



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR  
D'ARQUITECTURA

# Análisis estructural del Centro Nacional de Arte y Cultura Georges Pompidou

Trabajo final de grado

Grado en fundamentos de la Arquitectura

Autor

Jorge Marín León

Tutora

Luisa Basset Salom

Curso 2019-2020

## 0. RESUMEN

---

Este trabajo final de grado consiste en el análisis estructural del Centro Nacional de Arte y Cultura Georges Pompidou. Partiendo de un primer estudio del entorno del edificio, de su contexto histórico y de su construcción, así como de la trayectoria de los arquitectos encargados de diseñarlo, se describirán los aspectos arquitectónicos, constructivos y estructurales del mismo, para, posteriormente, tras la evaluación de cargas y el predimensionado, elaborar un modelo de cálculo que reproduzca el sistema estructural del edificio y que, tras el cálculo y posterior análisis de resultados, permita extraer conclusiones sobre el comportamiento de la estructura y la decisión de los autores de seleccionar este tipo de estructura en comparación con otras posibilidades

Palabras clave: análisis estructural, Centro Georges Pompidou, estructura metálica, modelo estructural, sap 2000

## 0. ABSTRACT

---

This final project consists of the structural analysis of the Georges Pompidou National Center for Art and Culture. Starting from a first study of the environment of the building, its historical context and its construction, as well as the trajectory of the architects in charge of designing it, the building architectonic, constructive and structural aspects will be described, followed by the evaluation of the loads and the pre-dimensioning of the structural elements. Then, a model will be developed reproducing the structural system of the building which, after the calculation and subsequent analysis of results, will allow us to draw conclusions about the behaviour of the structure and the decision of the authors to select this type of structure versus other possibilities.

Key words: Structural analysis, Centre Georges Pompidou, steel structure, structural model, Sap 2000

## 0. RESUM

---

Este treball final de grau consistix en l'anàlisi estructural del Centre Nacional d'Art i Cultura Georges Pompidou. Partint d'un primer estudi de l'entorn de l'edifici, del seu context històric i de la seua construcció, així com de la trajectòria dels arquitectes encarregats de dissenyar-ho, es descriuran els aspectes arquitectònics, constructius i estructurals del mateix, per a, posteriorment, després de l'avaluació de càrregues i el predimensionat, elaborar un model de càlcul que reproduïska el sistema estructural de l'edifici i que, després del càlcul i posterior anàlisi de resultats, permeta extraure conclusions sobre el comportament de l'estructura i la decisió dels autors de seleccionar este tipus d'estructura en comparació amb altres possibilitats

Paraules clau: anàlisi estructural, Centro Georges Pompidou, estructura metàl·lica, model estructural, sap 2000"

## ÍNDICE

0. RESUMEN .....	2	PILARES .....	53
0. ABSTRACT .....	3	TIRANTES.....	54
0. RESUM .....	4	FORJADOS .....	54
1. OBJETIVO .....	6	ESTRUCTURA AUXILIAR .....	55
2. METODOLOGÍA .....	7	5.3. ASIGNACIÓN DE CARGAS .....	56
3. INTRODUCCIÓN.....	8	CARGAS PERMANENTES.....	56
3.1. CONTEXTO HISTÓRICO .....	10	CARGAS VARIABLES .....	57
3.2. ARQUITECTOS .....	13	CARGAS ACCIDENTALES .....	57
RENZO PIANO .....	14	5.4. COMBINACIÓN DE CARGAS .....	58
RICHARD ROGERS .....	15	ESTADO LÍMITE ÚLTIMO.....	58
OVE ARUP & PARTNERS.....	16	ESTADO LÍMITE DE SERVICIO.....	59
3.2. TRAYECTORIA PROFESIONAL: OBRAS .....	17	6. CÁLCULO.....	60
RENZO PIANO .....	17	6.1. MODELO .....	61
RICHARD ROGERS .....	22	6.2. PREDIMENSIONADO .....	63
OVE ARUP & PARTNERS.....	26	6.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	66
4. PROYECTO ARQUITECTÓNICO.....	29	COMPROBACIÓN ELS.....	67
4.1. ENTORNO .....	31	COMPROBACIÓN ELU.....	73
4.2. IDEA.....	33	6.3. ANÁLISIS DE LA VIGA GERBER .....	81
4.3. IMPLANTACIÓN .....	36	ARTICULACIÓN EN EL PILAR .....	82
4.4. ORGANIZACIÓN.....	39	VIGA CONTINUA .....	83
4.5. MATERIALIDAD.....	41	8. CONCLUSIONES.....	84
5. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA .....	42	9. BIBLIOGRAFÍA .....	85
5.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA.....	44	9.1. DOCUMENTAL.....	86
5.2. ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y SU MODELIZACIÓN .....	51	9.2. FOTOGRÁFICA.....	88
VIGAS GERBER .....	51	9.3. HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS.....	90

# 1. OBJETIVO

---

El Centro Nacional de Arte y Cultura Georges Pompidou es un edificio icónico situado en el centro de París, que tiene unas características muy particulares y está fuertemente relacionado con la historia de Francia.

El objetivo de este trabajo es hacer un estudio lo más completo posible desde el punto de vista estructural, sin olvidar las características arquitectónicas y contextuales del edificio, sobre las que también se realizará un análisis exhaustivo.

No se busca realizar tres análisis separados (contextual, arquitectónico y estructural), sino seguir un hilo progresivo que ayude a comprender el edificio en su conjunto, entendiendo la magnitud y la causalidad de las cosas.

## 2. METODOLOGÍA

---

El trabajo se estructurará pasando de lo general a lo concreto, empezando por un análisis histórico de la Francia de los años 60, y avanzando de forma progresiva, hacia las características de implantación, ideación, materialidad y otros rasgos arquitectónicos del edificio. Se finalizará, sacando conclusiones sobre el análisis detallado del comportamiento de los elementos estructurales en su conjunto y de forma aislada.

La información se ha obtenido de páginas web, libros y videos, contrastando dicha información dado el desconocimiento que hay sobre algunos aspectos del edificio en internet.

Para el análisis estructural, se generará un modelo del edificio en AutoCAD 2018, y se analizará como trabajan los diferentes elementos que componen su entramado, apoyándonos en un análisis teórico y en los resultados obtenidos gracias al uso del programa de cálculo SAP2000 V20.

### 3. INTRODUCCIÓN

---



Ilustración 1. Revueltas de mayo de 1968.

### 3.1. CONTEXTO HISTÓRICO.

El Centro Nacional de Arte y Cultura Georges Pompidou está muy ligado a la historia y a la cultura francesa, tal es así, que no se puede entender su construcción sin conocer los sucesos ocurridos en Francia en 1968.

La Francia de 1968, estado republicano presidido por el General Charles de Gaulle, militar importante durante la Segunda Guerra Mundial y creador de la Quinta República Francesa en 1958, año en el que se redactó una nueva constitución (que sigue vigente en la actualidad) fuertemente influenciada por las ideas del general, muy ligadas al concepto de república y al autoritarismo.

Las decisiones de Gaulle siempre fueron muy pragmáticas, orientadas a conseguir una fuerte unión interna y la independencia sobre el exterior (rechazando formar parte de la OTAN y otros organismos internacionales, así como verse influenciado por grandes potencias).

Pese a que el gobierno planteado por de Gaulle requería de una fuerte participación social, los valores que promovía estaban muy ligados a la tradición y al conservadurismo. Por lo que el 22 de marzo de 1968, en la universidad de Nanterre, empezaron las primeras revueltas, en las que se protestó sobre la actuación del gobierno francés en la guerra de Vietnam y sobre la reforma educativa conocida como el *Plan Fouchet*. Durante esta revuelta un gran número de estudiantes fueron detenidos y el 2 de mayo la administración cerró la universidad de Nanterre. Estos sucesos llevaron, ese mismo día, a que estudiantes de París ocuparan la Sorbona, histórica universidad parisina, en solidaridad con sus compañeros de Nanterre. Al día siguiente, el 3 de mayo, la policía cargó contra estos estudiantes,



Ilustración 2. General Charles de Gaulle.



Ilustración 3. Revueltas de mayo del 68.

desencadenando una manifestación de más de 50.000 personas en contra de la brutalidad policial.

Pero las revueltas no se detuvieron ahí, el 13 de mayo se convocó una huelga general en la que se movilizaron más de 10 millones de personas, paralizando la ciudad de París y otras regiones francesas. Esto se produjo ya que la situación económica de Francia había decaído en los últimos años y la clase obrera se unió, a la que empezó siendo una revolución universitaria.

Los representantes del gobierno aseguraron a los trabajadores un aumento en el salario y unas mejores condiciones laborales, pero esta propuesta fue rechazada. Fue entonces cuando de Gaulle se reunió en Baden Baden con Jacques Massu, general francés apostado en Alemania (posición que se creó una vez acabada la Segunda Guerra Mundial), para asegurarse de que contaba con su apoyo en caso de necesitarlo para sofocar la revuelta.

El 19 de mayo, con de Gaulle en París, después de reunirse el gabinete de ministros para buscar una solución, Georges Pompidou (que ocupaba el cargo de primer ministro) resumió las conclusiones a las que llegaron en la reunión con la famosa frase: *“La réforme oui, la chienlin non”*. Frase que no tiene una traducción literal, ya que la palabra francesa *chienlin* no existe en castellano. La traducción de esta palabra sería algo como caos o desorden público, pero también puede tener otros significados como pantomima o mascarada. En cualquier caso, la frase deriva de la convicción de de Gaulle de que, aunque estaba dispuesto a aceptar una reforma, las revueltas que estaban desestabilizando a Francia eran totalmente inaceptable.

En menos de un año, de Gaulle abandona definitivamente el cargo de presidente de la república, sucediéndole Georges Pompidou, que sale ganador en las elecciones de 1969.



Ilustración 4. Georges Pompidou.



Ilustración 5. Respuesta de los estudiantes a la famosa frase *“La réforme oui, la chienlin non”*.

Pompidou, a diferencia de de Gaulle tiene otros objetivos, y cree que es necesario cambiar el rol de Francia en el escenario internacional, proponiendo una renovación política, económica y cultural.

Pompidou aprendió mucho de los problemas que tuvo de Gaulle al final de su mandato, y esto se vio fuertemente reflejado en su forma de afrontar la importante revolución cultural que proponía, y también en la forma de gestionar el proyecto del centro cultural.

A diferencia de cómo se hubiera organizado el desarrollo del centro cultural antes de la revuelta de 1968, donde se hubiera designado un arquitecto francés y un programa mucho más detallado y estricto, Pompidou organizó un concurso internacional al que podía presentarse cualquier arquitecto independientemente de su edad y de su posición financiera y en el que además el programa era muy abierto y tenía muy pocas exigencias.

Las revueltas del 1968, permitieron, por tanto, que apenas dos años después, dos arquitectos extranjeros de más o menos 30 años, construyeran uno de los edificios más icónicos y modernos de París en el siglo XX, en una Francia que había buscado hasta dichas revueltas, de la mano de de Gaulle, una fuerte unión interna ligada al patriotismo y al producto nacional y que rechazaba internacionalizarse desde el punto de vista cultural.

Por lo tanto, estas revueltas no fueron solo un golpe al sistema económico y educativo francés, también una fuerte crítica a una sociedad que limita la globalización y la diversidad, características muy presentes en el Centro Nacional de Arte y Cultura Georges Pompidou.



Ilustración 6 Centro Pompidou en las fases finales de su construcción.

## 3.2. ARQUITECTOS.

Durante el proceso de ideación y desarrollo del proyecto participaron muchos arquitectos e ingenieros, sin embargo, los dos arquitectos principales fueron Richard Rogers y Renzo Piano.

Estos arquitectos, hoy en día muy reconocidos y con un gran número de proyectos construidos a sus espaldas, ambos ganadores del premio Pritzker, eran unos jóvenes de poco más de 30 años cuando ganaron el concurso para construir el Centro Georges Pompidou.

Pero aparte de Rogers y Piano también hubo otros nombres que tuvieron vital importancia en la construcción del Centro Pompidou, entre los que destacan los ingenieros de la compañía Ove Arup & Partners.



Ilustración 7 Renzo Piano y Richard Rogers. Hervé Veronese.

## RENZO PIANO.

Renzo Piano nació en Génova en 1937, y creció en una Italia sacudida por las consecuencias de la Segunda Guerra Mundial. Compaginó sus estudios de Arquitectura en la Universidad Politécnica de Milán mientras trabajaba en la constructora de su padre, lo que aumentó sus conocimientos sobre muchos de los materiales que utilizaría en sus obras.

Trabajó como profesor tanto en la Universidad Politécnica de Milán, como en le AA School of Architecture de Londres. En esta última conoció a Richard Rogers, con el que posteriormente creó la oficina *Piano & Rogers*.

Hasta la construcción del Centro Georges Pompidou no había construido ningún edificio de peso, fue este proyecto el que le dio la reputación que hoy día tiene, y el que le hizo ganar el prestigio necesario para poder construir obras de fama mundial que le llevarían a ganar el premio Pritzker en 1998.

Después de la construcción del Centro Georges Pompidou, fundó un estudio junto con Peter Rice, el cual perduro hasta el fallecimiento del inglés en 1993. De esta asociación surgieron proyectos de gran repercusión internacional como el Aeropuerto Internacional de Kansai.

El estilo de Renzo Piano, a diferencia de otros arquitectos de tanta repercusión, no es fácil de identificar ya que entre sus obras no utiliza los mismos materiales ni las mismas formas. Es un estilo especialmente basado en adaptarse al programa, al entorno y se caracteriza por utilizar tecnologías novedosas y estructuras singulares que le permiten crear espacios únicos.



Ilustración 8. Renzo Piano.

## RICHARD ROGERS.

Richard Rogers es un arquitecto británico que nació en 1933. Se graduó en la AA School of Architecture en 1959, y en 1962 formó un estudio con su entonces esposa, Sue Brumwell y con Norman y Wendy Foster. El estudio se llamó Team 4 y pese a que sus obras tuvieron bastante repercusión, en 1968 decidieron disolver el estudio.

Pudo construir bastantes proyectos, tanto antes como después de formar, junto con Renzo Piano, *Piano & Rogers*. Sin embargo, igual que pasó con Piano, para él también es el Centro Georges Pompidou el primer proyecto que le supone una repercusión real a escala internacional.

Cuando finaliza la construcción del Centro Georges Pompidou, Rogers forma su propio estudio *Richard Rogers Partnership*. Rogers se convierte en el arquitecto inglés por excelencia, y desde ese momento hasta hoy, acapara gran parte de las obras gubernamentales de Gran Bretaña.

Pero no solo ha construido en su país de origen, también ha realizado obras urbanísticas y ha edificado en otras partes del mundo. Ha formado un estudio en Madrid y actualmente hay más de 130 trabajadores en su estudio de Londres.

En 2007 ganó en premio Pritzker gracias a la construcción de El Edificio Lloyd's en Londres.

Rogers es una persona muy involucrada con la sociedad inglesa, hasta el punto de participar activamente durante el gobierno de Toni Blair a partir de 1990.



Ilustración 9. Richard Rogers.

## OVE ARUP & PARTNERS.

Ove Arup & Partners es una multinacional fundada por Ove Arup en 1946. Ove Arup fue un ingeniero de construcción que decidió formar esta compañía, que se ha convertido en una de las mejores del mundo en cuanto a la relación entre las estructuras metálicas, la ingeniería y el diseño arquitectónico.

Dentro de esta compañía, destacan dos nombres que fueron muy influyentes en el diseño y construcción del Centro Georges Pompidou: Peter Rice y Ted Happold.

Ambos fueron ingenieros estructurales, y coincidieron en el proyecto del Centro Georges Pompidou. Ted Happold era el jefe de Structures 3, uno de los departamentos de diseño de estructuras de Ove Arup. Happold había participado en algún concurso, y confiaba en el potencial de estos para mejorar y conocer nuevas formas de trabajo. Así que decidió pagar, de su propio bolsillo, la inscripción para participar en el concurso para construir el Centro Georges Pompidou, e invito al estudio *Piano & Rogers* a participar con ellos.

Peter Rice, fue definido por Happold como el “perfecto ingeniero diseñador de estructuras”. Y es que Peter Rice fue el principal diseñador de la estructura del Centro Pompidou. Tal fue el impacto que tuvo, que durante el resto de su vida estuvo trabajando en el estudio que formó junto con Renzo Piano.



Ilustración 10 Ted Happold.



Ilustración 11 Peter Rice.

## 3.2. TRAYECTORIA PROFESIONAL: OBRAS

RENZO PIANO.

