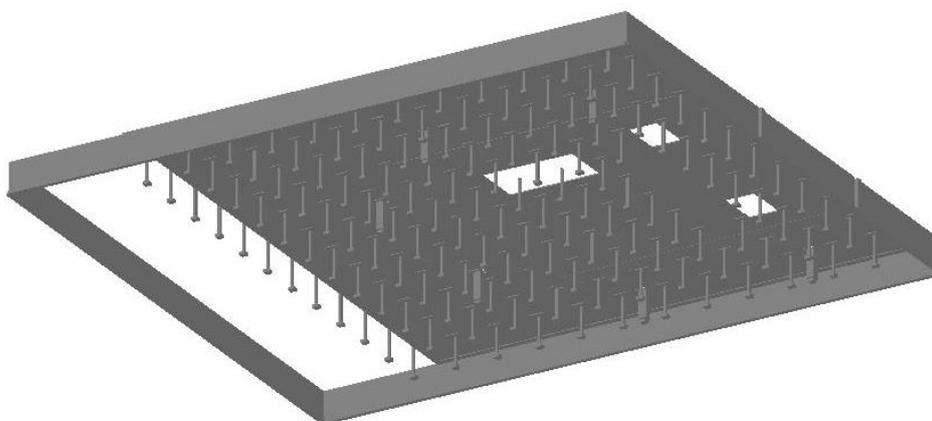
Se realiza una simplificación, no teniendo en cuenta los empujes del terreno, por lo que no se le aplican cargas horizontales.



5.19 Detalle regresamiento del muro

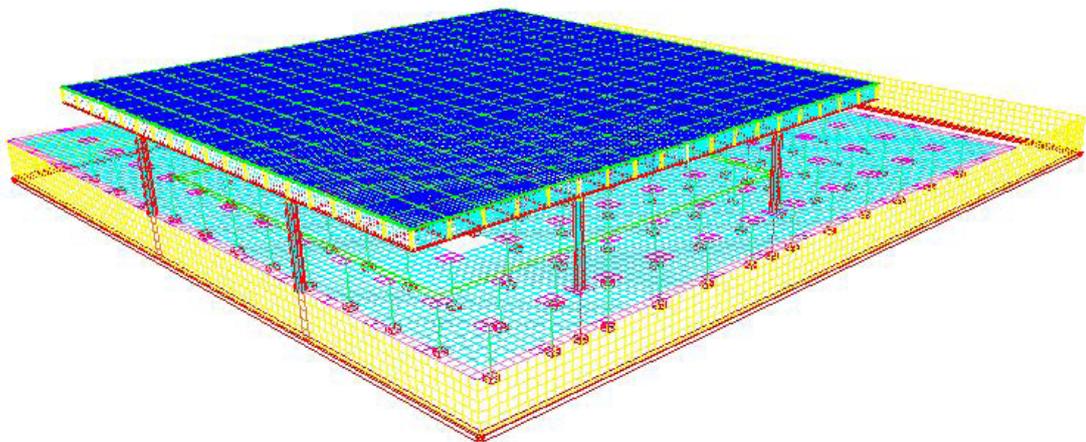
### 5.3.4 CIMENTACIÓN

El encuentro del muro con el suelo se ha modelizado mediante una zapata corrida. En el caso de los soportes se simplifican las zapatas combinadas modelizándolas mediante zapatas aisladas en la base de cada pilar, lo que equivale a un empotramiento en el cálculo de esfuerzos y desplazamientos de la estructura.



5.20 Vista cenital forjado

## 6. ASIGNACIÓN DE CARGAS



## 6. EVALUACIÓN DE CARGAS

Para realizar el cálculo de la estructura se le aplican al modelo un sistema de fuerzas que simulan las cargas reales del edificio. Se tendrán en cuenta los efectos provocados por el peso propio, las cargas permanentes de elementos constructivos, las sobrecargas de uso, la nieve y el viento.

La evaluación de las cargas se realiza según lo establecido en el Documento Básico SE-AE. Seguridad Estructural. Acciones en la edificación.

Las acciones en ambas plantas se han introducido como cargas superficiales verticales sobre los elementos finitos, a excepción de las cargas de viento que se han introducido como cargas horizontales puntuales a lo largo de la viga de cubierta, en su parte superior en las intersecciones con vigas transversales.

### 6.1 CARGAS PERMANENTES

#### 6.1.1 PESO PROPIO

El peso propio de los forjados se obtendrá mediante los datos del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

##### Cubierta

Vigas bidireccionales*	78.5 kN/m <sup>3</sup>
Elemento de cubrición*	78.5 kN/m <sup>3</sup>
Relleno de gravas	0.25 kN/m <sup>2</sup>
Instalaciones ligeras	0.25 kN/m <sup>2</sup>
TOTAL	0.5 kN/m <sup>2</sup>

##### Forjado reticular

Forjado reticular de hormigón (e<30cm)*	4 kN/m <sup>2</sup>
Instalaciones	0.5 kN/m <sup>2</sup>
Solera de hormigón	2 kN/m <sup>2</sup>
Pavimento de granito (5cm)	1,25 kN/m <sup>2</sup>
TOTAL	3.75 kN/m <sup>2</sup>

\*Pesos Evaluados automáticamente por el programa

## 6.2 CARGAS VARIABLES

### 6.2.1 SOBRECARGA DE USO

La sobrecarga de uso se considera según las cargas establecidas por el DBSE-AE en su apartado 3, Acciones Variables.

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

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

6.1 Tabla de valores característicos de las sobrecargas de uso

#### Cubierta

G Cubiertas accesibles únicamente para conservación

G1 Cubiertas con inclinación inferior a 20°                      1 kN/m<sup>2</sup>

#### Forjado reticular

El uso de la terraza será el mismo que el del espacio con el que comunica, por lo que toda la superficie de forjado reticular tendrá la misma sobrecarga de uso.

C Zonas de acceso al público

C3 Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas. Salas de exposición en museos.                      5 kN/m<sup>2</sup>

### 6.2.2 NIEVE

La sobrecarga de nieve será la misma para la cubierta y para la superficie del forjado reticular en contacto con el exterior.

Al encontrarnos en Berlín, los valores se obtienen del Eurocódigo 1. Acciones en las estructuras. Parte 1-3 (EN 1991-1-3).

El coeficiente de forma ( $\mu$ ) para cubiertas

Cubierta plana (<20°)  $\mu = 0.8$

El valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal ( $s_k$ )

Zona 4,5      Altitud 34-115m       $s_k = 0.875$

La acción de la nieve será:  $q_n = \mu \times s_k = 0.8 \times 0.875 = 0.7 \text{ kN/m}^2$

### 6.2.3 VIENTO

El viento solo influirá en el forjado de cubierta.

Se calculan las cargas de viento según lo establecido por el DBSE-AE en su apartado 3, Acciones Variables.

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

Presión dinámica del viento

$$q_b = 0.5 \text{ kN/m}^2$$

Simplificación en el territorio español

Coeficiente de exposición

$$C_e = 1.9$$

Grado de aspereza del entorno IV

Altura 12m

Coeficiente eólico o de presión

$$C_p = 0.7 \text{ kN/m}^2$$

Esbeltez del plano reducida

$$q_e = q_b \times C_e \times C_p = 0,665 \text{ kN/m}^2$$

Debido a la falta de datos de la norma Alemana y a la escasa relevancia de esta variable por tratarse de un edificio de una sola planta, tomaremos como acción del viento en las fachadas:  $1 \text{ kN/m}^2$

## 6.3 COMBINACIÓN DE CARGAS

### 6.3.1 HIPÓTESIS DE CARGA

Para el cálculo estructural, se han considerado las siguientes hipótesis de cargas, sin considerar las acciones accidentales.

Hipótesis 1 = Permanentes

Hipótesis 2 = Uso

Hipótesis 3 = Nieve

Hipótesis 4 = Viento

### 6.3.2 COMBINACIONES DE HIPÓTESIS Y COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Las combinaciones de hipótesis para situaciones persistentes o transitorias se determinan con la siguiente expresión:

$$\sum \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k1} + \sum \gamma_Q \psi_{0i} Q_{ki}$$

Siendo:

$G_k$ : Valor característico de las acciones permanentes.

$Q_{k,1}$ : Valor característico de la acción variable determinante.

$Q_{k,i}$ : Valor característico de las acciones variables concomitantes.

$\gamma_G$ : Coeficiente parcial de seguridad para acciones permanentes.

$\gamma_Q$ : Coeficiente parcial de seguridad para acciones variables

$\psi_{0,i}$ : Coeficiente de simultaneidad

Los valores de los coeficientes se obtienen de las tablas del Documento Básico SE-AE. Seguridad Estructural. Acciones en la edificación.

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

Tipo de verificación <sup>(1)</sup>	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	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
		desestabilizadora	estabilizadora
Estabilidad	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

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

6.2 Tabla de coeficientes parciales de seguridad para las acciones

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad ( $\psi$ )

	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes $\leq$ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

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

### 6.3 Tabla de coeficientes de simultaneidad

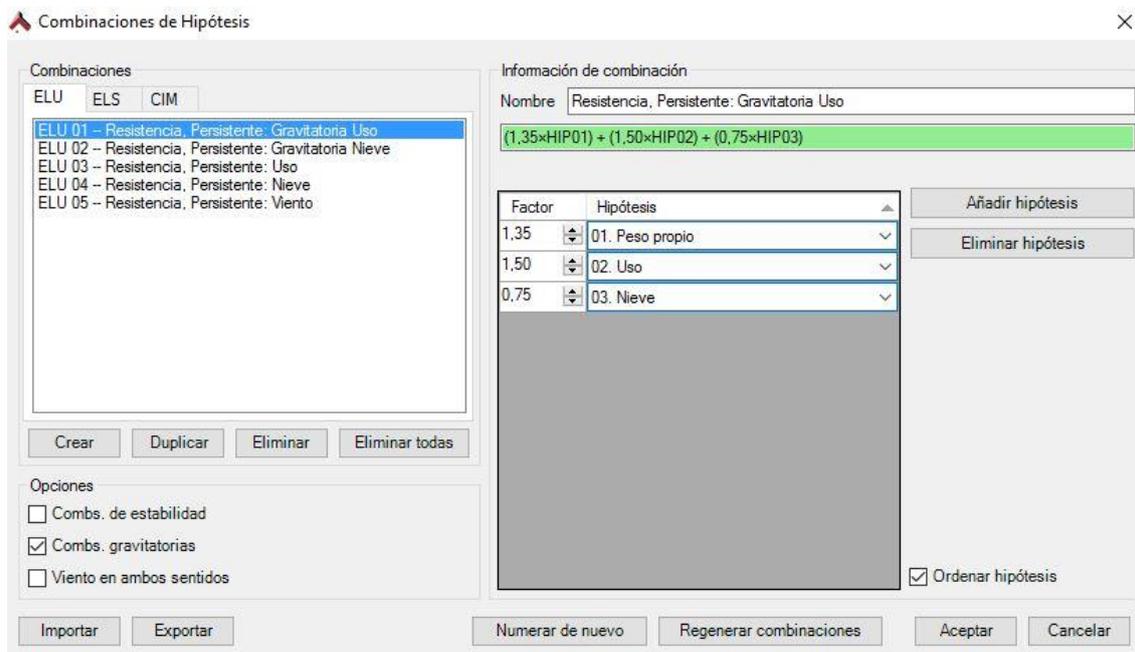
Las combinaciones persistentes resultantes en Estados Límites Últimos son:

ELU 01 = 1,35 x H1 + 1,5 x H2 + 1,5 x 0,5 x H3	Gravitatoria Uso
ELU 02 = 1,35 x H1 + 1,5 x 0,7 x H2 + 1,5 x H3	Gravitatoria Nieve
ELU 03 = 1,35 x H1 + 1,5 x H2 + 1,5 x 0,5 x H3 + 1,5 x 0,6 x H4	Uso
ELU 04 = 1,35 x H1 + 1,5 x 0,7 H2 + 1,5 H3 + 1,5 x 0,6 x H4	Nieve
ELU 05 = 1,35 x H1 + 1,5 x 0,7 H2 + 1,5 x 0,5 x H3 + 1,5 x H4	Viento

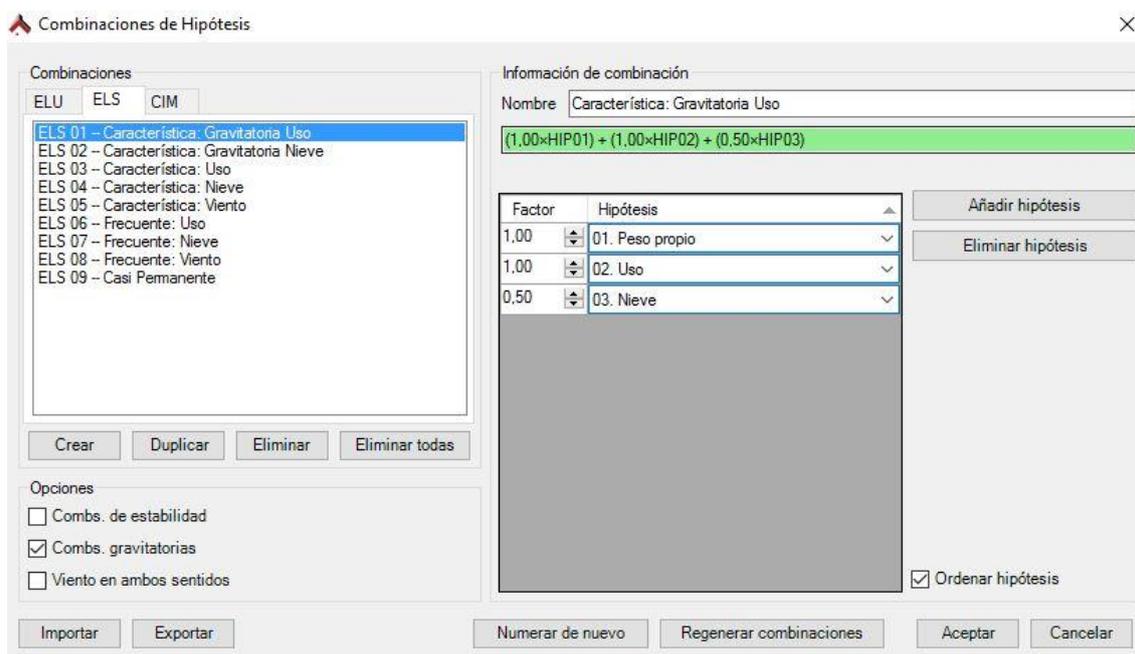
Las combinaciones características resultantes en Estados Límites de Servicio son:

ELS 01 = H1 + H2 + 0,5 x H3	Gravitatoria Uso
ELS 02 = H1 + 0,7 x H2 + H3	Gravitatoria Nieve
ELS 03 = H1 + H2 + 0,5 x H3 + 0,6 x H4	Uso
ELS 04 = H1 + 0,7 H2 + H3 + 0,6 x H4	Nieve
ELS 05 = H1 + 0,7 H2 + 0,5 x H3 + H4	Viento

A continuación se muestran dos ventanas, una de ellas de la combinación ELU 01 y la otra de la combinación ELS 01 del programa Architrave, para verificar la entrada de datos.

