



Trabajo Final de Grado 2014-2015

**ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE LA CASA DE
LA CASCADA (FALLINGWATER)**

ARQUITECTO: FRANK LLOYD WRIGHT

ALUMNO: Nerea Albert Hernández

TUTOR: Ernesto Fenollosa Forner

RESUMEN

El desarrollo del siguiente trabajo de final de grado se centra en el análisis detallado del funcionamiento estructural de la Casa de la Cascada de Frank Lloyd Wright, previo estudio de la vida y obra del arquitecto.

El siguiente documento tiene un valor académico que reside en la rigurosidad del análisis, necesario para la correcta comprensión y ejecución del modelo, así como la identificación de las cargas a las que se ve sometido, para posterior estudio de la respuesta de la estructura y la comprobación de los resultados.

Haremos especial hincapié en las tensiones provocadas por los grandes voladizos, aspecto de gran importancia en el diseño de la estructura y a los efectos producidos por las cargas gravitatorias, tales como las deformaciones y tensiones en el hormigón armado.

El resultado obtenido es la mejor forma de comprender el funcionamiento de la compleja estructura y cómo se relaciona tanto constructivamente como estructuralmente con el propio entorno.

El desenvolupament del següent treball final de grau es centra en l'anàlisi detallat del funcionament estructural de La Casa de la Cascada de Frank Lloyd Wright, previ estudi de la vida i obra de l'arquitecte.

El següent document té un valor acadèmic que resideix en la rigurositat de l'anàlisi, necessari per a la correcta comprensió i execució del model, així com la identificació de les càrregues a què es veu sotmés, per a posterior estudi de la resposta de l'estructura i la comprovació dels resultats.

Es farà major èmfasi en les tensions provocades pels grans voladissos, aspecte de gran rellevància en el disseny de l'estructura i als efectes produïts per les carreges gravitatòries, com ara deformacions o tensions en les peces de formigó.

El resultat obtingut és la millor manera de comprendre el funcionament de la complexa estructura, entenent com es relaciona tant constructivament com estructuralment en l'entorn propi.



The development of the following graduate final thesis is focused on the detailed analysis of the functioning of Fallingwater designed by Frank Lloyd Wright, with a previous review of the architect's biography and work.

The following document has an academic value which exist in the rigorous analysis required for proper understanding and implementation of the model as well as identifying the loads to which it is subjected to further study the response of the structure and verification of the results.

We have emphasized to the tensions caused by the large overhangs, very important aspect in the design of the structure, and the effects of gravitational, such as strains and stresses in the concrete loads.

The result is the best way to understand the complexity of the structure and how it relates both constructively and structurally with the place itself.



PALABRAS CLAVE

ORGÁNICA/ ORGÀNICA /ORGANIC

VERNÁCULA / VERNACLA / VERNACULAR

CASCADA /CASCADA / WATERFALL

INNOVADOR/ INNOVADORA /INNOVATIVE

VOLADIZO/ VOLADÍS/ CANTILEVER



“(...) Y aquí estoy ante ustedes predicando la arquitectura orgánica, declarando que es el ideal moderno y la enseñanza tan necesaria si queremos ver el conjunto de la vida, y servir ahora al conjunto de la vida, sin anteponer ninguna “tradición” a la gran TRADICIÓN. No exaltando ninguna forma fija sobre nosotros, sea pasada, presente o futura, sino exaltando las sencillas leyes del sentido común – o del súper sentido, si ustedes lo prefieren- que determina la forma por medio de la naturaleza de los materiales, de la naturaleza del propósito... ¿La forma sigue la función? Sí, pero lo que importa más ahora es que la forma y la función son una. (...)”

Frank Lloyd Wright. Cita sobre la arquitectura orgánica

OBJETIVOS

La estructura en la arquitectura desempeña un papel muy importante en cualquier edificio. No es sólo el esqueleto que lo sostiene, sino lo que nos permite proyectar, diseñar y organizar los espacios.

La relación entre espacio y estructura se puede entender de diferentes maneras: la estructura puede regir a nuestro edificio o nuestro edificio puede regir a la estructura, forzando a que esta se adapte a los espacios.

Cuando estudiamos una obra es importante examinar la autenticidad de la arquitectura, referida a la identidad entre estructura, forma e imagen.

Con el paso del tiempo y la evolución de la arquitectura hemos podido comprobar que los mejores proyectos son los que han diseñado de manera conjunta la estructura y todos los demás aspectos proyectuales. Esta nunca debe ser la manera de sujetar el proyecto, es el proyecto el cual nace de ella y se soporta por ella.

En este trabajo se pretende analizar la estructura de la gran obra de Wright, la cual más que arquitectura en sí misma, es más efectista que estructural, gracias entre otras cosas a sus voladizos.

Analizaremos primero cómo funciona la obra estructuralmente y cómo se adapta esta a su entorno.

Seguidamente, nos centraremos más en la parte específica y concreta en la que se analizarán las solicitaciones, las tensiones y las deformaciones, valorándose los resultados y la adecuación de las soluciones adoptadas.



ÍNDICE

1. VIDA

1.1 ARQUITECTO

1.2 TRADICIÓN ARQUITECTÓNICA DE WRIGHT

1.3 DIFERENTES ETAPAS DE SU CARRERA

1.4 CRONOLOGÍA DE WRIGHT, OBRAS MÁS IMPORTANTES

2. OBRA

2.1 INTRODUCCIÓN

2.2 CLASIFICACIÓN DE LA OBRA

2.3 DOCUMENTACIÓN DE LA CASA

2.3.1. EMPLAZAMIENTO

2.3.2 PLANTAS

2.3.3 ALZADOS

2.3.4 DESCRIPCIÓN DE LOS ESPACIOS INTERIORES

2.4 ANÁLISIS FORMAL

2.5 INTERPRETACIÓN

3. CONSTRUCCIÓN

3.1 FORMAS DE TRABAJAR DE WRIGHT

3.2 COMIENZOS DE LA CONSTRUCCIÓN

3.3 FASES MÁS RELEVANTES DE LA CONSTRUCCIÓN

3.4 CIRCUNSTANCIAS DE LA OBRA

3.5 PLANOS Y DETALLES DE LA FORMA DE CONSTRUIR

3.6 ESTADO ACTUAL DE LA CASA DE LA CASCADA

3.7 RESTAURACIÓN

3.7.1 FASES DE RESTAURACIÓN

3.7.2 RECONOCIMIENTOS

4. DISEÑO DEL MODELO

4.1 INTRODUCCIÓN

4.2 EL CONCEPTO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO

4.2.1 CIMENTACIÓN

4.2.2 PLANTA PRIMERA

4.2.3 PLANTA SEGUNDA

4.2.4 PLANTA TERCERA

4.2.5 SECCIÓN

4.3 EL MODELO

4.4 MODELIZACIÓN DEL CONJUNTO

5. EVALUACIÓN DE LAS CARGAS

5.1 ACCIONES PERMANENTES

5.1.1 PLANTA PRIMERA

5.1.2 PLANTA SEGUNDA

5.1.3 PLANTA TERCERA

5.1.4 PLANTA DE CUBIERTA

5.2 ACCIONES VARIABLES

5.2.1 SOBRECARGA DE USO

5.2.2 SOBRECARGA DE NIEVE

5.3 RESUMEN DE CARGA

5.4 COMBINACIÓN DE CARGAS

6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

6.1 ANÁLISIS POR PLANTAS

6.1.1 PLANTA PRIMERA

6.1.2 PLANTA SEGUNDA

6.1.3 PLANTA TERCERA

6.1.4 PLANTA DE CUBIERTA

6.2 ANÁLISIS DE LOS MUROS

6.2.1 MUROS SOBRE LOS QUE APOYA LA PLANTA PRIMERA

6.2.2 MUROS SOBRE LOS QUE APOYA LA PLANTA SEGUNDA

6.2.3 MUROS SOBRE LOS QUE APOYA LA PLANTA TERCERA

6.2.4 MUROS SOBRE LOS QUE APOYA LA PLANTA DE CUBIERTA

6.3 ANÁLISIS GLOBAL DE DEFORMACIONES DE ELS EN LAS DIFERENTES HIPÓTESIS

7. CONCLUSIONES

1.VIDA

1.1 ARQUITECTO

Frank Lloyd Wright nació el 8 de junio de 1867 en Madison, Wisconsin y murió el 9 de abril de 1959 en Arizona.

Arquitecto estadounidense, y uno de los principales maestros de la arquitectura del siglo XX.

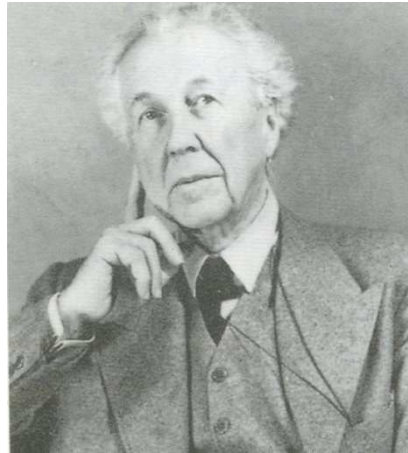


Imagen 1: Frank Lloyd Wright

Fue hijo de un protestante y heredero del movimiento romántico, de poetas como Emerson, Whitman y Longfellow.

Wright estuvo profundamente influenciado por el método de estimulación del educador progresivo alemán Federico Froebel (“kindergarten”). Los juegos creativos, las enseñanzas-aprendizaje a través del juego con objetos, colores, texturas,

causa- efecto que anticipó 70 años antes, en el curso introductorio de la Bauhaus.

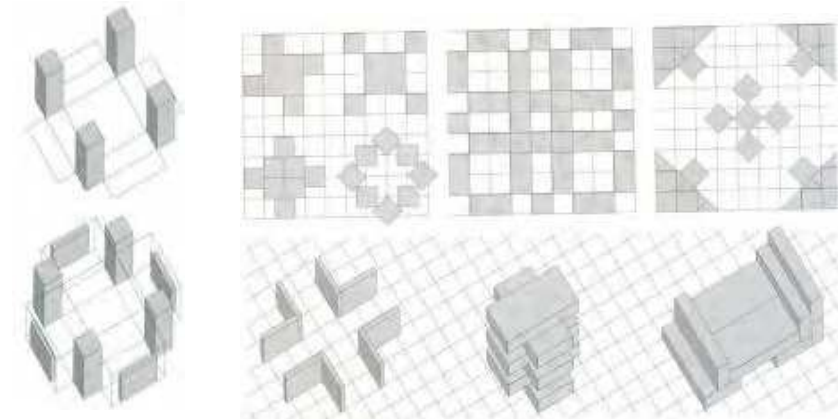


Imagen 2: Juegos creativos de aprendizaje

Durante su niñez y su temprana adolescencia trabajó en el campo con su tío materno en una granja (Spring Green).

Su educación estuvo marcada por el abandono de su padre cuando tenía 18 años. Así pues, buscó empleo para mantener a su madre y hermanas con un contratista de obra (que proyectaba). Algunas horas al día las dedicaba a estudiar

ingeniería civil intermitentemente en la Universidad de Wisconsin, en la cual estuvo unos dos años.

Cuando tenía ya 20 años, decidió ir a Chicago y allí fue contratado por Lyman Silsbee cuyo estilo “cottage”, no “Beaux Arts”, fue su primera influencia.

Nos encontramos en una época en el que se crea un centro de negocios en el corazón de la ciudad, iniciado por William Le Baron Jenney y H.H. Richardson, “the Loop” y en la que se construían edificios de 12, 14, 16 y 24 pisos a partir del invento del elevador de Elisha G. Otis, para corporativos, aseguradoras, hoteles y viviendas.

Centrándonos en un ámbito de contexto muy influyente en Wright, La Escuela de Chicago, denominado así al estilo arquitectónico desarrollado en los años XX y principios del XXI, donde podemos apreciar algunas características muy presentes en Wright.

La utilización de las nuevas tecnologías de construcción, junto con una gran calidad de construcción es uno de los aspectos más relevantes en este estilo.

Se observa también una gran pureza en las formas, teniendo presente la estructura como parte del lenguaje estético, junto con un lenguaje ornamental propio (“Art Nouveau”)



Imagen 3: Guaranty Building, Buffalo, N.Y. Louis Sullivan, 1895



Imagen 4: Reliance Building Chicago, 1894 Daniel H. Burnham John W. Root



Imagen 5: Carson, Pirie & Scott Building Chicago, Louis Sullivan 1899

1.2 TRADICIÓN ARQUITECTÓNICA DE WRIGHT

A finales del siglo XX la educación se convirtió en el cimiento de la profesionalización de la arquitectura, formándose el Colegio de Escuelas de Arquitectura, donde se intercambiaba información y estándares uniformes.

Se adoptó el sistema francés; graduados de “Beaux Arts” como docentes. Louis Sullivan, tras estudiar un año en Francia, fue el precursor de una arquitectura “democrática”, donde la forma derivaba del material, la estructura y la función.

Se rechaza el eclecticismo y los estilos “neo” en busca de una estética propia, buscándose una honestidad en el diseño.

Wright trabajó con Sullivan en su despacho, dedicándose a los grandes edificios corporativos y de equipamiento. Este realizaba las comisiones de vivienda, y más tarde empezó a hacer trabajos por su cuenta, además de los encargos del despacho.

Más tarde siguió la línea de Sullivan, en contra del Beaux Arts y rechazó lo superficial y artificial de la arquitectura europea.

No se alineó a la concepción de “City Beautiful”, clasicismo francés traído a América: Washington, D.C., Cleveland y San Francisco.



Imagen6: Ashland Offices Burnham and Root

1.3 DIFERENTES ETAPAS DE SU CARRERA

Su carrera atravesó varias etapas:

La etapa clásica (1900-1910), conocida como “Casas de la Pradera” (Illinois). Eran viviendas de tipo unifamiliar, ubicadas en entornos naturales y caracterizadas por la horizontalidad de los volúmenes, las cubiertas que generaban aleros de gran tamaño, la presencia de una amplia chimenea y una decoración escasa, incluso nula.

Con estas casas se produce la ruptura del concepto de espacio fraccionado y la altura de los interiores se adapta a las proporciones humanas.

Entre las construcciones de este periodo, destacan la Winslow House, la casa Hickox, la casa Willitts y la casa Robie.

Su segunda etapa se extiende entre 1910 y 1933. Se instaló cerca de Spring Green, y construyó su propio hogar y estudio, Taliesen.

Por circunstancias personales Wright viajó a Japón y allí, realizó una obra enormemente variada, aplicando en sus construcciones

influencias de la arquitectura japonesa tradicional respecto a la organización de los espacios.

Podemos destacar entre sus innovaciones estructurales el sistema antisísmico, desarrollado en el enorme Hotel Imperial de Tokio.

Es importante conocer que la influencia japonesa de Wright ya estaba presente antes de radicarse allí, pues este ya poseía una gran colección de estampas japonesas.

Wright regresó a EE.UU en 1922 realizando una gran producción caracterizada por la posibilidad del hormigón armado.

A continuación, vamos a seguir con la penúltima etapa de su vida, en la que ubicamos la obra escogida para este trabajo: la etapa organicista.

Etapa en la que su concepción de la arquitectura se vio forzada por su infancia en una granja de Wisconsin, donde vivió en medio de la naturaleza. Puso distancia entre los convencionalismos en la arquitectura y, en general, con la idea del espacio de la época.

Frank Lloyd Wright tuvo una visión orgánica sobre la filosofía de la arquitectura, que le situó como uno de los maestros de la misma en el siglo XX.

Este tipo de arquitectura se caracteriza por una transición ininterrumpida entre el interior y el exterior. Como podemos observar en la siguiente imagen, existe una transición en la cual fluye una gran armonía con el paisaje.



Imagen 7: Relación con la naturaleza

Una arquitectura esencialmente humana, que crece al mismo tiempo que la naturaleza y que parece no terminar nunca, empleando predominantemente materiales locales.

Se parte de un esquema interno como generador y de una planta libre, junto con una unidad entre forma y función (*form is function*).



Imagen 8: Relación con la naturaleza

En su etapa final, su carrera dio un giro. Wright abandonó los volúmenes cúbicos y la composición ortogonal, iniciándose en el periodo de las curvas.

Destacaremos de esta etapa el Museo de Guggenheim de Nueva York y la Fábrica de Johnson Wax en Racine.

1.4 CRONOLOGÍA DE WRIGHT: Sus obras más importantes

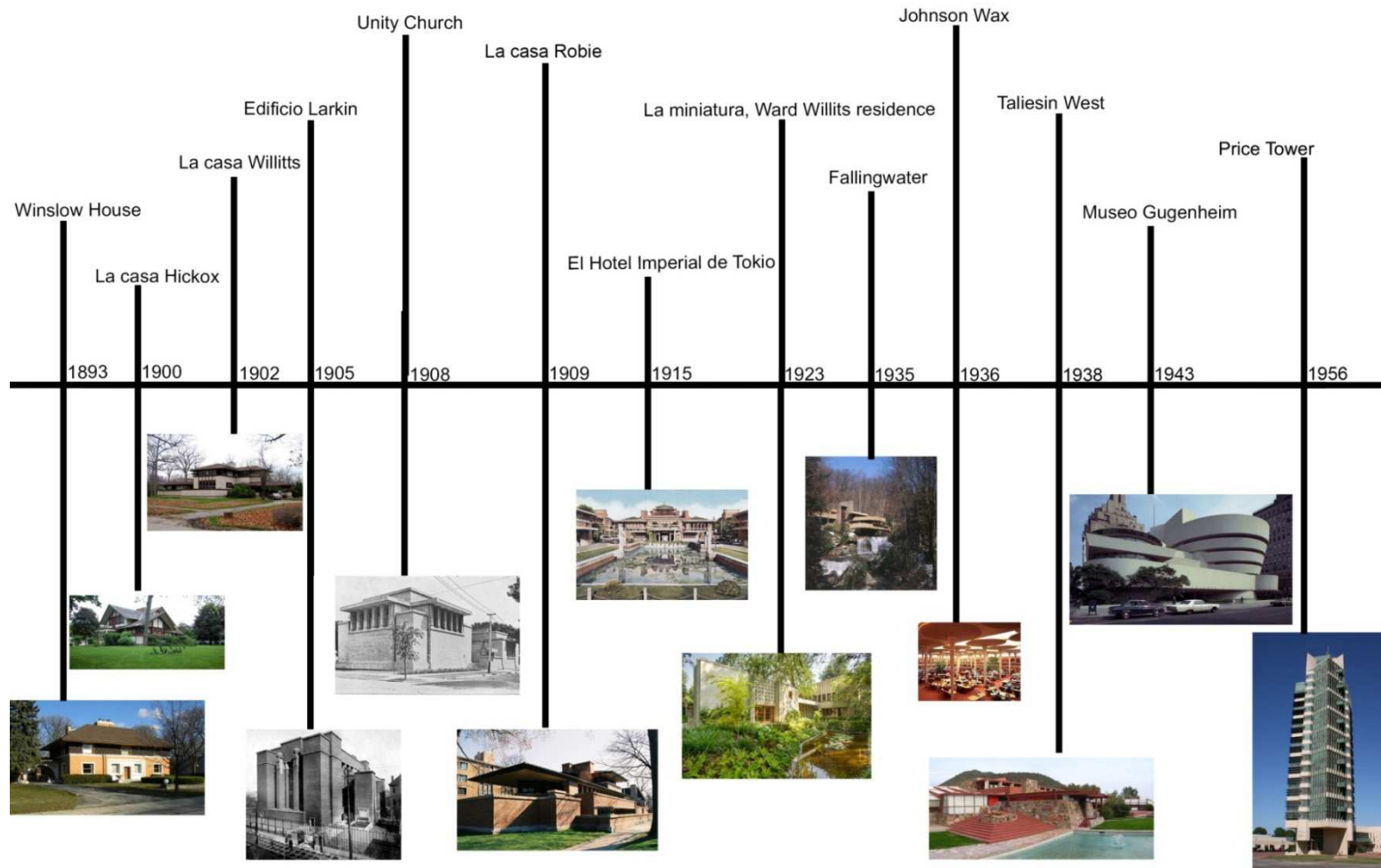


Imagen 9: Cronología de Wright

2. OBRA

2.1 INTRODUCCIÓN

La casa que Frank Lloyd Wright diseñó para Edgar y Lillian Kaufman en 1935, fue nombrada Fallingwater.

Fallingwater es una de las mayores invenciones de Wright durante su larga carrera y uno de los iconos más famosos del siglo XX.

Fue diseñada cuando Wright se acercaba a los setenta años, y gracias a su creación, él es reconocido como un arquitecto de gran ingenio y audacia.

A pesar de su remoto lugar en medio del bosque, es muy visitada y se ha nombrado como el mejor edificio americano de los últimos 125 años por el Instituto Americano de Arquitectos.