**-Nemo- Museo de Ciencias**  
**1997**  
**Amsterdam**



Ilustración 12. Nemo Museo de Ciencias (Renzo Piano)

**-Edificio Shard London Bridge**  
**2012**  
**Londres**



Ilustración 13. Edificio Shard London Bridge (Renzo Piano)

**-Astrup Fearnley Museum of Modern Art**  
**2012**  
**Oslo**



Ilustración 14. Astrup Fearnley Museum of Modern Art (Renzo Piano)

**-Aeropuerto Internacional de Kansai**  
**1994**  
**Bahía de Osaka**



Ilustración 15. Aeropuerto Internacional de Kansai (Renzo Piano)

**-Centro Botín**  
**2017**  
**Santander**



Ilustración 16. Centro Botín (Renzo Piano)

**-Jean-Marie Tjibaou Cultural Center**  
**1998**  
**Numea**



Ilustración 17. Jean-Marie Tjibaou Cultural Center (Renzo Piano)

**-Zentrum Paul Klee  
2005  
Berna**



Ilustración 18 Zentrum Paul Klee (Renzo Piano)

RICHARD ROGERS.

**-Lloyd's of London**  
**1986**  
**Londres**

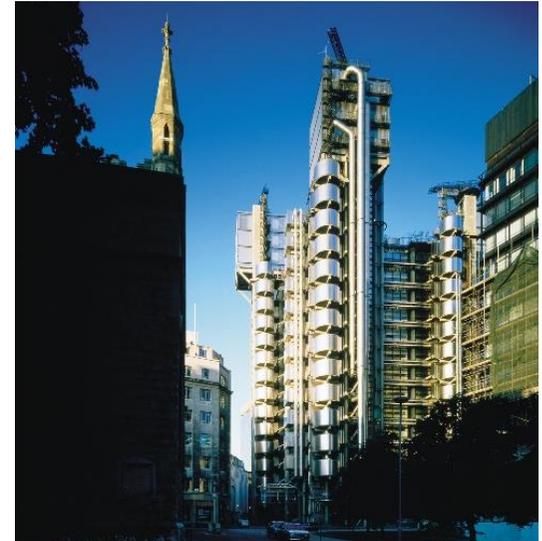


Ilustración 19. Lloyd's of London (Richard Rogers)

**-Millenium Dome**  
**1999**  
**Londres**



Ilustración 20 Millenium Dome (Richard Rogers)

**-Leadenhall building**  
**2014**  
**Londres**



Ilustración 21 Leadenhall Building (Richard Rogers)

**-Three World Trade Center**  
**2018**  
**Nueva York**



Ilustración 22 Three World Trade Center (Richard Rogers)

**Terminal 5 de Heathrow**  
**2008**  
**Londres**



Ilustración 23 Terminal 5 de Heathrow (Richard Rogers)

**National Assembly for Wales**  
**2005**  
**Cardiff**



Ilustración 24 National Assembly for Wales (Richard Rogers)

OVE ARUP & PARTNERS.

**-Opera de Sídney**  
**1973**  
**Sídney**  
**Arquitecto: Jorn Urtzon**



Ilustración 25 Opera de Sídney (Jorn Urtzon)

**-Museo Soumaya**  
**2011**  
**Ciudad de México**  
**Arquitecto: Fernando Romero**



Ilustración 26 Museo Soumaya (Fernando Romero)

**-Swiss Re**  
**2004**  
**Londres**  
**Arquitecto: Norman Foster**



Ilustración 27 Swiss Re (Norman Foster)

**-Torre de Collserola**  
**1992**  
**Barcelona**  
**Arquitecto: Norman Foster**



Ilustración 28. Torre de Collserola (Foster)

## 4. PROYECTO ARQUITECTÓNICO

---



Ilustración 29. Imagen exterior Centro Pompidou. Luisa Basset Salom.

## 4.1. ENTORNO

El centro Georges Pompidou se proyectó sobre una enorme explanada situada en el centro de París, entre el barrio de Marais y Les Halles.

Les Halles, un barrio tradicional, sujeto a polémica durante la construcción del Centro Georges Pompidou, debido a la reforma urbana que se realizó durante esa época. Ya que algunos edificios considerados históricos fueron desplazados o derribados para poder realizar dicha remodelación, en la que se incorporaron al barrio diferentes equipamientos. Esto no gustó a alguna parte de la sociedad parisina, que no veía con buenos ojos que no se mantuvieran unos edificios tan ligados a su cultura como lo son los pabellones de las Halles.

Por el otro lado, Marais, barrio que ha estado sujeto a cambios a lo largo de la historia. Sin embargo, desde la década de los 60, se convirtió en una zona notablemente progresista, especialmente habitada por artistas y en la que la cantidad de museos y galerías de arte es considerablemente alta.

La parcela sobre la que se encuentra el Centro Georges Pompidou fue utilizada desde los años 60 como estacionamiento público. Siendo esta parcela un vacío de grandes dimensiones en una zona con una densidad de edificios muy alta.

Parece como si esta parte de la ciudad se estuviera reservando para levantar en ella un edificio de carácter monumental.



Ilustración 30 Situación de la parcela antes de la construcción del Centro Georges Pompidou.



Ilustración 31. Plano de situación antes de la construcción del centro Georges Pompidou

## 4.2 IDEA

El centro George Pompidou destaca, a primera vista, por el contraste que supone encontrarse el esqueleto estructural expuesto en su monumental fachada, en una zona céntrica de París en la que predominan los edificios clásicos.

Sin embargo, la idea que siguen los arquitectos está fuertemente relacionada con el contexto histórico y con el lugar de emplazamiento, siendo estos los principales motivos para que los jóvenes Piano y Rogers ganaran el concurso.

Como concepto básico, no se buscaba un museo tradicional, para eso ya estaba el Louvre, y tampoco ningún tipo de museo al uso. Se busca un espacio lo más polivalente posible, que pueda adaptarse a la evolución del arte. Pero esto más bien forma parte de las exigencias del concurso que de las propias ideas de los arquitectos.

Por los sucesos revolucionarios nacidos en Nanterre en 1968, gran parte de la sociedad parisina clamaba por intervenciones más progresistas por parte del estado francés. Por esto, George Pompidou priorizó un centro cultural mucho más ligado al arte popular, corriente que había crecido mucho en los últimos años, frente al arte elitista que pedía la otra parte de la sociedad francesa.

Este es posiblemente uno de los puntos de inflexión, ya que la necesidad de albergar arte popular es totalmente diferente a la de exponer un cuadro renacentista o barroco.

El arte popular, son corrientes artísticas que nacen fundamentalmente en los barrios, en la ciudad, es un tipo de arte que no está hecho para alabarlo tras un cristal protector si no para compartirlo y disfrutarlo en sociedad. Entonces,



Ilustración 32 Imagen exterior Centro Pompidou

¿Cómo se debe albergar el arte popular? La respuesta es, que seguramente albergarlo o contenerlo no sea la mejor opción. Es por esto por lo que deciden que lo más apropiado no es generar un determinado espacio para exponerlo, si no introducir dentro del edificio su hábitat natural, la ciudad, siendo esta la que mediante sus horarios y sus ritmos cambiantes dote de diferentes características los espacios del museo.

En esta parte cobra especial importancia la plaza situada justo en frente del centro cultural, que también forma parte del proyecto. La plaza es una parte de la ciudad, pero también una galería más del centro por la que se extienden algunas de las obras de arte. Además, se difumina el límite entre el acceso al edificio y la plaza para eliminar las barreras entre la ciudad y el museo.

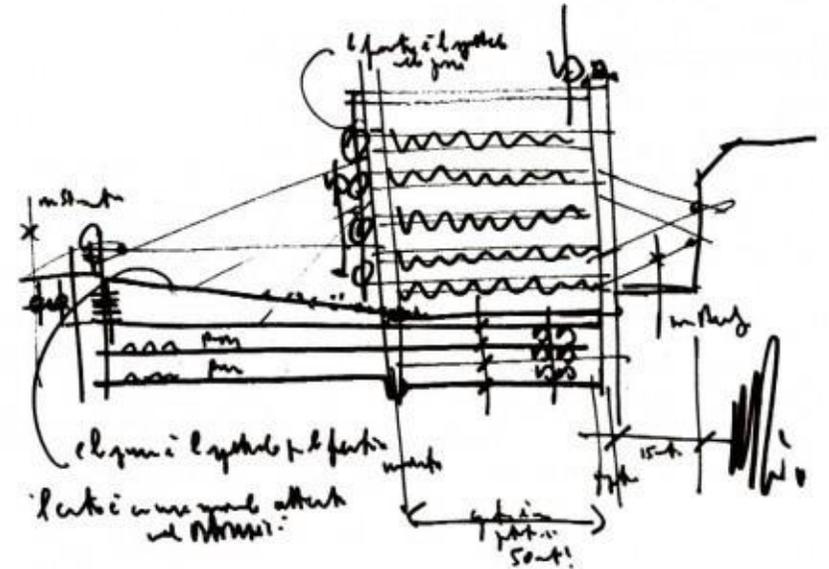


Ilustración 33 Boceto Centro Pompidou. Richard Rogers y Renzo Piano.



Ilustración 34 Imagen exterior Centro Pompidou

### 4.3. IMPLANTACIÓN

La implantación del Centro Pompidou es uno de los aspectos más llamativos del proyecto, porque a simple vista parece que el edificio no guarde ninguna relación con su entorno.

Es muy impactante, en la zona céntrica de una ciudad como París, con un centro histórico muy cuidado que todavía mantiene un gran número de edificios del siglo XIX, encontrar un edificio de un aspecto tan vasto y de un tamaño tan imponente, en comparación con los edificios que lo rodean. Sin embargo, es más impactante, conocer lo que simboliza este edificio y la trascendencia que tiene la cultura francesa en su diseño.

Por una parte, aunque el uso de estructuras metálicas ya no era considerado algo novedoso, seguía habiendo cierta reticencia a su uso, porque no se consideraban estéticamente atractivas. Sin embargo, estas estructuras dieron algunos de sus primeros pasos en París, más concretamente en les Halles, zona muy cercana al Centro Pompidou. Estos pasos se dieron de la mano de Victor Baltard, como arquitecto principal y de Pierre-François Jolly y Cesar Jolly como encargados del cálculo y diseño de la estructura. Fueron los encargados de diseñar 12 de los pabellones de Les Halles. En este proyecto realizado a mitad del siglo XIX se quería conseguir “un espíritu de ligereza y economía” y para ello se utilizaron estructuras metálicas y fachadas formadas por grandes paneles de vidrio, método extremadamente novedoso en la época.

Tanto el concepto que persiguió Baltard como la forma de desarrollarlo están muy presentes en el diseño del Centro Georges Pompidou. Rogers y Piano también implementan en su proyecto ese espíritu de “ligereza y economía”, y si en el diseño de Les Halles el uso del acero fue algo novedoso que empezó un



Ilustración 35 Imagen exterior Centro Pompidou

cambio en el diseño de estructuras, en el Centro Georges Pompidou se dio un paso más, y se empleó el acero de una forma brillante, permitiendo crear un espacio diáfano de unas dimensiones increíbles.

Sin duda alguna, como ya se ha citado en apartados anteriores, los acontecimientos que más influyeron en el edificio fueron los sucesos del 1968. Los actos revolucionarios que buscaban desesperadamente un cambio en la sociedad francesa se vieron representados por el carácter brutalista del edificio, mostrando la estructura, circulaciones e instalaciones en fachada (algo totalmente impensable durante la presidencia de de Gaulle). Era un espacio diseñado especialmente para albergar el arte popular, corriente que había estado muy ligada a dichos actos revolucionarios.

A priori, podía parecer que era un edificio conmemorativo, como gesto para contentar a las personas que apoyaron ese movimiento, sin embargo, fue más un símbolo del inicio de un cambio que busca integrar artística y socialmente a una clase social, que hasta el momento se había visto discriminada en pro de la sociedad más conservadora y elitista.



Ilustración 36 Imagen interior Les Halles de Baltard.



Ilustración 37 Plano de situación una vez construido el centro Georges Pompidou

## 4.4. ORGANIZACIÓN

La organización del Centro Pompidou es, sin duda alguna, el aspecto más sorprendente del edificio, dada su originalidad, ya que es la característica por la que más se le reconoce a lo largo del mundo.

La organización de los volúmenes parte del concepto de generar una zona totalmente flexible y cambiante, por lo que los arquitectos buscan crear un espacio lo más diáfano posible, hasta el punto de que se generan unas plantas de casi 8.000m<sup>2</sup> en las que no se requiere estructuralmente ningún elemento portante que limite la amplitud interior.

Para poder responder a esta necesidad se diseña un pórtico específico que se repite en su plano perpendicular durante la totalidad del edificio. Este pórtico, que se definirá de forma mucho más detallada en el análisis estructural, permite una distancia de cerramiento a cerramiento, en el plano transversal, de 48 metros. Esto lleva a que todos los elementos portantes no horizontales del edificio estén expuestos en fachada.

Pero no solo la estructura limita un espacio interior, las instalaciones y las circulaciones también lo hacen, es por eso, que estos elementos también se colocan en el exterior del edificio, otorgándole al centro Pompidou ese aspecto tan particular.

La organización es brillante, dependiendo del tipo de instalaciones que albergue cada tubería, se le asignará un color u otro. Se usa el color amarillo para la instalación eléctrica, el azul para la de ventilación y el verde para la instalación hidráulica. Dichas instalaciones están casi en su totalidad en el

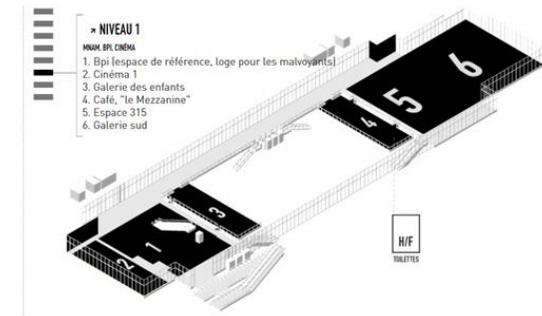


Ilustración 38 Planta funcional nivel 1. Centre Pompidou.

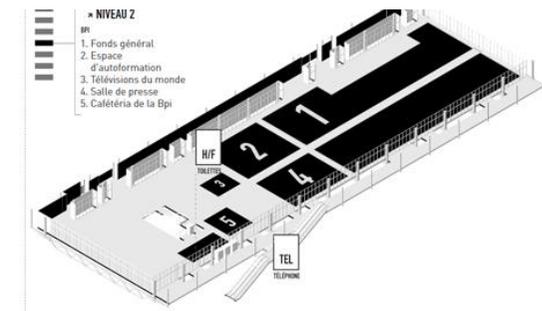


Ilustración 39 Planta funcional nivel 2. Centre Pompidou.

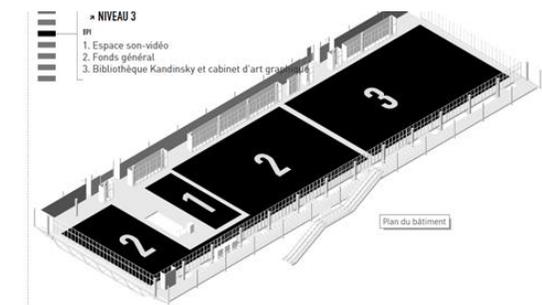


Ilustración 40 Planta funcional nivel 3. Centre Pompidou.

exterior, solo entran al edificio pegadas a la parte inferior de los forjados para poder abastecer las necesidades funcionales del mismo.

Para las circulaciones se utiliza el color rojo, haciendo referencia a la sangre que hace que el organismo funcione. También se colocan en el exterior, aunque se separan los accesos de los trabajadores y de los visitantes. Destaca principalmente la “oruga”, escalera que da acceso a todas las plantas y tiene un impacto muy fuerte sobre la fachada principal del edificio, la fachada que responde a la plaza. Además, el final de esta escalera se encuentra uno de los miradores más famosos de París. Dicho color rojo también se utiliza para los montacargas situados en la fachada de las calles *Rue du Renard* y *Rue Beaubourg*.

En la organización interior se entienden perfectamente los motivos comentados antes por los que estructura, instalaciones y circulaciones han sido colocadas en el exterior del edificio. Y es que el Centro Pompidou, con el mismo sistema organizativo a lo largo de todas las plantas, es capaz de albergar una cantidad enorme de usos diferentes. Entre los que destacan bibliotecas, galerías, cines, restaurantes, terrazas y cafeterías. En las plantas que facilita la página oficial del Centro George Pompidou se pueden ver todos los usos y distribución que alberga el centro actualmente.

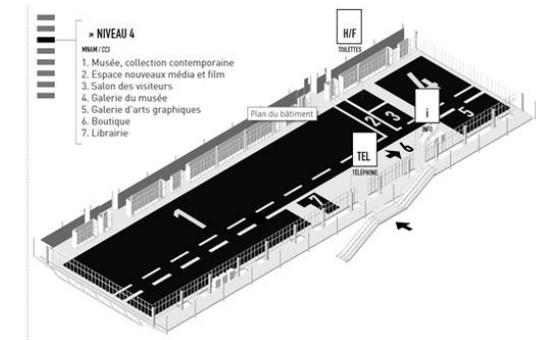


Ilustración 41 Planta funcional nivel 4. Centre Pompidou.