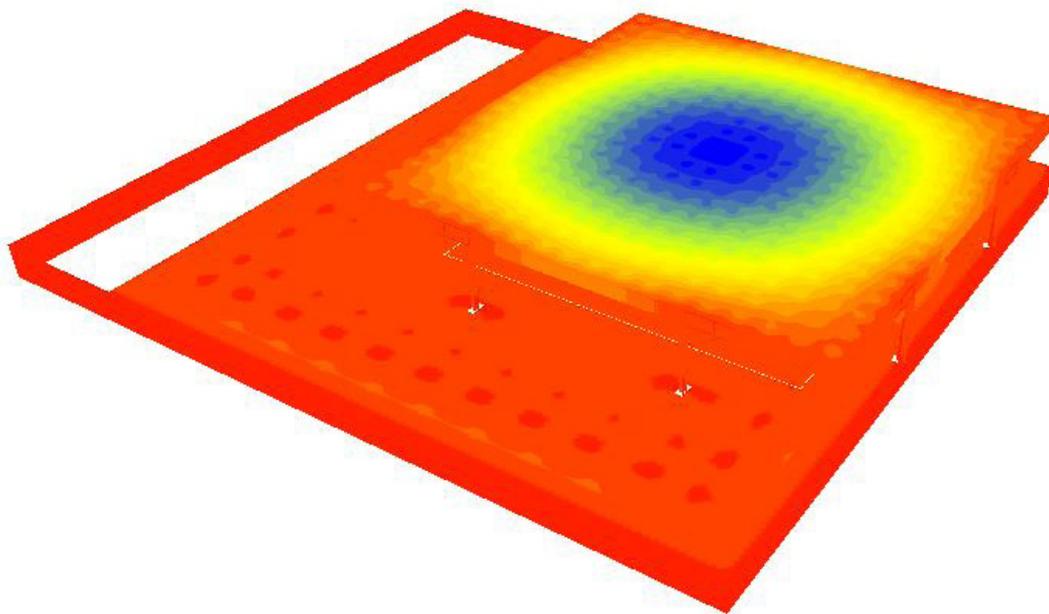


#### 6.4 Combinaciones de hipótesis ELU 01 en Architrave



#### 6.5 Combinaciones de hipótesis ELS 01 en Architrave

## 7. ANÁLISIS ESTRUCTURAL



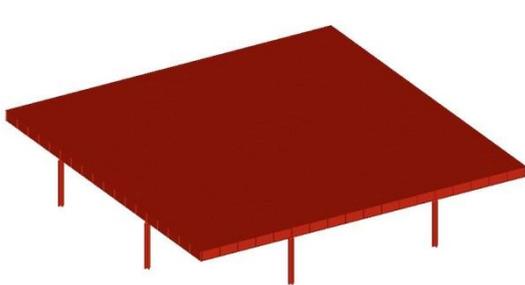
## 7. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El cálculo se realiza mediante el programa de análisis estructural por Elementos Finitos en régimen elástico Architrave. En primer lugar se analiza el comportamiento por plantas y a continuación el comportamiento global del edificio. En ambos casos se utilizarán los Estados Límite Últimos o los Estados Límite de Servicio según se trate, respectivamente, de comprobaciones de carácter resistente o de deformaciones.

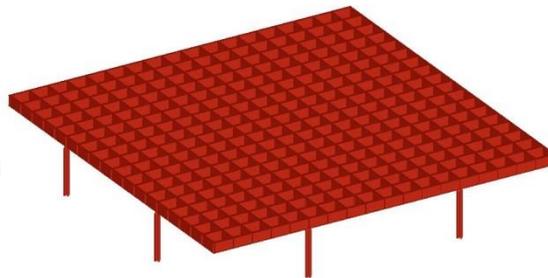
### 7.1 ANÁLISIS DE LA CUBIERTA

Para analizar la cubierta se tienen en cuenta sus deformaciones y las tensiones de las vigas. Al ser una cubierta con una gran longitud de vano y con grandes voladizos se compararán sus desplazamientos verticales con los admisibles por el CTE. La retícula de vigas permite que se estudien tres vigas tipo para saber si las tensiones generales de la cubierta son inferiores a las que resiste el material, es decir, su límite elástico que en este caso tiene un valor de  $355\text{N/mm}^2$ . También incluye el análisis de las tensiones de los soportes cruciformes.

#### Modelo sólido



7.1 Modelo Cubierta



7.2 Modelo Cubierta sin elemento de cubrición

#### 7.1.1 DEFORMACIONES

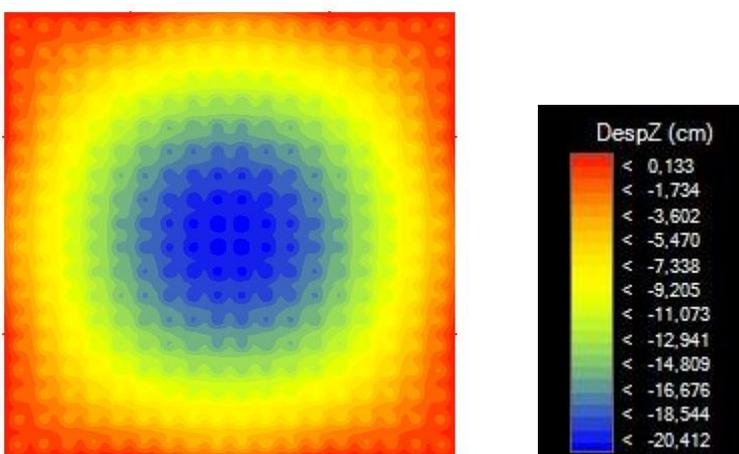


7.3 Deformación cubierta en axonometría (ELS Combinación Característica: gravitatoria uso)



7.4 Deformación cubierta en alzado (ELS Combinación Característica: gravitatoria uso)

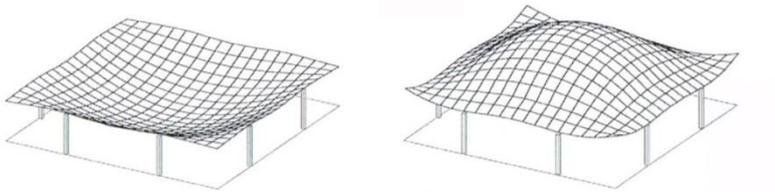
Para comprobar el descenso vertical en el centro de vano se analiza la deformación vertical de la cubierta en ELS para la Combinación Característica: gravitatoria uso. Este desplazamiento pese a ser global de toda la estructura, se puede estudiar como propio de la cubierta al ser la parte perteneciente a la planta sótano muy reducida.



7.5 Desplazamientos verticales (Dz) (ELS Combinación Característica: gravitatoria uso)

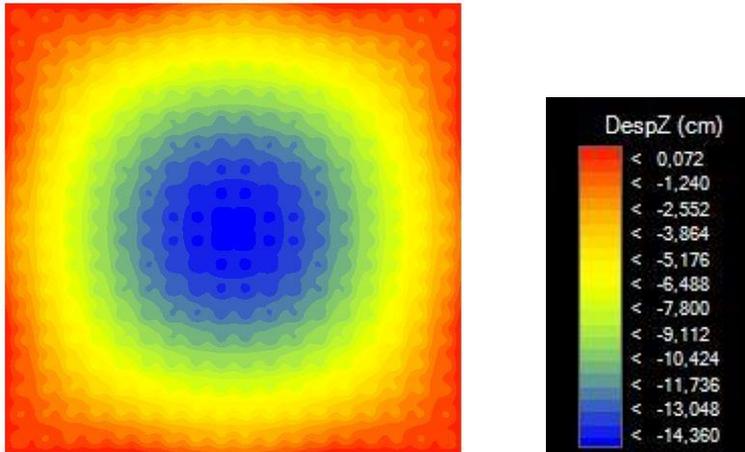
Se puede observar en el diagrama como el descenso sobre la zona de pilares es muy reducido, de un máximo de 0.13cm, correspondiente al acortamiento de la planta sótano y los pilares de cubierta, corroborando que las deformaciones pertenecen a la cubierta. En el centro de vano la deformación llega a un valor de 20.412cm (zona azul) y se observan valores medios de 10cm (zona amarilla) en casi toda la superficie central.

Esta deformación se debe a la gran luz que cubren las vigas bidireccionales, de 64.8m. La limitación de flechas más desfavorable según el Documento Básico de Seguridad Estructural DBSE es 1/500 de la luz. En este caso la flecha máxima admisible sería de 13cm, siendo mayor que el valor medio de la cubierta pero inferior al valor máximo de centro de vano. Para corregir esta excesiva deformación Mies le aplica a la cubierta una contraflecha que no ha sido tenida en cuenta en el modelo.



7.6 Deformaciones elásticas de la cubierta de acero y contraflecha previstas.

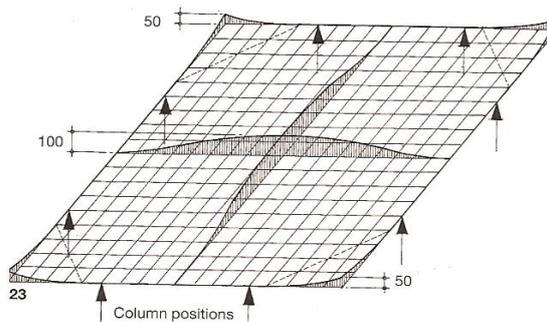
Para comparar el valor usado en la contraflecha, analizamos los desplazamientos verticales producidos por el peso propio.



7.7 Desplazamientos verticales (Dz) (Hipótesis de Peso Propio)

Se observa como el desplazamiento máximo se ha reducido a 14.36cm. La contraflecha aplicada por Mies en el centro del vano era de 10cm (imagen 7.8), lo que representa el 75% de la deformación producida por las cargas de peso propio consideradas en este modelo.

Además introdujo una contraflecha en las esquinas de los voladizos, siendo el valor del descenso en el modelo en estos puntos de 0.3cm. Mies aumenta la contraflecha hasta 5 cm, con el objetivo de corregir el efecto de perspectiva de la cubierta. Al ser un edificio de tales magnitudes, bajo el punto de vista frontal del espectador la línea de cubierta fugará hacia la línea de horizonte, pero al elevar los voladizos más de lo necesario por flecha, el gran voladizo quedará recto a la vista.

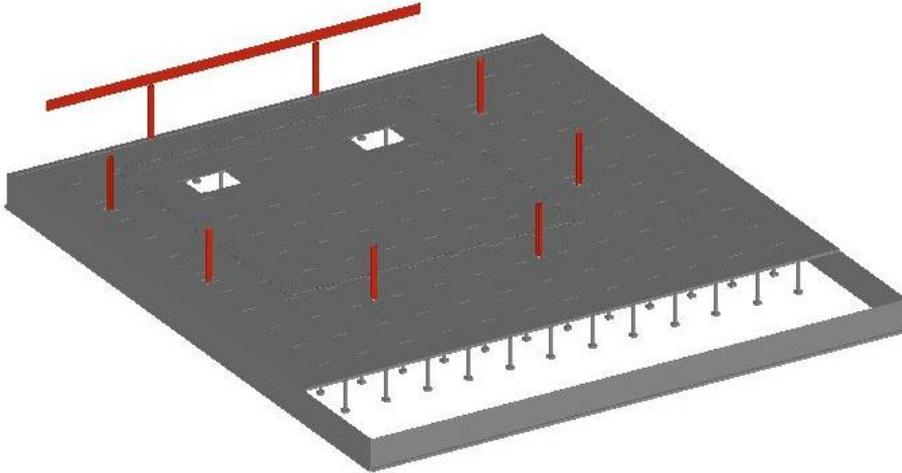


7.8 Contraflechas de la cubierta de Mies

### 7.1.2 TENSIONES

Para ver el comportamiento tensional de la estructura se estudia el alma de tres vigas de la cubierta: la de borde, la central, y una viga entre pilares.

#### Viga de borde



7.9 Situación de la viga de borde analizada



7.10 Tensiones Sx Viga de borde (Envolvente ELU)

Se observa como las tensiones negativas máximas se concentran en los apoyos llegando a 290,67 N/mm<sup>2</sup>. Este valor se quedaría próximo al límite elástico del edificio que es 355N/mm<sup>2</sup>.

Las tensiones de la arista inferior son mayores que las de la arista superior porque en la inferior sólo está el ala del perfil mientras que en la superior interviene toda la chapa de la cubierta, por lo que hay más superficie para repartir los esfuerzos. Por otro lado, las discontinuidades verticales se deben a las vigas transversales que cruzan el alma. Estos dos efectos tienen lugar en el resto de vigas y ocurren por la misma razón, por lo que todo lo dicho es válido en el resto de diagramas.

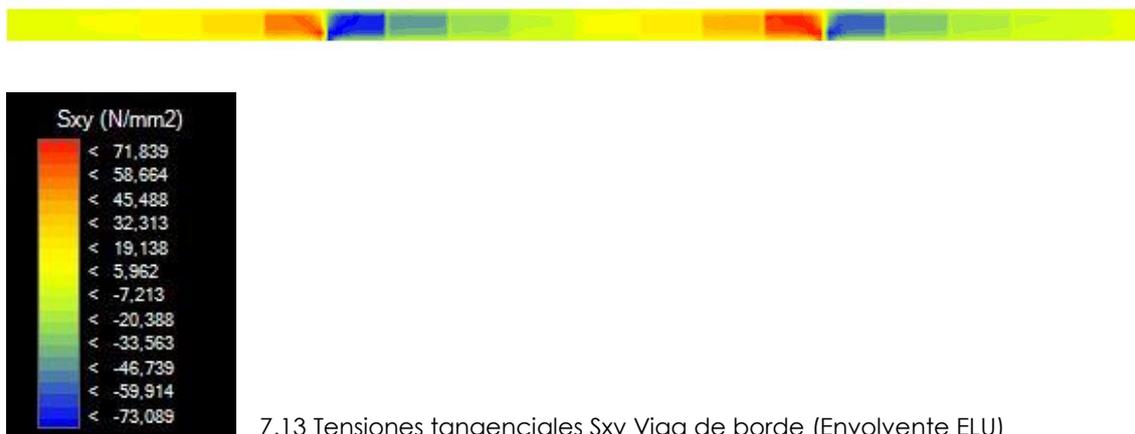
Para poder ver mejor como se distribuyen las tensiones en la viga se eliminan los apoyos del diagrama.