Hay que destacar que esta obra ha tenido una gran crítica constructiva, resultado de una poderosa experiencia transformadora.

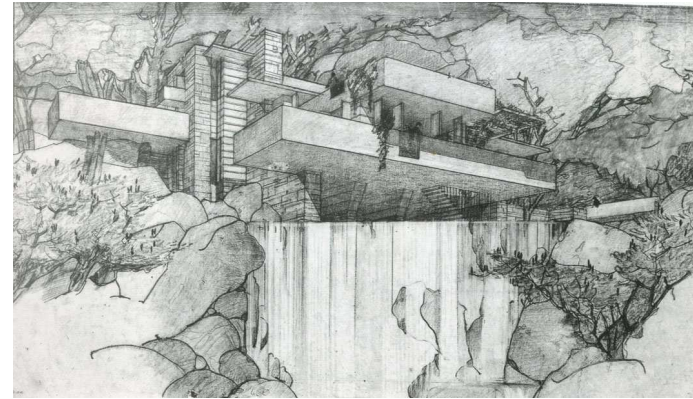


Imagen 10: Primeros bocetos

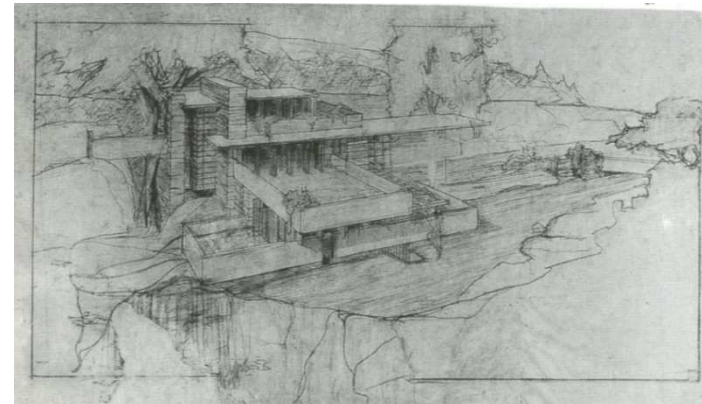


Imagen 11: Primeros bocetos

2.2 CLASIFICACIÓN DE LA OBRA

Autor: Wright, Frank Loyd

Cronología: 1935-1937

Estilo: organicismo

Lugar original: Bear Run, Pensilvania (EUA)

Material: hormigón armado, piedra natural, cristal y aluminio

2.3 DOCUMENTACIÓN DE LA CASA

2.3.1 EMPLAZAMIENTO

Está situada por encima de una cascada en un profundo barranco conocido como Bear Run, un riachuelo, en el suroeste (Pennsylvania).

El objetivo primordial de Wright era hacer que la relación entre la casa y la cascada fuera lo más íntima posible. Por ello, situó la vivienda sobre el arroyo en la orilla norte, pedregosa y con mucha pendiente de la corriente, en lugar de enfrentarla hacia el sur, en una zona más amplia y plana. Es un edificio inmortal y con una estructura muy hermosa.



Imagen 12: Emplazamiento de la Casa de la Cascada

Pocos estudios preliminares están en el registro de la Casa de la Cascada. La comisión llegó como resultado de Edgar Kaufmann, quien había sido aprendiz en Taliesin en 1934. Este animó a su padre, Edgar Sr., a que Wright les diseñara una casa de fin de semana en su propiedad en el oeste de Pennsylvania.

Cuando Frank Lloyd Wright hizo sus primeros bocetos para la casa, estos fueron bien entendidos por él, y totalmente incorporados en aquellos tempranos estudios.

El plano fue dibujado colocando la casa directamente sobre la cascada principal. Cuando Sr. Kaufmann vio el lugar donde Wright había situado la casa dudó de su decisión, pero este le recordó su deseo de vivir en la cascada, y no solamente próximo a ella para contemplarla.



Imagen 13: Boceto en el que se indican los tres niveles.

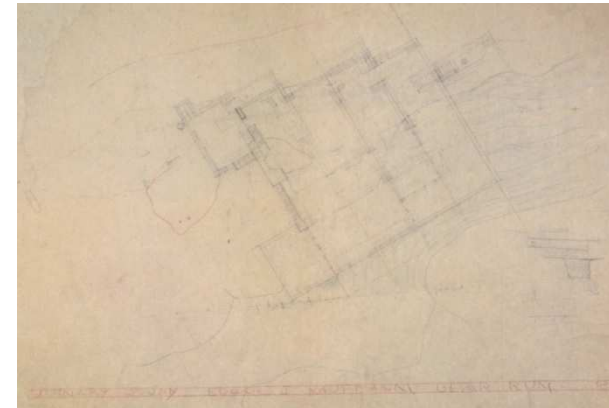


Imagen 14: Boceto de la sala de estar principal con una pequeña elevación, la cual muestra la entrada característica y la relación de la piedra y la cascada.

2.3.2 PLANTAS

La casa tiene tres alturas.

La primera planta se asienta directamente en la roca natural que emerge de la tierra formada en la base de la chimenea, el corazón de la casa. Esta se prolonga por delante formando una gran terraza suspendida por encima de la cascada. Así pues, da la sensación de que el agua sale de la misma casa.

La entrada principal se sitúa en la cara norte, a través de un pequeño recibidor, dando paso a la sala de estar, el habitáculo más grande de la casa, el cual se conecta con el bosque. Adyacente a este se encuentran el comedor y la cocina.

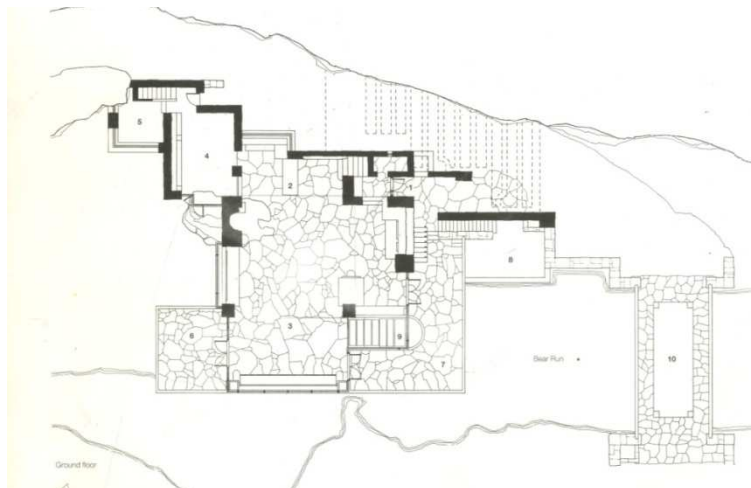


Imagen 15: Planta 1

La segunda planta contiene dos dormitorios principales, además de una pequeña habitación de invitados. Todas y cada una de estas estancias posee su propia terraza.

Destaca la gran relación interior-externo que se observa en todas las salas de la casa, lo cual crea una sensación de incertidumbre.

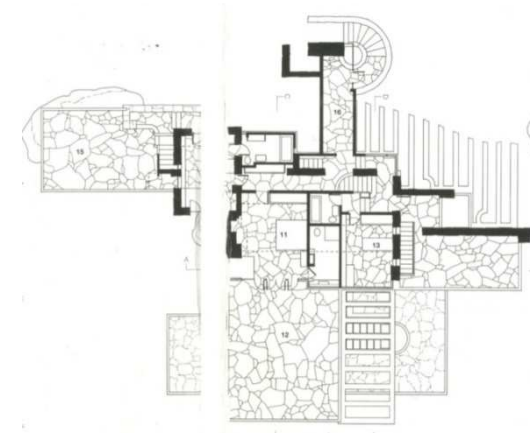


Imagen 16: Planta 2

En la tercera y última planta donde se encuentra el mirador, se hallan el estudio y la galería, con una terraza contigua.

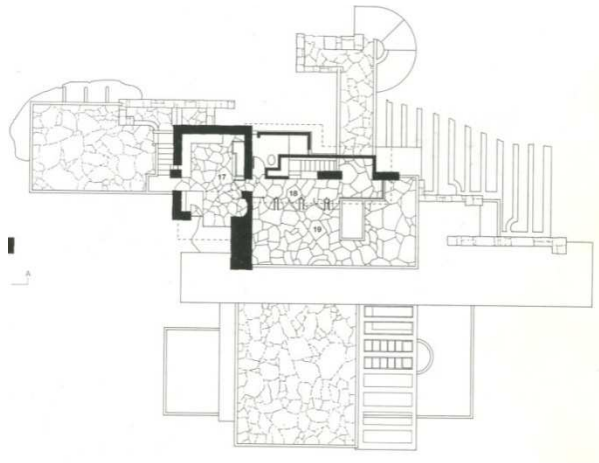


Imagen 17: Planta 3

Respecto al conjunto podemos destacar sus pisos y terrazas en voladizo horizontal, que se disparan formando cascadas, sin soportes aparentes. Las paredes se evitan casi por completo y la sensación de cobijo está casi en su totalidad.

La impresión de refugio proporcionado por los aleros y ventanales, mejoran estos ritmos horizontales y verticales de la casa.

2.3.3 ALZADOS

Se puede observar una total integración de los alzados con respecto al entorno, gracias a los muros de piedra tanto en el exterior como en el interior.

Así pues, los distintos niveles introducidos en la casa formados por las grandes terrazas, simulan el escalonamiento de una montaña. La casa parece fundirse con la naturaleza del lugar.

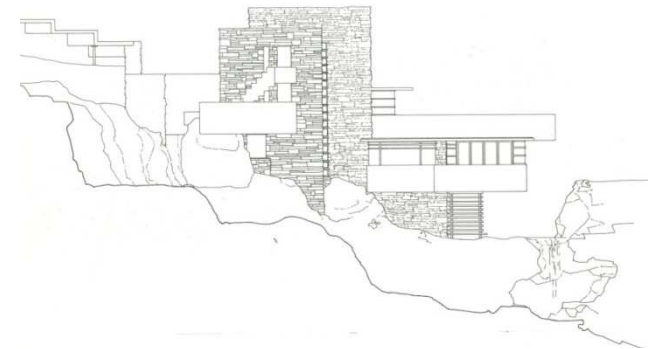


Imagen 18: Alzado Este

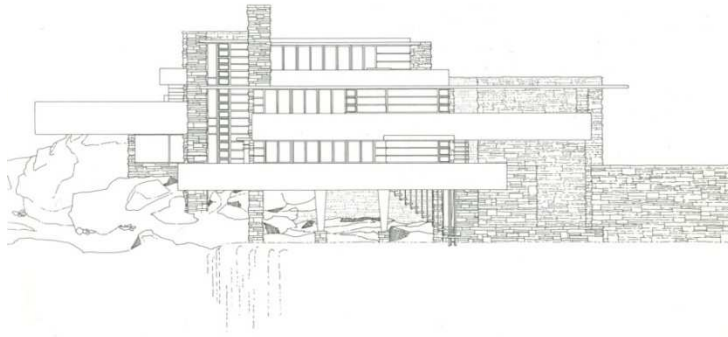


Imagen 19: Alzado Sur

2.3.4 DESCRIPCIÓN DE LOS ESPACIOS INTERIORES

Wright creó un nuevo concepto respecto a los espacios interiores de los edificios, que aplicó sobre todo en sus casas de la pradera. Este arquitecto rechazó el criterio existente hasta entonces de los espacios interiores como estancias cerradas y aisladas de las demás, y diseñó espacios en los que cada habitación o sala se abría a las demás, con lo que consiguió una gran transparencia visual, una profusión de luz y una sensación de amplitud y abertura.



Imagen 20: Fotografía interior

Para diferenciar una zona de otra, recurrió a divisiones de material ligero (imagen 21) o a techos de altura diferente, evitando los cerramientos sólidos innecesarios.



Imagen 21: Fotografía interior, encuentro de la carpintería con el forjado

Con todo ello, Wright estableció por primera vez la diferencia entre "espacios definidos" y "espacios cerrados". Además, estudió con gran atención la arquitectura maya y aplicó este estilo a muchas de sus viviendas.

Dentro de la casa, los efectos de la luz moteada, que rodea el follaje y el movimiento de las aguas, revela la actitud de Wright hacia la integración de la arquitectura y la naturaleza.

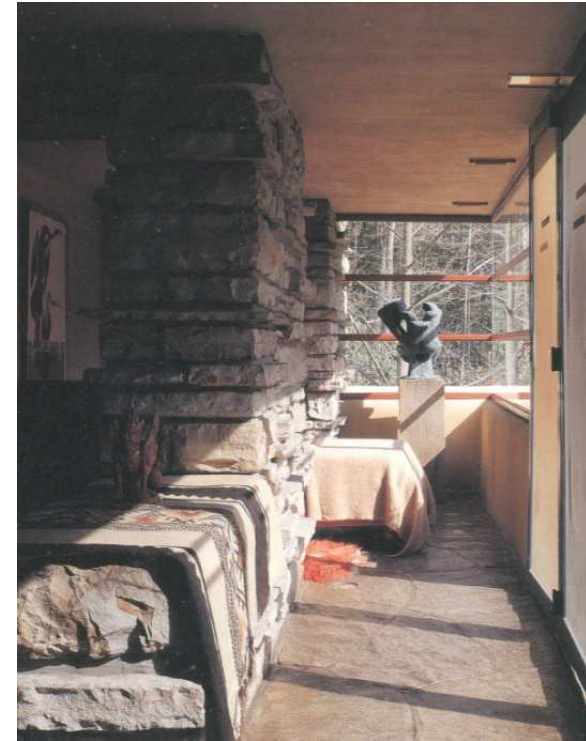


Imagen 22: Fotografía interior, juego de luces

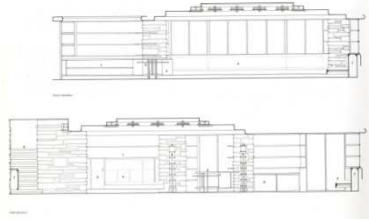


Imagen 23: Secciones interiores

2.4 ANÁLISIS FORMAL

Wright basó su composición en el arreglo de volúmenes horizontales y verticales dispuestos dinámicamente.

Las grandes rocas del terreno son aprovechadas para sostener partes del edificio, un ejemplo es la sala de estar. Además, se ayudan de muros verticales de piedra.

Encima de estos se encuentran los planos horizontales que presenta la construcción y que se encuentran en forma de escalera, lo que permite salvar el desnivel del terreno y adaptarse.

El eje principal de la casa es la enorme chimenea rústica que surge de la piedra natural y todos los espacios se articulan a través de esta.



Imagen 24: Chimenea de piedra

A continuación, se pueden apreciar las axonometrías de los diferentes niveles de la casa, los muros principales, su integración en la naturaleza y cómo sobresalen las grandes terrazas sin apoyo aparente.

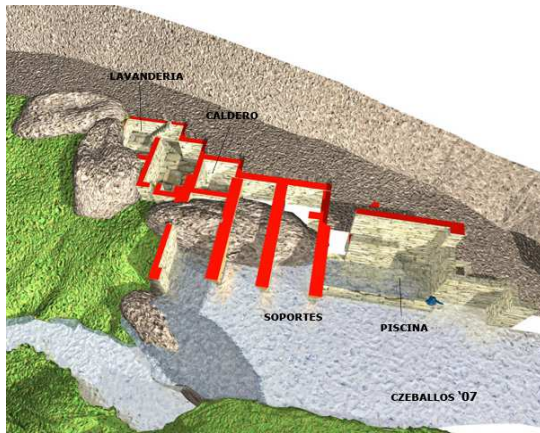


Imagen 25: Planta de cimentación

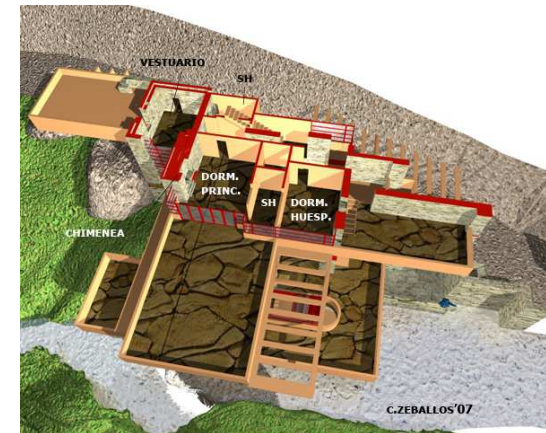


Imagen 27: Planta 2

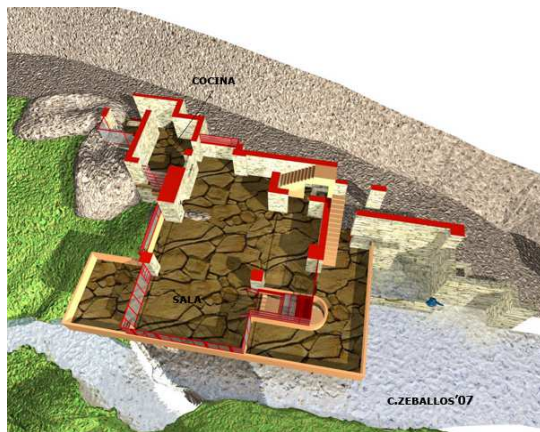


Imagen 26: Planta 1

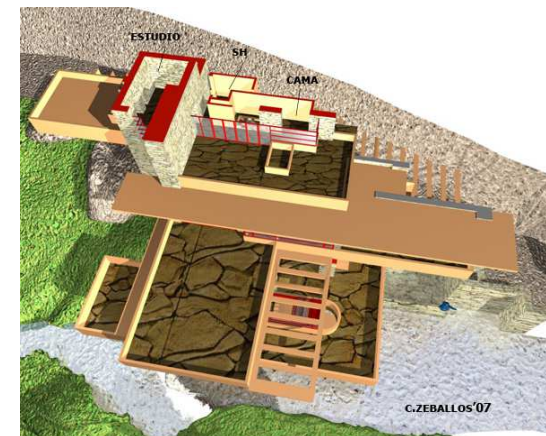


Imagen 28: Planta 3

2.5 INTERPRETACIÓN

El carácter centrífugo de la construcción de Wright es heredero de las tradicionales casas de campo americanas en forma de cruz.

La misma adaptación a la construcción hace que la casa sea un auténtico símbolo del organicismo. Los materiales, la concepción del espacio, la implicación directa con la naturaleza y la integración en el agua son símbolos de una manera mucho más concreta de entender la arquitectura, abierta e integrada en el entorno.

La casa fue encargada a Wright en 1935 por Edgar Kaufmann, director de unos grandes almacenes de Pittsburg, hecha para uso particular, lo que determina el carácter práctico. Fue una especie de aventura técnica por parte del autor, que exploraba las posibilidades de nuevos materiales y la realización de un verdadero ejercicio de integración de la arquitectura en la naturaleza.

El programa teórico de Wright tuvo oposiciones de los racionalistas europeos Walter Gropius y Mies Van de Rohe, arquitectos que, a pesar de todo, asumieron algunas de las posturas de Wright y las aplicaron en sus obras.



Imagen 29: Boceto de interpretación

3. CONSTRUCCIÓN

3.1 FORMA DE TRABAJAR DE WRIGHT

Del mismo modo que ocurría con el resto de edificios de Wright, el diseño de la casa no se detuvo al inicio de la construcción.

El arquitecto citaba en sus numerosos escritos lo mucho que aprendía de los contratistas y de los trabajadores durante la construcción, y cómo estos nuevos conocimientos le permitían cambiar y mejorar el diseño. En otras ocasiones, también observó nuevas oportunidades espaciales, que requerían cambios que incluían la remodelación y reconstrucción de partes del edificio ya terminado.

Un ejemplo de esto sería la Torre de Apartamentos en San Marco (1929), en el que se reforzaron los pisos de hormigón en la estructura del núcleo.

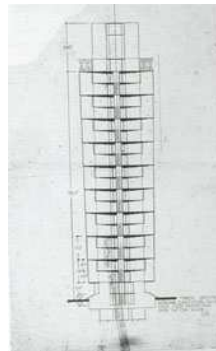


Imagen 30: Torre de Apartamentos en San Marco

Wright era un arquitecto que regularmente estaba en la obra para su supervisión, pero con la rápida extensión a nivel nacional de sus proyectos, como el edificio de Johnson Wax en Wisconsin, los realizados en Arizona, los campos de la Universidad del sur de Florida y la Usonian Houses, tuvo que confiar más en sus aprendices del Taliesin, los cuales se encargaron potencialmente de controlar la construcción.

Cuando proyectaba, tenía un sentido intuitivo asombrosamente exacto de los materiales y sus posibilidades constructivas y estructurales pero, a menudo, fue incapaz de transmitirlo, tanto a sus aprendices como a sus clientes.