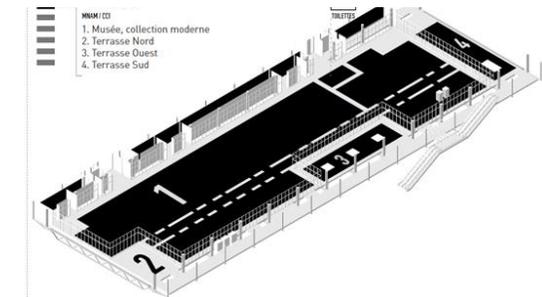


Ilustración 42 Planta funcional nivel 5. Centre Pompidou.

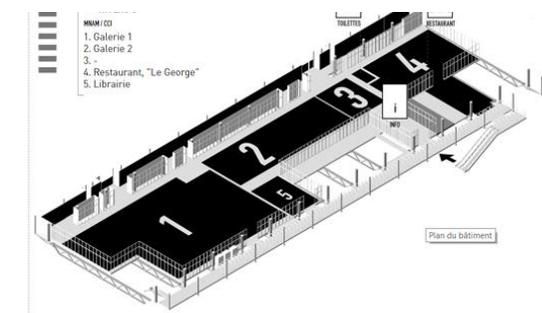


Ilustración 43 Planta funcional nivel 6. Centre Pompidou.

## 4.5. MATERIALIDAD

De entre todos los materiales utilizados durante el proceso constructivo del Centro George Pompidou, destacan dos sobre el resto: El acero y el vidrio.

El acero y el vidrio generan prácticamente todo el volumen del edificio, aunque también aparecen otros materiales que tienen una importancia considerable en el proyecto.

El acero define todo el esqueleto del edificio. Se utiliza para construir las vigas, los arriostramientos ante esfuerzos horizontales, pilares, viguetas, piezas de unión entre estos elementos e incluso también se emplea en forma de rejilla como forjado de las escaleras auxiliares. El acero es el elemento más importante desde el punto de vista constructivo, ya que con ningún otro material de la época hubiese sido posible resolver las necesidades estructurales del Centro Pompidou.

El vidrio es el otro elemento destacado del edificio, por su importancia en el valor arquitectónico y en el desarrollo de la idea comentada anteriormente. La necesidad de generar entradas de luz es básica en la arquitectura, y el vidrio es el material por excelencia cuando se habla de aumentar la iluminación en un proyecto sin comprometer la transmitancia del edificio. En el Centro Pompidou, el uso del vidrio va más lejos, ya que se emplea para definir todas las fachadas del edificio para poder acercar lo máximo posible el ritmo de la ciudad de París al Centro Cultural.

Además de estos materiales, aparecen otros que tienen un papel secundario en comparación con los ya citados.

El más destacable es el hormigón. El hormigón se utiliza para la construcción de los muros del sótano sobre los que apoyan los elementos metálicos del edificio como tal. Además, también se emplea para la construcción de las placas alveolares que se usarán como forjados para los espacios interiores del edificio.



Ilustración 44 Imagen exterior Centro Pompidou

## 5. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

---



Ilustración 45 Gerberette.

## 5.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA

La planta es un rectángulo de 166 metros de largo por 60 metros de ancho, que se repite 7 veces hasta alcanzar la estructura una altura de 45,5 metros respecto a la cota de la fachada oeste y 42 metros respecto a la cota del resto de fachadas.

La elección del tipo de estructura utilizada viene dada por la necesidad de conseguir un espacio interior lo más flexible posible, por ello se recogen todos los elementos estructurales verticales como parte de la fachada del edificio, despejando el espacio interior de cualquier limitación geométrica, generada por la aparición de pilares o muros de carga, que pudiera condicionar dicho espacio.

Al llevar todas las piezas estructurales no horizontales a la fachada en un edificio monumental, la solución constructiva para los elementos horizontales portantes debía de ser especial, ya que las vigas tendrían que soportar unas luces de gran tamaño. Tal es así, que la solución estructural adoptada es una adaptación, a una tipología de edificio de carácter público, de un tipo estructural utilizado, hasta el momento, únicamente en la construcción de puentes.

Dicha tipología es la viga Gerber, que consiste en dividir una viga continua mediante articulaciones para conseguir que pase de ser hiperestática a isostática.

Lo que caracteriza la viga Gerber empleada en este edificio es un elemento llamado "Gerberette", se trata de una pieza metálica prefabricada, apoyada

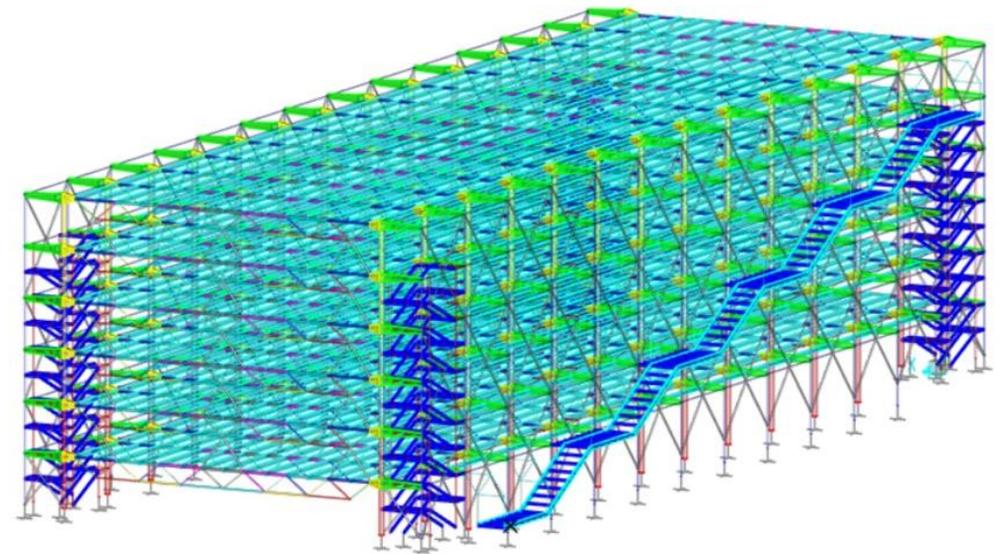


Ilustración 46 Axonometría del modelo del Centro Pompidou. Elaboración propia.

sobre el pilar, sobre la que apoya la viga Warren y la que equilibra el conjunto de barras gracias a un tirante en el extremo, que hace que la “Gerberette” pase de trabajar como una ménsula a trabajar como una palanca.

El pórtico formado por la viga Gerber, los pilares y los tirantes se repite, uno sobre otro, 6 veces dando forma a la altura del edificio. Este pórtico de 3 vanos y 6 alturas se coloca 14 veces cada 12,8 metros en la dirección perpendicular al pórtico y están unidos entre si mediante perfiles horizontales y mediante cruces de San Andrés que le aportan mayor rigidez al edificio frente a esfuerzos horizontales.

Además, en los pórticos situados en los extremos del edificio también se colocan tirantes que forman cruces de San Andrés o triángulos para mejorar la rigidez frente a esfuerzos horizontales en el plano perpendicular al pórtico.

Para el forjado, se colocan viguetas metálicas que unen las vigas Gerber cada 3,2 metros, siendo esta distancia la luz del forjado de placas alveolares.

A la estructura principal definida en los párrafos anteriores, se le adosan unas estructuras auxiliares cuya función es crear las circulaciones verticales. La estructura auxiliar se conforma por barras metálicas que mantienen la imagen industrial del edificio. Sostiene la escalera y los respectivos accesos a cada planta por lo que debe contar con un elemento estructural superficial por el que puedan circular los transeúntes, para resolver dicho elemento se utiliza chapa grecada en la escalera de oruga y una rejilla metálica en las escaleras auxiliares.

El proceso constructivo de dicha estructura se ve representado en las imágenes de las páginas siguientes

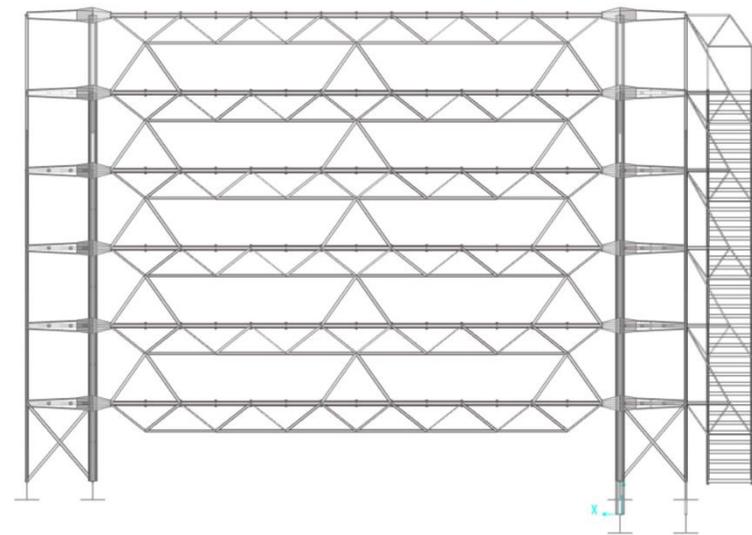


Ilustración 47 Alzado del modelo del Centro Pompidou. Elaboración propia.

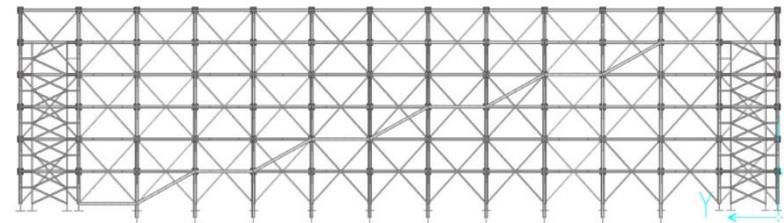


Ilustración 48 Alzado del modelo del Centro Pompidou. Elaboración propia.



Ilustración 49 Proceso constructivo – excavación.



Ilustración 50 Proceso constructivo – muros de sótano de hormigón



Ilustración 51 Proceso constructivo – colocación de los pilares sobre muros de hormigón



Ilustración 52 Proceso constructivo – colocación de las Gerberettes sobre los pilares



Ilustración 53 Proceso constructivo – fijación de los tirantes



Ilustración 54 Proceso constructivo – apoyo de la viga Warren sobre las Gerberettes.



Ilustración 55 Proceso constructivo – Colocación del forjado.



Ilustración 56 Proceso constructivo – Completa la estructura principal.



Ilustración 57 Proceso constructivo – Arriostramientos y estructuras secundarias.

## 5.2. ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y SU MODELIZACIÓN

### VIGAS GERBER.

Es el elemento más característico de la estructura del edificio. Se trata de una viga isostática, que permite luces de gran tamaño. A su vez, este elemento se subdivide en otros dos, la viga Warren y la Gerberette.

#### VIGA WARREN.

La viga Warren es una cercha de grandes luces, en este proyecto cubre una distancia entre apoyos de 44,8 m. La cercha formada por perfiles tubulares tiene un canto de 2,5 m.

La longitud de cada barra horizontal de la cercha es de 6,4 m y la de las barras inclinadas de 3,2 m. Las dimensiones de las barras de la cercha son perfiles tubulares huecos o macizos que cambian de sección según la posición en la que se encuentren, siendo la cercha simétrica respecto al eje z. Las medidas que se han tomado son las que aparecen en un plano del libro *Centre Pompidou* de Francesco Dal Co

Superior 1 = 2 X Ø 419mm x 15mm

Superior 2 = 2 X Ø 419mm x 31mm

Superior 3 = 2 X Ø 419mm x 47mm

Superior 4 = 2 X Ø 419mm x 50mm



Ilustración 58 Imagen del pórtico de fachada.

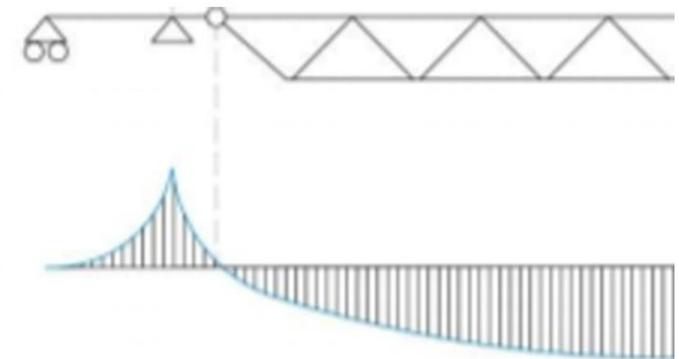


Ilustración 59 Esquema del funcionamiento de la viga Gerber. Ana Ezquerro Eguizábal.

Diagonal 1 = 2 X Ø 131mm

Diagonal 2 = 1 X Ø 273mm x 50mm

Diagonal 3 = 1 X Ø 152mm

Diagonal 4 = 1 X Ø 273mm x 28mm

Diagonal 5 = 1 X Ø 119mm

Diagonal 6 = 1 X Ø 273mm x 20mm

Diagonal 7 = 1 X Ø 219mm x 10mm

Inferior 1 = 2 X Ø 160mm

Inferior 2 = 2 X Ø 206mm

Inferior 3 = 2 X Ø 225mm

Su modelización es bastante simple, ya que únicamente hay que conocer las dimensiones de la cercha en su conjunto y posteriormente asignarle el tipo de perfil que corresponda a cada barra en SAP2000.

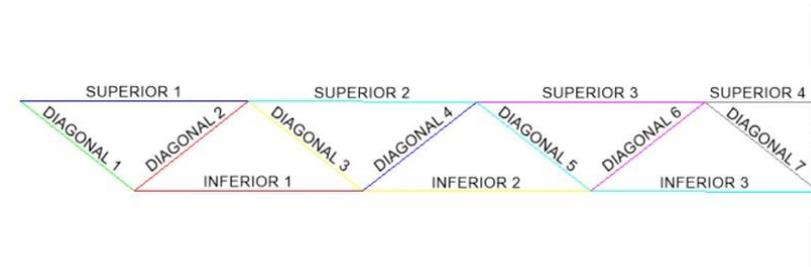


Ilustración 60 Perfiles que conforman la viga Warren. Elaboración propia.

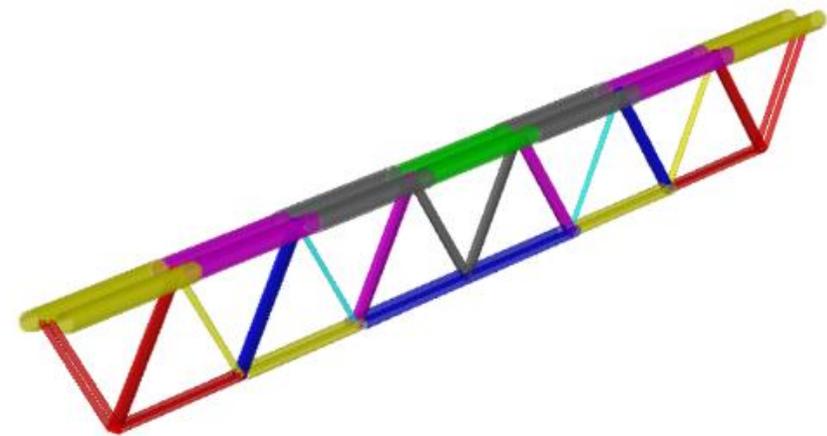


Ilustración 61 Axonometría del modelo de la viga Warren. Elaboración propia.

## GERBERETTE.

La Gerberette, como se ha resumido en los puntos anteriores, es la pieza más característica de la estructura del Centro Pompidou. Se trata de un elemento metálico sobre el que apoya la viga Warren.

Este elemento metálico está diseñado específicamente para este proyecto. Mide 7,6 m y transmite su peso propio y la carga recibida de la viga Warren a dos elementos portantes verticales, un pilar y un tirante. La viga Warren apoya en un extremo de la Gerberette, que se encuentra con el pilar a 1,6 m de dicho apoyo y se equilibra con el tirante justo en el otro extremo de la Gerberette.

Su modelización es bastante más compleja que la de la viga Warren, ya que es necesario desdoblarse los nudos de forma que compartan los desplazamientos, pero no el giro en el plano del pórtico, para que el programa entienda el funcionamiento real de esta pieza. La pieza se diseñó de esta forma para evitar que los pilares recibieran momentos y trabajasen a flexocompresión.

Además, es necesario simplificar la forma, ya que es irregular y no se puede representar con exactitud. Sin embargo, la simplificación que se realiza es bastante aproximada a la solución real. Las medidas que se han tomado han sido una simplificación de las que aparecen en un plano del libro *Centre Pompidou* de Francesco Dal Co

## PILARES.

Los pilares están formados por perfiles tubulares que van variando el grosor del perfil según van cambiando de planta. Todos los pilares tienen un diámetro de 85 cm en todas las plantas, lo único que cambia es el grosor del perfil que en la planta superior mide 40 mm y en la base del edificio 85 mm.