Las tensiones en la parte superior de la viga son de compresión en el centro de vano, de valor  $-74.36\text{N/mm}^2$ , y de tracción en los apoyos, llegando a  $60.36\text{N/mm}^2$ . Al contrario sucede en la parte inferior de la viga en la que las tensiones son negativas en los apoyos, con un valor de  $-181.51\text{N/mm}^2$ , y positivas en el centro del vano, con  $85.8\text{N/mm}^2$ . Las tensiones se aproximan a cero al llegar a los extremos de los voladizos en el eje de la viga.



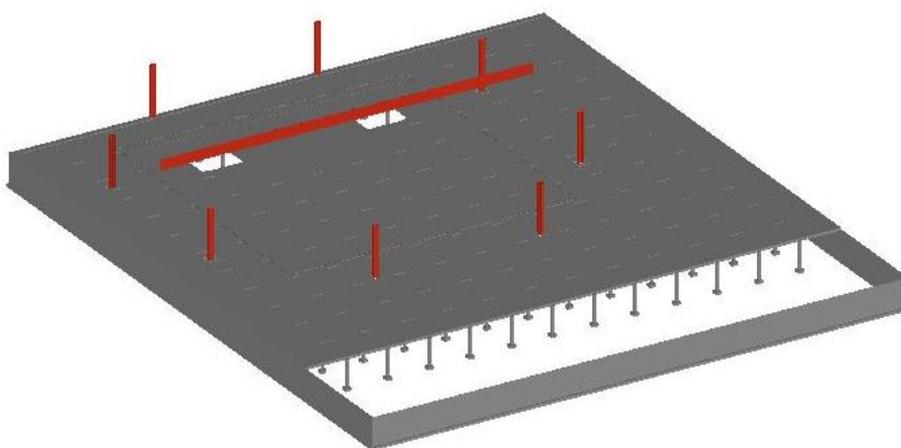
Las tensiones principales siguen un diagrama similar al de tensiones Sx. Los valores de compresión de la parte superior de la viga disminuyen, de un valor de  $-74.36\text{N/mm}^2$  a uno de  $-3.70\text{N/mm}^2$ , debido a la colaboración de los elementos de cubrición con las alas superiores. Sin embargo el momento negativo en el apoyo disminuye de  $-181.51\text{N/mm}^2$  hasta  $-58.48\text{N/mm}^2$ . Las tensiones positivas de la parte inferior de la viga se mantienen con los mismos valores de  $85.87\text{N/mm}^2$ .



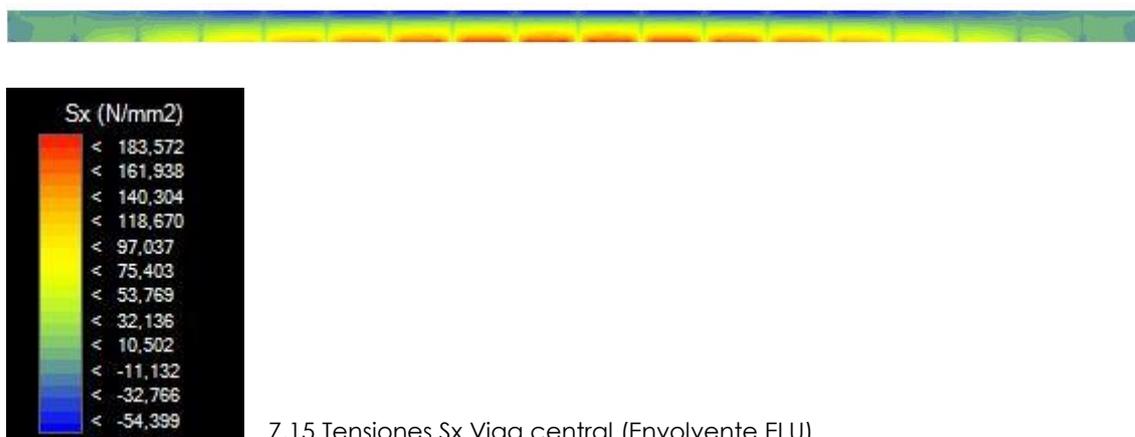
7.13 Tensiones tangenciales Sxy Viga de borde (Envolvente ELU)

Las tensiones tangenciales cambian de signo en el apoyo por la reacción del pilar, pasando de 71.83N/mm<sup>2</sup> a la izquierda a -73.08N/mm<sup>2</sup> a la derecha.

Viga central



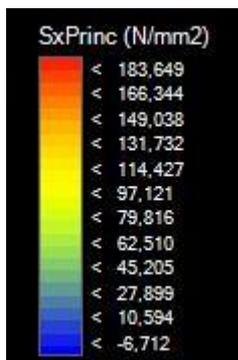
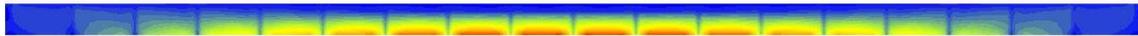
7.14 Situación de la viga central analizada



7.15 Tensiones Sx Viga central (Envolvente ELU)

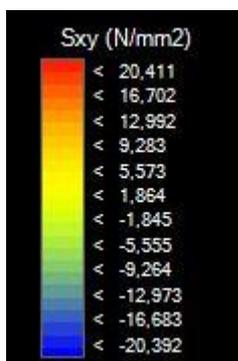
La viga central se comporta como una viga biapoyada, pese a no tener un apoyo directo en un pilar. En los extremos el valor de las tensiones es prácticamente nulo, con valores medios de  $5\text{N/mm}^2$ . En la zona central del vano las tensiones superiores son negativas, con un valor máximo de  $-54,40\text{N/mm}^2$ , y las inferiores positivas, llegando a  $183,57\text{N/mm}^2$ .

Las tensiones de la viga son menores que el límite elástico del acero utilizado,  $355\text{N/mm}^2$ .



7.16 Tensiones SxPrinc Viga central (Envolvente ELU)

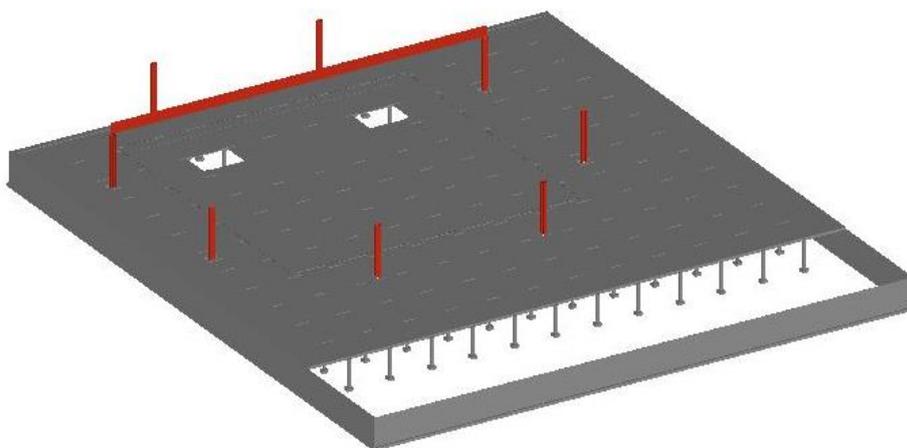
Las tensiones principales siguen un diagrama semejante de las tensiones Sx pero disminuyendo sus compresiones en la parte superior, de un valor de  $-54,40\text{N/mm}^2$  a uno de  $-6,71\text{N/mm}^2$ . Esto se debe a la colaboración con el ala superior de los elementos de cubrición. En la parte inferior de la viga los momentos se mantienen con el mismo valor,  $183,65\text{N/mm}^2$ .



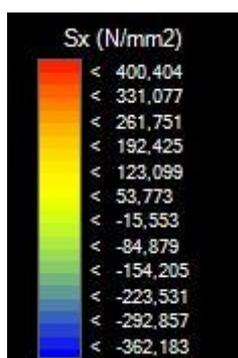
7.17 Tensiones tangenciales Sxy Viga central (Envolvente ELU)

Las tensiones tangenciales cambian de valores negativos ( $-20,39\text{N/mm}^2$ ) a positivos ( $20,41\text{N/mm}^2$ ) de extremo a extremo. Como esta viga no apoya en ningún elemento vertical, las tensiones tangenciales se las transmiten las vigas transversales.

### Viga entre pilares



7.18 Situación de la viga entre pilares analizada



7.19 Tensiones Sx Viga entre pilares (Envolvente ELU)

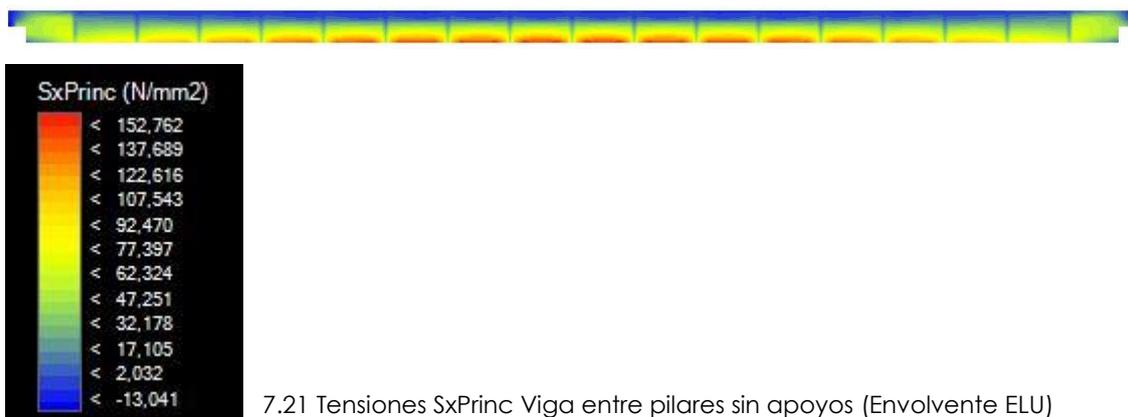
Se observa como las tensiones negativas y positivas máximas se concentran en los apoyos sobre el pilar, llegando a los 400N/mm<sup>2</sup> en tracciones y a -362N/mm<sup>2</sup> en compresiones. Estas tensiones en los puntos de apoyo son superiores al límite elástico del acero utilizado, 355N/mm<sup>2</sup>.

Para poder ver mejor como se distribuyen las tensiones en la viga se eliminan los apoyos del diagrama.

Desactivadas las zonas de los apoyos con las tensiones máximas podemos observar como la viga trabaja como un elemento biarticulado, de forma análoga a la viga central. Las tensiones máximas se encuentran en el centro del vano, llegando a un valor de 152.70N/mm<sup>2</sup> en tensiones de tracción y de -42.36N/mm<sup>2</sup> en compresión.



7.20 Tensiones Sx Viga entre pilares sin apoyos (Envolvente ELU)



7.21 Tensiones SxPrinc Viga entre pilares sin apoyos (Envolvente ELU)

Las tensiones principales siguen un diagrama similar que las tensiones Sx. Las tensiones de compresión en la parte superior de la viga disminuyen debido a la colaboración de los elementos de cubrición con el ala superior. Estas compresiones paran de un valor de -42.36 N/mm<sup>2</sup> a uno de -2.61 N/mm<sup>2</sup>. En la parte inferior de la viga los momentos se mantienen con el mismo valor, 152.76N/mm<sup>2</sup>.



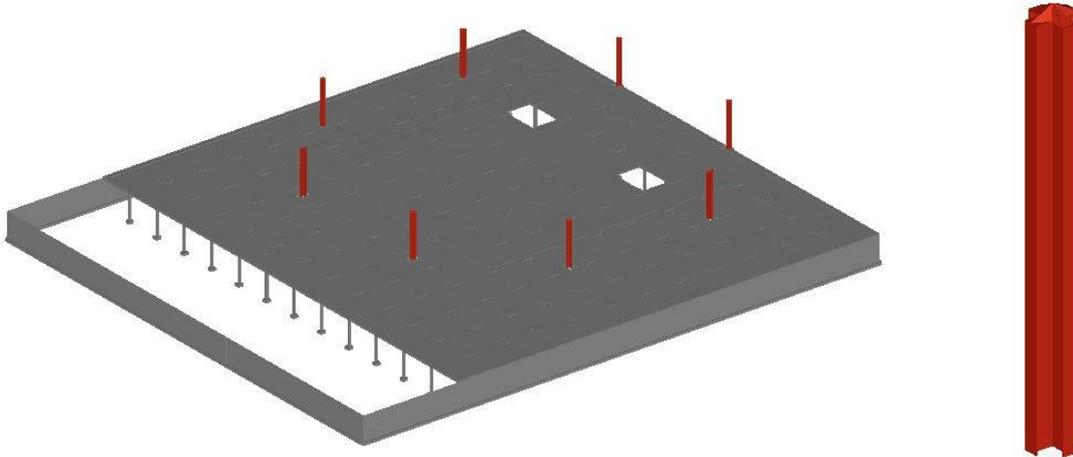
7.22 Tensiones tangenciales Sxy Viga central (Envolvente ELU)

Las tensiones tangenciales cambia de valores negativos (-78.97N/mm<sup>2</sup>) a positivos (75.98N/mm<sup>2</sup>) de extremo a extremo. Como esta viga apoya sobre dos soportes en sus extremos, las tensiones tangenciales en este punto son mucho mayores que en el resto de la viga.

### 7.1.3 PILARES

En los pilares cruciformes de cubierta se estudian las tensiones de sus almas y alas. Debido a su diseño, el cual les dota de una amplia superficie para repartir los esfuerzos, estos son capaces de soportar grandes tensiones y pese a ser una cubierta tan grande los ocho pilares son capaces de sustentarla.