3.2 COMIENZOS DE LA CONSTRUCCIÓN

A finales de 1935 se abrió una antigua cantera de roca a unos 150 metros al oeste de la cascada. Este sería el material escogido, propio del lugar, para los muros y los pavimentos de la casa.

Se tomaron los estratos de la piedra y fueron rotos en pedazos alrededor de unos 0.30 m. de ancho y 0.61 m. de largo, siendo el grosor el propio de los estratos de la cantera.

El material escogido para la estructura fue el hormigón armado, el cual todavía se consideraba nuevo en América. Los ingenieros desde un primer momento dudaron sobre el material escogido y, a esta duda, se le añadió el reto estructural de situar la casa en el borde de la roca, sobre la cascada.

Los ingenieros hicieron que Kaufmann, para el cual sería la casa, también dudara de ello.

Cuando Wright se enteró de lo que pensaba su cliente, quiso que este le devolviera los dibujos que le había ido proporcionando de la casa puesto que, bajo su criterio, no la merecía.

Más tarde, Kaufmann le pidió disculpas y dio su aprobación para poner los planos en funcionamiento.

Uno de los aspectos más relevantes del proyecto se percibe en la imagen a posteriori, donde se muestra una axonometría con el diseño de la losa ingeniosa de Wright.

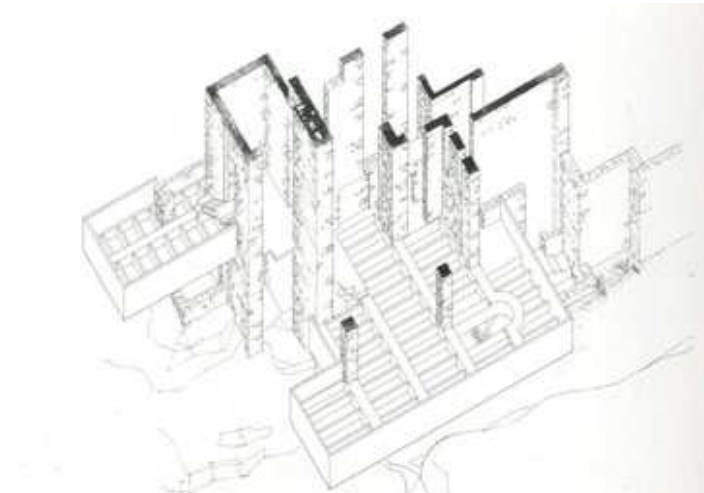


Imagen 31: Axonometría de la losa ingeniosa de Wright

Esta losa, variando el canto y el tipo, pretendía conseguir la estabilidad estructural necesaria en los grandes voladizos.

3.3 FASES MÁS RELEVANTES DE LA CONSTRUCCIÓN

A principios de agosto de 1936, se empezaron los encofrados de las losas de hormigón.

El encofrado del primer piso se colocó con ménsulas extendidas, tal y como se aprecia en la imagen.



Imagen 32: Encofrado de la losa del primer piso

Siguiendo con los muros de roca, cabe destacar que Wright antes de su definitiva realización, creó una muestra que fue aprobada por él mismo en el propio lugar.

También es importante relacionarlos con los acantilados de roca de su país natal, lo cual le inspiró a seguir con esta corriente en Bear Run.

En esta imagen de 1936, se observa la construcción de los muros de mampostería de piedra del segundo piso. Cerca del centro hay una pared con ranura para el vidrio, establecido en albañilería.



Imagen 33: Construcción de los muros de piedra

A continuación, se puede apreciar la estructura reforzada de vigas de hormigón, situada en la terraza del dormitorio en el lado oeste de la casa.

Los árboles existentes se alojan por aberturas enmarcadas en la terraza de la planta, así pues, tres vigas principales llevan el afloramiento de piedra existente a lo largo de la calzada.



Imagen 34: Estructura reforzada de vigas de hormigón

Continuando con la construcción, se observa una imagen del otoño de 1936, en la que aparece el encofrado de madera bajo el primer piso, de losa de hormigón y el retirado de debajo de la segunda losa.



Imagen 35: Encofrado y retirado

3.4 CIRCUNSTANCIAS DE LA OBRA

Mendel Glickman y William Wesley Peters, ingenieros y grandes pensadores estructurales que permanecieron toda su vida con Wright en Taliesin, fueron los responsables del cálculo de las cargas estructurales. Calcularon las cargas en el hormigón reforzado y en el doble voladizo de losa con vigas, apoyado hacia afuera, sobre el arroyo.

Este ingenioso diseño colocaba la losa plana en la parte inferior, formando el techo del espacio interior por debajo. Sólo mediante el estudio del dibujo de la sección podemos discernir las vigas integrales que, con los antepechos en el borde, describen la estructural real que trabaja en el primer piso.

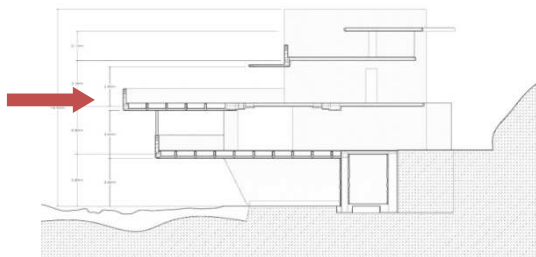


Imagen 36: Sección transversal

El incidente más grave en la construcción de *Fallingwater* fue causado por el contratista, el ingeniero y Kaufmann cuando vertieron la losa del primer piso el 19 de agosto.

A petición de Kaufmann los ingenieros reforzaron el plano de la losa poniendo doble acero. Este acero no sólo añadió excesivo peso a la losa cuidadosamente calculada, sino que al disponer tan juntas las armaduras en algunos sitios, entre ellas no había suficiente hormigón, lo que provocó una pérdida real de fuerza.

Además, el contratista no realizó una adecuada ejecución en la construcción de los encofrados de madera, pues los construyó de tal forma que estructuralmente provocaron un leve asentamiento. Este se produjo en el tiempo y afectó a los voladizos.

Wright no fue consciente de los graves errores que se estaban cometiendo hasta el momento en el que empezaron a aparecer las primeras grietas en el hormigón.

Estas se fueron extendiendo en el hormigón hasta la rehabilitación que se ha hecho posteriormente.

A pesar de las cargas estructurales agregadas y de las debilidades de la construcción, la casa se pudo sostener fácilmente.

Wright afirmó que esto era debido a la calidad de su intuición estructural, puesto que sin esta y con las incidencias de la obra, la vivienda no se hubiera podido mantener en pie.

3.5 PLANOS Y DEALLES DE LA FORMA DE CONSTRUIR

A continuación se analizan algunos de los planos hechos a mano de la construcción de la Casa de la Cascada y el porqué de la forma en que Wright la construyó.

En primer lugar, se detallan las secciones oeste y este, a partir de las cuales se puede afirmar que las escaleras suspendidas sobre el arroyo no estaban destinadas originalmente a tener soporte estructural sobre el lecho del mismo.

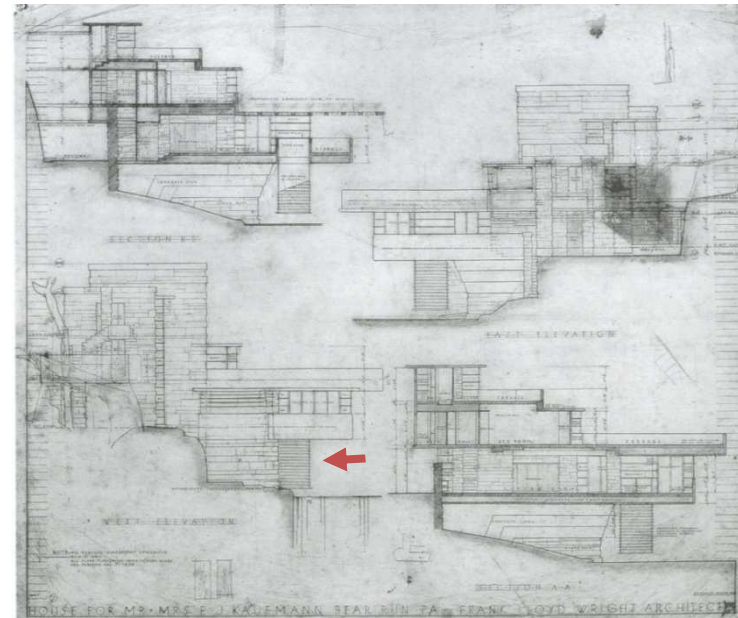


Imagen 37: Secciones este y oeste

En segundo lugar se describen los acabados de los antepechos.

Wright sugirió que al hormigón de estos se le diera una capa final de pan de oro, pero Kaufmann lo rechazó. Así pues, se utilizó para el color del hormigón una especie de color tierra.

Los cantos inicialmente eran planos, pero posteriormente se diseñaron y realizaron como cantos redondeados.

Seguidamente, se estudia el detalle de las ventanas y carpinterías de la casa.

Para crear un lugar en armonía con la naturaleza, Wright optó por crear ventanas pequeñas en la cocina y en las habitaciones, sin encuadre vertical en el muro de piedra, permitiendo dentro y fuera combinar de forma similar las losas que se encontraban en el piso, para que la casa diera la sensación de continuar hacia afuera en las terrazas y a través del vidrio.

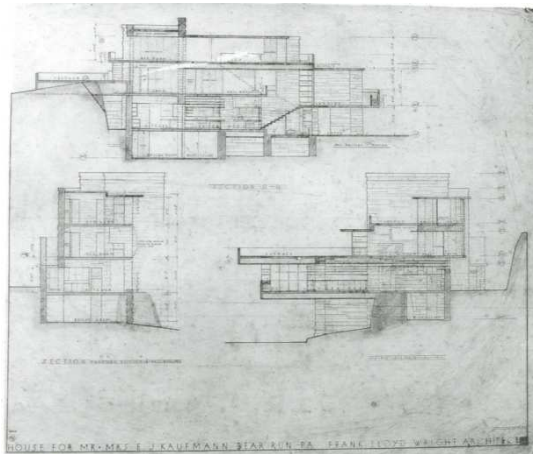


Imagen 38: Planos de construcción

Como anécdota, destacar que mientras que los historiadores mantienen que Kaufmann sugirió correr el vidrio directamente en la piedra, y algunos incluso han descrito la ranura de piedra como si hubiese sido cortada con una sierra, los detalles nos llevan a sospechar que Wright había concebido este detalle bien antes de la construcción.

Otros aspecto en el que Kaufmann quiso contribuir en la sensación natural de la casa fue la de entrar en la sala de estar con la roca original que, saliendo de la planta plana de pizarra, sirvió como hogar para la casa. Wright tenía la intención de cortar la roca fuera de plano incluso con el piso de pizarra, sin embargo Kaufmann sugirió que permaneciera como inicialmente se encontraba cuando su familia tomaba el picnic sobre ella, antes de que la casa fuera construida.

Aquí podemos ver, incluso durante la construcción, que Wright estaba dispuesto a incorporar ideas que mejorarían la riqueza espacial y la experiencia de sus diseños.

A continuación, se observan algunos planos de construcción en los que aparece la trampilla de vidrio sobre escaleras suspendidas en la sala de estar, la planta y la sección.

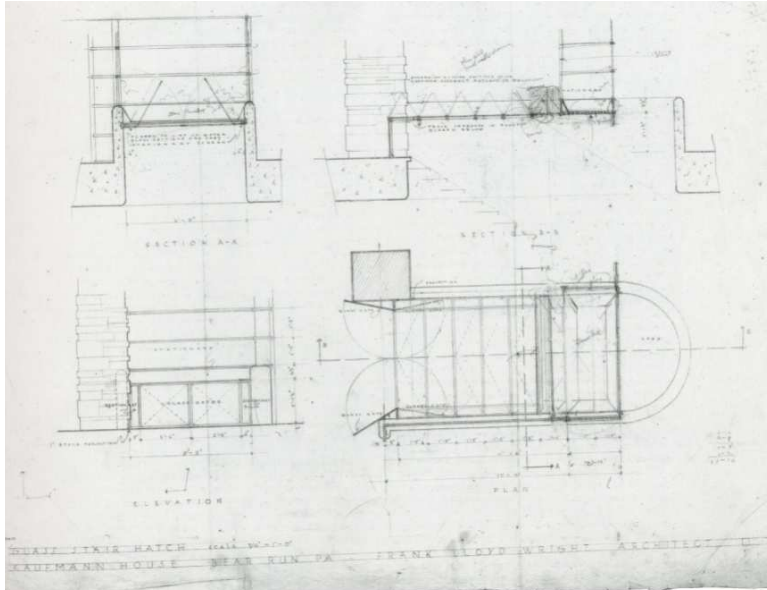


Imagen 39: Trampilla de vidrio en las escaleras

Ya por último se insertan algunos detalles más de la escalera y de los alzados interiores.

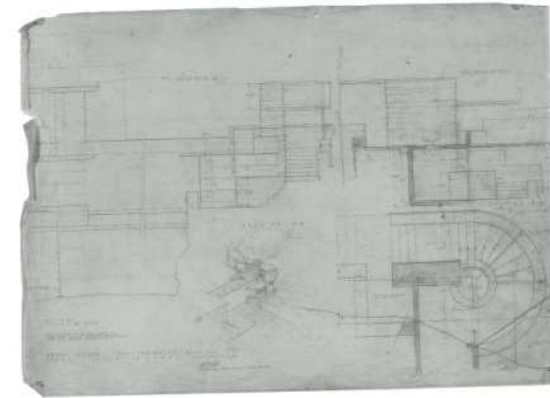


Imagen 40: Detalle escalera

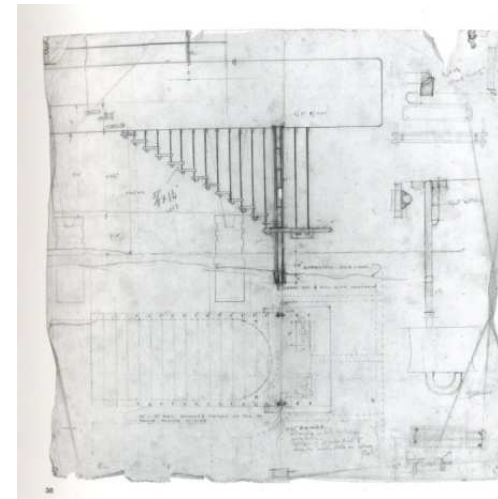


Imagen 41: Detalle escalera

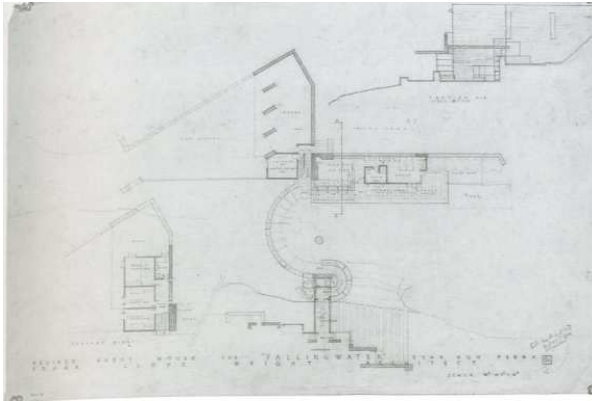


Imagen 42: Detalle escalera

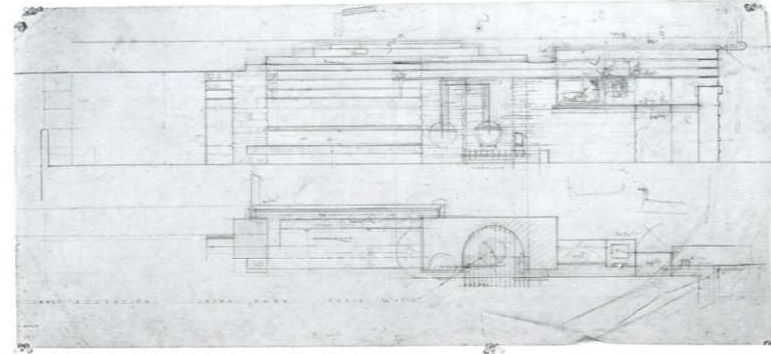


Imagen 44: Detalles interiores

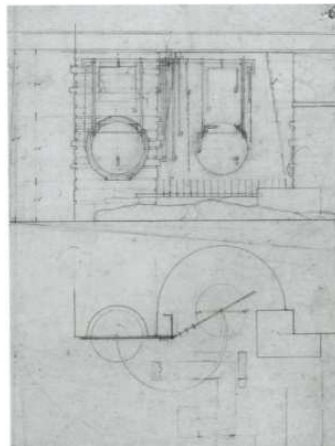


Imagen 43: Detalle escalera

Finalmente, destacar que un aspecto muy importante en el diseño y la construcción de *Fallingwater* es la gran sensibilidad al sitio natural, intentando siempre que sea posible preservar el medio ambiente y conservar los afloramientos de roca en su lugar original.

3.6 SITUACIÓN ACTUAL DE LA CASA DE LA CASCADA

La Familia Kaufmann disfrutó del refugio en la montaña desde 1939 hasta 1963, fecha última que coincide con la venta de la casa por el hijo del Sr. Kaufmann a la *Western Pennsylvania Conservancy*, debido al alto coste que requería su conservación.

Fue entonces, a partir de 1964, cuando se convirtió en Centro de Visitantes y Casa Museo y se abrió al público. A día de hoy la vivienda ha recibido más de 4.5 millones de visitantes.

En 2002 la *Fallingwater* recibió una importante restauración que tuvo un coste total de 11.5 millones de dólares, infinitamente superior al presupuestado en su construcción inicial, 155.000 dólares.



Imagen 45: Estado actual de *Fallingwater*

3.7 RESTAURACIÓN

La reparación de la Casa de la Cascada se había postergado varias veces por la falta de fondos suficientes, aún siendo conscientes de su necesidad.

Se habían detectado numerosas fisuras en la estructura de hormigón, así como desplazamientos inadmisibles en la punta de los voladizos.

También se le añadieron los problemas de moho en la estructura por la cercanía del agua, los cuales habían existido siempre, originando así un deterioro notable de la casa con el transcurrir de los años.

3.7.1 FASES DE RESTAURACIÓN

Primeramente se intentaron reparar las grietas que habían aparecido en los antepechos de la terraza de la segunda planta, las cuales, ya se habían abierto en el momento de la construcción.

Más tarde, en 1990, se realizó un estudio para resolver el problema de las grietas de esta terraza, la cual transfería sus

cargas a la primera planta a través de los pilares de las ventanas de la sala de estar. Los estudios también demostraron que la primera y segunda plantas se reforzaron insuficientemente con el acero.

Las medidas tomadas en el momento revelaron que ambas plantas se habían desviado 0.1778 metros y continuaban haciéndolo.

El apuntalamiento temporal se instaló en 1997 para apoyar el voladizo mientras se buscaba una solución.

En 2002 los equipos de restauración retiraron el suelo del salón e instalaron cables post-tesados en algunas de las principales vigas y viguetas del nivel por debajo del suelo.

Los cables estaban unidos a los lados de estas y tensados para añadir resistencia a compresión.



Imagen 46: Estado del voladizo cuando se retiró el suelo

El post-tesado causó el levantamiento del forjado hasta 0.025 metros, cerrando las grietas históricas. El suelo se recolocó y la reparación ahora no puede ser vista.

Así pues, el edificio pasó a ser autoportante.

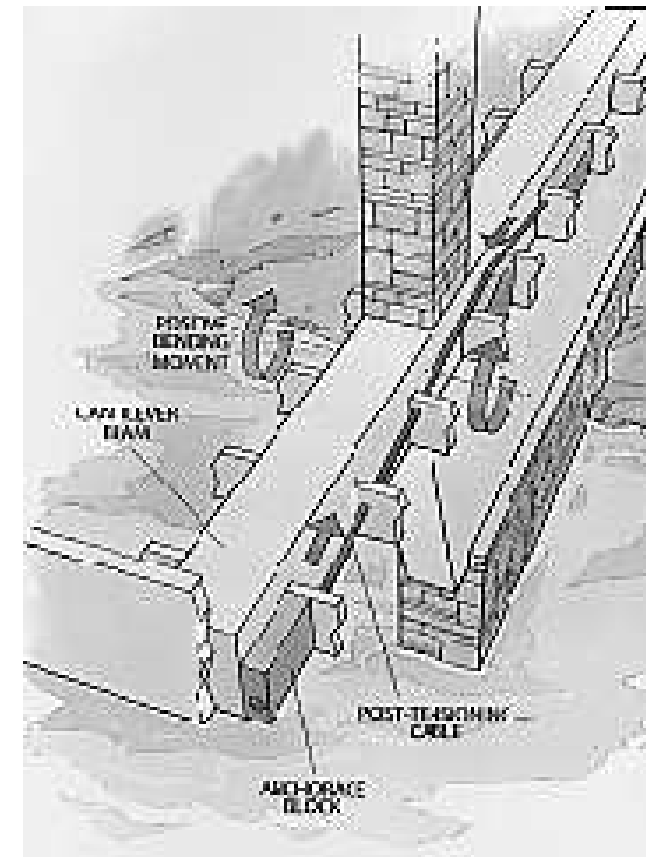


Imagen 47: Esquema del post-tesado

El ingeniero estructural Robert Silman fue el encargado de las reparaciones. Su propuesta fue elegida por un panel de expertos, que coincidió con que no había una mejor manera de solucionar los problemas de la casa sin interferir con la estética original.