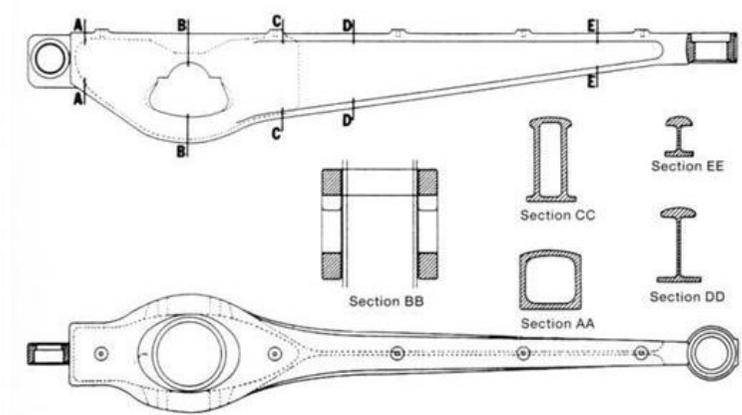


Ilustración 62 Planos de la Gerberette.

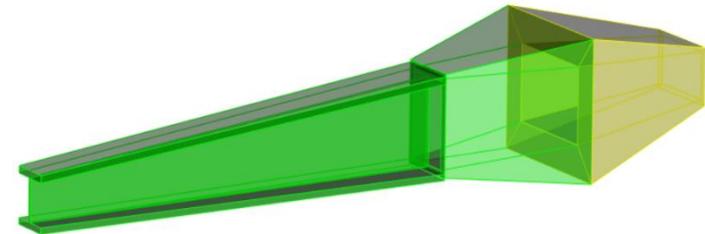


Ilustración 63 Axonometría del modelo de la Gerberette. Elaboración propia

Al tratarse de pilares completamente metálicos fue necesario llenarlos de agua para que cumplieran los requisitos mínimos de protección frente a incendios.

Los pilares trabajan a compresión simple, ya que no reciben ni esfuerzos horizontales ni momentos, debido a que este tipo de acciones se equilibran gracias a la rigidez que aportan las cruces de San Andrés y a las características de las Gerberettes respectivamente. Las medidas que se han tomado son las que aparecen explicada en el libro *Centre Pompidou* de Francesco Dal Co

## TIRANTES.

Tubos metálicos de pequeña sección que trabajan a tracción. Se utilizan para equilibrar los pórticos y hacer que las gerberettes dejen de trabajar como ménsulas para trabajar como palancas.

Estos tirantes, de 324mm de diámetro y 30mm de espesor, también se utilizan para darle estabilidad al edificio frente a esfuerzos horizontales. Se emplean en forma de cruces de San Andrés en la totalidad de las fachadas longitudinales, y en forma triangular y de cruces de San Andrés en las fachadas transversales. Las medidas que se han tomado son las que aparecen en un plano del libro *Centre Pompidou. Piano + Rogers* de la *Fondazione Renzo Piano*

## FORJADOS.

### PLACAS ALVEOLARES.

Forjado unidireccional prefabricado de hormigón. Se utilizan unas vigas secundarias metálicas que apoyan en un pórtico en cada extremo (12,8m). El forjado apoya sobre ellas salvando una luz de 3,2 m. Este forjado es el más

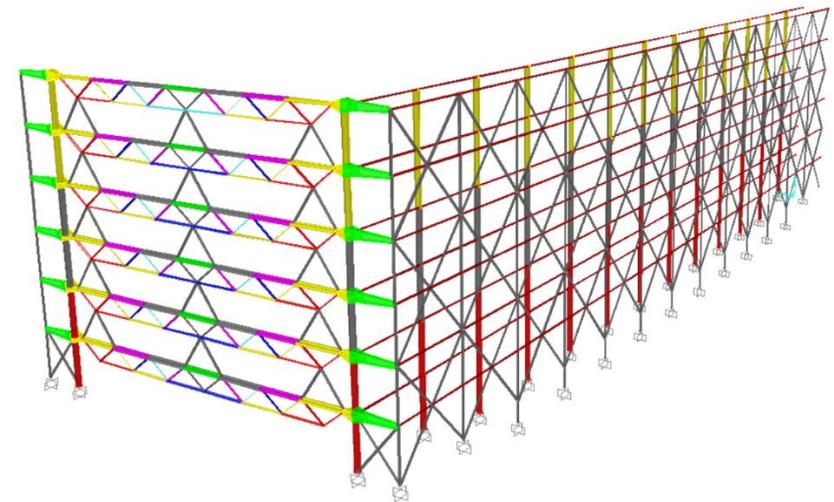


Ilustración 64 Cónica parcial del modelo del Centro Pompidou. Elaboración propia

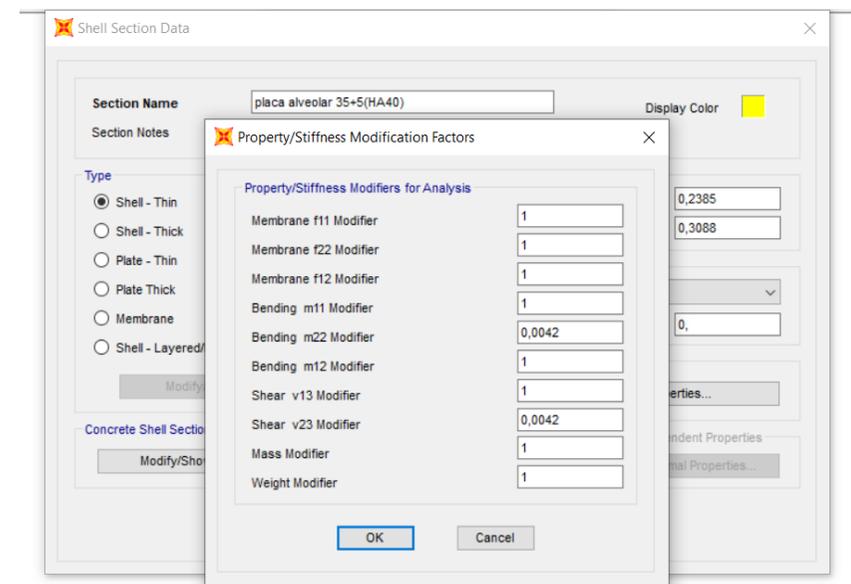


Ilustración 65 Características del forjado de placas alveolares en Sap200. Elaboración propia.

utilizado en todo el edificio, ya que únicamente no se emplea en las circulaciones verticales.

#### CHAPA GRECADA.

Se utiliza únicamente en la escalera principal del edificio. La distancia entre viguetas a lo largo de la escalera es de 1,8 m y tienen una luz de 4 m.

#### REJILLA METÁLICA

Se emplea un forjado de rejilla metálica, en la que aparecen perfiles metálicos en forma de viguetas y de cruces. Únicamente se emplea para sostener las escaleras auxiliares colocadas en los extremos del edificio.

Los valores de canto de los forjados se estipularán mediante predimensionado.

### ESTRUCTURA AUXILIAR.

Se crea una estructura auxiliar que sirve para transmitir la carga de las escaleras a la estructura principal. Esta estructura está formada por unos perfiles muy similares a los tirantes, pero de 15cm de diámetro.

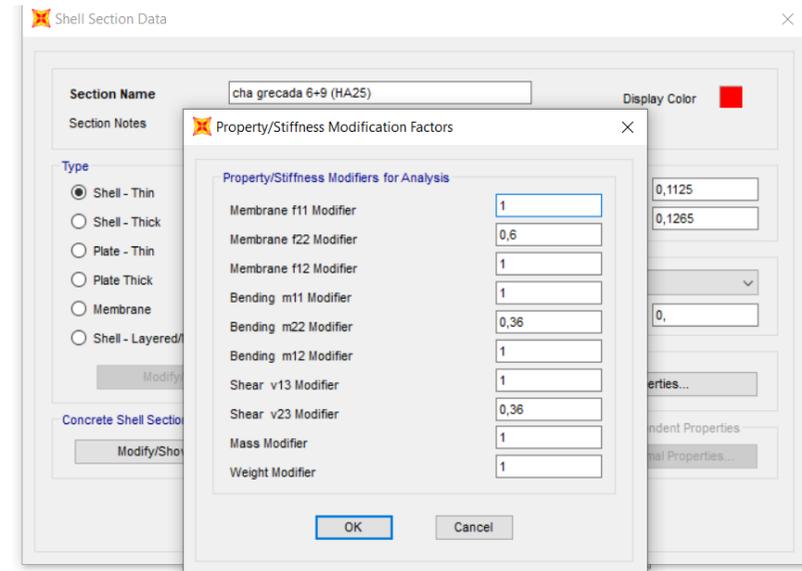


Ilustración 66 Características del forjado de chapa grecada en Sap200. Elaboración propia.

## 5.3. ASIGNACIÓN DE CARGAS

Las cargas que se asignarán para el análisis estructural serán las establecidas según los criterios del código técnico.

### CARGAS PERMANENTES

Las cargas permanentes representan el peso propio del edificio, tanto el de la estructura como el de los elementos constructivos que debe soportar.

La carga permanente de los forjados de placas alveolares incluye su peso propio (para 30 cm de canto: 4,5kn/m<sup>2</sup>) y el de los elementos constructivos que apoyan sobre ellos, este último parámetro es muy variable ya que hay espacios que se dejan diáfanos y otros que están compartimentados, sin embargo, como el espacio está diseñado para adaptarse un gran número de usos, se supondrá una carga de elementos constructivos constante elevada de 2 kn/m<sup>2</sup>.

Para el peso propio del forjado de chapa grecada y del de rejilla metálica se supondrá, una carga de 2,5kn/m<sup>2</sup> ya que se trata de forjados muy ligeros.

Las cargas permanentes asignadas al modelo utilizado en SAP 2000 serán únicamente las de los elementos constructivos, ya que el peso propio de la estructura lo asigna automáticamente el programa

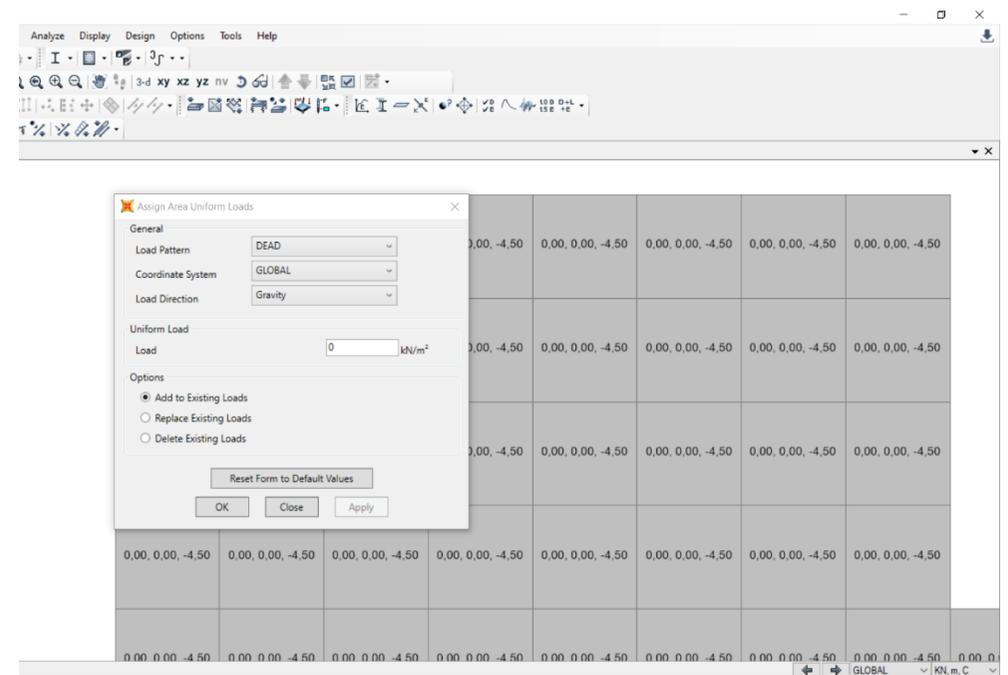


Ilustración 67 Aplicación de las cargas en Sap200. Elaboración propia.

## CARGAS VARIABLES

Las cargas variables que actúan sobre este edificio son el viento, la sobrecarga de uso y la nieve.

### SOBRECARGA DE USO

Aunque es un edificio que alberga un gran número de usos, unos privados y otros públicos, se le asignará un valor constante de 5kn/m2 como exige el código técnico para usos como salas de exposiciones.

### VIENTO

El valor de la carga de viento es de 0,35 kn/m2, ya que París se encuentra en una zona de viento 2.

### NIEVE

El valor de la carga de nieve es de 0,45 kn/m2, ya que París se encuentra en la zona A1.

Los valores de viento y de nieve se han obtenido justo en la ubicación del Centro Georges Pompidou

## CARGAS ACCIDENTALES

La ciudad de París es una zona de baja sismicidad, por lo que el sismo no se tendrá en cuenta dentro de este análisis.

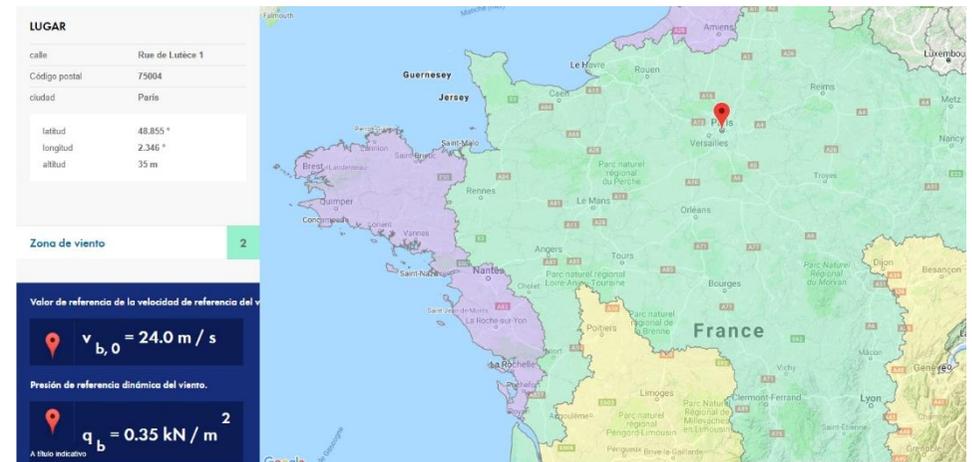


Ilustración 68 Valor de la carga de viento en el emplazamiento del Centro Georges Pompidou.

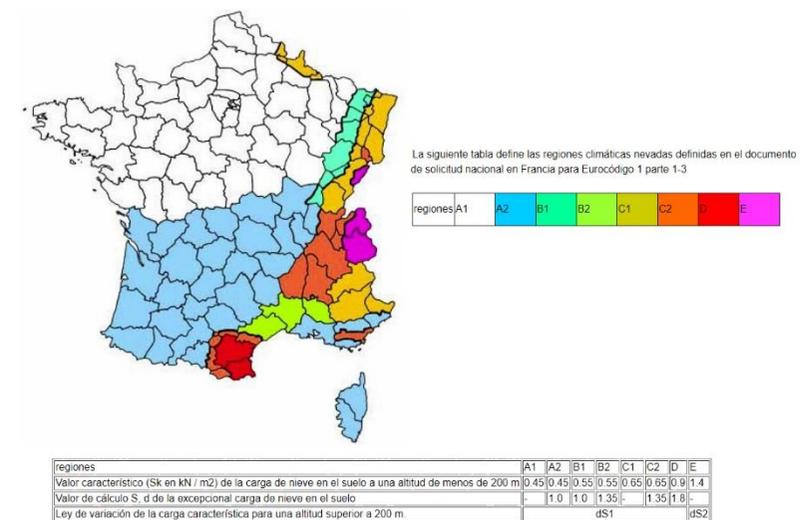


Ilustración 69 Valor de la carga de nieve en la ciudad de París.

## 5.4. COMBINACIÓN DE CARGAS

A continuación, se definirán las diferentes expresiones con las que se comprobará a resistencia y a flexión el Centro Georges Pompidou.

Tanto las combinaciones de cargas, como los coeficientes de mayoración y simultaneidad serán los definidos en el Código Técnico en el apartado de seguridad estructural.

## ESTADO LÍMITE ÚLTIMO

Como se especifica en el apartado 4.2 *Capacidad portante*, más específicamente en el apartado 4.2.2 *Combinación de acciones* se considerará la siguiente expresión para definir las combinaciones de acciones con las que se comprobará a resistencia el edificio. Solo se considera una combinación de cargas ya que no se ha tenido en cuenta ninguna acción accidental.

*“El valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondiente a una situación persistente o transitoria, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la expresión”*

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

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
Estabilidad		<b>desestabilizadora</b>	<b>estabilizadora</b>
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

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

Ilustración 70 Tabla CTE DB SE. Coeficientes parciales de seguridad para las acciones.