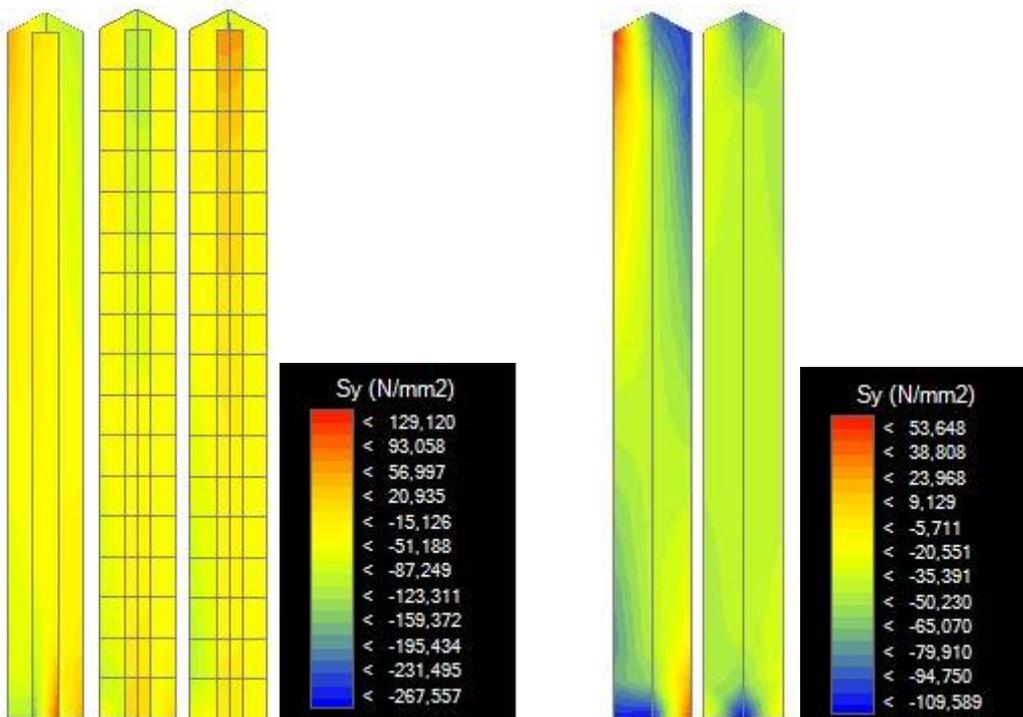
#### Modelo sólido



7.23 Modelo Pilares de cubierta

7.24 Modelo Detalle pilar de cubierta

#### Tensiones



7.25 Tensiones  $S_y$ . Soporte de cubierta con ala vista lateral, vista frontal interior y vista frontal exterior y sólo almas vista lateral y vista frontal (de izquierda a derecha) (Envolvente ELU)

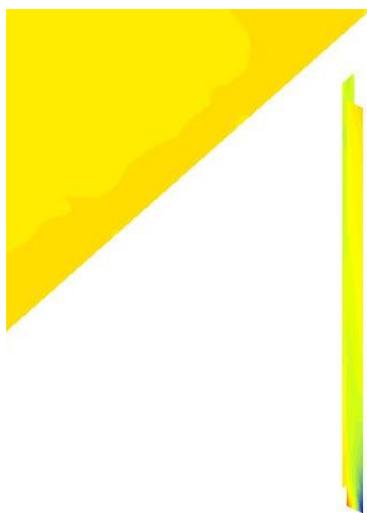
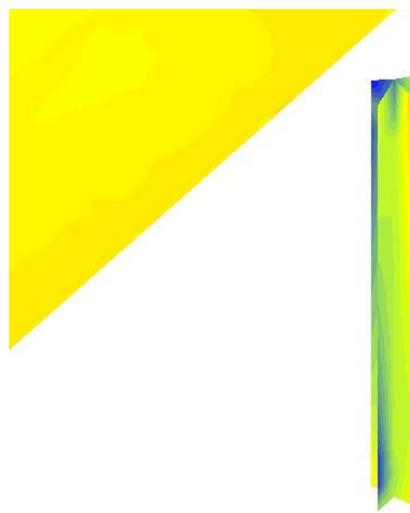
Las mayores tensiones se encuentran en el ala del soporte, siendo las tensiones en el alma del orden de la mitad de su magnitud. La distribución de tensiones depende de la situación del ala o alma en la planta del edificio.

En las alas perpendiculares a la fachada en que se sitúa el soporte se producen compresiones con un valor máximo de  $-160\text{N/mm}^2$  y tracciones hasta  $110\text{N/mm}^2$  en la base de ambas secciones, manteniéndose el resto con una tensión media de  $30\text{N/mm}^2$ . (Imagen 7.25 Soporte de cubierta con ala vista lateral).

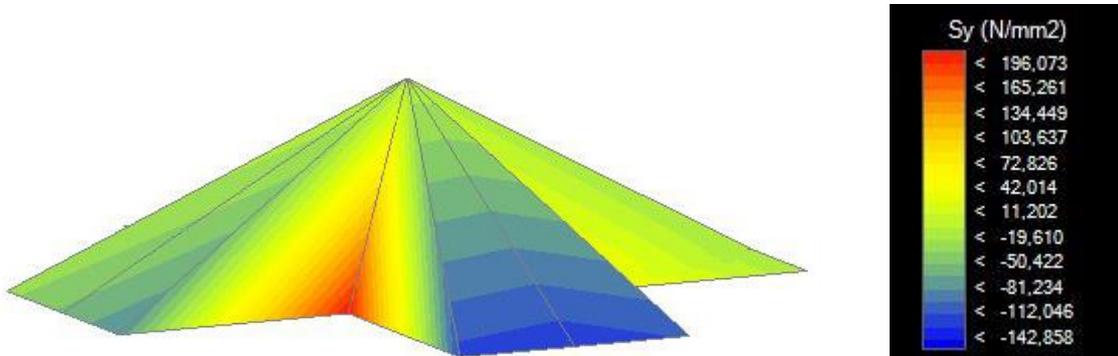
En las alas paralelas a la fachada en que se sitúa el soporte en el ala exterior se producen tracciones que alcanzan  $64\text{N/mm}^2$  en la sección superior de esta y compresiones de hasta  $-12\text{N/mm}^2$  en la sección inferior. (Imagen 7.25 Soporte de cubierta con ala vista frontal exterior). En el ala interior ocurre lo contrario, compresiones ( $-100\text{N/mm}^2$ ) en la sección superior y tracciones ( $17\text{N/mm}^2$ ) en la inferior. (Imagen 7.25 Soporte de cubierta con ala vista frontal interior).

Para entender el cambio de signo de las tensiones en ambas caras del soporte hay que pensar que los desplazamientos horizontales producidos en el extremo superior del soporte generan flexión en el extremo inferior. Dada la bidireccionalidad de la estructura estos momentos flectores se producen en los dos ejes aunque con distintos valores. Puesto que además la envolvente de ELU tiene en cuenta los valores más desfavorables de las distintas combinaciones, con la participación del viento en algunas de ellas, es difícil explicar la procedencia de algunos de los valores como las tracciones en una de las alas del extremo superior del soporte.

Las almas que se encuentran perpendiculares a la fachada tienen sollicitaciones de compresión ( $-94\text{N/mm}^2$ ) y tracción ( $53\text{N/mm}^2$ ) en la sección superior y las contrarias en la base (compresión  $-109\text{N/mm}^2$  y tracción  $47\text{N/mm}^2$ ). (Imagen 7.25 Soporte de cubierta solo alma vista lateral). Las almas paralelas a la fachada tienen tensiones de compresión de  $-80\text{N/mm}^2$  en coronación y hasta  $-109\text{N/mm}^2$  en la base. (Imagen 7.25 Soporte de cubierta solo alma vista lateral).

7.26 Tensiones  $S_y$  en las alas (Envolvente ELU)7.27 Tensiones  $S_y$  en las almas (Envolvente ELU)

La transmisión de tensiones del emparrillado de vigas al pilar se concentra en la articulación que lo corona. Por esta razón las tensiones son elevadas debido a la concentración de carga en un punto, que en el modelo representa la articulación.



7.28 Tensiones Sy. Detalle coronación soporte de cubierta (Envolvente ELU)

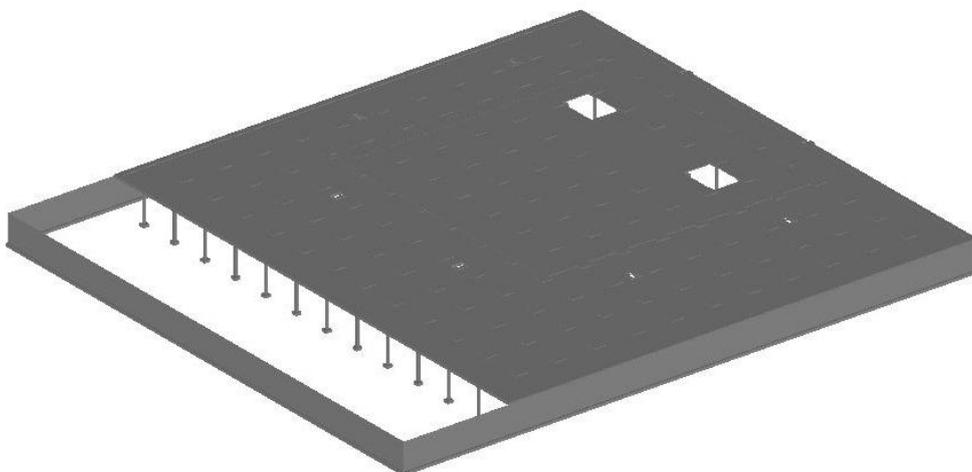
Las tensiones llegan a valores de  $196\text{N/mm}^2$  en tracción y  $-142\text{N/mm}^2$  en compresión.

Todas las tensiones del pilar se encuentran por debajo del límite elástico del acero utilizado, que es de  $355\text{N/mm}^2$ , siendo inferiores además para el límite del acero más utilizado hoy en día que es el S275.

## 7.2 ANÁLISIS DEL FORJADO RETICULAR

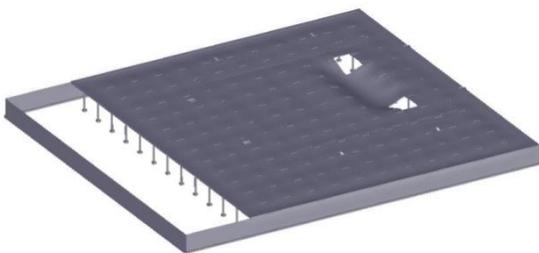
El análisis del forjado reticular de planta sótano incluye el estudio de sus deformaciones y de los isovalores de momentos. Al tratarse de un forjado modulado su comportamiento será uniforme a excepción de las zonas de discontinuidad de la retícula. También incluye el análisis de los diagramas de pilares de hormigón y su dimensionado, y las tensiones del muro de sótano.

### Modelo sólido



7.29 Modelo planta sótano

### 7.2.1 DEFORMACIONES



7.30 Deformación sótano en axonometría  
(ELS Combinación Característica: gravitatoria uso)

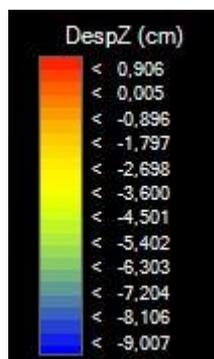
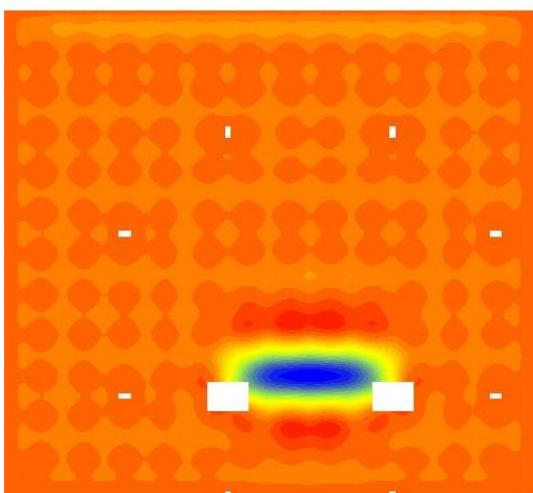


7.31 Deformación forjado en axonometría  
(ELS Combinación Característica: gravitatoria uso)



7.32 Deformación forjado reticular en alzado

Podemos ver en la deformada que el mayor descenso vertical se encuentra en la zona de omisión de pilares. Para comprobar su valor se analiza el desplazamiento vertical en ELS para la Combinación Característica: gravitatoria uso. Este valor, al ser la planta más baja del edificio, es íntegro de la planta sótano.

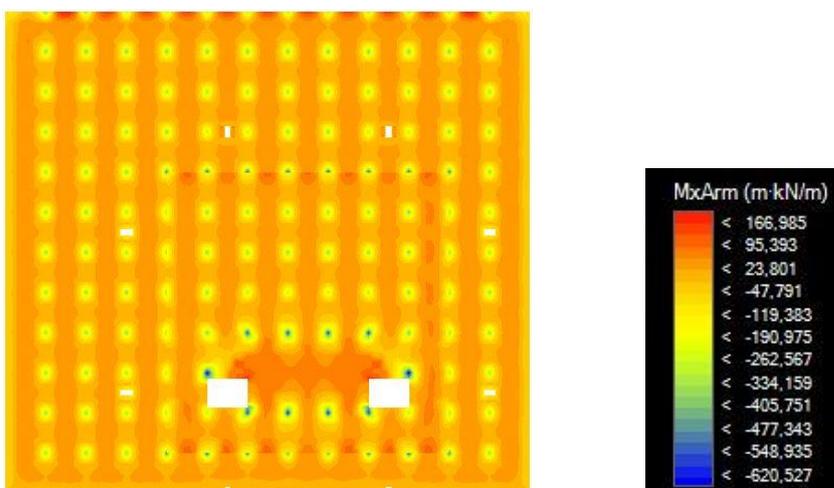


7.33 Desplazamientos verticales (Dz) (ELS Combinación Característica: gravitatoria uso)

Se puede observar en el diagrama como el descenso en la zona de omisión de pilares llega a 9cm (zona azul), además esto provoca un ascenso del forjado en el vano adyacente de 0.9cm (zona roja). Según el Documento Básico de Seguridad Estructural, la flecha admisible es de  $1/500$  la longitud de vano, siendo en este caso  $1440/500=2.88\text{cm}$ , límite superado por la flecha máxima. Por lo tanto, esta zona debería ser reforzada, aunque en el modelo se mantiene con las mismas secciones que el resto de la planta.