Silman investigó la estructura con avanzados sistemas de radar y con medidores ultrasónicos que le permitieron encontrar la ubicación de las grietas sin necesidad de romper los muros ni pisos.

Este ya había trabajado en seis obras de Wright y, según explicó, sus construcciones solían presentar problemas en los techos. El arquitecto los prefería planos y años atrás no existían los materiales apropiados lo suficientemente livianos y a la vez impermeables para lidiar con sus requerimientos. Como consecuencia, los hogares presentan goteras y daños por humedad, los cuales se repetían en la Casa de la Cascada.

Las reparaciones definitivas de la Casa de la Cascada son parte de un proyecto que incluye la impermeabilización de toda la casa. Además de los problemas estructurales, también se

restauraron las grietas y se cambiaron las instalaciones sanitarias y de agua de la propiedad.

3.7.2 RECONOCIMIENTOS

-En 1991 los miembros del Instituto Americano de Arquitectos (AIA) votaron a la *Fallingwater House* (La Casa de la Cascada) como "el mejor trabajo de todos los tiempos realizado por un arquitecto americano".

-En 1996 la *Fallingwater* fue declarada Hito Histórico Nacional.

-Desde 2007 la *Fallingwater* ocupa el puesto nº 29 en la lista AIA 150, donde se recogen las 150 obras más queridas y representativas de la arquitectura favorita americana.

4. DISEÑO DEL MODELO

4.1 INTRODUCCIÓN

Para poder hacer el análisis estructural de la Casa de la Cascada se ha hecho uso del programa de *Architrave*.

Primeramente *Architrave Diseño*, insertado dentro de *AutoCAD*, donde se ha modelizado la estructura con sus entidades propias, como líneas y 3Dcaras, asignándole propiedades geométricas y mecánicas desde él, e insertando entidades gráficas diversas que simbolizan las acciones y apoyos.

En segundo lugar, *Architrave Cálculo*. Una vez elaborado el modelo, los elementos gráficos que lo componen se exportan a un fichero en formato xml, que sirve de vínculo con *Architrave Cálculo*, dónde se analizan, se dimensionan y se obtienen resultados del modelo.



Imagen 48: Símbolo de *AutoCAD*



Imagen 49: Símbolo de *Architrave*

Para la realización del análisis de la estructura y de su comportamiento frente a las cargas a las que está sometida, se ha realizado un modelo virtual de la casa intentando simular lo máximo posible la vivienda real.

Se han propuesto soluciones alternativas a las existentes, que supondrán un comportamiento similar a estas, estudiándose los elementos que componen la estructura y cómo se relacionan.

4.2 EL CONCEPTO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO

Antes de empezar a analizar las diferentes partes del edificio, se va a estudiar la estructura para poder entender cómo funciona y posteriormente poder analizar los elementos de manera más detallada.

4.2.1 PLANTA DE CIMENTACIÓN

El edificio se levantó sobre una cascada, en un profundo barranco conocido como *Bear Run* (Pennsylvania), por lo que requería una solución de cimentación apropiada al lugar.

Como se observa en la siguiente imagen de la planta de cimentación a cota -3.6 m., la solución elegida es la de zapatas corridas. Unas son excéntricas, otras centradas y aparecen también algunas combinadas. Estas zapatas varían su sección, la cual es rectangular, dependiendo del estrato en el que se insertan, entre 1.15 x 0.40 m. y 1.70 x 0.60 m. Sobre ellas, aparecen unos muros portantes de entre 0.40 y 1.30 m. de espesor, los cuales también varían en función de las zapatas.

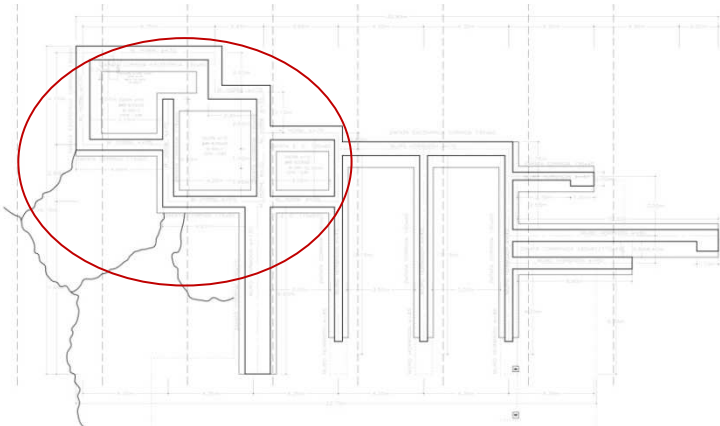


Imagen 50: Planta de cimentación

Además, en la zona señalada en la planta de cimentación se coloca una solera de 0.15 m. de espesor.

4.2.2 PLANTA PRIMERA

A continuación, se analiza el nivel a cota 0 m., planta primera, donde se levanta el primer forjado.

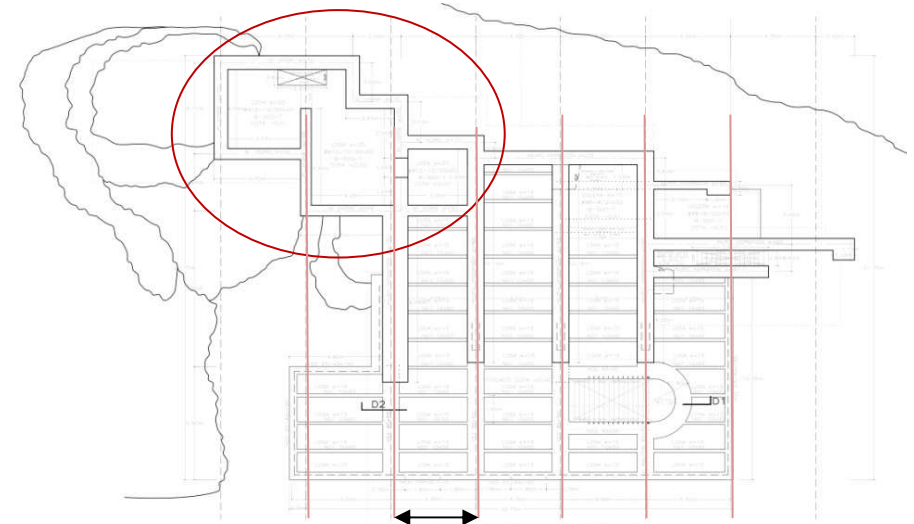


Imagen 51: Forjado de la planta primera

En esta planta aparecen dos tipos diferentes de forjado.

Se estudia con mayor hincapié el nervado, el cual aparece en la mayor parte de la planta, a excepción de la zona señalada, la cual se corresponde a la estancia de cocina y cuarto de servicio y el forjado es de losa maciza con 0.25 m. de espesor.

El forjado nervado, trabaja como un voladizo apoyándose en los grandes muros que llegan a la cimentación. A su vez, estos se comportan como contrapeso.

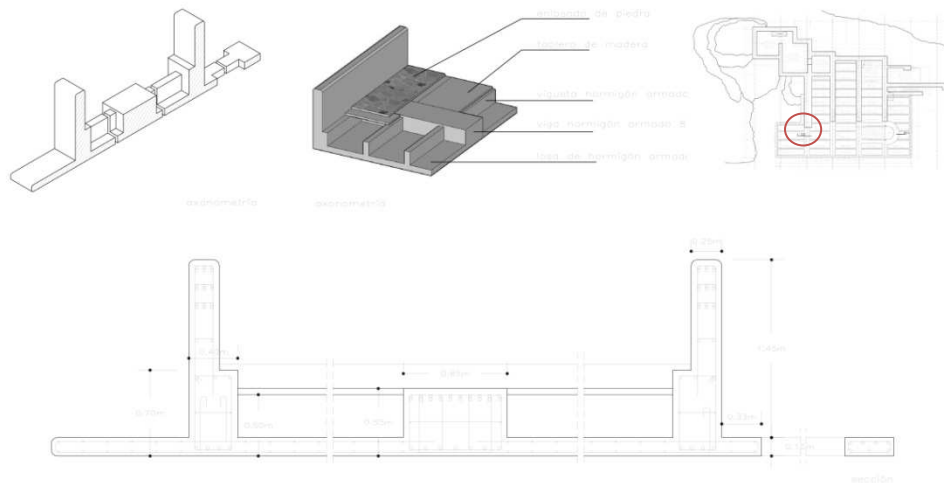


Imagen 52: Detalle de la sección del forjado de la planta primera

Como se aprecia en el detalle, es un forjado de 0.55m. de espesor, compuesto por unas grandes vigas de hormigón armado de sección 0.85m. x 0.55 m. y unas viguetas de sección 0.10 x 0.50 m., enrasadas por la cara inferior con una losa de 0.15 m. Destacar, que los interejes del forjado nervado son de alrededor de 4 metros.

En el hueco de la escalera del forjado se aprecian dos pequeños pilares que apoyan en el tramo de viga curva. Ambos no se han incluido en el modelo, puesto que se ha simplificado la estructura y se han insertado sólo los elementos significativos.

4.2.3 PLANTA SEGUNDA

En el siguiente nivel a cota 3.5 m., es donde se desarrolla el forjado de la segunda planta.

Este es el más complejo de todos, pues está formado por tres tipos diferentes de sección.

Para poder explicarlo mejor se va a analizar situando tres puntos de referencia: el punto A, el punto B y el punto C.

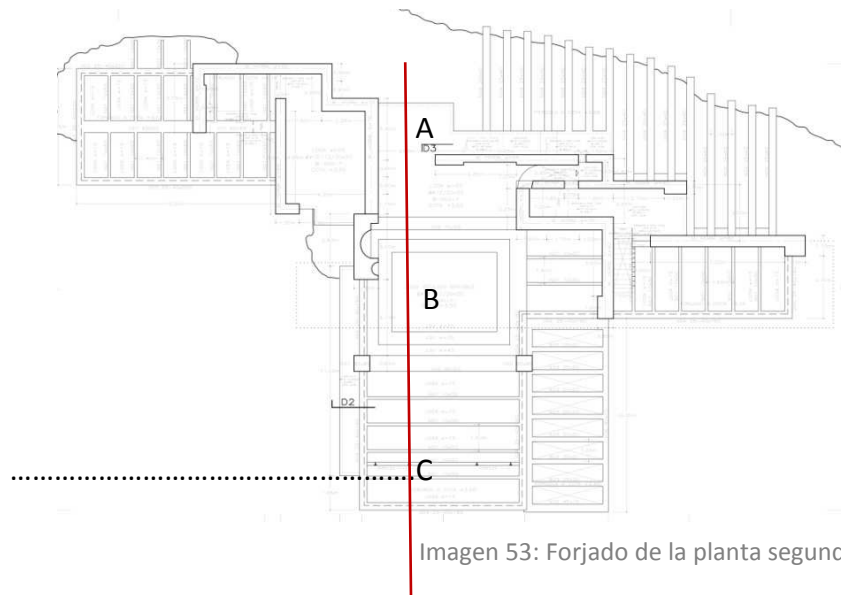


Imagen 53: Forjado de la planta segunda

El forjado en el punto A está formado por una losa maciza 0.25 m. de espesor, cambiando en el punto B, ya que se convierte en una losa de canto variable y termina en el punto C con un forjado nervado de 0.55 m. de espesor.

Estudiando la disposición de las vigas del forjado nervado, se llega a la conclusión de que el forjado de la segunda planta apoya en la planta inferior a través de la carpintería metálica, igualándose así las deformaciones.

Además se ayuda de la pérgola anexa a él, formada por nervios de sección 0.25 x 0.20 m. variando el nervio perimetral de 0.45 x 0.15 m.

4.2.4 PLANTA TERCERA

El siguiente nivel a cota 6.85m., la tercera planta, es donde se desarrolla el último forjado.

En este no aparecen grandes voladizos, por lo que el forjado se simplifica, siendo una losa maciza de 0.25 m. de espesor y disminuyendo este a 0.15 m. en la pequeña terraza.

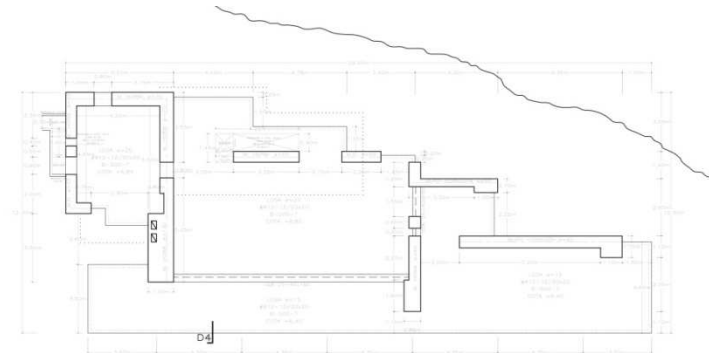


Imagen 54: Forjado de la tercera planta

4.2.5 SECCIÓN

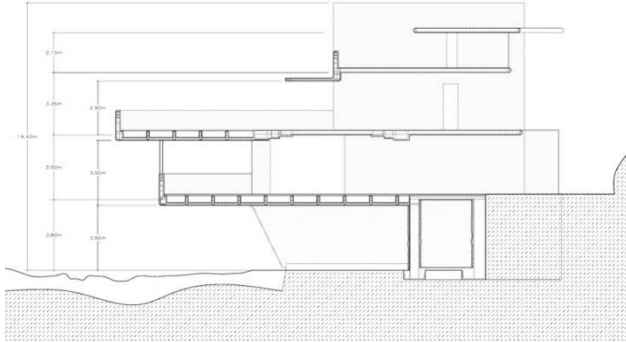


Imagen 55: Sección completa

En la imagen de la sección se consigue entender la variación de forjados que utiliza Wright para solucionar cada uno de los problemas que plantea la estructura.

También se aprecia la importancia de los antepechos con canto redondeado que aparecen en el perímetro de los forjados. Estos tienen una sección de 0.25 x 0.90 m. y 0.25 x 1.45 m.

Es importante destacar que tanto en las plantas de forjado que se han analizado como en la sección, se aprecia la disposición de elementos masivos que contrarrestan los voladizos.

4.3 EL MODELO

Se ha realizado un modelo de la estructura mural de la Casa de la Cascada.

Primero se han creado unas polilíneas en *AutoCAD* para representar los muros y los forjados de los diferentes niveles.

Esta ha sido la base de nuestro modelo, a partir del cual hemos continuado añadiendo elementos para poder acercarnos lo máximo posible a la realidad.

A continuación, se expone una imagen del despiece de la estructura básica.



Imagen 56: Modelo básico de forjados y muros

En segundo lugar, se han colocado los 5 pilares estructurales entre el primer y el segundo forjado, necesarios para absorber el gran voladizo.

Estos pilares tendrán asignado el material acero y una sección de 2UPN-80 y en el análisis obtendremos resultados con y sin ellos para poder expresar su importancia.

En tercer lugar, se ha realizado una simplificación de los antepechos con canto redondeado y se añaden a nuestro modelo como una viga perimetral de sección 0.3 x 1.2 m. y con una materialidad de HA-25.

Destacar que cuando analicemos los resultados evaluaremos cómo se estabiliza el conjunto con o sin ellos.

Seguidamente, se han modelizado todos juntos como elementos finitos triangulares planos.

A continuación, se han insertado la materialidad y el espesor de los muros y forjados.

Para los muros se ha escogido un espesor medio de 0.55m. y se le ha asignado una materialidad de ladrillo.

Respecto a los forjados, al analizarlos anteriormente cada uno ha resultado ser diferente, por lo que para nuestro modelo se ha llegado a una simplificación: utilizaremos losas macizas de un espesor medio de 0.3 m.

Para poder soportar el gran voladizo del primer forjado, se han añadido a nuestro modelo 4 pequeñas ménsulas. Estas serán de un espesor de 0.35 m. y se les asignará una materialidad de ladrillo.

También se ha añadido al segundo forjado la pérgola adyacente a él, utilizando una sección de 0.25 m. x 0.20 m. y con una materialidad de HP-25.

Por último, para la cimentación se ha optado por una zapata corrida y se realiza una simplificación de los muros que descansan sobre esta, pues serán todos centrados.

4.4 MODELIZACIÓN DEL CONJUNTO

En este apartado se muestra el resultado de la modelización del conjunto.

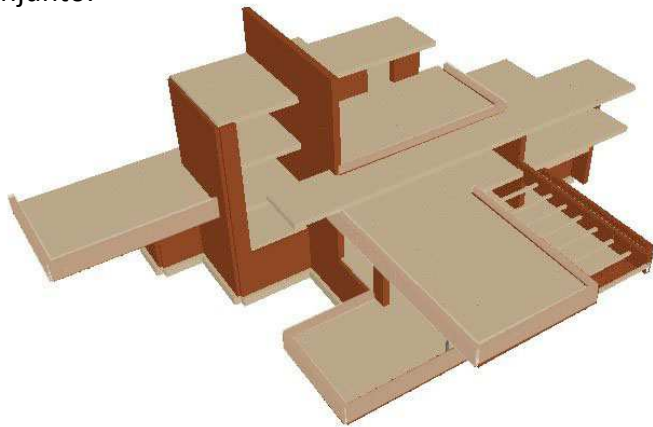


Imagen 57: Modelo virtual de la Casa de la Cascada

La vista aérea del modelo virtual hace posible apreciar todos los elementos que lo forman y, sobre todo, las grandes terrazas en voladizo.

Por último, se justifica la similitud del modelo con la vivienda real con la comparación de estas dos imágenes.



Imagen 58: Imagen representativa de la Casa de la Cascada

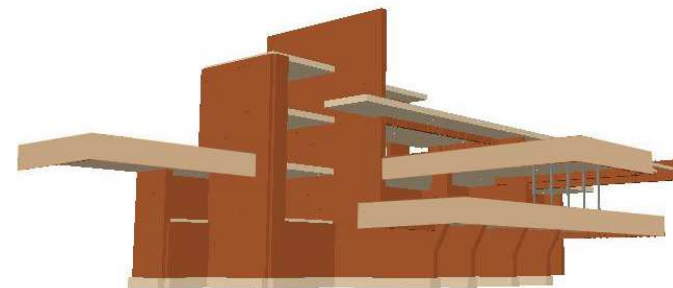


Imagen 59: Modelo virtual de la Casa de la Cascada

5. EVALUACIÓN DE CARGAS

Para poder aproximarnos a las cargas a las que puede estar sometida la estructura real de la Casa de la Cascada, se ha realizado un modelo al cual se le asignan unas determinadas cargas. Éstas se obtienen de acuerdo con lo establecido en el Código Técnico de la Edificación (CTE), en concreto en su apartado DB-SE-AE: Documento Básico de Seguridad Estructural, Acciones en la Edificación.

Para el análisis de la Casa de la Cascada sólo utilizaremos las cargas permanentes y las variables, sin tener en cuenta las acciones accidentales.

Es importante destacar que los pesos propios de los elementos estructurales ya los tiene en cuenta *Architrave* a la hora de realizar el cálculo a partir de las secciones y materiales definidos. Por tanto, no será necesario añadirlas como una carga adicional.

5.1 ACCIONES PERMANENTES

Para la determinación de las cargas permanentes se han utilizado los pesos de los materiales y elementos constructivos a emplear en la edificación. Tales como el propio peso de la estructura y de los elementos constructivos como tabiquería, cerramientos, pavimentos, falsos techos, etc.

5.1.1 PLANTA PRIMERA

Forjado nervado de hormigón armado de 0.55 m. de espesor.....	6.25 KN/m ²
Tablero de madera 0.025 m.....	0.15 KN/m ²
Enlosado de piedra (sobre mortero autonivelante e=9cm).....	1.10 KN/m ²
Muros de carga hechos con la misma piedra arenisca que la plataforma de la roca de 0.55 m.....	11.30 KN/m ²
Antepecho de sección 0.3 m.....	7.50 KN/m ²
Vidriería (incluida la carpintería metálica).....	0.35 KN/m ²
5 pilares metálicos 2 UPN-80.....	3.10 KN

Las cargas verticales permanentes totales de la primera planta tendrán un valor de **7.50 KN /m²**.