## ESTADO LÍMITE DE SERVICIO

Como se especifica en el apartado 4.3 *Aptitud al servicio*, más específicamente en el apartado 4.3.2 *Combinación de acciones* se considerarán las siguientes expresiones para definir las combinaciones de acciones con las que se comprobará a flexión el edificio.

*“Los efectos debidos a las acciones de corta duración que pueden resultar irreversibles, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado característica, a partir de la expresión”*

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

*“Los efectos debidos a las acciones de corta duración que pueden resultar reversibles, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado frecuente, a partir de la expresión”*

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

*“Los efectos debidos a las acciones de larga duración, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado casi permanente, a partir de la expresión”*

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

**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 ≤ 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.

Ilustración 71 Tabla CTE DB SE. Coeficientes de simultaneidad.

## 6. CÁLCULO

---

## 6.1. MODELO

Para realizar un estudio estructural detallado del edificio, se ha decidido introducir un modelo, diseñado en Autocad 2018, en SAP2000 v20, donde se le asignan los perfiles y cargas definidos en los puntos anteriores.

Para el modelado en Autocad, se necesita conocer la longitud de los elementos lineales, así como la distancia entre ellos y el ancho y el largo de los elementos finitos. El proceso de modelado ha sido muy largo debido a la falta de información de algunos aspectos del edificio, tal es así que algunas estructuras auxiliares, sin ninguna repercusión importante sobre el edificio, no han sido definidas (es el caso de la estructura auxiliar que sujeta los montacargas).

Una vez finalizada la geometría del modelo, se importa a SAP 2000. Lo primero que se realiza es colocar los empotramientos en los apoyos respectivos, para comprobar que no hay ninguna desconexión y que la geometría del modelo es correcta.

A continuación, para que el SAP 2000 no entienda la unión entre los pilares y las gerberettes como un empotramiento, es necesario desdoblar el nudo en el que se encuentran. Esto se realiza del siguiente modo:

-Se realiza una desconexión de todos los nudos de la estructura, el programa pasa de entender el punto de encuentro entre dos barras o más, que entendía como un único punto, como 2 puntos independientes (en caso de que se encuentren 2 barras, 3 puntos si se encuentran 3 barras y así respectivamente)

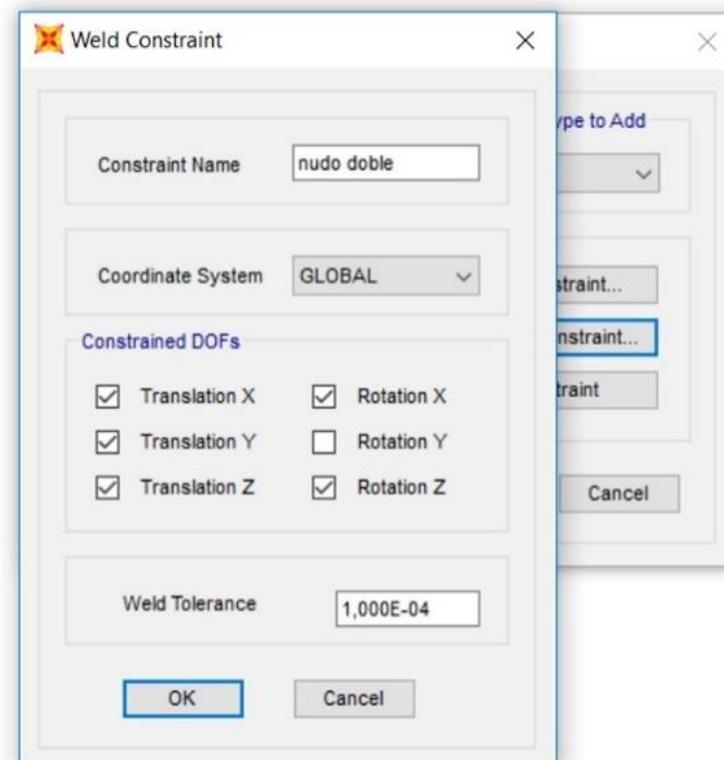


Ilustración 72 Características nudo doble definido en Sap 2000. Elaboración propia.

-Se crea un nuevo tipo de nudo, que se aplica al encuentro entre pilares y gerberettes, que sirve para que los pilares no compartan el giro en el plano del pórtico con las gerberettes.

- Se le asigna un "Merge Number" distinto al nudo citado en el apartado anterior, respecto al resto de nudos de la estructura. Se selecciona toda la estructura y se vuelven a conectar los nudos en forma de empotramiento, el SAP 2000 de forma predeterminada los conecta todos menos a los que les hemos cambiado el "Merge Number". Por lo que en la unión de la Gerberette con los pilares se generan 2 nudos

Por último, se definirán como articulaciones las uniones entre los elementos estructurales que dan rigidez a la estructura frente a esfuerzos horizontales (cruces de San Andrés y triangulaciones), ya que estos tirantes están diseñados únicamente para trabajar frente a esfuerzos axiales que traccionen la barra.

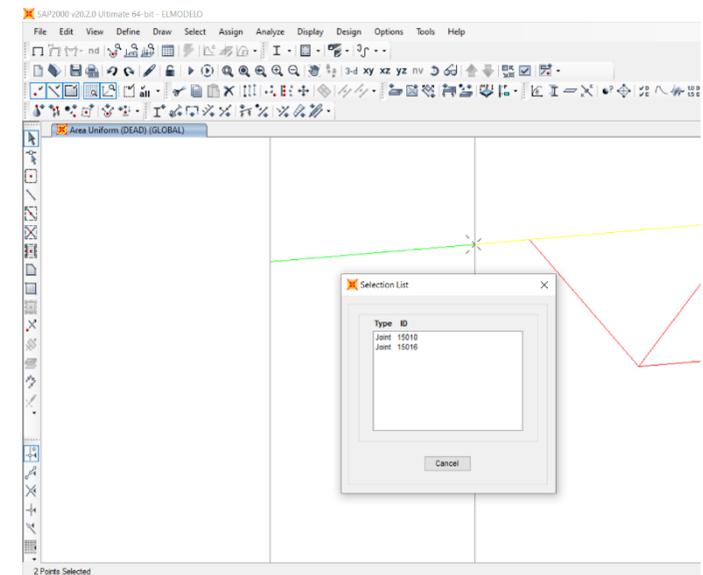


Ilustración 73 Nudo doble definido en Sap 2000. Elaboración propia.

## 6.2. PREDIMENSIONADO

El siguiente paso es el predimensionado, en el que se asignará, en el SAP 2000, el perfil correspondiente de cada barra, se definirán las propiedades de los elementos finitos y se asignarán las cargas definidas en los puntos anteriores.

Primero se definen las viguetas y los elementos que tienen perfiles comerciales, así como los forjados y las secciones tubulares que se utilizan en el proyecto.

Correas entre vigas Warren = IPE 600

Vigas escalera “oruga” = IPE 600

Viguetas escalera “oruga” = IPE 300

Forjado placa alveolar (25 + 5) HA40

Forjado rejilla metálica 5cm (grosor) 2,5cm (Intereje) 0,5cm(nervio) S275

Forjado chapa grecada (6 + 9) x 32 HA25

Sin embargo, hay algunas barras en las que se emplean perfiles compuestos por dos secciones tubulares. Para que el programa simule este comportamiento de forma realista, se utiliza el *Section designer*, una herramienta del SAP 2000 que permite diseñar secciones irregulares o de perfiles que no son comunes y no se comercializan. En este caso, se emplea para crear las secciones formadas por dos perfiles tubulares, ya que esta

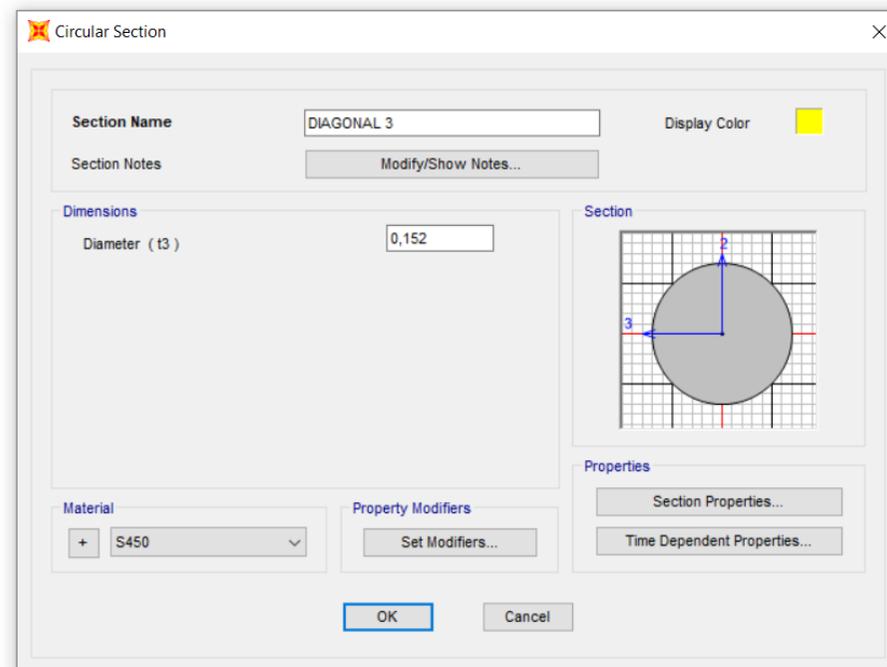


Ilustración 74 Sección maciza en Sap 2000. Elaboración propia.

posibilidad no existe de forma estándar y solo se podría realizar una aproximación creando una sección tubular de uno de los dos perfiles que forman la sección doble y cambiando los *Set modifiers*, multiplicando su valor normal (que es 1) por 2. Esto duplicaría todas las propiedades de la sección menos la inercia, por lo que la sección que se obtendría sería más desfavorable que en la realidad dado que la inercia sería menor en el modelo.

La parte más interesante del predimensionado de las barras es la simplificación de las Gerberettes. Son unas barras de forma irregular definida por una sección que pasa de tener una forma de doble T a una rectangular. Además, tiene algunos huecos en la unión de estos elementos con los pilares y los zunchos.

Para simplificar esta forma se utiliza el comando *nonprismatic* que permite diseñar una sección definiendo la barra por tramos. Necesitamos crear dos perfiles compuestos diferentes, uno para cada parte de la Gerberette, ya que en el modelo se encuentra separada en dos barras a la altura del pilar. El primer tramo, que ocupa la distancia del tirante al pilar se define mediante tres perfiles. Dos perfiles en doble T y un perfil de sección tubular rectangular. La parte que une el pilar con la viga Warren está formada por dos secciones tubulares de forma rectangular.

El proceso de elaboración es el siguiente:

-Se definen todas las secciones que se van a necesitar para posteriormente generar las secciones compuestas:

Sección en doble T 1.

Sección en doble T 2.

Sección rectangular 1.

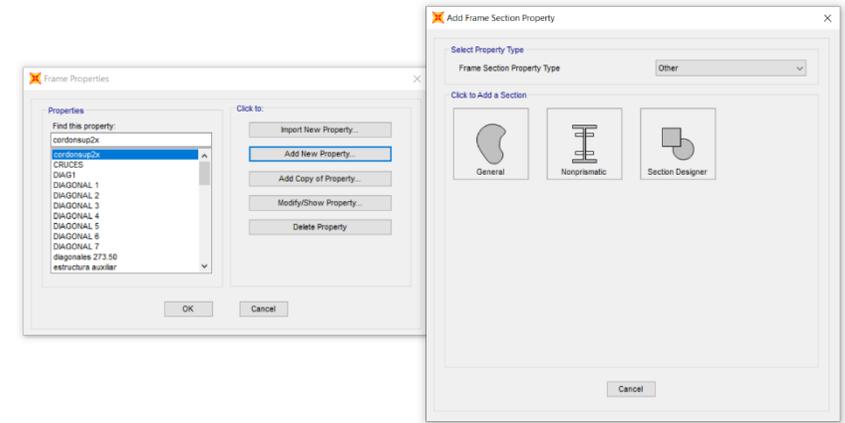


Ilustración 75 Comando Nonprismatic Sap 2000. Elaboración propia.

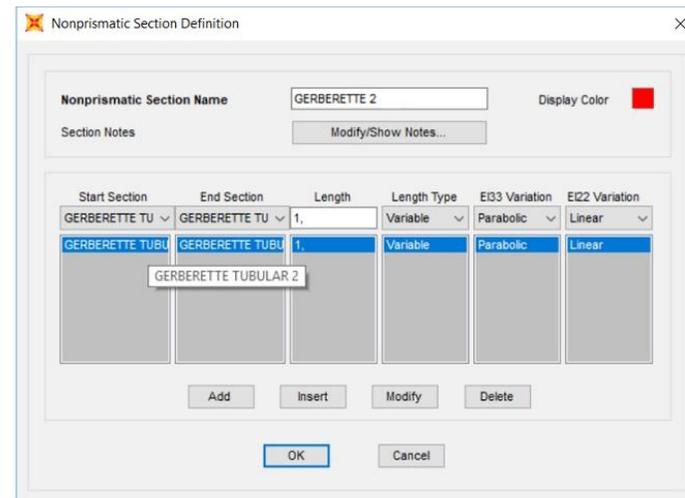


Ilustración 76 Definición tramo 2 de la Gerberette en Sap 2000. Elaboración propia.

Sección rectangular 2.

Sección rectangular 3.

-Se define la primera parte de la Gerberette con la herramienta *nonprismatic*. Para ello es necesario conocer en que punto de la barra cambia la sección.

Unión Gerberette-tirante (0m) : *Sección en doble T 1*.

Cambio sección doble T a sección rectangular 1 (4,5m) : *Sección en doble T 2*.

Cambio sección doble T a sección rectangular 2 (4,5m) : *Sección rectangular 1*.

Unión Gerberette-Pilar 1 (6m) : *Sección rectangular 2*.

-Se define la segunda parte de la Gerberette con la herramienta *nonprismatic*. Para ello es necesario conocer en que punto de la barra cambia la sección. Como es una barra diferente el punto 0 será la unión Gerberette-Pilar.

Unión Gerberette-Pilar 2 (0m) : *Sección rectangular 2*.

Unión Gerberette-Viga Warren 2 (1,5m) : *Sección rectangular 3*.

-Se les asignan los perfiles compuestos a todas las Gerberettes

Gracias a esta modelización y al haber desdoblado el nudo se consigue simular el funcionamiento de la Gerberette, que sin duda es el elemento más característico e interesante del edificio.

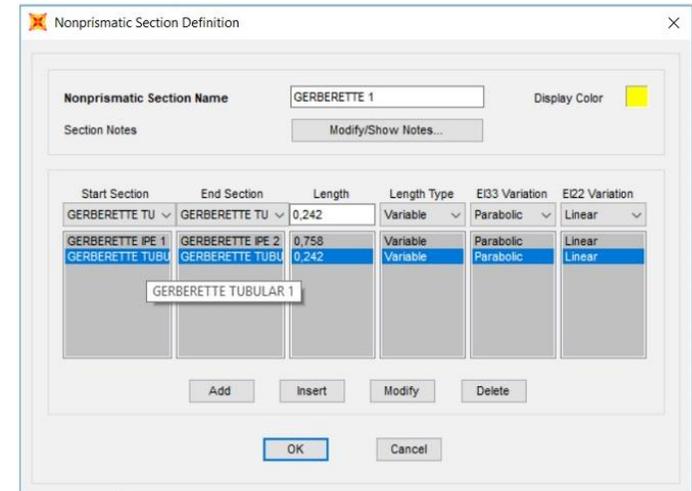


Ilustración 77 Definición tramo 1 de la Gerberette en Sap 2000. Elaboración propia.

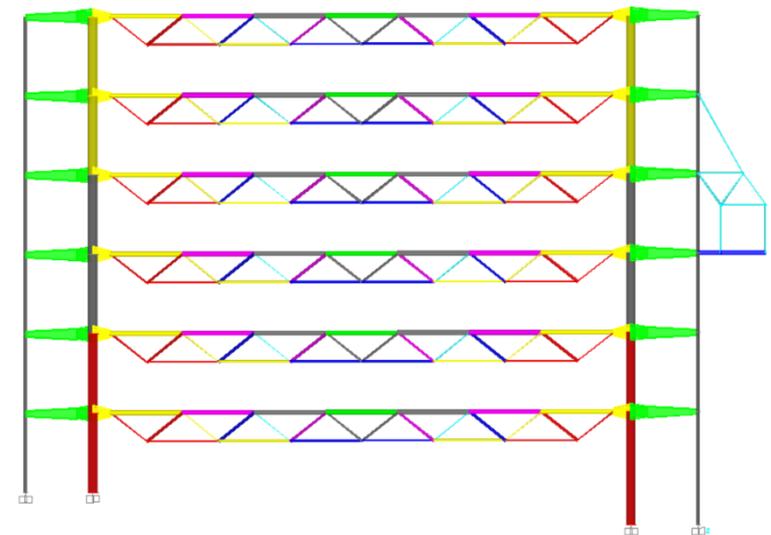


Ilustración 78 Pórtico tipo extruido en Sap 2000. Elaboración propia.