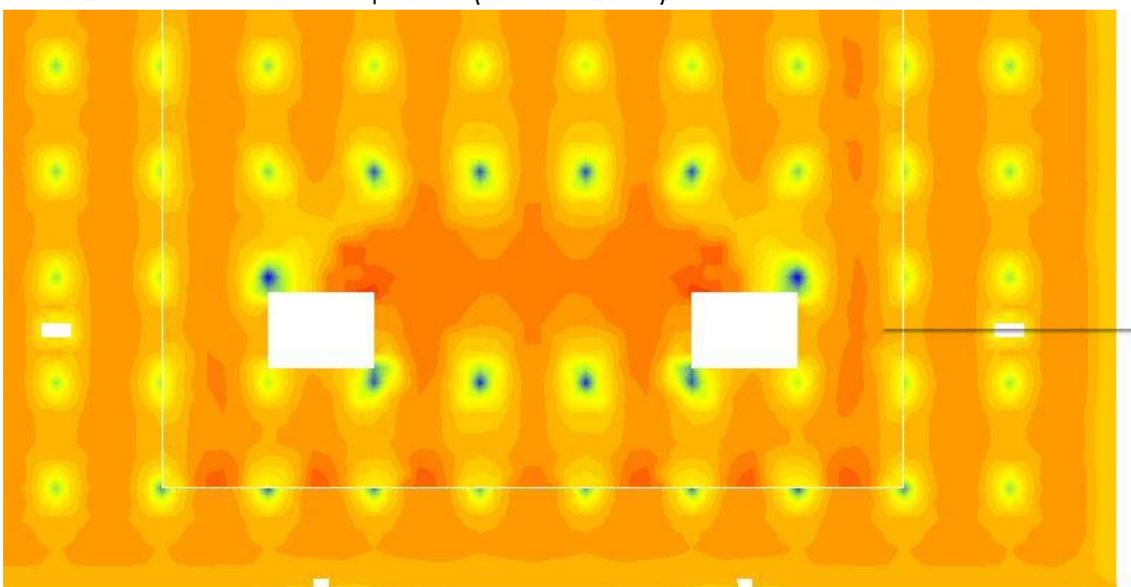
En el vano perimetral sin muro de sótano el descenso es de -1cm, el mayor de la planta omitiendo la zona de irregularidades en la retícula. Según la limitación del DBSE, la flecha máxima debería ser de  $720/500=1.44\text{cm}$ , por lo que el descenso es menor que la limitación. En el resto de la planta las flechas máximas son de 0.5cm en el centro de vano.

## 7.2.2 ISOVALORES DE MOMENTOS



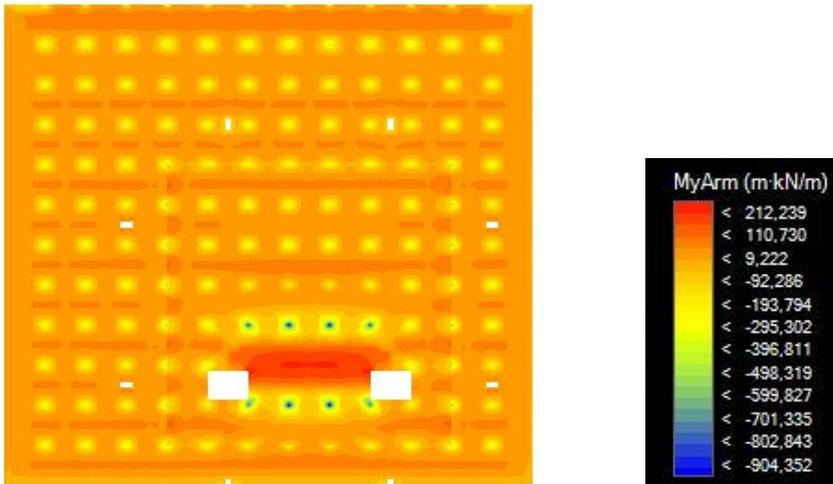
7.34 Isovalores de Momentos Mx (Envolvente ELU)

En el eje x del forjado reticular se puede ver que los momentos negativos se encuentran en la cabeza de los soportes, alcanzando un valor de  $-620\text{mkN/m}$  en la zona de omisión de pilares (zonas azules).



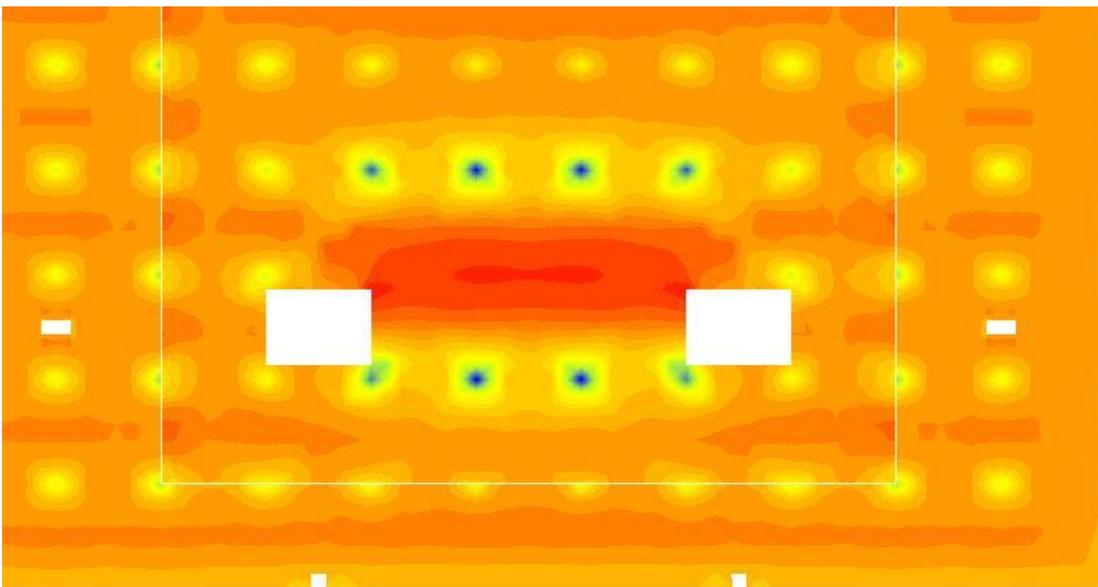
7.35 Detalle Isovalores de Momentos Mx (Envolvente ELU)

En el resto de pilares el forjado tiene un momento medio de  $-350\text{mkN/m}$ , excepto en los soportes del eje x de la junta de dilatación donde aumenta hasta  $-530\text{mkN/m}$ .



7.36 Isovalores de Momentos My (Envolvente ELU)

En el eje y, el momento máximo negativo aumenta, con un valor de -904 mkN/m sobre los soportes (zona azul), y además en ese vano se produce un momento máximo positivo, de valor 212mkN/m en el centro, al aumentar la longitud del vano.



7.37 Detalle Isovalores de Momentos My (Envolvente ELU)

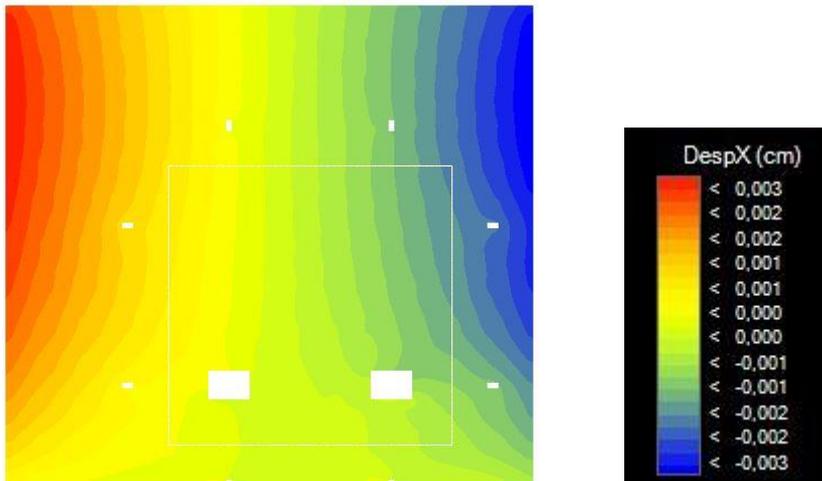
Sobre el resto de los soportes también encontramos momentos negativos, con un valor medio de -350mkN/m que debido al pico en la variación de la geometría quedan en color amarillo, con un ligero tono verde en el centro.

Los momentos positivos se localizan en el centro del vano con valores medios de 20 mkN/m en ambos ejes (zonas naranjas en Mx y en My). Además se puede ver como no se transmite momento en ninguno de los dos sentidos en la junta de dilatación de la losa.



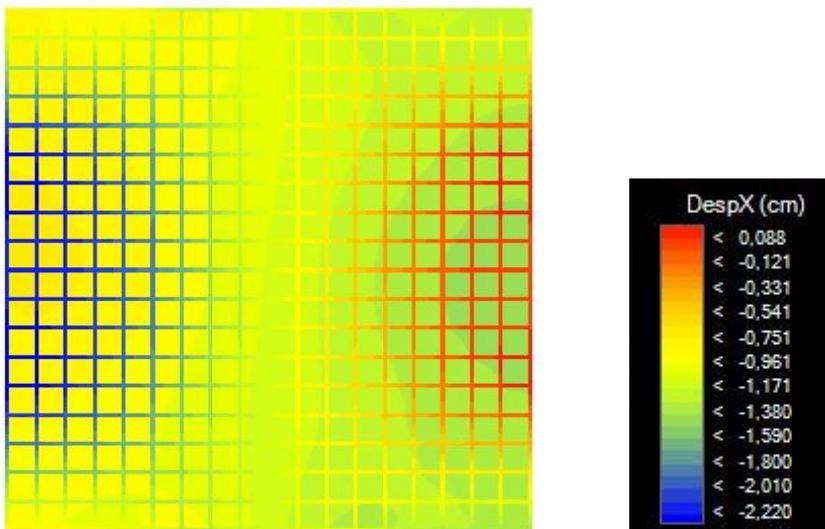
### 7.3.1.1 Planta sótano

El desplazamiento horizontal en la planta sótano es nulo en todas las hipótesis, al estar unida a la cimentación y rodeada por un muro de contención que coarta su movimiento.



7.41 Desplazamiento planta sótano Dx. Hipótesis de Peso Propio

### 7.3.1.2 Planta de cubierta

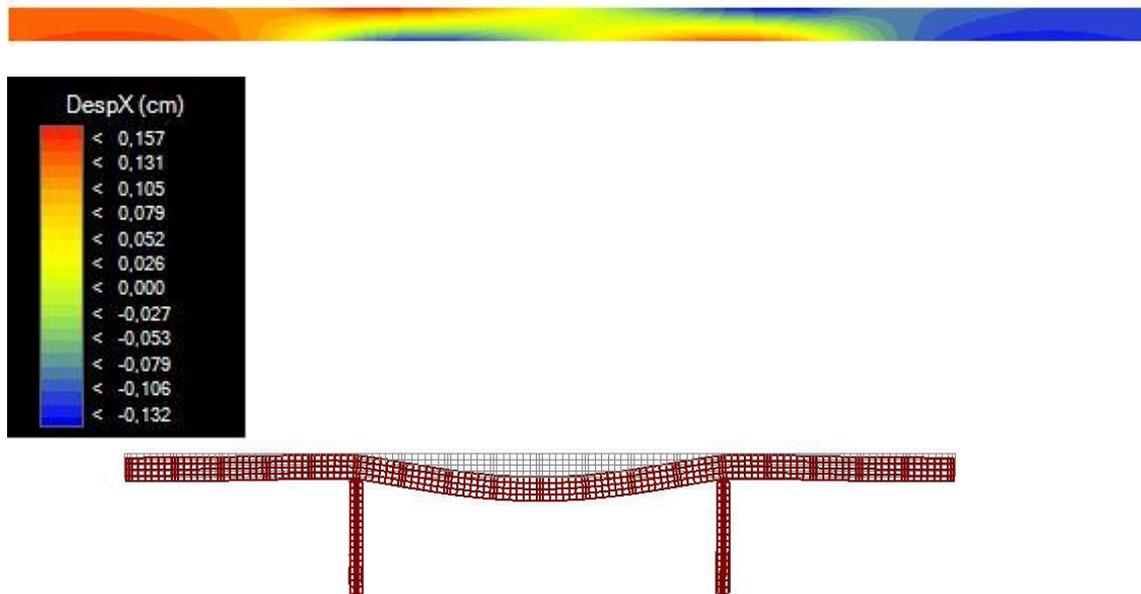


7.42 Desplazamiento cubierta Dx. ELS Combinación Característica: viento

El valor de desplazamiento horizontal más desfavorable se encuentra en la Combinación característica de viento para ELS en el eje x, con un valor de 2,22cm. Según el CTE en su Documento Básico de Seguridad Estructural, el desplome máximo para la apariencia de la obra es de  $H/250$ . En nuestro caso  $10,405/250 = 0,041\text{m}$ . Por lo tanto el desplome máximo obtenido con la combinación de viento de 0,022m se encuentra dentro del límite.

Se analiza el comportamiento de una viga tipo (la viga de borde) para ver cómo influyen las diferentes hipótesis en los movimientos horizontales de la cubierta, sabiendo que la más desfavorable es ELS Combinación Característica: viento.

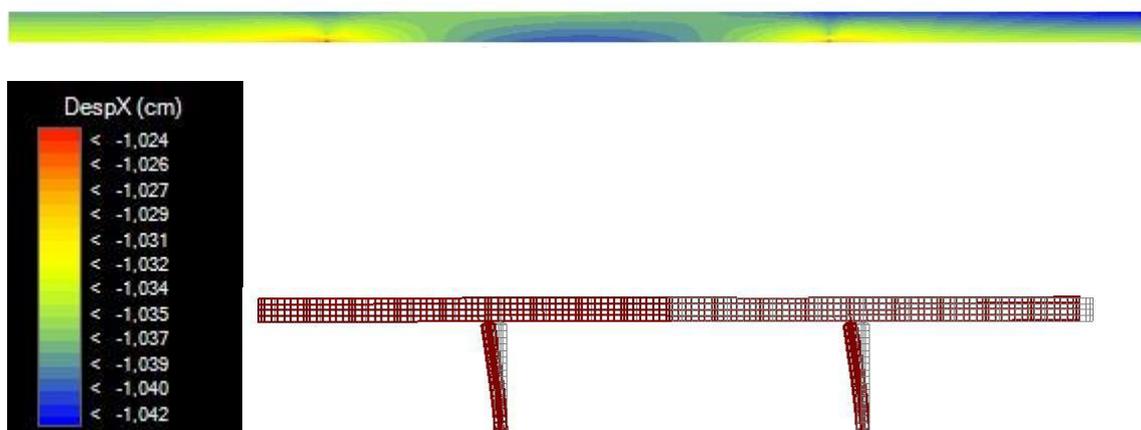
Viga de borde



7.43 Desplazamiento viga de borde Dx y deformada. Hipótesis de Peso Propio

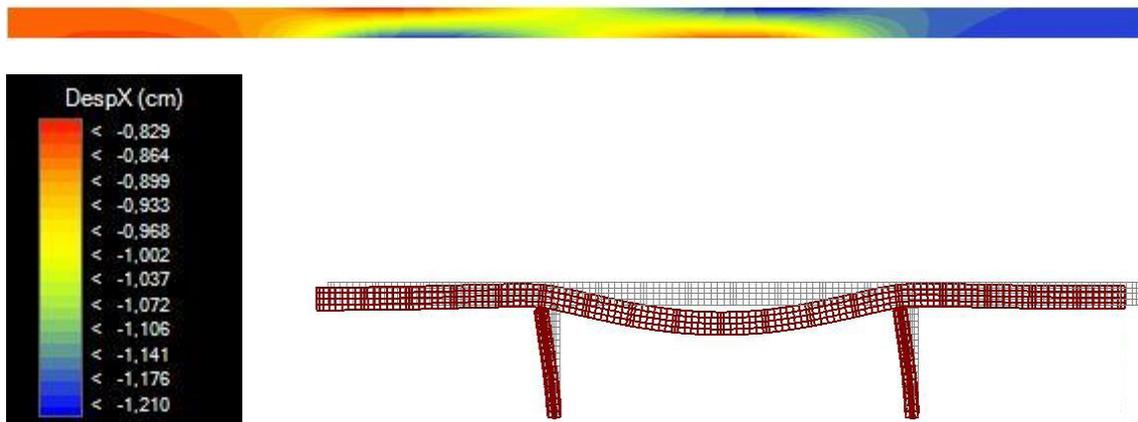
A causa del peso propio de la cubierta, sus vigas se desplazan una décima de centímetro hacia el centro de gravedad. Esto se debe a la gran deformación sufrida por la cubierta, que produce un giro en sus pilares desplazando la cubierta hacia el vano.