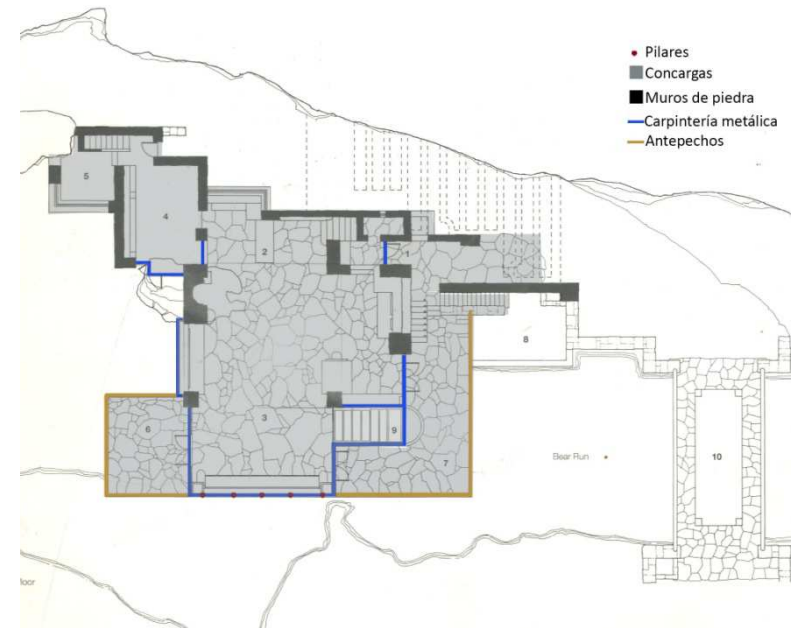


Imagen 60: Planta primera

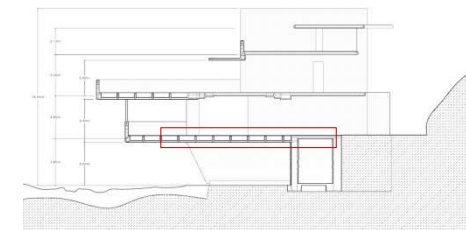


Imagen 61: Sección transversal

5.1.2 PLANTA SEGUNDA

Forjado nervado de hormigón armado de 0.55 m. de espesor,	6.25 KN/m ²
Forjado de canto variable de viguetas y bovedillas.....	3.5 KN/m ²
Forjado de losa maciza 0.3 m.....	7.5KN/m ²
Tablero de madera 0.025m.....	0.15 KN/m ²
Enlosado de piedra.....	1.1 KN/m ²
Muros de carga hechos con la misma piedra arenisca que la plataforma de la roca.....	11.30 KN/m ²
Antepecho de hormigón armado de 0.3 m.....	7.5 KN/m ²
Vidriería (incluida la carpintería metálica)	0.35 KN/m ²
Tabiquería interior de 12cm. de espesor formada por L.H de 11 cm. y enlucido de yeso en ambas caras	1.62 KN/m ²

Las cargas verticales permanentes totales de la segunda planta,
tendrán un valor total de **7.50 KN /m²**.



Imagen 62: Planta primera

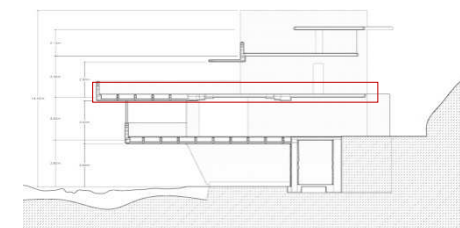


Imagen 63: Sección transversal

5.1.3 PLANTA TERCERA

Losa maciza de hormigón armado de espesor 0.3 m.....7.5 KN/m²

Tablero de madera 0.025m0.15 KN/m²

Enlosado de piedra (sobre mortero autonivelante e=9cm).....1.1 KN/m²

Muros de carga hechos con la misma piedra arenisca que la plataforma de la roca.....11.30 KN/m²

Antepecho de sección 0.3 m.....7.50 KN/m²

Vidriería (incluida la carpintería metálica)0.35 KN/m²

Las cargas verticales permanentes totales de la tercera planta tendrán un valor de **8.75 KN /m²**.

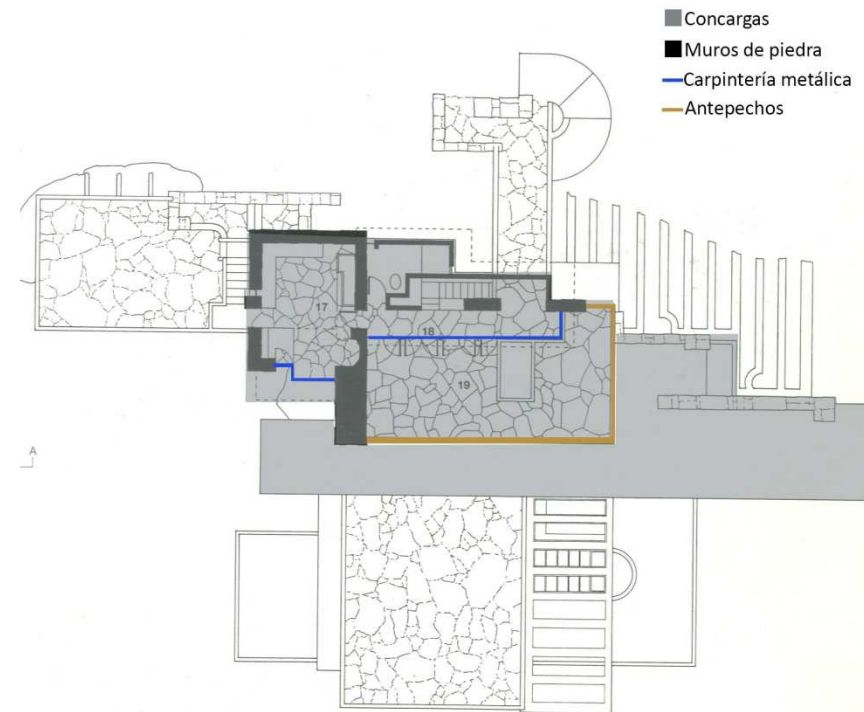


Imagen 64: Segunda planta

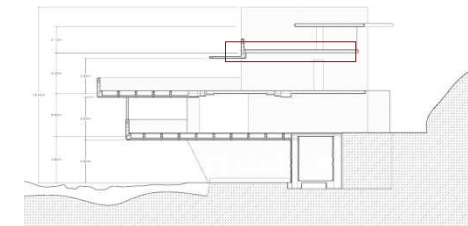


Imagen 65: Sección transversal

5.1.4 CUBIERTA

Losa maciza hormigón armado de 0.3 m.....7.5 KN/m²

Hormigón de pendientes 0.1 m..... 1KN/m²

Acabado.....0.5 KN/m²

Las cargas verticales permanentes de la cubierta totales tendrán un valor total de **8.50 KN /m²**.

Por último, destacar que las acciones se han introducido en el modelo como cargas superficiales gravitatorias aplicadas sobre superficies de reparto, los forjados. No se han aplicado cargas horizontales sobre los muros.

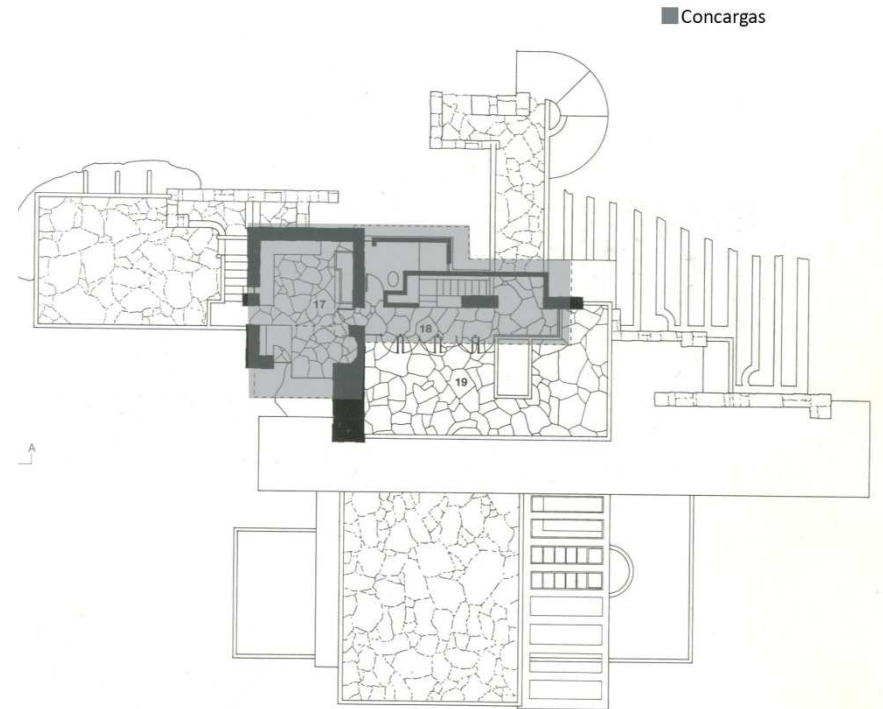


Imagen 66: Tercera planta

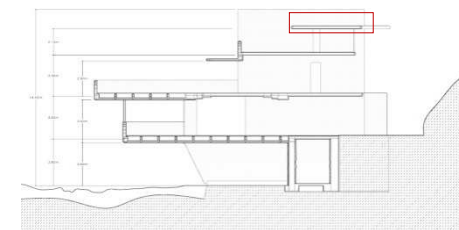


Imagen 67: Sección transversal

5.2 ACCIONES VARIABLES

Las cargas variables son aquellas que actúan únicamente durante un periodo de tiempo y su valor de carga en el momento que actúa no es constante.

Para el cálculo de la sobrecarga de nieve y viento es necesaria la ubicación del edificio. Puesto que estamos teniendo en cuenta para los cálculos la normativa europea, el emplazamiento real, en Pennsylvania no es posible. Así pues, se va a considerar que el edificio se encuentra situado en España.

Pennsylvania se encuentra a una altitud sobre el nivel del mar de 1298 m., con temperaturas máximas en verano de 29º y llegando a alcanzar en invierno -7º hasta bajo cero. Por ello, y debido a la gran altura que alcanza el edificio se ha optado a realizar los cálculos teniendo en cuenta los efectos más desfavorables.

5.2.1 SOBRECARGA DE USO

Para la sobrecarga de uso se establece lo recogido en la tabla “3.1 Valores característicos de las sobrecargas de uso” del DB SE-Acciones en la edificación del CTE:

Sobrecarga de uso total será: 2 KN/m² en la zona destinada a vivienda y 1 KN/m² para la cubierta transitable.

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

Imagen 68: Tabla con los valores característicos de la sobrecarga de uso

5.2.2 SOBRECARGA DE NIEVE

Tabla de sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autonómicas:

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

Imagen 69: Carga de nieve

Ubicación: Soria (1090 m. altitud)

- Valor característico de carga de nieve:

$$sk = 0,9 \text{ KN/m}^2$$

- Coeficiente de forma de cubierta para inclinación $\leq 30^\circ$; $\mu = 1$

$$qn = \mu \cdot sk$$

$$qn = 1 \cdot 0,9 = 0,9 \text{ KN/m}^2$$

La sobrecarga de nieve se tendrá en cuenta en las terrazas y en la cubierta:

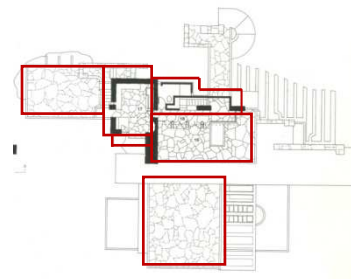


Imagen 70: Tercera planta

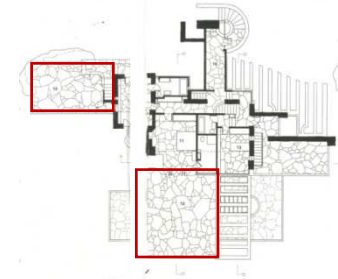


Imagen 71: Segunda planta

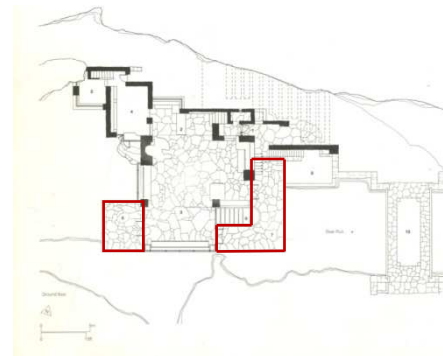


Imagen 72: Primera planta

5.3 RESUMEN DE CARGA

		ACCIONES PERMANENTES			ACCIONES VARIABLES			CARGAS GRAVITATORIAS QUE HAY QUE INSERTAR EN EL MODELO (EL modelos ya tiene en cuenta el PP en los elementos finitos y no hay que añadirlo)	
Niveles		Peso propio de la estructura	Solados + enlucidos	Cubiertas	Sobrecarga de Uso + tabiquería	Nieve	CARGA TOTAL	PERMANENTES	VARIABLES
Planta primera	Vivienda	6.25 KN/m ²	1.25 KN/m ²		2.00 KN/m ²		9.50 KN/m ²	1.25 KN/m ²	2.00 KN/m ²
	Terraza	6.25 KN/m ²	1.25 KN/m ²		1.00 KN/m ²	0.90 KN/m ²	9.40 KN/m ²	1.25 KN/m ²	1.90 KN/m ²
Planta segunda	Vivienda	7.50 KN/m ²	1.25 KN/m ²		2.00 KN/m ²		10.75 KN/m ²	1.25 KN/m ²	2.00 KN/m ²
	Terraza	6.25 KN/m ²	1.25 KN/m ²		1.00 KN/m ²	0.90 KN/m ²	9.40 KN/m ²	1.25 KN/m ²	1.90 KN/m ²
Planta tercera	Vivienda	7.50 KN/m ²	1.25 KN/m ²		2.00 KN/m ²		10.75 KN/m ²	1.25 KN/m ²	2.00 KN/m ²
Planta cubierta		7.50 KN/m ²		1.50 KN/m ²		0.90 KN/m ²	9.90 KN/m ²	1.50 KN/m ²	0.9 KN/m ²

Imagen 73: Cargas gravitatorias consideradas para el cálculo

5.4 COMBINACIÓN DE CARGAS

La combinación de cargas la realiza el programa *Architrave* una vez son asignados los valores de ponderación de cada acción extraídos del DBSE.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4.3)$$

es decir, considerando la actuación simultánea de:

- todas las acciones permanentes, en valor de cálculo ($\gamma_G \cdot G_k$), incluido el pretensado ($\gamma_P \cdot P$);
- una acción variable cualquiera, en valor de cálculo ($\gamma_Q \cdot Q_k$), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis;
- el resto de las acciones variables, en valor de cálculo de combinación ($\gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_k$).

Imagen 74: Combinación de acciones

Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones

Tipo de verificación ⁽¹⁾	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

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

Imagen 75: Tabla de coeficientes parciales de seguridad

En base a lo extraído del documento se establecen diferentes combinaciones de cargas en función de si estamos analizando los Estados Límite Últimos (ELU) o los Estados Límite de Servicio (ELS), estudiando en cada caso para una acción variable como principal, quedando de la siguiente manera:

Estados Límites Últimos (Criterios resistentes)

Cargas de Uso como hipótesis variable principal:

$$(C1): 1.35 H1 + 1.5 H2 + 0.9 H3$$

Cargas de Nieve como hipótesis variable principal:

$$(C2): 1.35 H1 + 1.05 H2 + 1.5 H3$$

Estados Límites de Servicio (Criterios de desplazamiento y deformación)

$$\text{Uso (C1): } 1 H1 + 1 H2 + 0.6 H3$$

$$\text{Nieve (C2): } 1 H1 + 0.7 H2 + 1 H3$$

H1: Cargas verticales permanentes; H2: Cargas verticales variables; H3: Nieve

6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La última fase del trabajo consiste en la puesta en carga del modelo. Se han analizado los resultados obtenidos y estudiado cómo se comporta la estructura en los diferentes supuestos planteados.

6.1 ANÁLISIS POR PLANTAS

Por una parte se detallan los esfuerzos y las deformaciones de cada una de las plantas, aislándolas una por una.

Los resultados obtenidos van a ser bastante predecibles, y muy útiles para los resultados del comportamiento global de la estructura.

6.1.1 PLANTA PRIMERA

El análisis de los esfuerzos se ha hecho sobre la envolvente, en combinaciones de E.L. Últimos, tomando como carga persistente la de uso.

En las siguientes imágenes se muestran los mapas de colores de los isovalores de Momentos M_x y M_y .

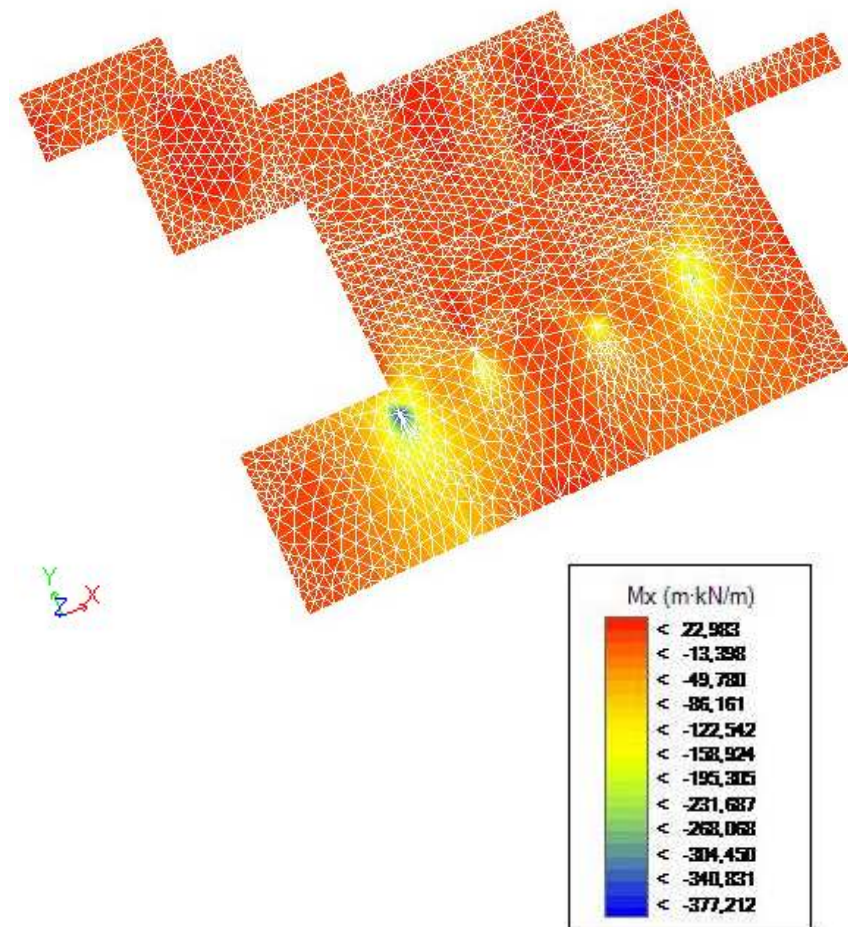


Imagen 76: Isovalores de momentos M_x . Envolvente ELU

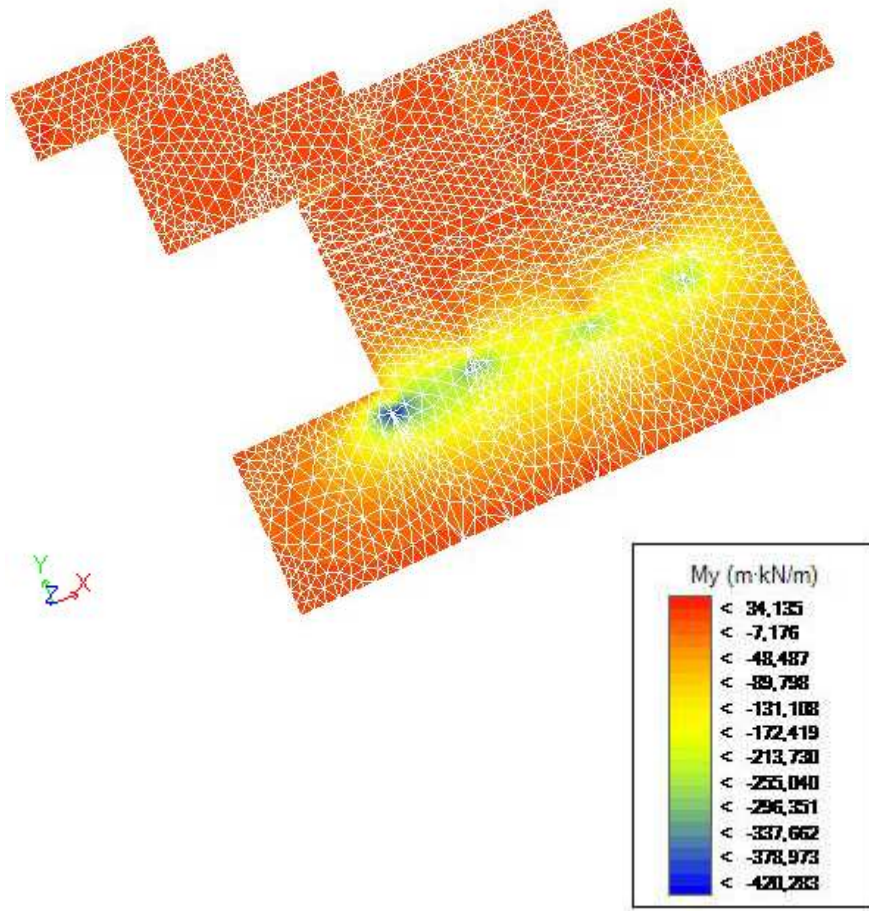


Imagen 77: Isovalores de momentos My. Envoltente ELU

En primer lugar y analizando los momentos M_x , podemos observar cómo la concentración de los momentos a lo largo de todo el forjado es bastante uniforme, de alrededor de $9 \text{ m}\cdot\text{KN/m}$.