## 6.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

## COMPROBACIÓN ELS

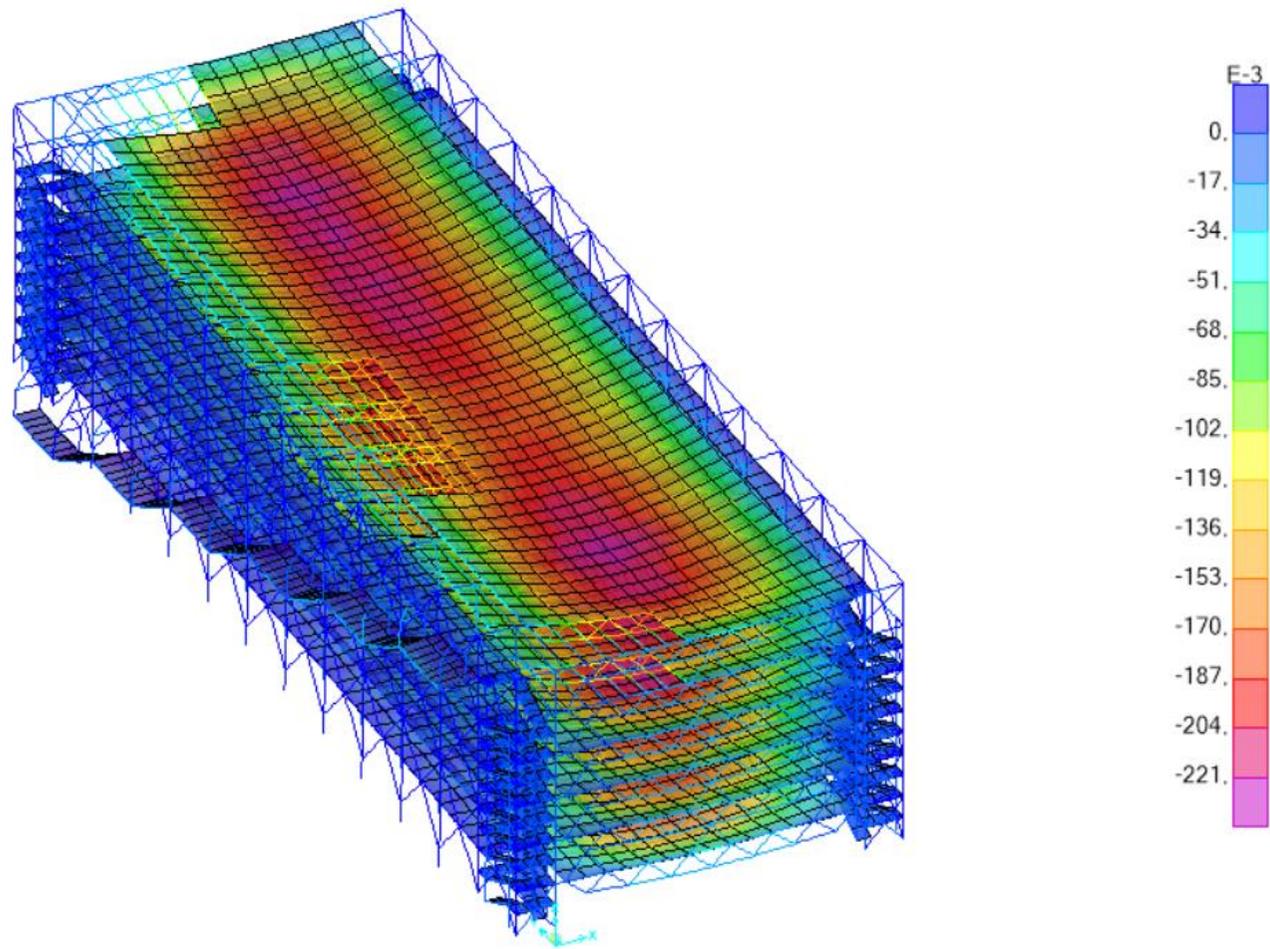


Ilustración 79 Deformada general ELSu analizando las deformaciones en el eje z. Elaboración propia.

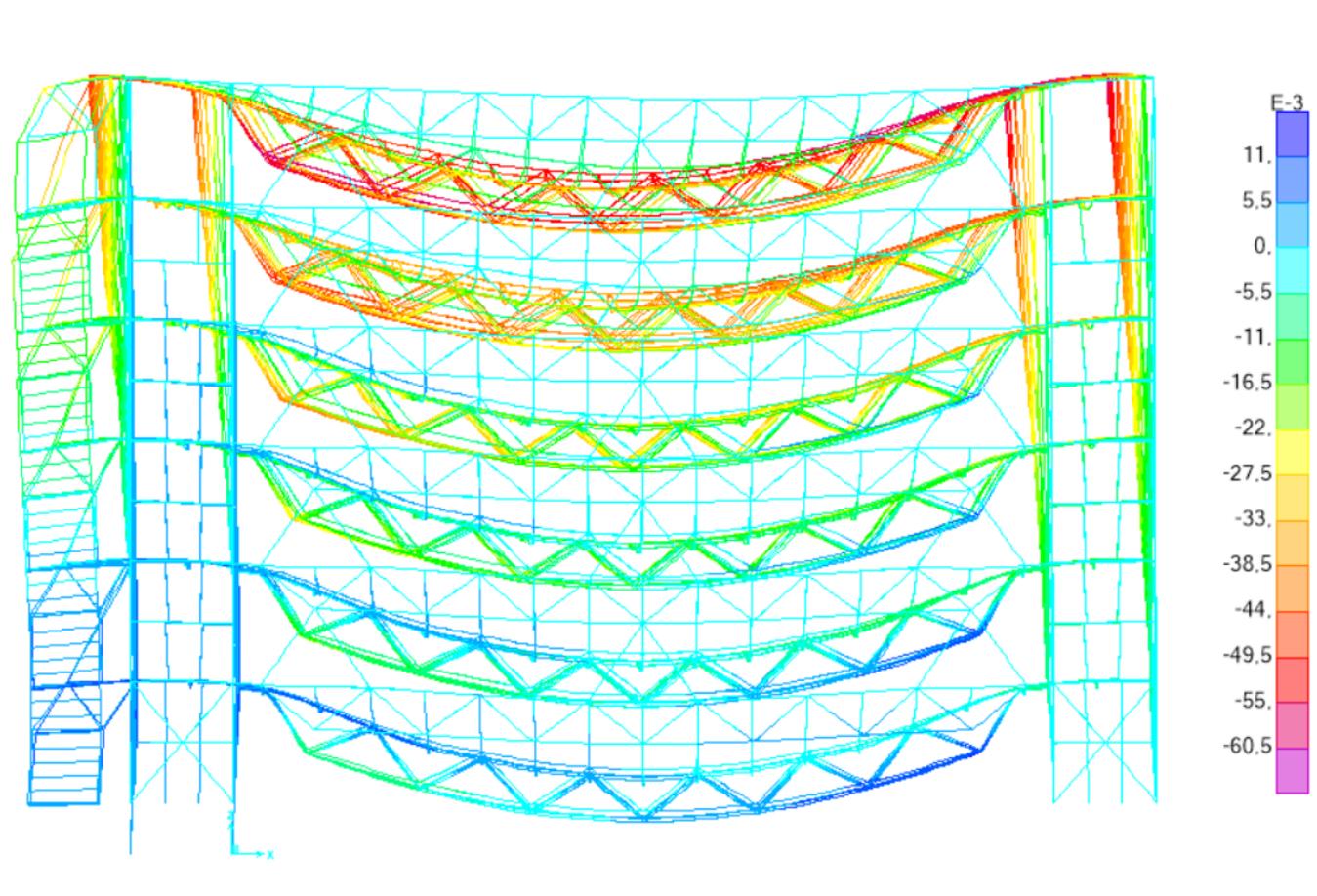


Ilustración 80 Deformada general ELSunvx- analizando el desplome total en el eje x. Elaboración propia.

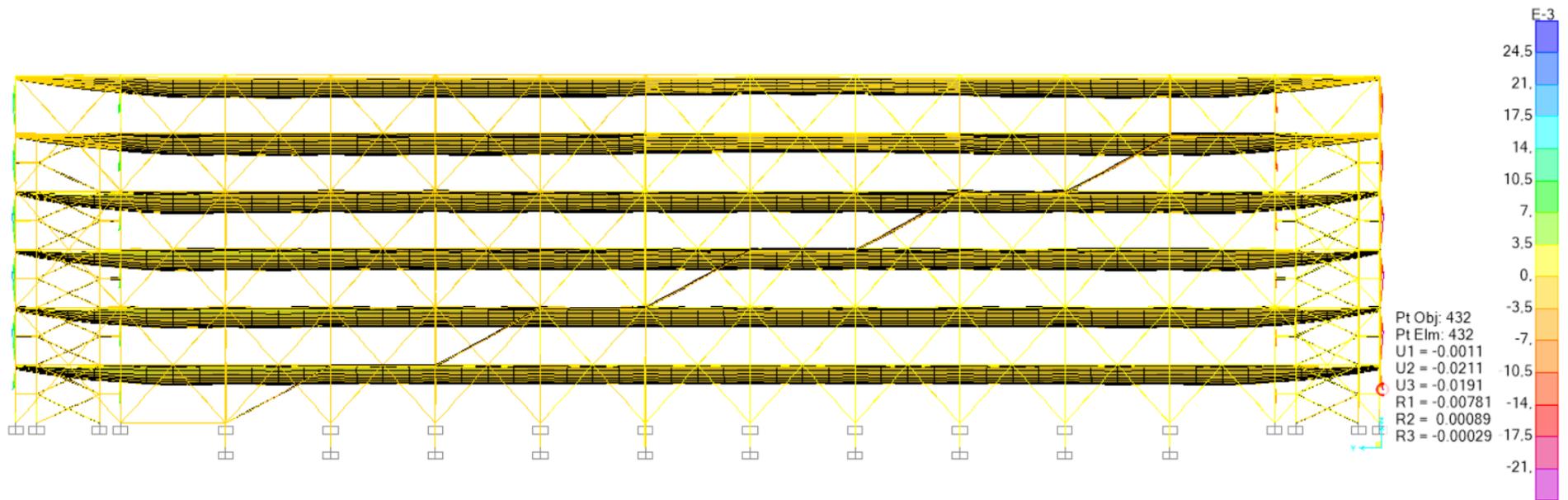


Ilustración 81 Deformada general ELSunvy+ analizando el desplome total en el eje y. Elaboración propia.

Según lo especificado en el Código Técnico es necesario comprobar las deformaciones verticales de los elementos horizontales para que cumplan las exigencias que se explican en el apartado 4.3.3.1. *Flechas* del documento de seguridad estructural:

“1 Cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando sólo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento, la flecha relativa es menor que:

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

2 Cuando se considere el confort de los usuarios, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando solamente las acciones de corta duración, la flecha relativa, es menor que 1/350.

3 Cuando se considere la apariencia de la obra, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones casi permanente, la flecha relativa es menor que 1/300.”

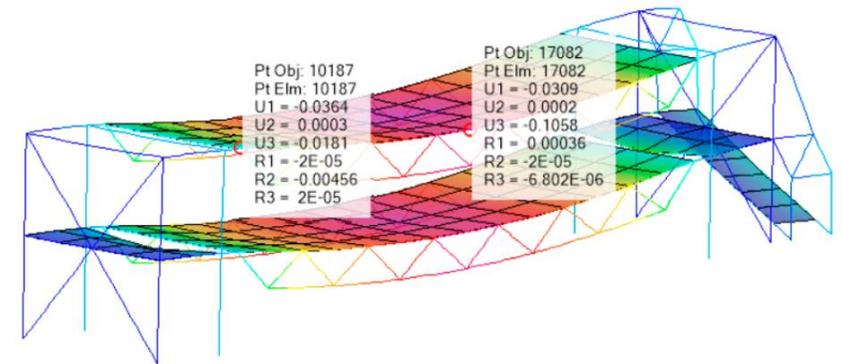


Ilustración 82 Flecha relativa peso propio. Elaboración propia.

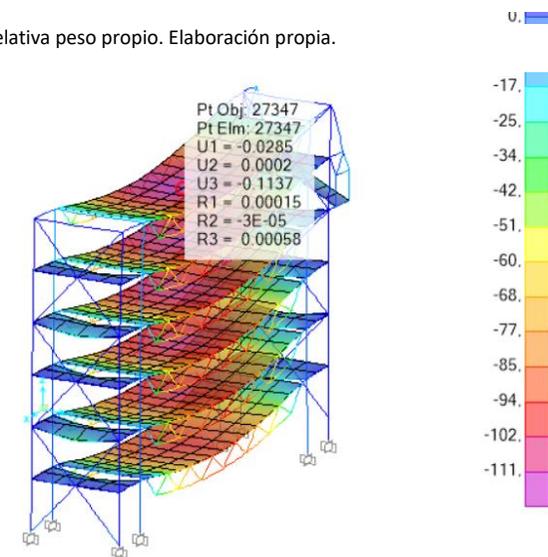


Ilustración 83 Flecha máxima peso propio. Elaboración propia.

Para la primera comprobación, que busca garantizar la integridad de los elementos constructivos que pueden verse dañados por la flecha de los forjados, solo hay que tener en cuenta las cargas que actúan después de la puesta en obra del elemento. Los elementos constructivos como tabiques, pavimentos o barandillas se colocan después de colocar la estructura, por lo que el peso propio de la misma no se debe tener en cuenta en esta comprobación. Además, al ser una planta diáfana se considera la situación más favorable, que tiene que cumplir que la flecha relativa sea menor que 1/300.

Para la segunda comprobación, solo se deben tener en cuenta las acciones de corta duración, es decir que el peso propio y el peso de los elementos constructivos no se tendrán en cuenta. Así que solo se considerará la flecha relativa producida por la sobrecarga de uso, que tendrá que ser menor que 1/350.

Para la tercera comprobación se deben de tener en cuenta todas las cargas que actúan. Se considera el criterio de combinación de cargas 2 estipulado en el punto 4.3.2. del DBSE. La flecha relativa obtenida de la hipótesis ELSu debe de ser menor a 1/300. Dadas las grandes luces de la cercha, que es el elemento más desfavorable a flexión, se realiza una contraflecha en este elemento, que es igual al valor del desplazamiento vertical que se produce por el peso propio de la estructura. Así que para la comprobación no habrá que considerar el valor de la flecha relativa generada por el peso propio.

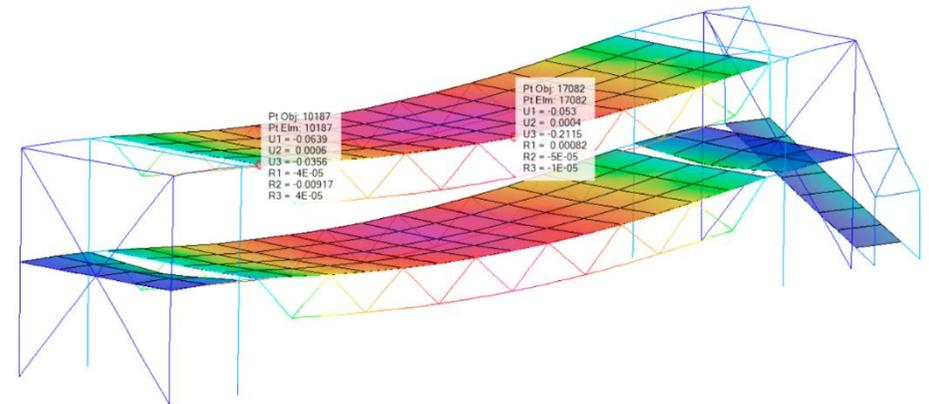


Ilustración 84 Flecha relativa ELSu. Elaboración propia.

		(3)
		APAR. OBRA
		ELSu
		<b>300</b>
dz1	[mm]	<b>35,6</b>
dz2	[mm]	<b>211,0</b>
Delta_dz	[mm]	175,4
Distancia	[m]	<b>22,40</b>
Flecha	[L/]	<b>255</b>

Ilustración 86 Cumplimiento CTE ELSu. Elaboración propia

		(3)
		APAR. OBRA
		ELSu
		<b>300</b>
dz1	[mm]	<b>35,6</b>
dz2	[mm]	<b>124,0</b>
Delta_dz	[mm]	88,4
Distancia	[m]	<b>22,40</b>
Flecha	[L/]	<b>507</b>

Ilustración 87 Cumplimiento CTE ELSu aplicando contraflecha. Elaboración propia.

		(1)
		INT. CONST.
		dead
		<b>300</b>
dz1	[mm]	<b>18,0</b>
dz2	[mm]	<b>105,0</b>
Delta_dz	[mm]	87,0
Distancia	[m]	<b>22,40</b>
Flecha	[L/]	<b>515</b>

Ilustración 85 Valor contraflecha . Elaboración propia.