Según nuestra vista el movimiento horizontal es de 0.15cm en la parte izquierda y -0.13cm en la parte derecha, siendo casi simétricos.



7.44 Desplazamiento viga de borde Dx y deformada. Hipótesis de Viento

El viento produce un desplazamiento uniforme de toda la cubierta en el sentido de aplicación de las acciones. Este desplazamiento es de -1cm.



7.45 Desplazamiento viga de borde Dx y deformada. (ELSCombinación Característica: viento)

En esta combinación intervienen cargas gravitatorias, que son las que producen la deformación vertical del centro de vano, y cargas horizontales de viento que son las que producen los desplazamientos horizontales.

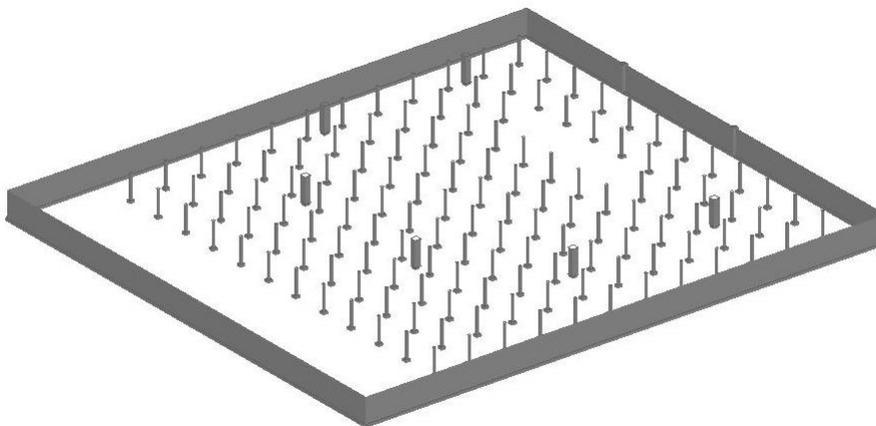
El comportamiento final en la cubierta es la combinación del desplazamiento horizontal producido por el peso propio y por el viento, siendo la suma de estos cuando el peso propio se mueve en la misma dirección que el viento (-1.2cm), y la diferencia entre ellos cuando se mueve en dirección contraria (-0.82cm).

Al ser un edificio de una sola planta, los empujes laterales de viento no son tan significativos como puede suceder en un edificio en altura, siendo los desplomes horizontales del mismo orden de magnitud en las diferentes combinaciones en las que interviene el viento.

### 7.3.2 PILARES Y MURO

La planta sótano está formada por una estructura de hormigón compuesta por soportes de dos secciones, 40x40cm y 120x120cm (los situados bajo los soportes que sustentan la cubierta metálica), y un muro de sótano perimetral.

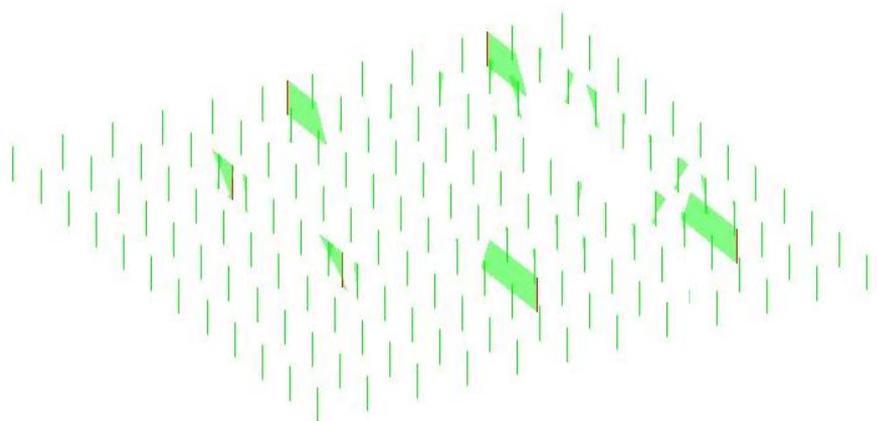
#### Modelo sólido



7.46 Modelo Pilares de sótano

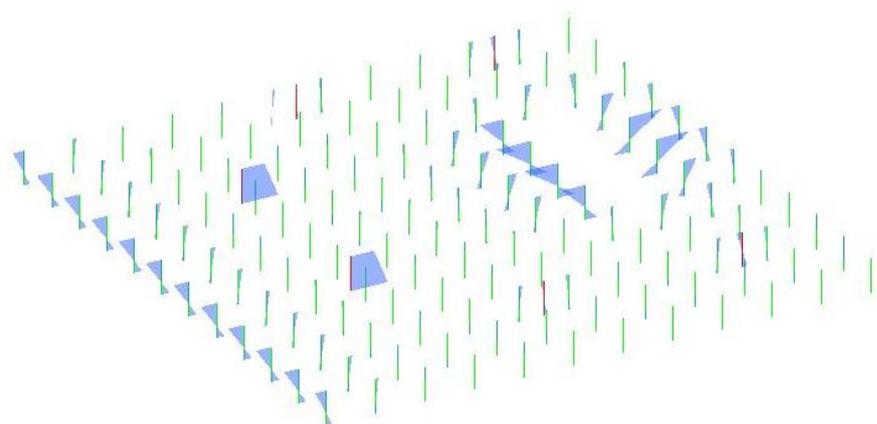
### 7.3.2.1 Pilares

#### Diagramas de momentos flectores



7.47 Diagrama de momentos  $M_y$ . Pilares planta sótano (Envolvente ELU)

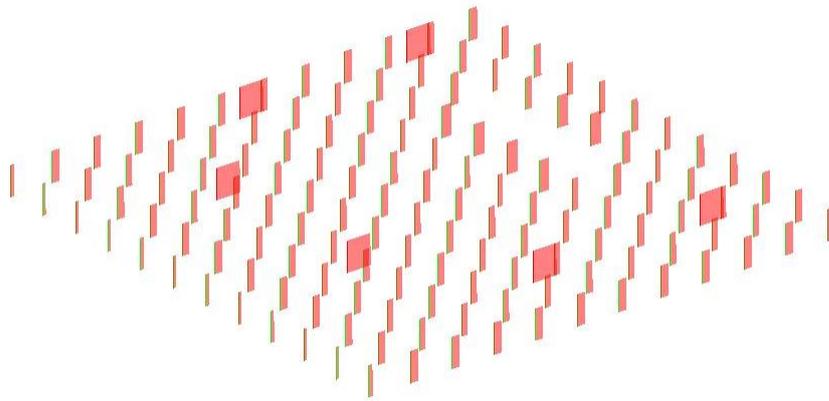
Los momentos flectores en el eje  $y$  son muy variados, destacando los que se encuentran en los pilares con más sección, que son los que soportan los pilares cruciformes de planta cubierta, con un valor máximo de 777.35 mkN. El resto de pilares tiene un valor aproximadamente nulo, excepto los próximos a la zona de omisión de pilares, donde existe un momento en torno a los 125mkN.



7.48 Diagrama de momentos  $M_z$ . Pilares planta sótano (Envolvente ELU)

En los diagramas de momentos flectores en el eje  $z$ , se observa como los momentos máximos se encuentran en los pilares bajo los de cubierta y en los adyacentes al vano con omisión de pilares de la refícula. El valor máximo de ambas zonas tiene un valor de 516.19 mkN. También existe un momento a considerar en los pilares que se encuentran junto al patio, con un valor medio de 200 mkN. La mayoría de pilares, exceptuando los ya nombrados tienen un momento sensiblemente nulo.

Diagramas de axiles



7.49 Diagrama de axiles. Pilares planta sótano (Envolvente ELU)

Los axiles en los pilares son bastante uniformes en la retícula de sótano, con un valor medio de 1100kN. Existe una variación en los soportes junto al vano mayor, encontrándose más solicitados que el resto con un axil de 1822kN. Los valores máximos con un axil bastante superior se encuentran en los pilares fuera de retícula, que corresponden con los de mayor sección, con un valor máximo de 4193kN.

Dimensionado

**Amado**

En esquinas: 4 Ø 12

En caras:  Perpendicular al eje Y: 1 Ø 12

Perpendicular al eje Z: 1 Ø 12

Solape: 30 cm

Cercos: Ø 8 / 15

Cercos en extremos: / 15 Lce 0

**Geometría**

Longitud Pilar: 491,00 cm

L Pandeo Y: 247,45 cm

Esbellez Y: 21,43

L Pandeo Z: 247,45 cm

Esbellez Z: 21,43

**Sección**

Base: 40,00 cm

Altura: 40,00 cm

Área: 1.600,00 cm<sup>2</sup>

Ix: 360.960,03 cm<sup>4</sup>

Iy: 213.333,33 cm<sup>4</sup>

Iz: 213.333,33 cm<sup>4</sup>

**Columna de pilares**

Ver pilar superior

Nombre de la columna: 68

Nº de pilares: 1

Pilar actual: 68.1

Ver pilar inferior

**Comprobaciones**

Resultados mecánicos

Cap. mecánica U. tot: 361,91 kN

Cuantía mecánica u: 0,14

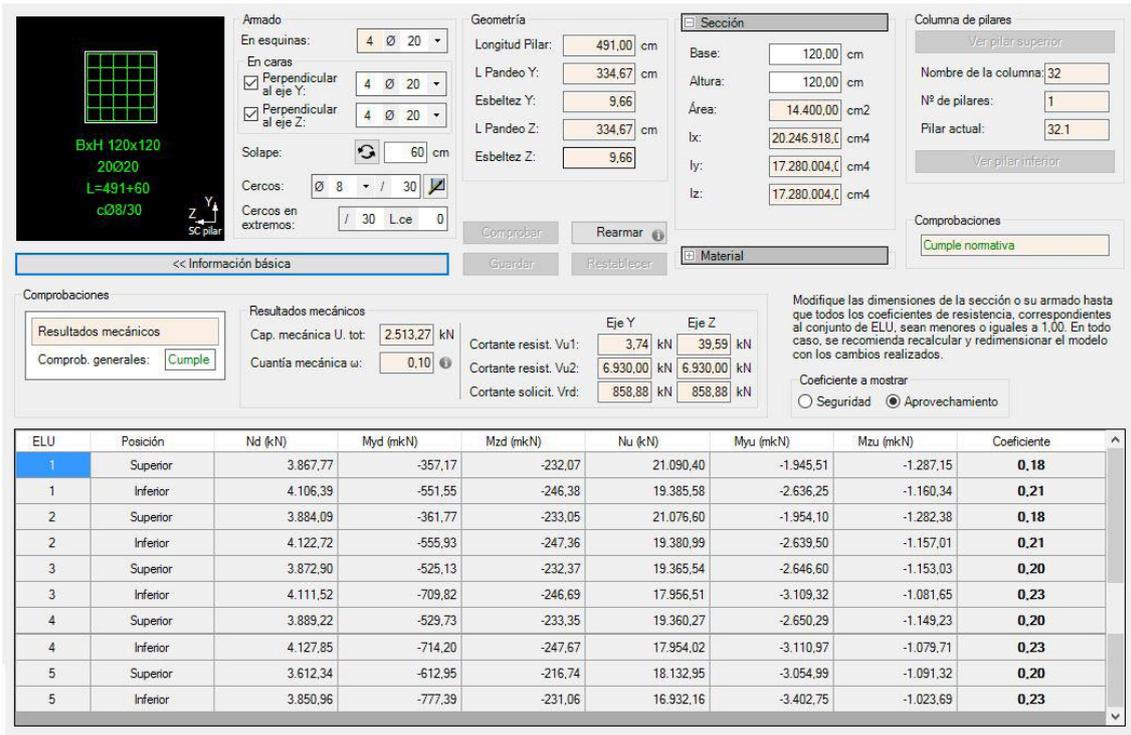
	Eje Y	Eje Z
Cortante resist. Vu1:	7,80 kN	2,26 kN
Cortante resist. Vu2:	710,00 kN	710,00 kN
Cortante solicit. Vrd:	191,03 kN	191,03 kN

Modifique las dimensiones de la sección o su armado hasta que todos los coeficientes de resistencia, correspondientes al conjunto de ELU, sean menores o iguales a 1,00. En todo caso, se recomienda recalcular y redimensionar el modelo con los cambios realizados.