No obstante, aparece una mayor concentración de esfuerzos repartidos en 4 puntos. Esto es debido a las cuatro ménsulas sobre las que apoya el gran voladizo, en las que se obtienen unos momentos de aproximadamente $160 \text{ m}\cdot\text{KN/m}$.

Cabe destacar la ménsula de la izquierda, que tiene una concentración de momentos superior a las demás, $370 \text{ m}\cdot\text{KN/m}$. Esto se justifica con la doble dirección del voladizo.

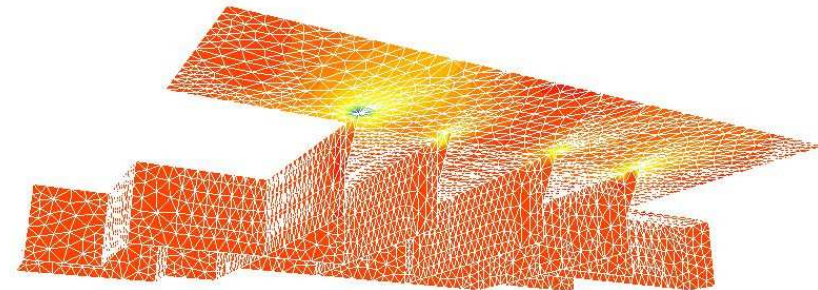


Imagen 78: Isovalores de momentos M_x . Envoltente ELU

Continuado con los momentos M_y , observamos que la concentración sigue siendo bastante uniforme, de alrededor de $7\text{m}\cdot\text{KN/m}$ y que en el voladizo vuelve a ser mayor.

Pero, en este caso, la concentración abarca casi todo el eje del voladizo en contacto con las ménsulas, con un valor medio de unos $120\text{m}\cdot\text{KN/m}$.

El momento que se produce sobre el eje x llega a un valor máximo mayor que el que se produce sobre el eje y , $420\text{m}\cdot\text{KN/m}$ en el voladizo de doble sentido.

Siguiendo con el estudio de esta planta, se ha realizado el análisis de las deformaciones, el cual se ha hecho sobre las combinaciones de E.L. de Servicio, tomando como carga característica la sobrecarga de uso.

A continuación, analizaremos el mapa de colores de la deformada D_z en combinaciones de E.L. de Servicio.

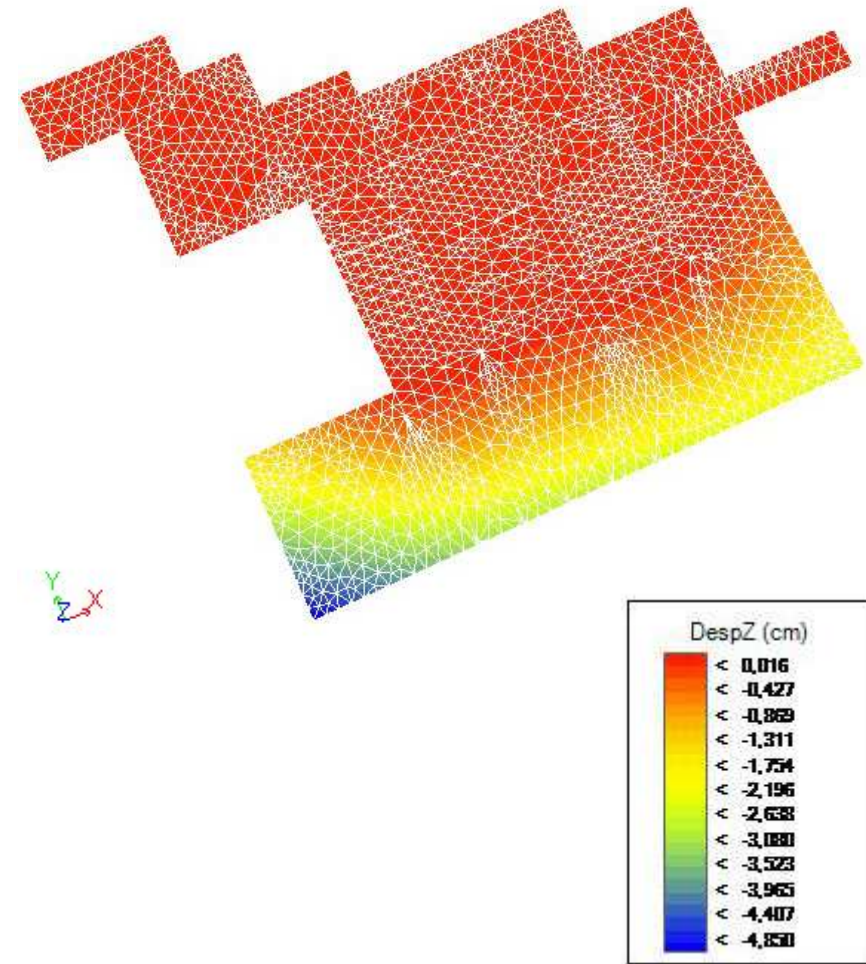


Imagen 79: Deformación Z

Si estudiamos este mapa de colores, se observa cómo la deformación es prácticamente nula en toda la parte de la

vivienda, la cual está sustentada por muros, aunque en el voladizo la deformación no es despreciable.

Centrándonos en este, cuya luz es de 5 m., podemos percibir cómo en su perímetro tenemos unos desplazamientos de aproximadamente 0.025 m.

El valor máximo es de 0.0485 m., y este lo obtenemos en el voladizo en dos direcciones que aparece en la esquina. Su deformación es mucho mayor que la parte del voladizo que solo es de una dirección, ya que se suma la deformación de ambos ejes x e y, produciendo un mayor desplazamiento.



Imagen 80: Deformada de la planta 0

Para poder acercarnos un poco más a la realidad, se muestran ambas imágenes donde se puede apreciar la deformación que apareció en la Casa de la Cascada, que más adelante tuvo que ser reparada y la que se ha obtenido en el modelo.



Imagen 81: Situación real

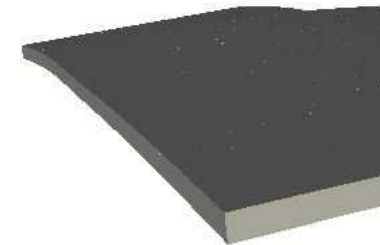


Imagen 82: Detalle de la deformada de forjado 0

6.1.2 PLANTA SEGUNDA

Una vez analizada la primera planta, pasamos a estudiar la segunda. Se ha realizado el análisis de los esfuerzos sobre la envolvente en combinaciones de E.L. Últimos, tomándose como carga persistente la de uso.

En las siguientes imágenes se muestran los mapas de colores de los isovalores de Momentos M_x y M_y .

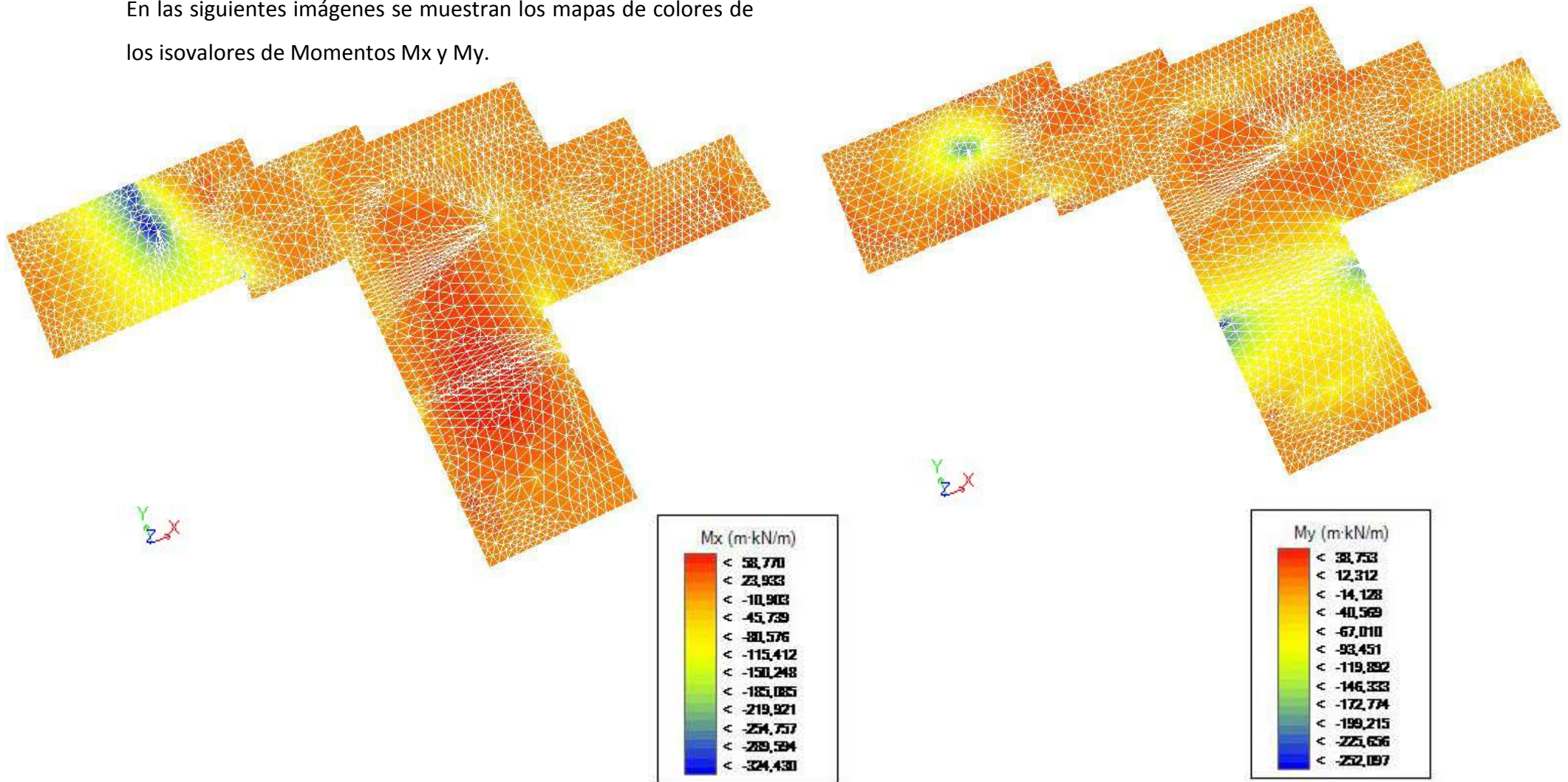


Imagen 83: Isovalores de momentos M_x . Envoltente ELU

Imagen 84: Isovalores de momentos M_y . Envoltente ELU

Respecto al análisis de los isovalores de M_x , se observan en todo el forjado unos valores bastante uniformes, aproximadamente $5 \text{ m}\cdot\text{KN/m}$. Esto varía en el voladizo del extremo izquierdo, pues carece de apoyo alguno, llegando a alcanzar $324.4 \text{ m}\cdot\text{KN/m}$.

En el otro voladizo no sucede esto, ya que se apoya sobre 5 pilares estructurales y, gracias a ellos, la concentración es bastante uniforme con el resto del forjado.

Continuando con el análisis de los momentos M_y , se percibe una mayor concentración de estos en el voladizo apoyado sobre los 5 pilares y los dos pequeños muros.

En el voladizo extremo izquierdo sólo aparece una mayor concentración en una zona determinada, donde está en contacto con el muro inferior.

La concentración media en la gran parte de los voladizo es de unos $54 \text{ m}\cdot\text{KN/m}$, superior al resto del forjado con valor de $5 \text{ m}\cdot\text{KN/m}$ y llegando a un máximo de $252.1 \text{ m}\cdot\text{KN/m}$.

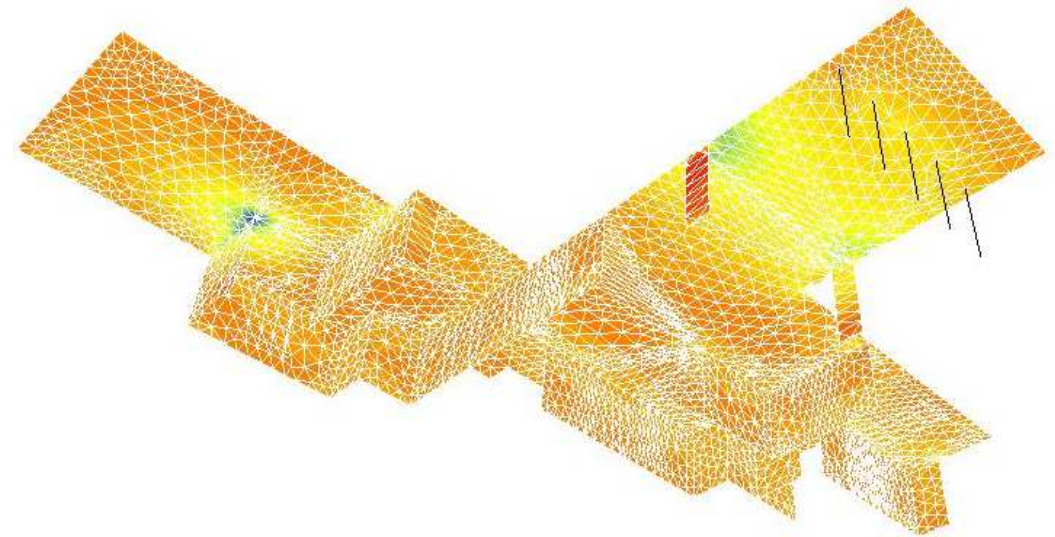


Imagen 85: Isovalores de momentos M_y . Envolverte ELU

A continuación, analizaremos el mapa de colores de la deformada D_z en combinaciones de E.L. de Servicio.

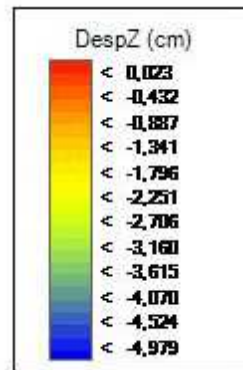
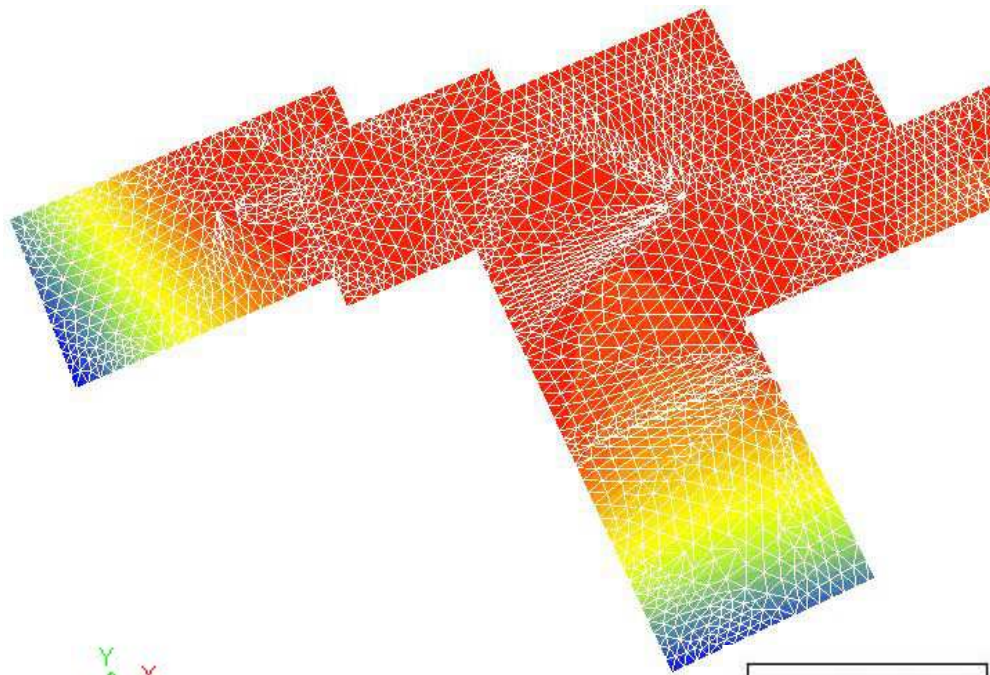


Imagen86: Deformación Z

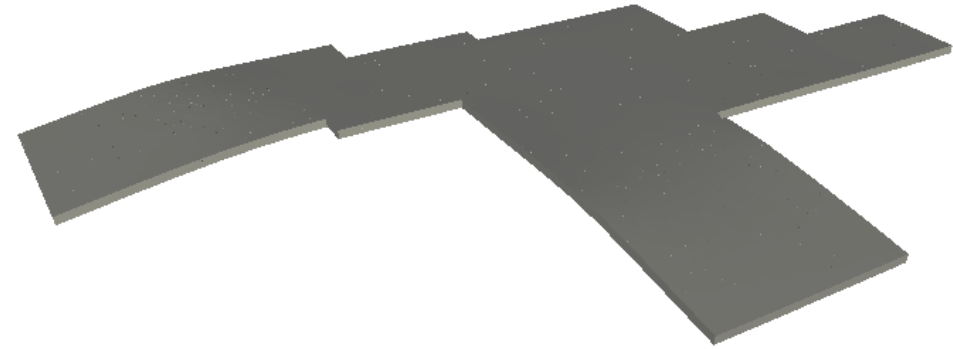


Imagen87: Deformada

Estas se producen de una manera gradual, con desplazamientos casi nulos en la mayoría del forjado hasta 0.05 m. en los puntos máximos, extremos de voladizo.

6.1.3 PLANTA TERCERA

A continuación seguimos con el análisis de los esfuerzos sobre la envolvente en combinaciones de E.L. Últimos tomando como carga persistente la de uso.

En las siguientes imágenes se muestran los mapas de colores de los isovalores de Momentos M_x y M_y .