En el análisis de los desplazamientos horizontales, se debe comprobar, según especifica el código técnico, el desplome total y el desplome local.

El desplome total exige que el desplazamiento total del edificio sea menor a la altura de este por 1/500. Como se ve en la imagen x, el desplome total máximo es de 0,06 m, mientras que el desplome límite es igual a  $42(\text{altura del edificio}) / 500 = 0,084$

El desplome local exige que el desplazamiento relativo de la planta más desfavorable sea menor que la altura de esa planta multiplicada por 1/250. Como se aprecia en la *ilustración 88*, el desplome local máximo es de  $0,0594 - 0,0472 = 0,0122$ , mientras que el desplome local límite es igual a  $7(\text{altura de la planta con desplome local mas desfavorable}) / 250 = 0,028$

Los esfuerzos horizontales más desfavorables son los paralelos al eje x, ya que las fachadas situada en la dirección del eje y tiene un gran número de arriostramientos. Aun así, los desplazamientos son mínimos ya que la fachada paralela al eje x también cuenta con cruces de San Andrés y con triangulaciones.

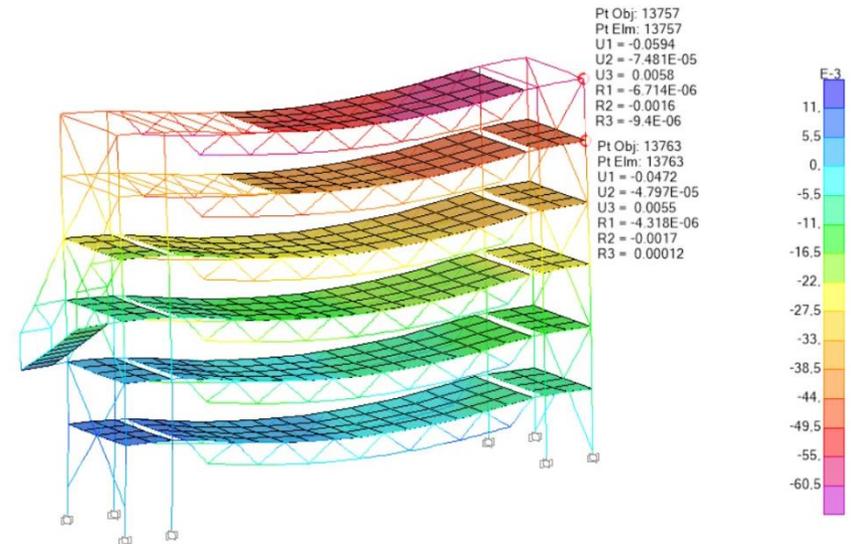


Ilustración 88 Desplome local. Elaboración propia.

## COMPROBACIÓN ELU

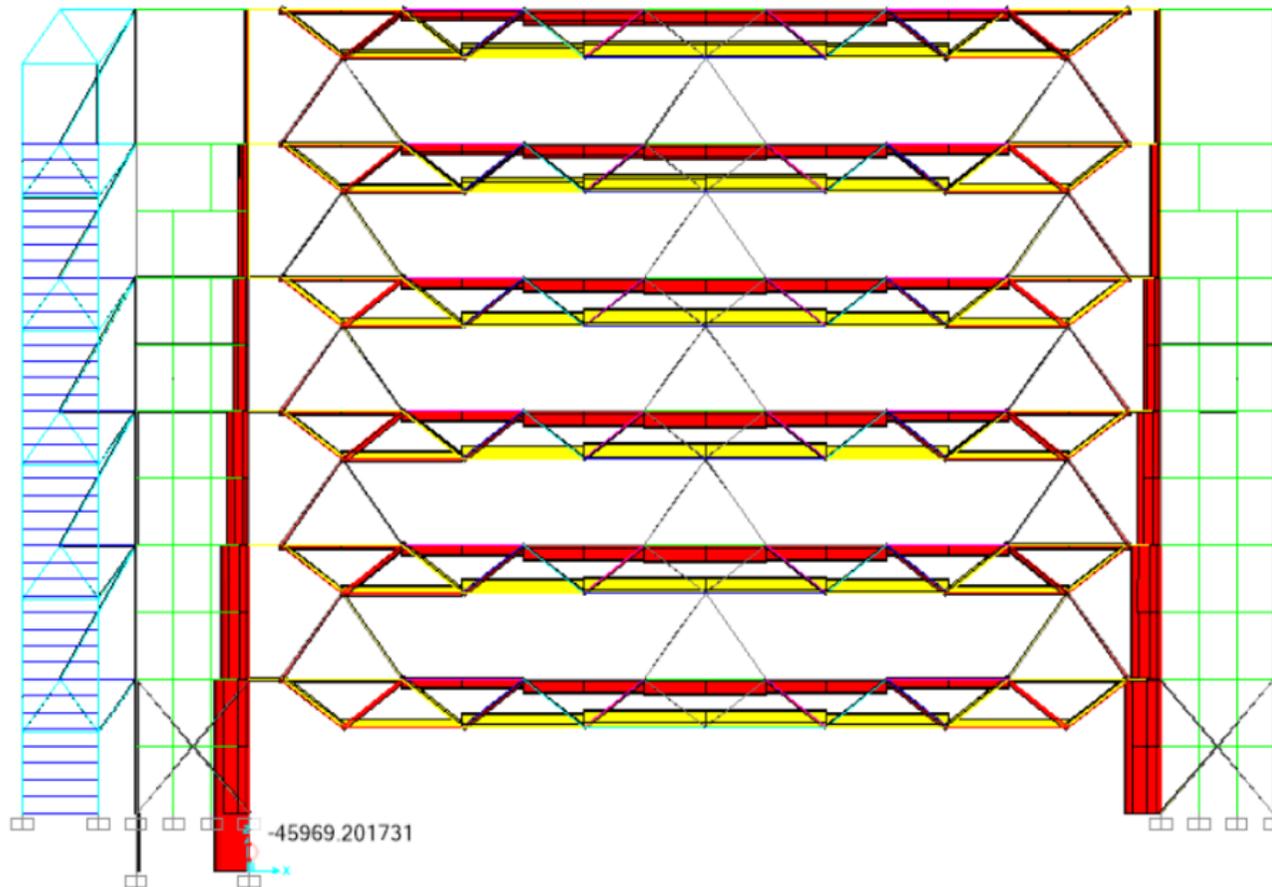


Ilustración 89 Diagrama de axiles ELUu. Elaboración propia.

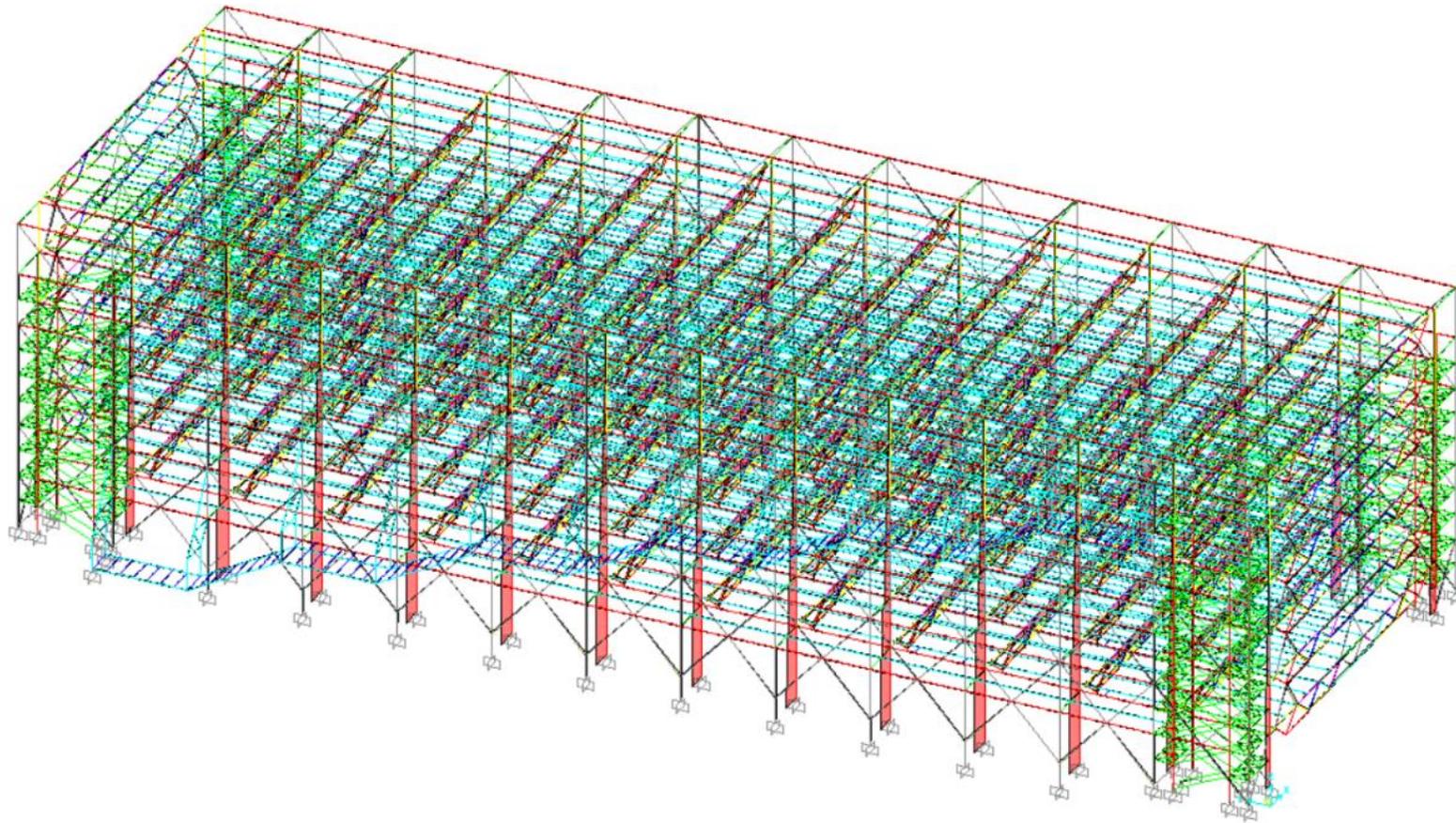


Ilustración 90 Diagrama de axiles ELUu. Elaboración propia.

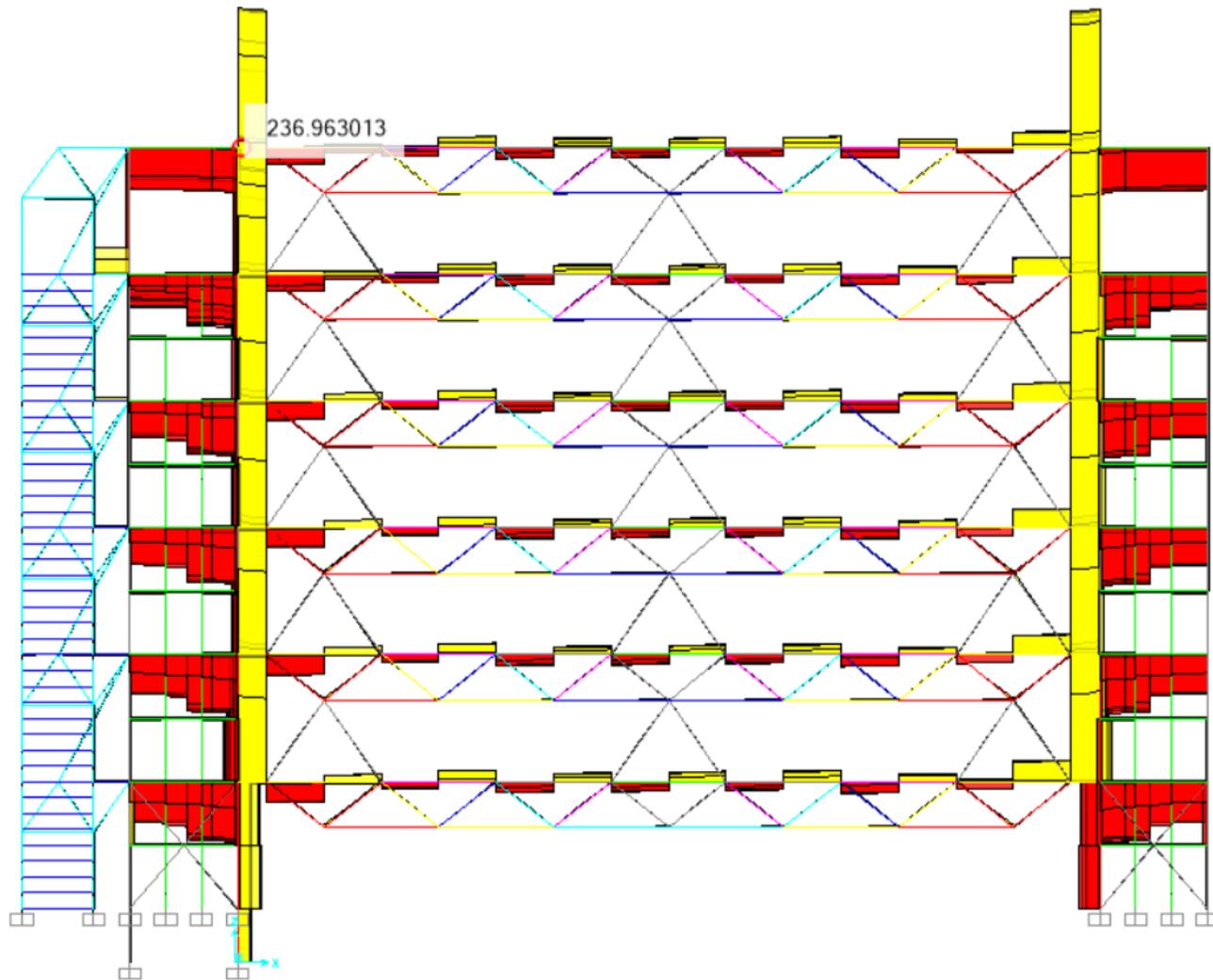


Ilustración 91 Diagrama de cortantes ELUu. Elaboración propia.

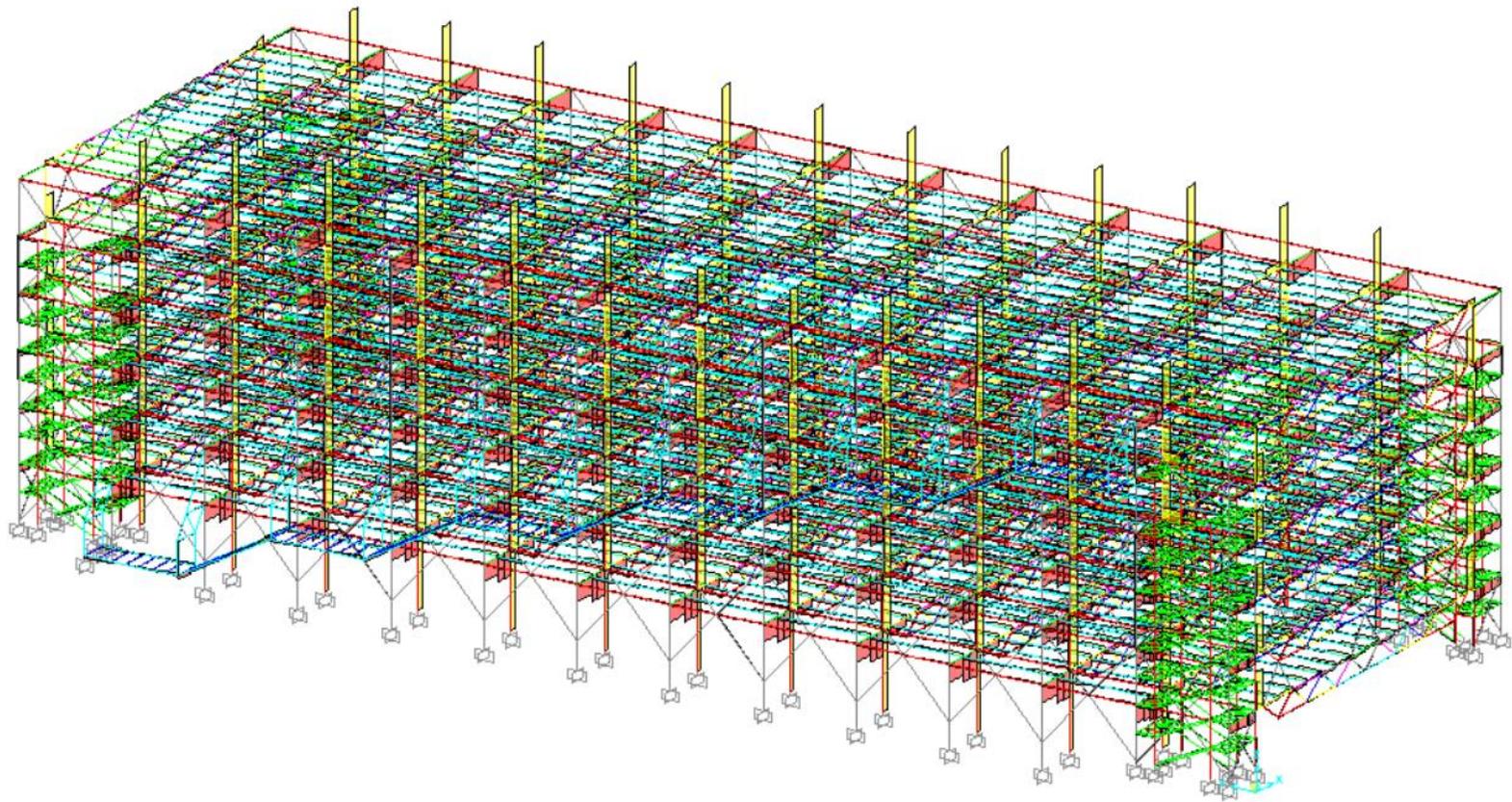


Ilustración 92 Diagrama de cortantes ELUu. Elaboración propia.