Coefficiente a mostrar:  Seguridad  Aprovechamiento

ELU	Posición	Nd (kN)	Myd (mkN)	Mzd (mkN)	Nu (kN)	Myu (mkN)	Mzu (mkN)	Coefficiente
1	Superior	1.078,54	21,57	-25,68	2.474,27	51,26	-60,69	<b>0,44</b>
1	Inferior	1.105,05	-22,10	22,10	2.520,84	-52,26	52,26	<b>0,44</b>
2	Superior	957,90	19,16	-22,80	2.474,28	51,26	-60,68	<b>0,39</b>
2	Inferior	984,41	-19,69	19,69	2.520,84	-52,26	52,26	<b>0,39</b>
3	Superior	1.078,43	21,57	-25,68	2.474,27	51,25	-60,70	<b>0,44</b>
3	Inferior	1.104,94	-22,10	22,10	2.520,84	-52,26	52,26	<b>0,44</b>
4	Superior	957,79	19,16	-22,81	2.474,27	51,25	-60,69	<b>0,39</b>
4	Inferior	984,30	-19,69	19,69	2.520,84	-52,26	52,26	<b>0,39</b>
5	Superior	957,30	19,15	-22,79	2.474,27	51,26	-60,69	<b>0,39</b>
5	Inferior	983,81	-19,68	19,68	2.520,84	-52,26	52,26	<b>0,39</b>

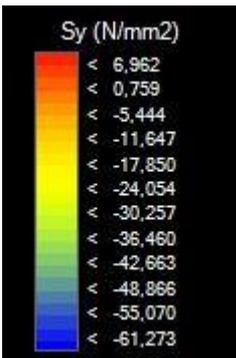
7.50 Peritaje de pilar con sección 40x40cm



7.51 Peritaje de pilar con sección 120x120cm

### 7.3.2.2 Muro

#### Tensiones



7.52 Tensiones Sy. Muro de sótano (Envolvente ELU)

Las tensiones del muro se concentran en el punto de unión del muro con el pilar de la planta superior con tensiones de compresión máximas de -61.27 N/mm<sup>2</sup>. En los bordes exteriores se generan tensiones de tracción de valor 6.96N/mm<sup>2</sup> debido a la unión de estos con el muro transversal. El resto del muro se mantiene con un valor medio de compresión de -1.8N/mm<sup>2</sup>.

## 8. CONCLUSIONES

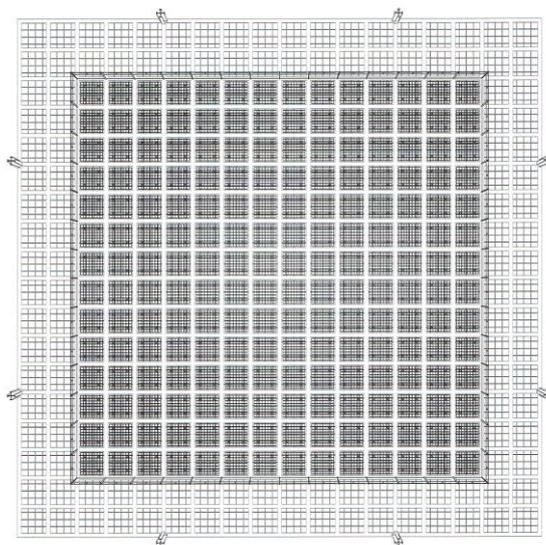


## 8. CONCLUSIONES

El trabajo consiste en un estudio arquitectónico, funcional, constructivo y estructural de la **Neue National Gallerie** en Berlín de Mies van der Rohe. Fue su última obra, realizada en los últimos años de vida del arquitecto, y la primera que realizó en su ciudad natal, dejando constancia de su visión de la arquitectura del siglo XX.

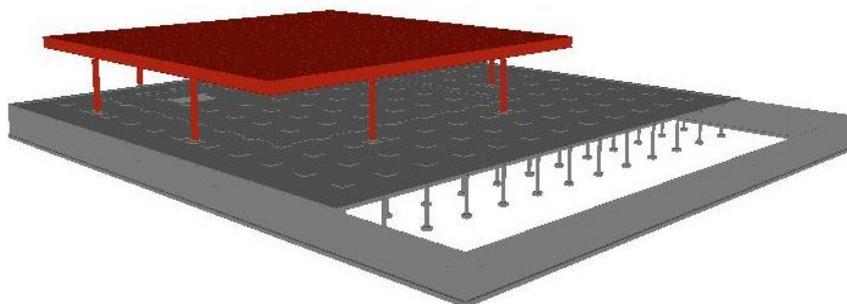
En primer lugar para poder comprender mejor la obra se ha realizado un breve recorrido por la vida y obras del arquitecto, descubriendo así su estilo, metodología y trayectoria. Seguidamente se ha descrito con más detenimiento el edificio del que trata este documento, abarcando diferentes aspectos como su origen, cómo surge la idea del edificio; su contexto, cómo Mies vive los años durante los cuales se realiza el museo; su localización, ubicándolo en la trama de Berlín y conociendo su entorno; la composición del edificio, diferenciando el basamento del templo; su funcionalidad, como nueva forma de entender la tipología de museo; su materialidad, que ayuda a comprender sus partes; y su proceso constructivo, en el que Mies buscaba precisión en el detalle.

El apartado más importante del trabajo es la **estructura** del edificio, cuyo estudio ha permitido realizar el modelo que posteriormente se ha analizado. Esta estructura es muy clara, metálica sobre rasante y de hormigón en el sótano. La cubierta está formada por un emparillado de vigas en doble T de 1.83m de canto cuyos ejes se colocan cada 3.60m. Este forjado se encuentra sustentado por pilares de sección cruciforme, alcanzando una altura total de 10.405m. El sótano está compuesto por un forjado reticular, con ábacos y capiteles sobre los pilares de hormigón armado situados en una retícula de 7.20x7.20m y rodeado por un muro perimetral. Existen ciertas irregularidades en esta planta que han afectado al análisis estructural de la misma.



8.1 Estructura de la cubierta. Planta cenital

El **modelo** del edificio supone una simplificación, transformando la estructura en elementos sencillos que nos ha permitido conocer de forma aproximada el comportamiento de la estructura. En la cubierta, tanto el emparrillado como los pilares que lo sostienen se han modelizado con elementos finitos. En el sótano, el forjado reticular se ha simplificado a una losa maciza de canto equivalente también modelizada con elementos finitos así como el muro perimetral, sin embargo los pilares de hormigón se han modelizado mediante barras asignándoles sus respectivas secciones. Se trata de un modelo minucioso ya que se han modelizado detalles como las articulaciones de los pilares y la junta de dilatación.



## 8.2 Modelo del edificio

Para realizar el cálculo de la estructura se le han aplicado al modelo un conjunto de cargas tratando de aproximarse a las cargas reales del edificio. No se han tenido en cuenta en este trabajo los efectos sísmicos, que podrían formar parte de un estudio posterior de la Neue National Gallerie.

Para el **análisis** del comportamiento de la estructura se ha empleado el programa de análisis estructural por Elementos Finitos Architrave. Se ha estudiado el comportamiento de la cubierta y la planta sótano por separado, así como el comportamiento global de la estructura.

En cuanto al **análisis de la cubierta**, se han examinado sus deformaciones ya que se trata de un forjado de gran longitud de vano y con grandes voladizos. La deformación en el centro de vano es mayor que la admisible por el CTE, motivo por el cual Mies utilizó una contraflecha que disminuiría este desplazamiento vertical. También se comparan las tensiones de las vigas con el límite elástico del acero, dado que se trata de una aproximación tanto el modelo como las acciones aplicadas, no se puede corroborar que la estructura originalmente calculada estuviera sometida a las mismas tensiones, pero sí se comprueba que los resultados obtenidos son coherentes. Los pilares de la cubierta son capaces de soportar grandes cargas debido a su diseño ya que su sección cruciforme le aporta una amplia superficie para repartir los esfuerzos.



### 8.3 Deformación cubierta en alzado (ELS Combinación Característica: gravitatoria uso)

En cuanto al **análisis de la planta sótano**, en el forjado reticular se producen unas deformaciones y unos momentos flectores lógicos para este tipo de forjado, a excepción de la zona de omisión de pilares. En este punto la flecha es mayor que la admisible, por lo que se supone que Mies utiliza un refuerzo estructural en la zona, que no se ha modelizado por falta de datos. Otro punto singular es el de la junta de dilatación que evita la transmisión de momentos flectores.

En cuanto al **análisis global**, se ha deducido que la combinación de acciones más desfavorable es la de ELS Característica Viento en la que se suman los efectos gravitatorios del peso propio y los desplazamientos horizontales del viento. A pesar de esto, al ser un edificio de una sola planta sobre rasante, los empujes laterales de viento no son tan significativos como puede suceder en un edificio en altura, siendo los desplomes horizontales del mismo orden de magnitud en las diferentes combinaciones en las que interviene el viento. También se han analizado los soportes de hormigón armado, que tienen un comportamiento coherente con axiles de compresión, siendo mayores en los pilares de mayor sección que soportan los de la cubierta fuera de la retícula del sótano, y el muro de sótano, que posee tensiones muy reducidas, concentrándose estas en la zona del reguesamiento que soporta los pilares de la cubierta.

El modelo realizado y su análisis posterior nos han permitido conocer la forma de trabajo de cada elemento y el comportamiento estructural del edificio, sirviendo como base para diseños posteriores.

Las estructuras con grandes vanos y de grandes dimensiones son comunes en edificios singulares, emblemáticos y de carácter público en su mayoría. Implican una considerable dificultad de ejecución por las grandes flechas que se producen, las cuales condicionarán la durabilidad de los elementos no estructurales inferiores, y por las elevadas tensiones que reciben los elementos, que solo es posible resistirlas con secciones especiales, como en este caso la cruciforme de los soportes de cubierta, o con múltiples elementos, como la cantidad de vigas de gran canto que componen el emparrillado. Además, debido a la extensa cubierta y a los pocos puntos de apoyo, en esta tipología de gran contenedor diáfano se producen concentraciones de tensiones en los puntos de contacto. Todas estas consideraciones han de tenerse en cuenta en los diseños con ese modelo de estructuras desde un planteamiento inicial.



8.4 Vista exterior donde se ven los apoyos

8.5 Vista interior donde se ve la longitud del vano

Como conclusión final, el proyecto tiene un planteamiento estructural coherente, utilizando con lógica los materiales y elementos constructivos y su estructura está totalmente integrada en el proyecto arquitectónico, siendo una de las partes más importantes y representativas de él.

## 9. BIBLIOGRAFÍA



## 9. BIBLIOGRAFÍA

### 9.1 REFERENCIAS DE INFORMACIÓN

- BLASER, W. (1972) *Mies van der Rohe*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili
- COHEN, J. L. (1998) *Mies van der Rohe*. Madrid: Akal Arquitectura
- JONHSON, P. C. (1978) *Mies van der Rohe*. New York: The Museum of Modern Art
- LANUZA JARGUÍN, C. (2010) *El edificio Bacardí en Santiago de Cuba*. Proyecto final de Máster. Barcelona: Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya.
- MERTINS, D. (2014) *Mies*. Londres: Phaidon
- MIES VAN DER ROHE, L., ASENSIO CERVER, F. (2002) *Mies van der Rohe*. Madrid: Kliczkowski
- MIES VAN DER ROHE, L., SCHULZE, F. y DANFORTH, G. E. (1992) *The Mies van der Rohe archive. Part II, 1938-1967, the american work. Vol.19, New National Gallery, Martin Luther King jr. memorial library and other buildings and projects*. Nueva York: Garland
- PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago
- PUENTE, M. (2006) *Conversaciones con Mies van der Rohe: certezas americanas*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili
- RUSSELL, J. S. (1998) *Twentieth-century Museums I*. Londres: Phaidon
- SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

### PÁGINAS WEB

- EL KULTURFORUM DE BERLÍN  
<[http:// www.kulturforum-berlin.de/ sp\\_index.html](http://www.kulturforum-berlin.de/sp_index.html)> [Consulta: 29 de junio 2016]
- EL DIARIO. *Chipperfield planta 144 troncos de árbol en la Neue Nationalgalerie berlinesa* <[http://www.eldiario.es/cultura/Chipperfield-troncos-Neue-Nationalgalerie-berlinesa\\_0\\_308670019.html](http://www.eldiario.es/cultura/Chipperfield-troncos-Neue-Nationalgalerie-berlinesa_0_308670019.html)> [Consulta: 30 de junio de 2016]
- FUNDACIÓN MIES VAN DER ROHE BARCELONA  
<<http://miesbcn.com/es/el-pabellon/mies-van-der-rohe/>> [Consulta: 26 de junio de 2016]

## CONFERENCIAS

JIMÉNEZ GÓMEZ, E. (2012) *El pilar en Mies van der Rohe*. Valencia: aula Magna ETSA.

<<http://politube.upv.es/play.php?vid=55983>>

LLOBET I RIBEIRO, X. (2012) *Mies en la ciudad*. Valencia: aula Magna ETSA.

<<http://politube.upv.es/play.php?vid=56365>>

## DOCUMENTOS TÉCNICOS

CATÁLOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CTE. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA (Marzo10)

DOCUMENTO BÁSICO SE-AE. SEGURIDAD ESTRUCTURAL. (Abril 2009)

DOCUMENTO BÁSICO SE-AE. SEGURIDAD ESTRUCTURAL. ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN. (Abril 2009)

EUROCODE 1: ACTIONS ON STRUCTURES - Part 1-3 General actions: snow loads EN 1991-1-3 (2003)

EUROCODE 1: ACTIONS ON STRUCTURES - Part 1-4 General actions: wind actions EN 1991-1-4 (2005)

ENGEL, H. (2006) *Sistemas de estructuras*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili

## PROGRAMA DE CÁLCULO

Architrave Versión 2015 Académica (v1.7).

<<http://www.architrave.es/>>

Autores:

Grupo de Investigación en Grid y Computación de Altas Prestaciones (GRyCAP)

HERNÁNDEZ GARCÍA, V. Doctor en Ciencias Matemáticas

ALONSO ÁBALOS, J. M. Ingeniero informático

CAMPOS BERGA, F. J. Ingeniero informático

LOZANO LLORET, P. Ingeniero informático

DE LA FUENTE ARAGÓN, P. Ingeniero informático

Grupo de Investigación CiD

PÉREZ GARCÍA, A. Doctor Arquitecto.

ALONSO DURÁ, A. Doctor Arquitecto.

GUARDIOLA VÍLLORA, A. Doctor Arquitecto.

GÓMEZ MARTÍNEZ, F. Arquitecto.