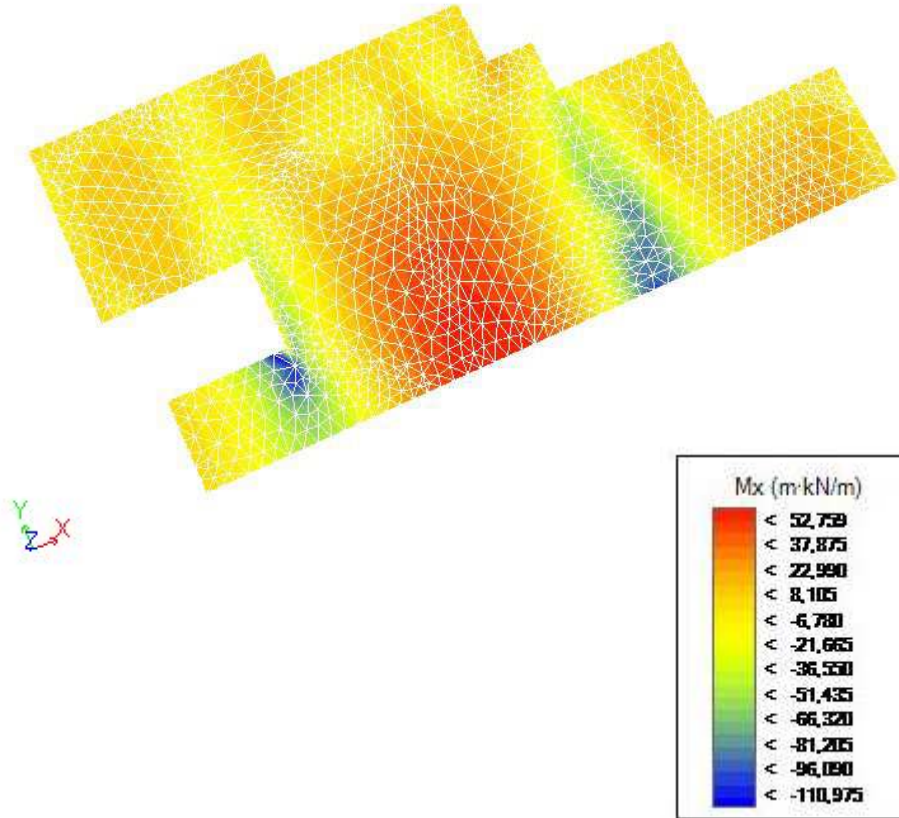


Imagen 88: Isovalores de momentos Mx. Envoltente ELU

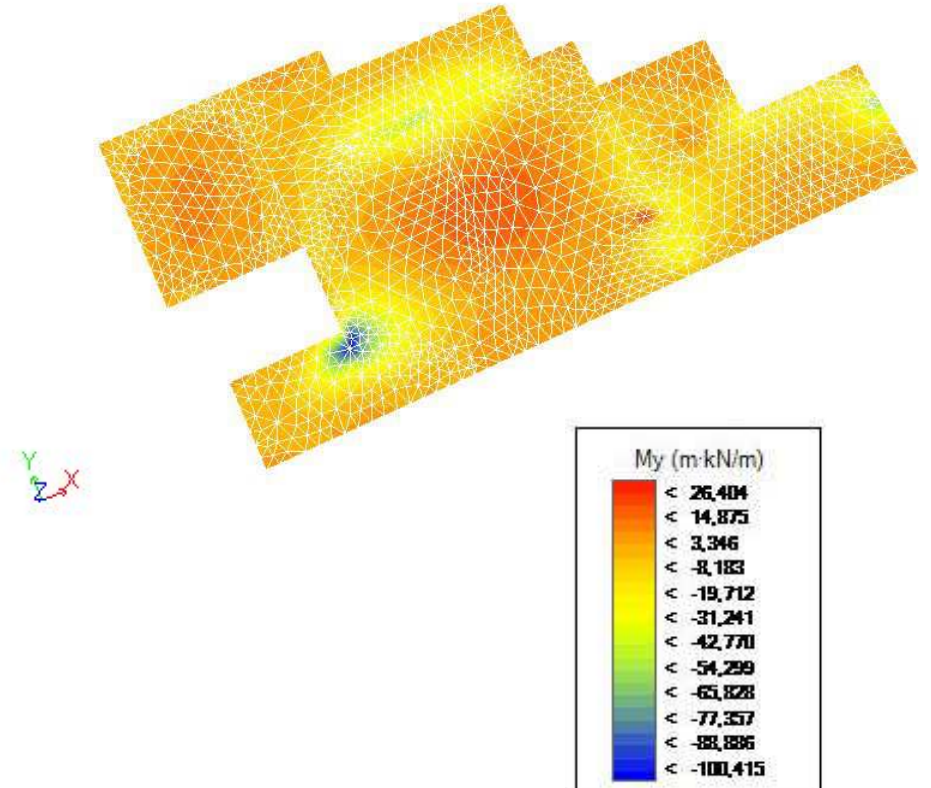


Imagen 89: Isovalores de momentos My. Envoltente ELU

A partir de esta planta, al carecer de grandes voladizos como en las plantas bajas analizadas anteriormente, la concentración de momentos que se producen son mucho menores y bastante uniformes.

Si nos fijamos en la concentración de momentos M_x , podemos apreciar cómo varía de $52 \text{ m}\cdot\text{KN/m}$ a $110 \text{ m}\cdot\text{KN/m}$, valor máximo que se produce en los puntos de contacto con los muros inferiores.

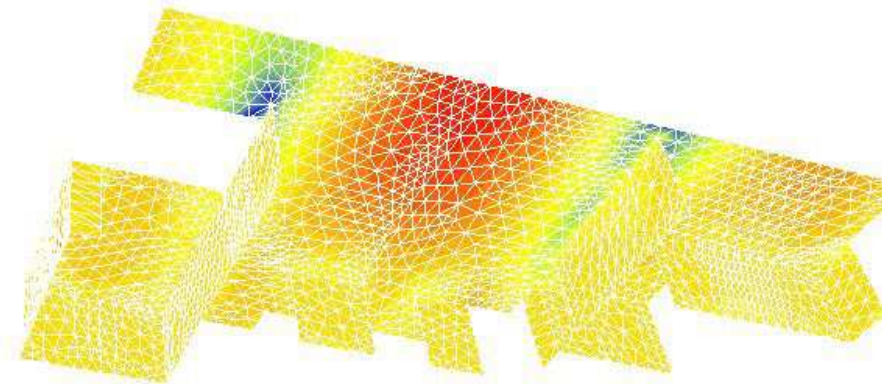


Imagen 90: Isovalores de momentos M_x . Envoltente ELU

Es importante explicar que el programa utiliza una gama de colores para definir los puntos máximos y mínimos. En los casos anteriores en los que había voladizos, los puntos máximos eran muy representativos, pero en este caso ya no lo son dada la poca diferencia de valores entre unos y otros.

En los momentos M_y , volvemos a apreciar lo mismo: los valores varían de $26,4 \text{ m}\cdot\text{KN/m}$ a $100,4 \text{ m}\cdot\text{KN/m}$, producidos en los puntos en contacto con los muros.

Seguidamente se ha realizado el análisis de las deformaciones, el cual se ha hecho sobre las combinaciones de E.L. de Servicio, tomando como carga característica la sobrecarga de uso.

A continuación analizaremos el mapa de colores de la deformada D_z en combinaciones de E.L. de Servicio.

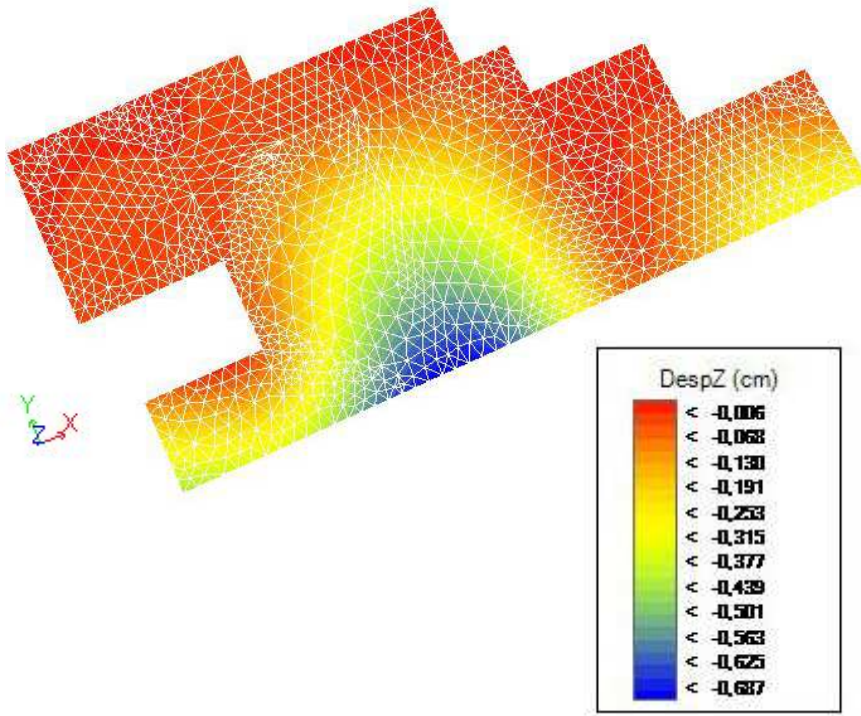


Imagen 91: Deformaciones Z

Si observamos la imagen en la que aparecen los desplazamientos, se puede apreciar cómo a pesar de la graduación de colores que nos muestra *Architrave*, se puede ver que los desplazamientos son prácticamente nulos en toda la planta.

6.1.4 PLANTA DE CUBIERTA

Para la planta de cubierta, seguimos con el análisis de los esfuerzos sobre la envolvente en combinaciones de E.L. Últimos tomando como carga persistente la de uso.

En las siguientes imágenes se muestran los mapas de colores de los isovalores de Momentos M_x y M_y .

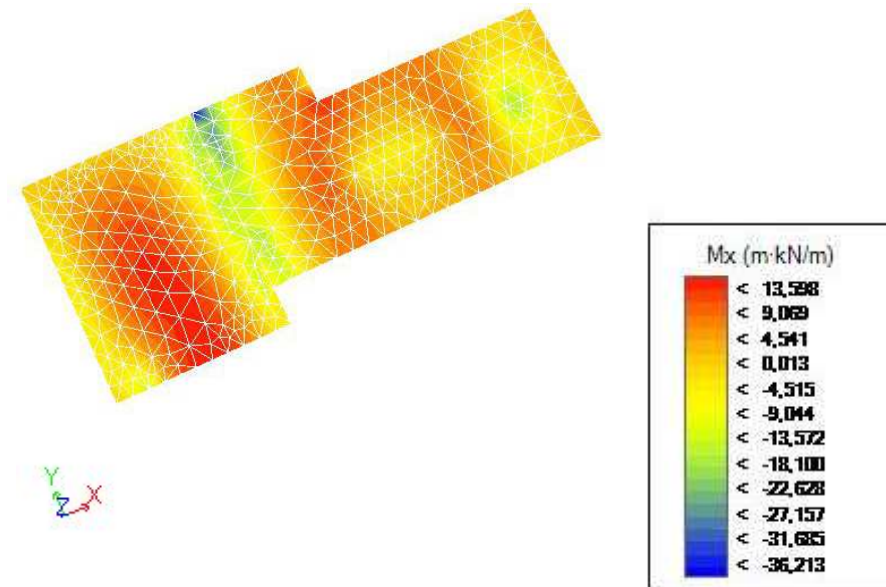


Imagen 92: Isovalores de momentos M_x . Envoltente ELU

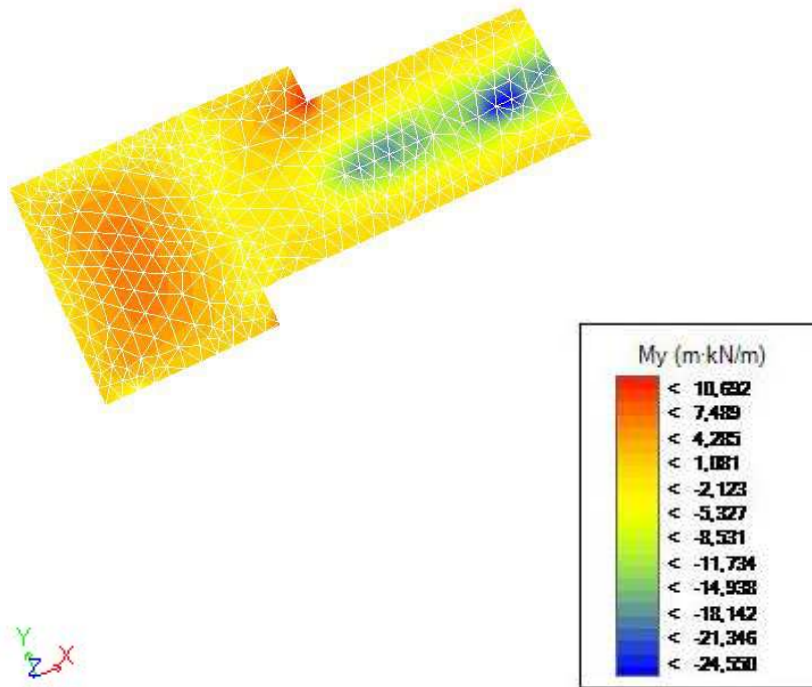


Imagen 93: Isovalores de momentos My. Envolverte ELU

En ambas imágenes podemos observar cómo a pesar de que hay una graduación de colores, la concentración de momentos en Mx y My, son bastante uniformes a lo largo de toda la planta.

Lo mismo ocurre con el análisis de las deformaciones, el cual se ha hecho sobre las combinaciones de E.L. de Servicio, tomando como carga característica la sobrecarga de uso.

Analizando el mapa de colores de la deformada Dz en combinaciones de E.L. de Servicio, se puede observar que los desplazamientos en toda la planta son casi nulos.

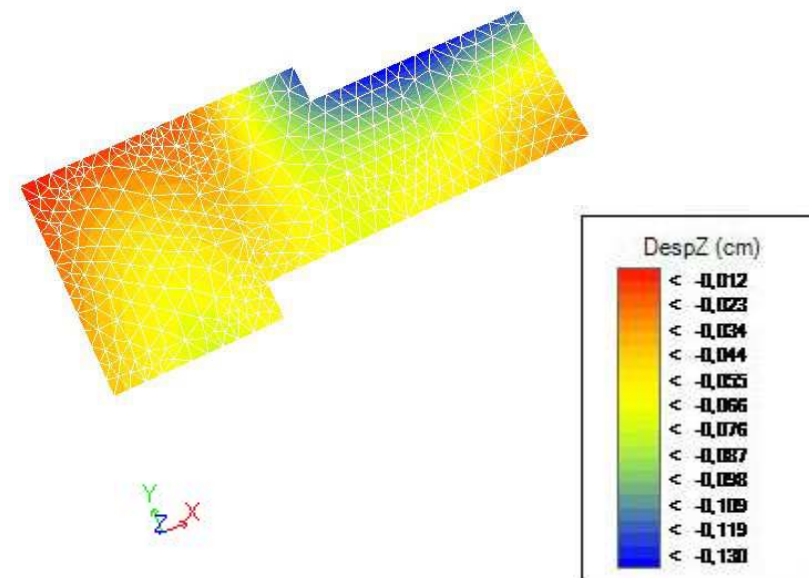


Imagen 94: Deformaciones Z

6.2 ANÁLISIS DE LOS MUROS

A continuación vamos a estudiar el mapa de colores de tensiones en los muros y explicaremos los puntos de concentración de tensiones.

6.2.1 MUROS SOBRE LOS QUE APOYA LA PLANTA PRIMERA

El análisis de las tensiones se hará sobre la envolvente en combinaciones de E.L. Últimos tomando como carga persistente la de uso.

Las tensiones principales en los muros se corresponden con las que llevan el sentido de la gravedad, así pues se han estudiado las correspondientes al eje y (ejes locales).

Los isovalores muestran que las tensiones S_y en la mayoría de los muros son casi nulas, y mayoritariamente negativas (compresión).

Los valores más representativos se observan en las ménsulas con valores de alrededor de 5N/mm^2 , llegando a un máximo de $11,3\text{N/mm}^2$, en la ménsula que soporta el voladizo en ambas direcciones (ménsula izquierda).

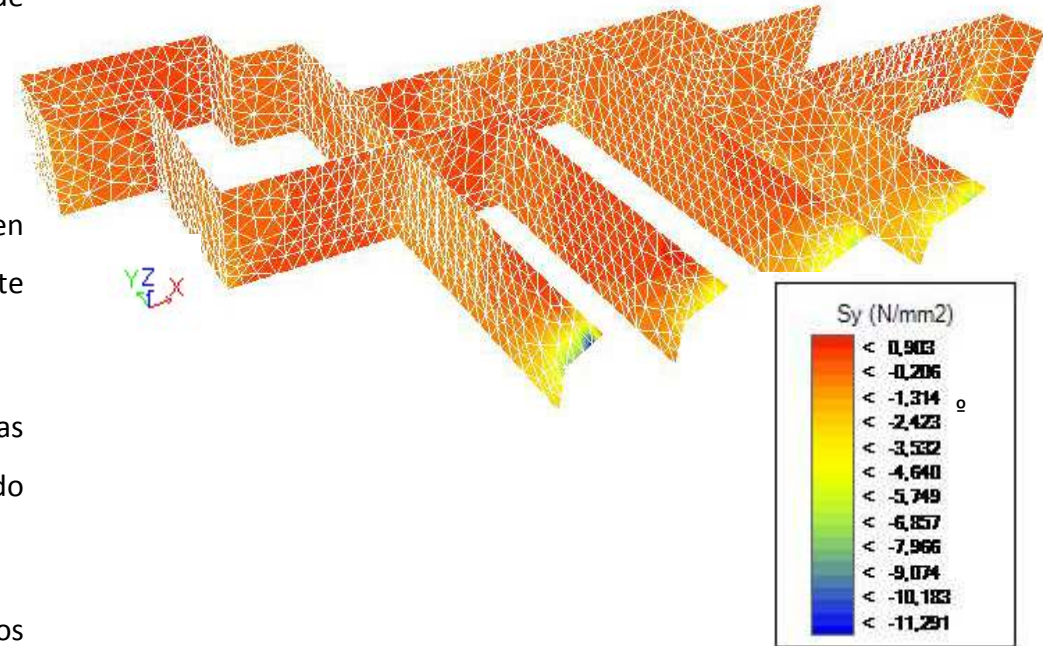


Imagen 95: Valores de las tensiones en los muros

6.2.2 MUROS SOBRE LOS QUE APOYA LA PLANTA SEGUNDA

A continuación, seguimos con el análisis de las tensiones sobre la envolvente en combinaciones de E.L. Últimos tomando como carga persistente la de uso, pero ahora con los muros de la segunda planta.

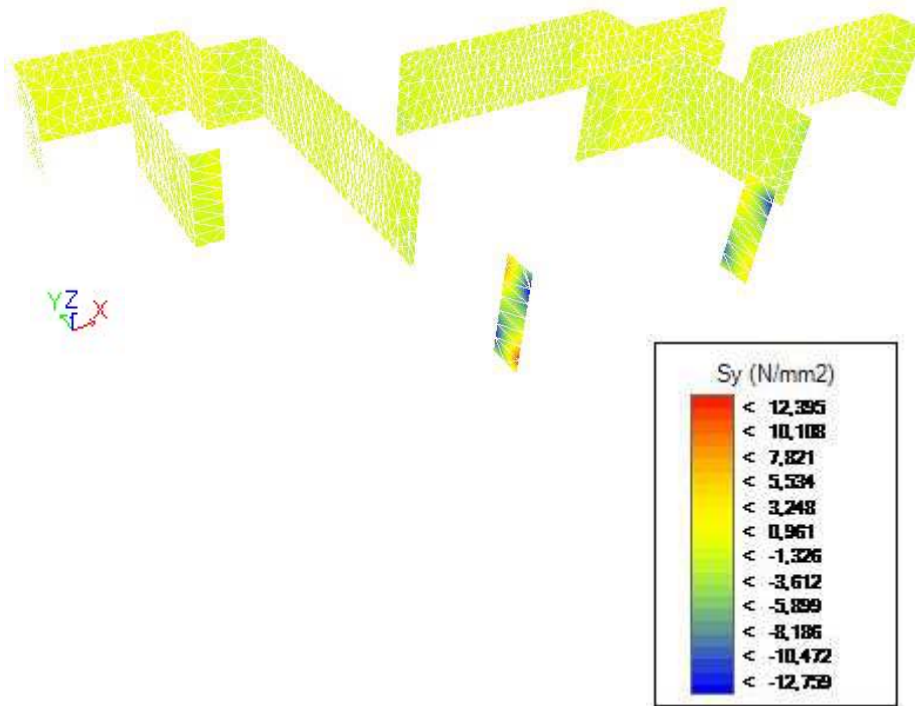


Imagen 96: Valores de las tensiones en los muros

En este caso los isovalores muestran que las tensiones S_y en la mayoría de los muros son bastante mínimas, de alrededor de 3 N/mm^2 , y mayoritariamente negativas (compresión).

En los dos pequeños muros, los cuales soportan parte del voladizo anteriormente analizado, se puede observar cómo aumentan un poco las tensiones con respecto a los demás muros, pues llegan a tensiones de $12,75 \text{ N/mm}^2$.

6.2.3 MUROS SOBRE LOS QUE APOYA LA PLANTA TERCERA

Se repite el análisis de las tensiones sobre la envolvente en combinaciones de E.L. Últimos tomando como carga persistente la de uso.