## 9.2 REFERENCIAS DE IMÁGENES

### PORTADA

Imagen de portada

Fotografía propia

### INTRODUCCIÓN

1.0 Imagen de portada

Fotografía propia

### MIES VAN DER ROHE

2.0 Imagen de portada

LUDWIG MIES VAN DER ROHE <<http://farnsworthhouse.org/mies-van-der-rohe/>>

2.1 Mies, Berlín, 1934

COHEN, J. L. (1998) *Mies van der Rohe*. Madrid: Akal Arquitectura

2.2 Mies leyendo *Bauen seit 1900* in Berlín, 1967

SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

2.3 Amalie y Michael, padres de Mies

SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

2.4 Mies van der Rohe en la casa Riehl (1912)

SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

2.5 Casa Riehl (1906)

SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

2.6 Casa Krölller-Müller (1912)

SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

2.7 Viviendas del Weissenhof de Stuttgart (1927)

COHEN, J. L. (1998) *Mies van der Rohe*. Madrid: Akal Arquitectura

2.8 Ordenación del Weissenhof de Stuttgart

COHEN, J. L. (1998) *Mies van der Rohe*. Madrid: Akal Arquitectura

2.9 Vista exterior del Pabellón de Barcelona

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

2.10 Vista del patio del Pabellón (1929)

SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

2.11 Casa Tugendhat en Brno (1929-1930)

COHEN, J. L. (1998) *Mies van der Rohe*. Madrid: Akal Arquitectura

2.12 Casa Farnsworth (1945-50)

SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

2.13 Apartamentos Lake Shore Drive (1948-51)

COHEN, J. L. (1998) *Mies van der Rohe*. Madrid: Akal Arquitectura

### 2.14 Crown Hall del IIT en Chicago (1950-56)

SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

### 2.15 Seagram Building (1954-58)

COHEN, J. L. (1998) *Mies van der Rohe*. Madrid: Akal Arquitectura

### 2.16 Sede de Oficinas Bacardi en Méjico (1957-1961)

BLASER, W. (1972) *Mies van der Rohe*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili

### 2.17 Lafayette Park en Detroit (1955)

SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

### 2.18 Sala de Convenciones de Chicago (1953-1954)

SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

### 2.19 Maqueta fachada

BLASER, W. (1972) *Mies van der Rohe*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili

### 2.20 Edificio Bacardi en Santiago de Cuba (1957)

SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

### 2.21 Detalle soporte de hormigón

BLASER, W. (1972) *Mies van der Rohe*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili

## **NEUE NATIONAL GALLERIE**

### 3.0 Imagen de portada

MIES VAN DER ROHE: NEW NATIONAL GALLERY, BERLIN <<http://wolfguenterthiel.blogspot.com.es/2013/07/mies-van-der-rohe-new-national-gallery.html>>

### 3.1 Imagen exterior de la Neue Nationalgalerie

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

### 3.2 Museo Georg Schäfer en Schweinfurt

SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

### 3.3 Edificio Bacardi de Santiago de Cuba

BLASER, W. (1972) *Mies van der Rohe*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili

### 3.4 Altes Museum de Shinkel

SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

### 3.5 Turbinenhalle de Behrens y sus articulaciones en los soportes

SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

### 3.6 Ceremonia de colocación de la primera piedra en 1965

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

### 3.7 Henry Moore y Mies en la New National Gallery en 1967

SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

### 3.8 Vista actual del Kulturforum en Tiegarten, Berlín

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

### 3.9 Maqueta del Kulturforum junto a él

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

### 3.10 Vista exterior del edificio

SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

### 3.11 Deambulatorio exterior

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

### 3.12 Espacio entre vidriera y soportes de cubierta

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

### 3.13 Modulación de la fachada, la cubierta y el pavimento

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

### 3.14 Vista de la cubierta

COHEN, J. L. (1998) *Mies van der Rohe*. Madrid: Akal Arquitectura

### 3.15 Exposición de Chipperfield llamada "Sticks and Stones"

EL DIARIO. *Chipperfield planta 144 troncos de árbol en la Neue Nationalgalerie berlinesa*  
<[http://www.eldiario.es/cultura/Chipperfield-troncos-Neue-Nationalgalerie-berlinesa\\_0\\_308670019.html](http://www.eldiario.es/cultura/Chipperfield-troncos-Neue-Nationalgalerie-berlinesa_0_308670019.html)> [Consulta: 30 de junio de 2016]

### 3.16 Planta baja

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

### 3.17 Planta sótano

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

### 3.18 Acceso principal a la terraza

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

### 3.19 Acceso secundario a la terraza

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

### 3.20 Vista con materiales exteriores

COHEN, J. L. (1998) *Mies van der Rohe*. Madrid: Akal Arquitectura

### 3.21 Vista interior exterior

SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

### 3.22 Interior de la sala principal

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

### 3.23 Mobiliario interior

BLASER, W. (1972) *Mies van der Rohe*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili

### 3.24 Silla Barcelona

SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

### 3.25 Mies en la elevación de la cubierta

SCHULZE, F. (1986) *Mies van der Rohe: Una biografía crítica*. Madrid: Hermann Blume

### 3.26 Mies en la obra

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

### 3.27 Gatos hidráulicos

MERTINS, D. (2014) *Mies*. Londres: Phaidon

### 3.28 Elevación de la cubierta

MERTINS, D. (2014) *Mies*. Londres: Phaidon

### 3.29 Proceso de elevación de la cubierta

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

### 3.30 Pilar y viga en obra antes de su colocación

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

## **ESTRUCTURA**

### 4.0 Imagen de portada

Fotografía propia

### 4.1 Vista cenital de la cubierta

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

### 4.2 Axonometría cubierta

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

### 4.3 Detalle viga

RUSSELL, J. S. (1998) *Twentieth-century Museums I*. Londres: Phaidon

### 4.4 Espesores de cubierta

JONHSON, P. C. (1978) *Mies van der Rohe*. New York: The Museum of Modern Art

### 4.5 Detalle coronación pilar

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

### 4.6 Detalle base pilar

RUSSELL, J. S. (1998) *Twentieth-century Museums I*. Londres: Phaidon

### 4.7 Estructuras de retículas de vigas según Engel

ENGEL, H. (2006) *Sistemas de estructuras*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili

### 4.8 Influencia del voladizo en la eficacia de la viga según Engel

ENGEL, H. (2006) *Sistemas de estructuras*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili

### 4.9 Sección forjado de sótano por la terraza

RUSSELL, J. S. (1998) *Twentieth-century Museums I*. Londres: Phaidon

#### 4.10 Retícula de pilares en planta sótano con omisión en el hall

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

#### 4.11 Capitel bajo pilar de cubierta

JONHSON, P. C. (1978) *Mies van der Rohe*. New York: The Museum of Modern Art

#### 4.12 Junta de dilatación

RUSSELL, J. S. (1998) *Twentieth-century Museums I*. Londres: Phaidon

#### 4.13 Sección por el patio

RUSSELL, J. S. (1998) *Twentieth-century Museums I*. Londres: Phaidon

#### 4.14 Sección por la cimentación corrida

RUSSELL, J. S. (1998) *Twentieth-century Museums I*. Londres: Phaidon

#### 4.15 Estructuras de retículas de vigas según Engel

ENGEL, H. (2006) *Sistemas de estructuras*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili

### **MODELO**

#### 5.0 Imagen de portada

Imagen propia realizada con el programa Architrave

#### 5.1 Vista general del conjunto

Imagen propia realizada con el programa Architrave

#### 5.2 Vista frontal del edificio

FRIEDRICH, R. *Archiv Neue Nationalgalerie, Staatliche Museen zu Berlin*

<<https://www.smow.com/blog/tag/mies-van-der-rohe/>> [Consulta: 15 de junio de 2016]

#### 5.3 Cubierta real del edificio

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*. Padova: Lago

#### 5.4 Vistas del modelo del edificio

#### 5.5 Vista general de la cubierta

#### 5.6 Emparrillado de viga

#### 5.7 Detalle cubierta

#### 5.8 Detalle modelo alámbrico

#### 5.9 Detalle modelo alámbrico sin elemento de cubrición

#### 5.10 Detalle pilar

#### 5.11 Pilares en la cubierta

#### 5.12 Detalle articulación

#### 5.13 Detalle articulación sólida

#### 5.14 Vista general del sótano

#### 5.15 Vista cenital sótano

Imágenes propias realizadas con el programa Architrave (Desde 5.4 hasta 5.15)

#### 5.16 Junta de dilatación en planta

Imagen propia

### 5.17 Junta de dilatación

### 5.18 Soportes y muros de sótano

### 5.19 Detalle regruessamiento del muro

### 5.20 Vista cenital forjado

Imágenes propias realizadas con el programa Architrave (Desde 5.17 hasta 5.20)

## **EVALUACIÓN DE CARGAS**

### 6.0 Imagen de portada

Imagen propia realizada con el programa Architrave

### 6.1 Tabla de valores característicos de las sobrecargas de uso

DOCUMENTO BÁSICO SE-AE. SEGURIDAD ESTRUCTURAL. ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN. (Abril 2009)

### 6.2 Tabla de coeficientes parciales de seguridad para las acciones

DOCUMENTO BÁSICO SE-AE. SEGURIDAD ESTRUCTURAL. (Abril 2009)

### 6.3 Tabla de coeficientes de simultaneidad

DOCUMENTO BÁSICO SE-AE. SEGURIDAD ESTRUCTURAL. (Abril 2009)

### 6.4 Combinaciones de hipótesis ELU 01 Architrave

### 6.5 Combinaciones de hipótesis ELS 01 en Architrave

Imágenes propias realizadas con el programa Architrave

## **ANÁLISIS**

### 7.0 Imagen de portada

### 7.1 Modelo Cubierta

### 7.2 Modelo Cubierta sin elemento de cubrición

### 7.3 Deformación cubierta en axonometría (ELS Combinación Característica: gravitatoria uso)

### 7.4 Deformación cubierta en alzado (ELS Combinación Característica: gravitatoria uso)

### 7.5 Desplazamientos verticales (Dz) (ELS Combinación Característica: gravitatoria uso)

Imágenes propias realizadas con el programa Architrave (Desde 7.0 hasta 7.5)

### 7.6 Deformaciones elásticas de la cubierta de acero y contraflecha previstas.

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*.  
Padova: Lago

### 7.7 Desplazamientos verticales (Dz) (Hipótesis de Peso Propio)

Imagen propia realizada con el programa Architrave

### 7.8 Contraflechas de la cubierta de Mies

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*.  
Padova: Lago

### 7.9 Situación de la viga de borde analizada

### 7.10 Tensiones Sx Viga de borde (Envolvente ELU)

### 7.11 Tensiones Sx Viga de borde sin apoyos (Envolvente ELU)

### 7.12 Tensiones SxPrinc Viga de borde sin apoyos (Envolvente ELU)

### 7.13 Tensiones tangenciales Sxy Viga de borde (Envolvente ELU)

### 7.14 Situación de la viga central analizada

- [7.15 Tensiones Sx Viga central \(Envolvente ELU\)](#)
- [7.16 Tensiones SxPrinc Viga central \(Envolvente ELU\)](#)
- [7.17 Tensiones tangenciales Sxy Viga central \(Envolvente ELU\)](#)
- [7.18 Situación de la viga entre pilares analizada](#)
- [7.19 Tensiones Sx Viga entre pilares \(Envolvente ELU\)](#)
- [7.20 Tensiones Sx Viga entre pilares sin apoyos \(Envolvente ELU\)](#)
- [7.21 Tensiones SxPrinc Viga entre pilares sin apoyos \(Envolvente ELU\)](#)
- [7.22 Tensiones tangenciales Sxy Viga central \(Envolvente ELU\)](#)
- [7.23 Modelo Pilares de cubierta](#)
- [7.24 Modelo Detalle pilar de cubierta](#)
- [7.25 Tensiones Sy. Soporte de cubierta con ala vista lateral, vista frontal interior y vista frontal exterior y sólo almas vista lateral y vista frontal \(de izquierda a derecha\)\(Envolvente ELU\)](#)
- [7.26 Tensiones Sy en las alas \(Envolvente ELU\)](#)
- [7.27 Tensiones Sy en las alas \(Envolvente ELU\)](#)
- [7.28 Tensiones Sy. Detalle coronación soporte de cubierta \(Envolvente ELU\)](#)
- [7.29 Modelo planta sótano](#)
- [7.30 Deformación sótano en axonometría \(ELS Combinación Característica: gravitatoria uso\)](#)
- [7.31 Deformación forjado en axonometría \(ELS Combinación Característica: gravitatoria uso\)](#)
- [7.32 Deformación forjado reticular en alzado](#)
- [7.33 Desplazamientos verticales \(Dz\) \(ELS Combinación Característica: gravitatoria uso\)](#)
- [7.34 Isovalores de Momentos Mx \(Envolvente ELU\)](#)
- [7.35 Detalle Isovalores de Momentos Mx \(Envolvente ELU\)](#)
- [7.36 Isovalores de Momentos My \(Envolvente ELU\)](#)
- [7.37 Detalle Isovalores de Momentos My \(Envolvente ELU\)](#)
- [7.38 Modelo edificio completo](#)
- [7.39 Desplazamiento general Dx. Hipótesis de Peso Propio](#)
- [7.40 Desplazamiento general Dx. Hipótesis de Viento](#)
- [7.41 Desplazamiento planta sótano Dx. Hipótesis de Peso Propio](#)
- [7.42 Desplazamiento cubierta Dx. ELS Combinación Característica: viento](#)
- [7.43 Desplazamiento viga de borde Dx y deformada. Hipótesis de Peso Propio](#)
- [7.44 Desplazamiento viga de borde Dx y deformada. Hipótesis de Viento](#)
- [7.45 Desplazamiento viga de borde Dx y deformada. \(ELS Combinación Característica: viento\)](#)
- [7.46 Modelo Pilares de sótano](#)
- [7.47 Diagrama de momentos My. Pilares planta sótano \(Envolvente ELU\)](#)
- [7.48 Diagrama de momentos Mz. Pilares planta sótano \(Envolvente ELU\)](#)
- [7.49 Diagrama de axiles. Pilares planta sótano \(Envolvente ELU\)](#)
- [7.50 Peritaje de pilar con sección 40x40cm](#)

7.51 Peritaje de pilar con sección 120x120cm

7.52 Tensiones Sy. Muro de sótano (Envolvente ELU)

Imágenes propias realizadas con el programa Architrave (Desde 7.9 hasta 7.52)

## **CONCLUSIONES**

8.0 Imagen de portada

Fotografía propia

8.1 Estructura de la cubierta. Planta cenital

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*.  
Padova: Lago

8.2 Modelo del edificio

Imagen propia realizada con el programa Architrave

8.3 Deformación cubierta en alzado (ELS Combinación Característica: gravitatoria uso)

Imagen propia realizada con el programa Architrave

8.4 Vista exterior donde se ven los apoyos

PAVIA, L. y FERRARI, M. (2013) *Ludwig Mies van der Rohe Neue Nationalgalerie in Berlin 1962-1968*.  
Padova: Lago

8.5 Vista interior donde se ve la longitud del vano

COHEN, J. L. (1998) *Mies van der Rohe*. Madrid: Akal Arquitectura

## **BIBLIOGRAFÍA**

9.0 Imagen de portada

MIES VAN DER ROHE: NEW NATIONAL GALLERY, BERLIN <<http://wolfguenterthiel.blogspot.com.es/2013/07/mies-van-der-rohe-new-national-gallery.html>>