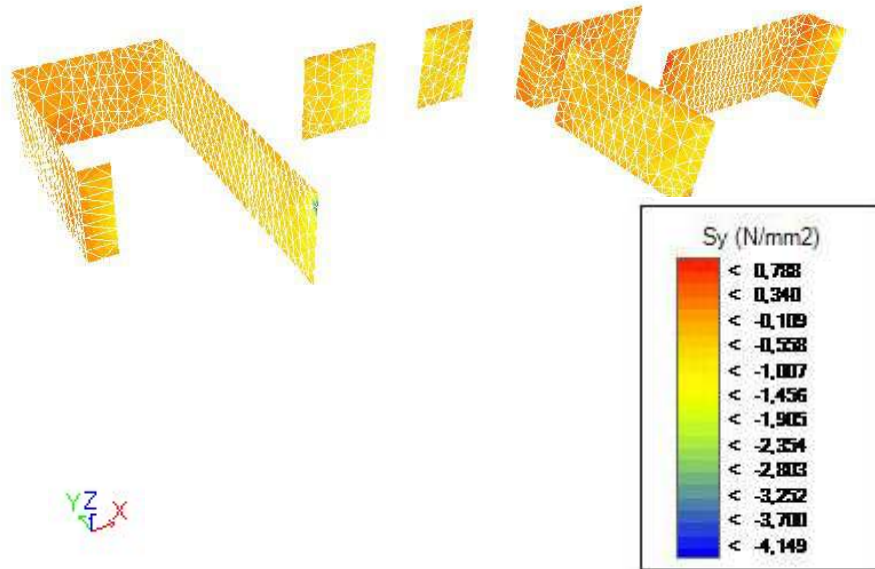


Imagen 97: Valores de las tensiones en los muros

Las tensiones S_y que nos muestran los isovalores son casi nulas y mayoritariamente negativas (compresión).

En estos muros se puede destacar un punto donde las tensiones llegan a máximas con un valor de $4,1 \text{ N/mm}^2$, punto en contacto con un pequeño voladizo, aunque no muy representativo.

6.2.4 MUROS SOBRE LOS QUE APOYA LA CUBIERTA

Para estos muros continuamos con el análisis de las tensiones sobre la envolvente en combinaciones de E.L. Últimos tomando como carga persistente la de uso.

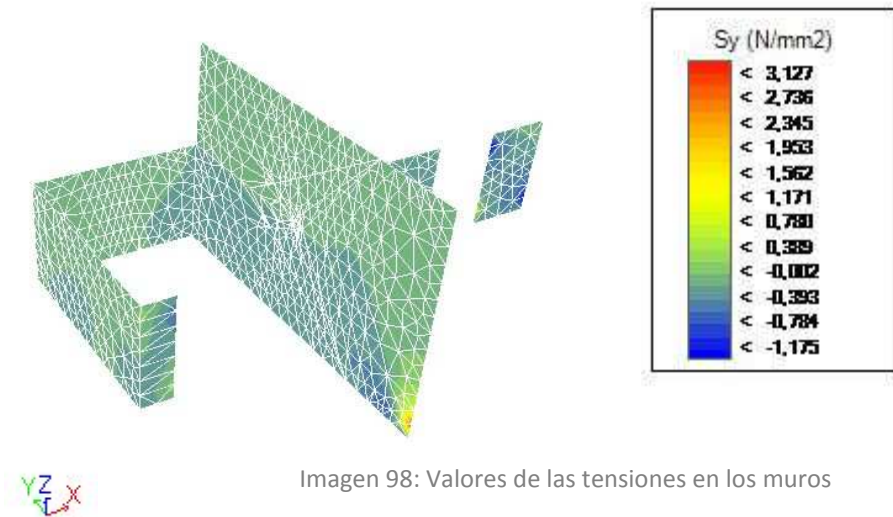


Imagen 98: Valores de las tensiones en los muros

Las tensiones S_y que nos muestran los isovalores son casi nulas y mayoritariamente negativas (compresión), como en la mayor parte de los muros de las diferentes plantas analizadas.

6.3 ANÁLISIS GLOBAL DE LAS DEFORMACIONES EN ELS DE LAS DIFERENTES HIPÓTESIS PLANTEADAS

A continuación se muestra una imagen global de las deformaciones en E.L. de Servicios.

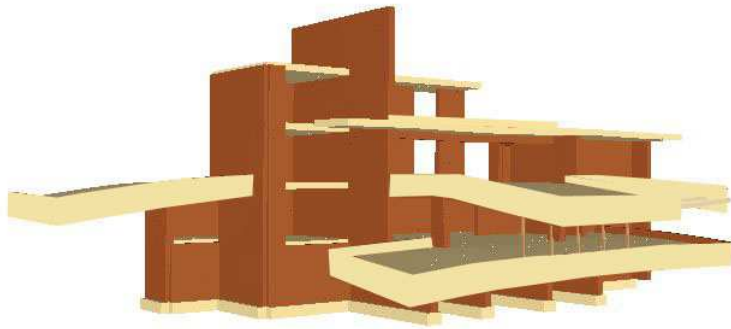


Imagen 99: Modelo con deformaciones

Como se puede observar en el modelo, los valores máximos de las deformaciones se producen en los grandes voladizos.

En nuestro estudio hemos realizado varias hipótesis para poder analizar la importancia estructural y estabilizadora de los

antepechos y la línea de pilares en el primer forjado que se añaden a la estructura básica de muros y forjados de la Casa de la Cascada.

Para ello se ha realizado un análisis global de las deformaciones el cual se hará sobre las combinaciones de E.L. de Servicio y se ha tomado como carga característica la de sobrecarga de uso.

Hemos analizado el mapa de colores de la deformada Dz en combinaciones de E.L. de Servicio en tres hipótesis diferentes:

- HIPÓTESIS 1: Análisis global de deformaciones con pilares y antepechos.
- HIPÓTESIS 2: Análisis global de deformaciones sin los antepechos.
- HIPÓTESIS 3: Análisis global de deformaciones sin los pilares.

6.3.1 ANÁLISIS GLOBAL DE DEFORMACIONES CON PILARES Y ANTEPECHOS

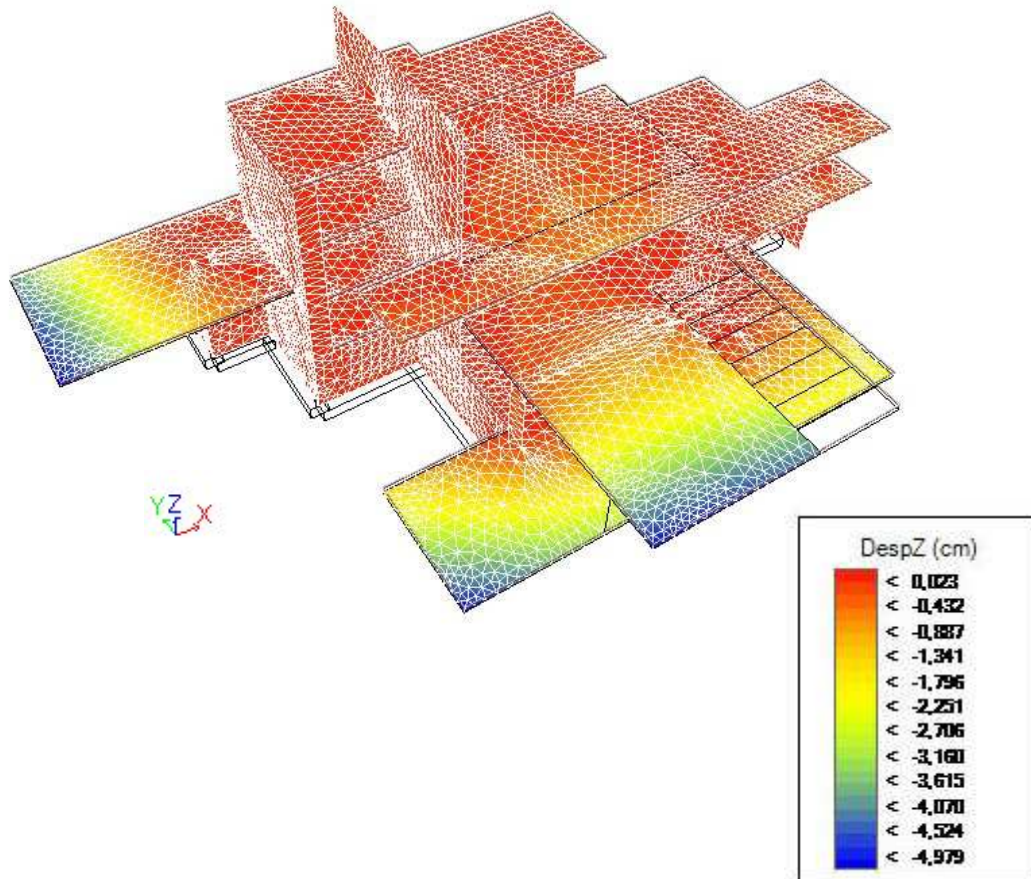


Imagen 100: Deformación Z

En esta primera hipótesis en la que aparecen todos los elementos de nuestro modelo se observa, gracias a la graduación de colores, cómo las máximas deformaciones se producen en los voladizos.

Los desplazamientos en todo el modelo son casi nulos y aparecen en los voladizos.

En esta hipótesis el valor medio de deformación que se produce en los voladizos es de 0.025 m., llegando gradualmente a un máximo de 0.049 m.

6.3.2 ANÁLISIS GLOBAL DE DEFORMACIONES SIN ANTEPECHOS

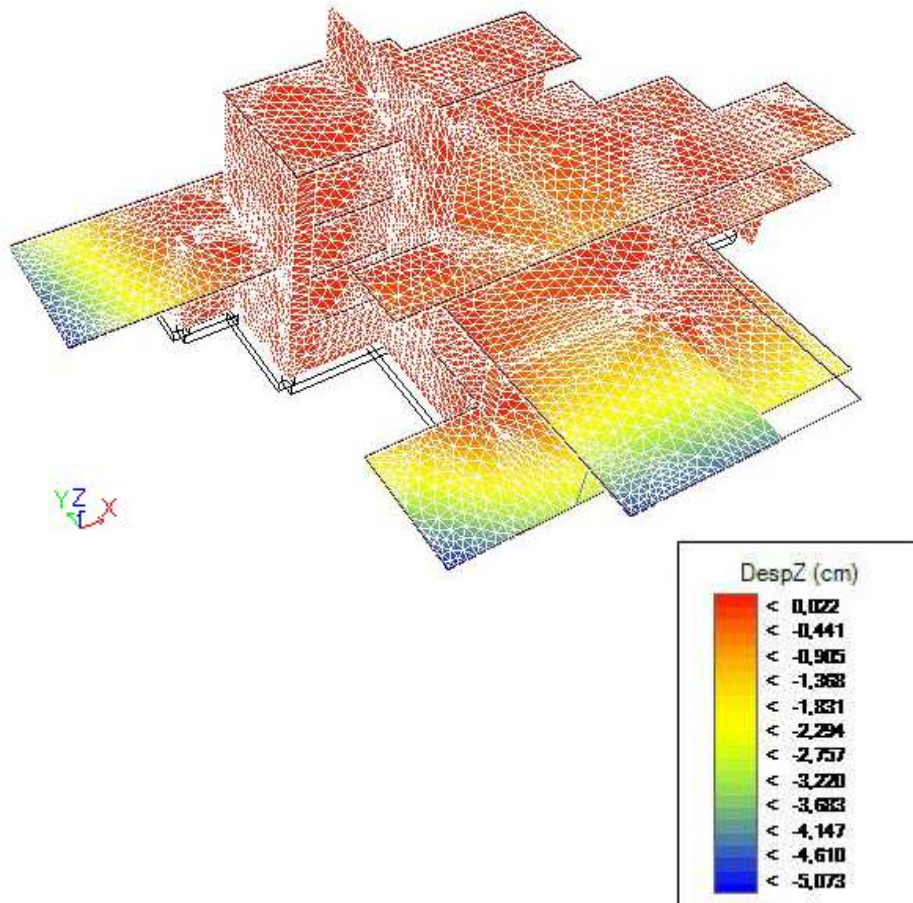


Imagen 101: Deformación Z

Siguiendo con la segunda hipótesis en la cual hemos analizado la estructura global sin los antepechos, se observa cómo el desplazamiento se incrementa 0.001 m. con respecto a la primera hipótesis en el valor máximo.

No obstante, cabe destacar también ya que no se aprecia en la gama de colores, que en este caso los voladizos no van aumentando la deformación tan gradualmente como antes, pues estos deforman mucho más rápido al llegar a los extremos de los voladizos.

Así pues, se demuestra la función estabilizadora de los antepechos.

6.3.3 ANÁLISIS GLOBAL DE DEFORMACIONES SIN PILARES

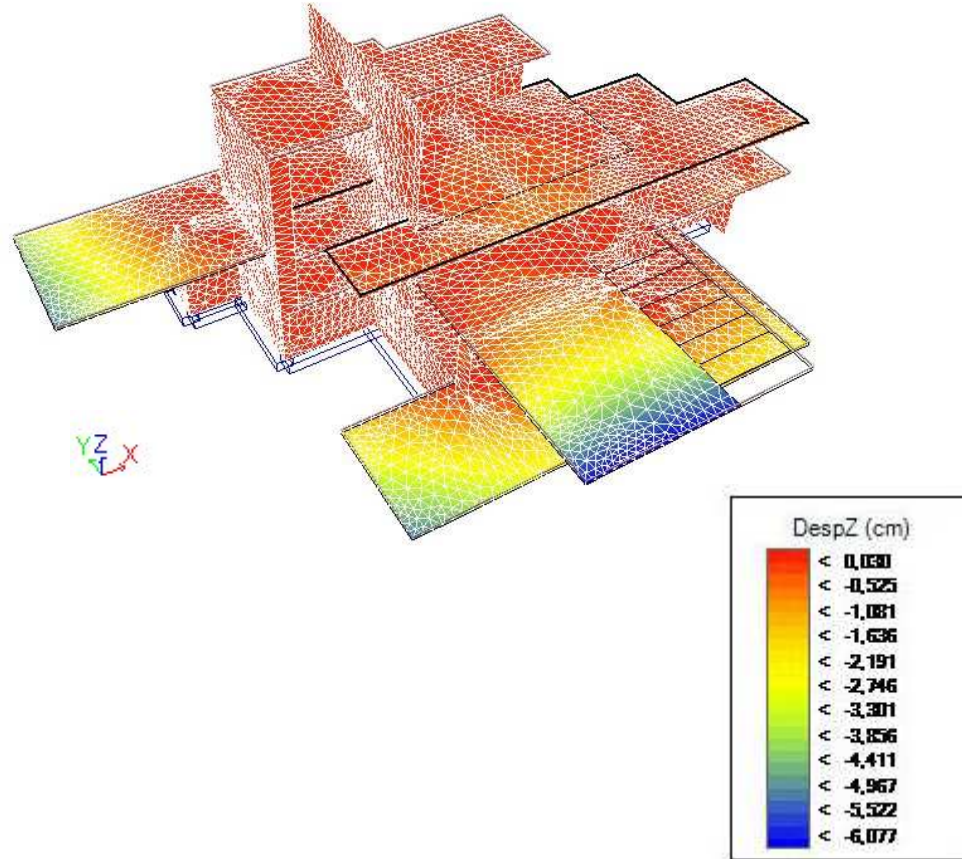


Imagen 102: Deformación Z

En la última hipótesis planteada, en la que eliminamos los pilares, se puede apreciar cómo en este caso la deformación máxima es 0.06 m., pues ha aumentado un poco más de 0.01 m. con respecto a la hipótesis primera en la que actúan todos los elementos (0.049 m)

Destaca la gran rapidez con la que deforma el gran voladizo sin la línea de pilares, llevándose con él el gran voladizo inferior.

Así pues, queda demostrada la gran función estructural de la línea de pilares.

7. CONCLUSIONES

El anterior estudio de la vida y obra de Frank Lloyd Wright, nos ha permitido tener un amplio conocimiento de su forma de proyectar. Partiendo del análisis de su trayectoria y de sus influencias y tradiciones arquitectónicas, así como de las etapas por las que atravesó, se ha podido llevar a cabo el presente trabajo de investigación de una forma más profunda.

Así pues, nos ha resultado más fácil entender el carácter de la Casa de la Cascada y su funcionamiento, atendiendo a las características de la etapa organicista de Wright, en la que el diseño de la misma parte de una absoluta integración en el paisaje, pues todas las decisiones tomadas para su construcción pretenden crear esta unión entre naturaleza y edificación.

El sistema empleado para llevar a cabo la construcción de la casa parte de la cimentación sobre la propia roca del barranco y, es a partir de esta, donde se crean los planos horizontales y verticales que forman la estructura de la vivienda.

La solución empleada por el arquitecto para resolver el problema de los grandes voladizos (planos horizontales), nos ha permitido entender cómo el hecho de variar el canto y el tipo de losa en el proyecto tiene un sentido puramente estructural. Con ello, lo que se pretende es soportar los grandes voladizos a modo de terrazas, tan presentes en toda la obra.

El modelo que hemos creado intenta ser lo más fiel posible a la realidad para, posteriormente en su puesta en carga, hacer un estudio de la respuesta y las necesidades estructurales.

En la creación de este, hemos optado por realizar una simplificación de los forjados, tarea que se ha podido ejecutar gracias a la comprensión del proyecto.

Tras su puesta en carga, los resultados obtenidos, a pesar de las losas ingeniosas de Wright, nos indican que el mayor problema reside en el peso propio de los voladizos.

Por tanto, el análisis de esta parte del trabajo se centra en comprobar las deformaciones de estos, añadiendo los antepechos y los pilares incluidos en la vivienda, para una mayor

estabilidad y resistencia, concluyendo que su respuesta es favorable.

Cabe decir que, a pesar del poco apoyo que recibió Wright al inicio del proyecto debido a la falta de credulidad que recibía una estructura suspendida sobre el agua sin apoyo aparente, esta construcción fue su logro máximo, ya que llevó el diseño hasta los límites no explorados, arriesgando el éxito en los factores estructurales.

Por tanto, no nos gustaría dar por finalizado el presente trabajo sin destacar el gran ingenio de Wright, pues fue su ambición la que le permitió no abandonar su propósito y conseguir algo que hasta el momento parecía insólito: proyectar, diseñar y organizar un espacio, consiguiendo unir estructura y organismos naturales.

BIBLIOGRAFÍA ESCRITA

- MC CARTER ,R. (1994). *Fallingwater ; Frank Lloyd Wright*. London: Phaidon
- FUTUGAWA, YUKIO; PFEIFFER,BRUCE BROOKS,(2009). *Frank Lloyd Wright : Fallingwater, Mill Run, Pensylvania, U.S.A., 1934-37*. Tokyo: A.D.A Edita
- STOLLER, E. (1999). *Frank Lloyd Wright's Fallingwater*, New York; Princeton Architec-tural Press.
- PFEIFFER, B.B.; LARKIN, D.; FRANK LLOYD WRIGHT FOUNDATION (1998). *Frank Lloyd Wrigh* .Barcelona: Gustavo Gili

BIBLIOGRAFÍA FOTOGRÁFICA

- MC CARTER, Robert (1994). *Fallingwater ; Frank Lloyd Wright*. London: Phaidon

(Imágenes 1, 7-12, 15-24, 30-35, 70-72)
- FUTUGAWA, YUKIO; PFEIFFER,BRUCE BROOKS (1987). *Frank Lloyd Wright Preliminary studies 1933-1959*. Tokyo : A.D.A. Edita

(Imágenes 13-14, 37-44)

- CTE DBSE-AE

(Imágenes 68-69, 74-75).
- Elaboración propia

(Imágenes 9, 29, 57,59-60,62, 64, 66 y 73).
- Elaboración a partir del programa *Architrave*

(Imágenes 49, 76-80, 82-102).
- Elaboración a partir del programa *AutoCAD*

(Imágenes 48 y 56).
- JAYO, H. E. y MAYTA, C. A. (2013). *Análisis de la vida y obra de Frank Lloyd Wright*. Facultad de Arquitectura UNIFE. Recuperado de:
<http://es.slideshare.net/ElizabethMyselsJayo/analisis-de-vida-y-obras-de-frank-lloyd-wright>

(Imágenes 2-6).

- CARREÑO, B. L., PARDO, M. C., PENAS, V. J. y PÉREZ, P. M. (2009). *Análisis estructural de la Casa de la Cascada*. Facultad de Arquitectura UPV ETSA. Recuperado de: <https://g6pe0809.files.wordpress.com/2009/06/analisis1.pdf>

(Imágenes 25-28).

(Imágenes 36, 50-55, 61, 63, 65 y 67).

- ADFER, (2009). IS-ARQuitectura. Recuperado de: <http://is-arquitectura.es/2009/04/09/todo-sobre-fallingwater/>

(Imágenes 46-47 y 81)

- ALFARO, S. G. (2011). *La casa de la cascada (1935)- Frank Lloyd Wright: cosas de arquitectos*. Recuperado de: <http://www.cosasdearquitectos.com/2011/01/la-casa-de-la-cascada-frank-lloyd-wright/>

(Imágenes 45 y 58).

- ZEBALLOS, C. (2013). *Elementos de construcción en la Casa de la Cascada: arquitectura con 7º de Arte*. Recuperado de: <https://arquitecturacon7arte.wordpress.com/2013/11/03/146/>