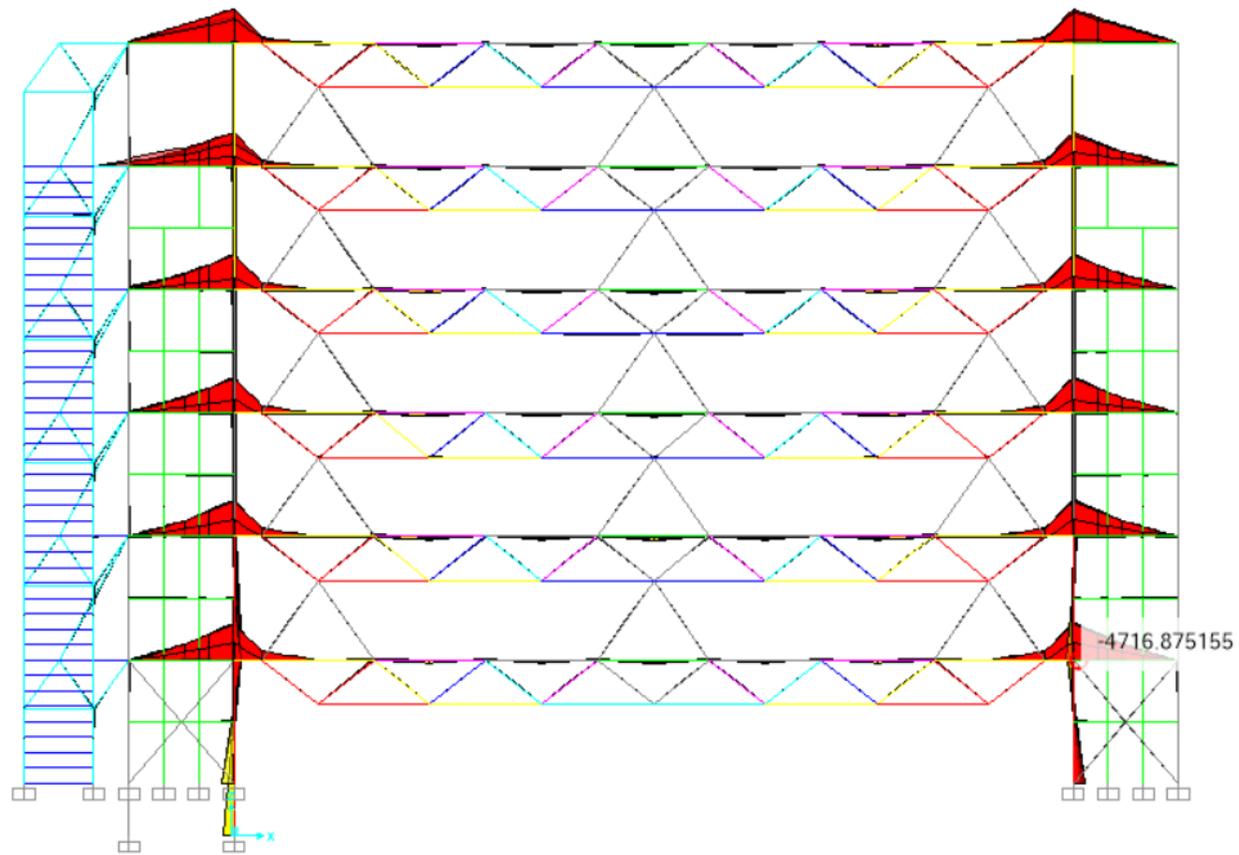


Ilustración 93 Diagrama de flectores ELUu. Elaboración propia.

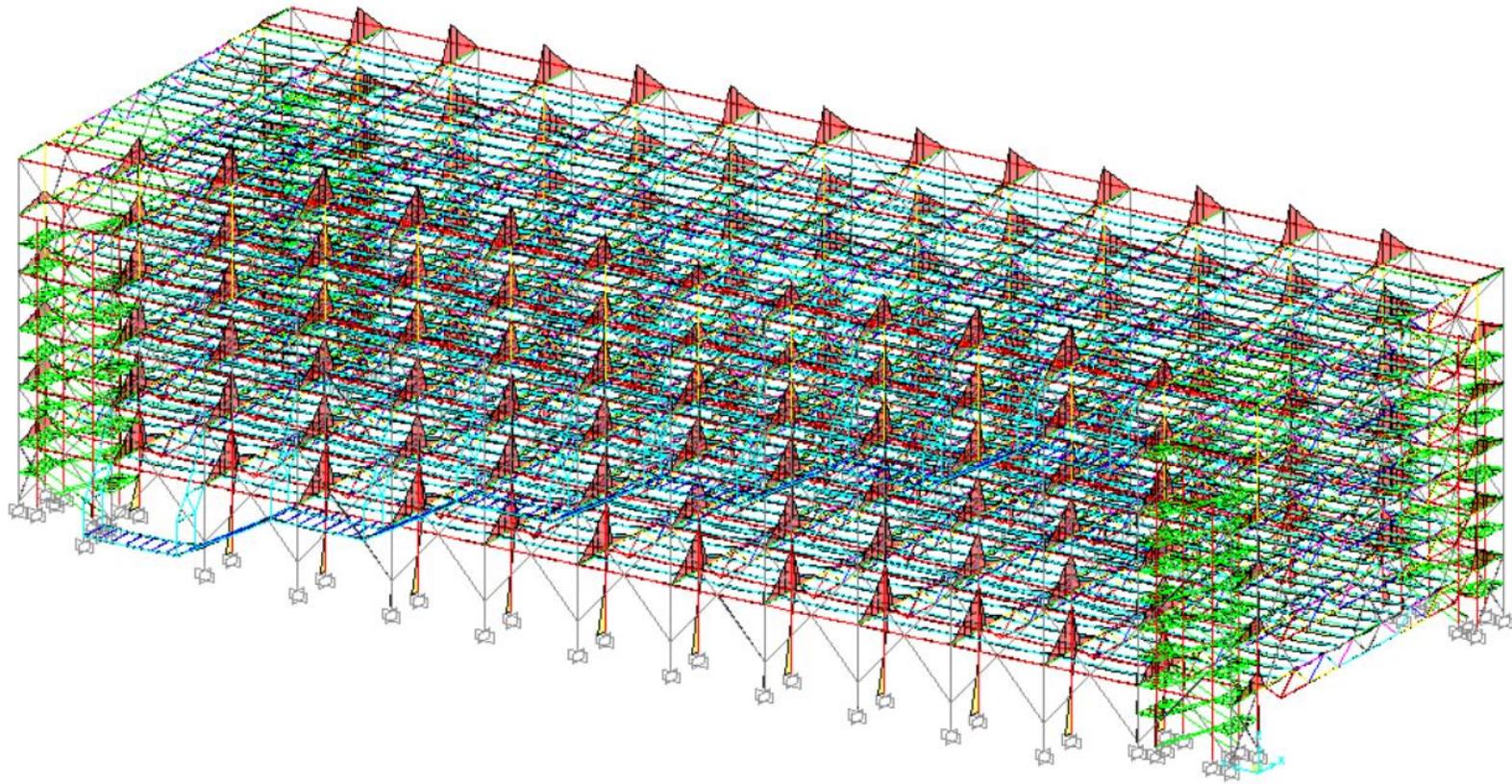


Ilustración 94 Diagrama de flectores ELUu. Elaboración propia.

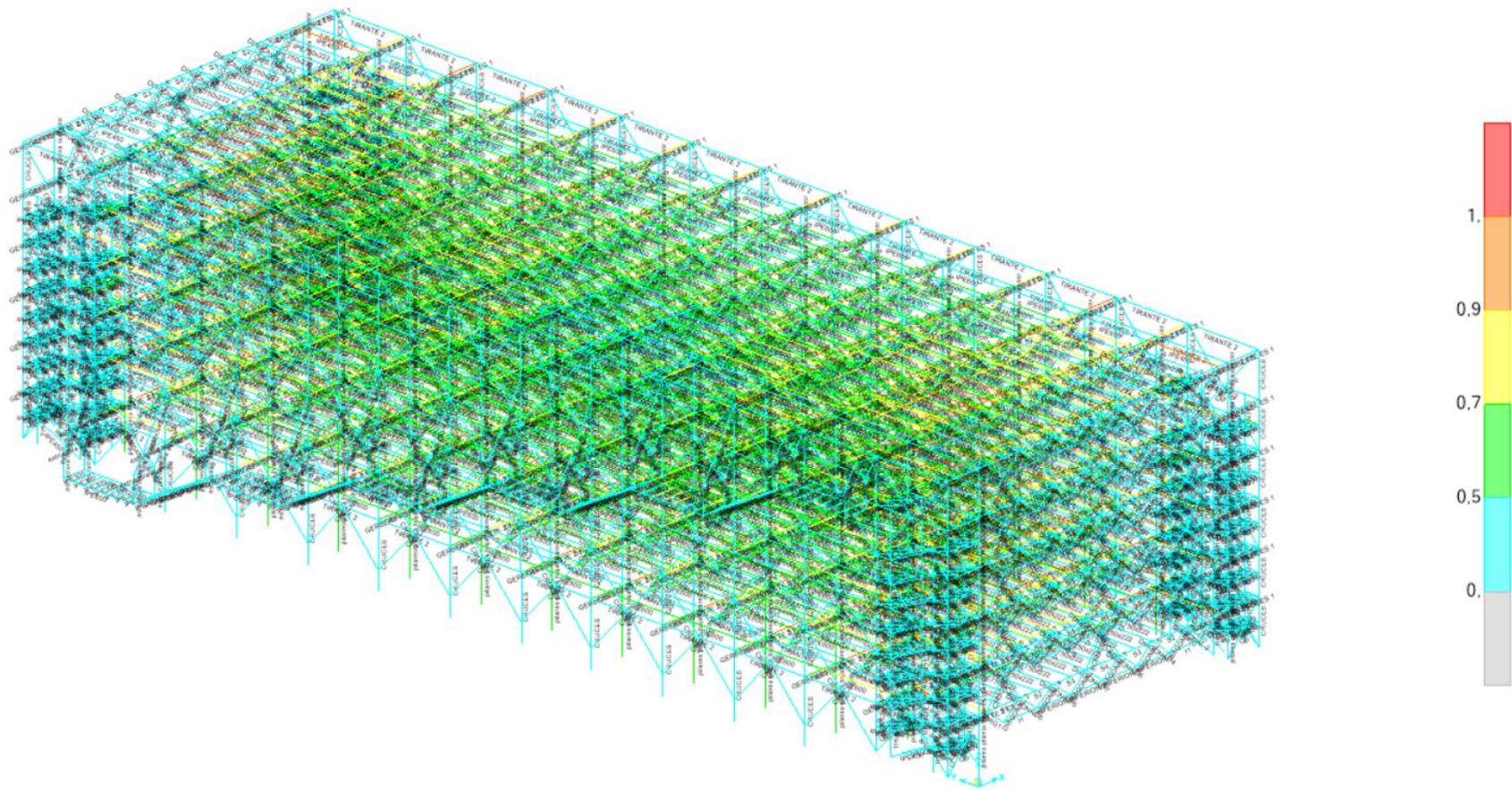


Ilustración 95 Grado de saturación de las barras. Elaboración propia.

Según lo especificado en el Código Técnico es necesario verificar que todos los elementos del edificio tienen suficiente resistencia y estabilidad tal como se explica en el apartado 4.2.1 del documento básico de seguridad estructural:

*“1 Se considera que hay suficiente estabilidad del conjunto del edificio o de una parte independiente del mismo, si para todas las situaciones de dimensionado pertinentes, se cumple la siguiente condición.*

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$$

*E<sub>d,dst</sub> valor de cálculo del efecto de las acciones desestabilizadoras*

*E<sub>d,stab</sub> valor de cálculo del efecto de las acciones estabilizadoras*

*2 Se considera que hay suficiente resistencia de la estructura portante, de un elemento estructural, sección, punto o de una unión entre elementos, si para todas las situaciones de dimensionado pertinentes, se cumple la siguiente condición.*

$$E_d \leq R_d$$

*E<sub>d</sub> valor de cálculo del efecto de las acciones*

*R<sub>d</sub> valor de cálculo de la resistencia correspondiente”*

Para demostrar que la estructura cumple los requisitos establecidos por el código técnico, se utiliza en Sap 2000 el comando *Start Design/Check of Structure*. Lo que hace el programa es comprobar, para todas las combinaciones que se han establecido previamente, a que grado de su capacidad trabajan los perfiles asignados. Según el color de cada barra se sabe en qué intervalo de su capacidad está trabajando, adquiriendo el color rojo

cuando dicha capacidad se vea superada. Para poder visualizar rápidamente las barras que no cumplen a resistencia se utiliza el comando *Verify all members passed*, que selecciona automáticamente dichos elementos.

Superar el grado de saturación 1( que significa que la barra trabaja al cien por cien de su capacidad) quiere decir que la barra está haciendo uso de los coeficientes de seguridad. Por lo que podría ser tolerable que alguna barra superase este valor siempre y cuando fuese por un pequeño margen.

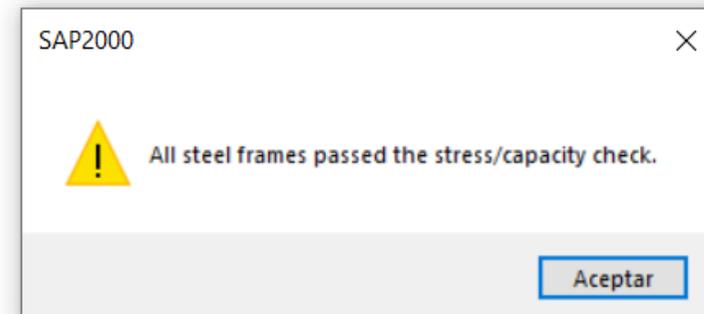


Ilustración 96 Comando *Verify all members passed*. Elaboración propia.

### 6.3. ANÁLISIS DE LA VIGA GERBER

Se obtienen, del modelo generado en el SAP 2000, las gráficas de los esfuerzos cortante, los momentos flectores y la deformada para realizar un análisis de las vigas Gerber, que es el elemento más importante de la estructura del Centro Pompidou.

Por un lado, se aprecia en las gráficas como todos los momentos flectores los absorbe la Gerberette, liberando a los pilares y tirantes de momentos y esfuerzos cortantes, haciendo que trabajen únicamente a compresión y tracción simples respectivamente.

En la gráfica de esfuerzos cortantes vemos como todos los esfuerzos producidos por las cargas descansan sobre los pilares. Los tirantes, se emplean para equilibrar la estructura y producir un esfuerzo en la Gerberette que permite estabilizar la barra.

En el dibujo de la deformada se entiende a la perfección la forma en la que trabaja la Gerberette. Como ya se ha especificado en puntos anteriores, es un elemento que hace de palanca. Apoyándonos en la gráfica de los momentos flectores vemos como el momento máximo se encuentra en el punto en el que la Gerberette apoya en el pilar. Sin embargo, la ley de momentos no es continua, si no que la ley que la define cambia totalmente, debido a que el pilar aporta una reacción vertical de un valor muy elevado. Esto significa que la forma en la que flexa el tramo de la Gerberette que está entre el tirante y el pilar es contraria a la forma en la que flexa entre el pilar y la viga Warren. Para entender las ventajas que aporta este sistema se va a comparar con algunas de las soluciones más comunes que se pueden encontrar para resolver un pórtico similar en la forma.

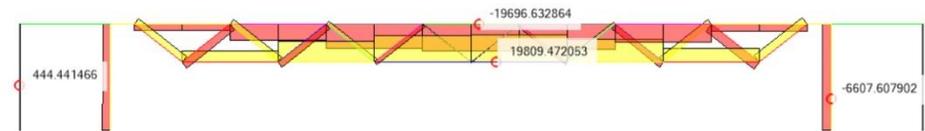


Ilustración 97 Diagrama de axiles ELUu de la viga Gerber. Elaboración propia.

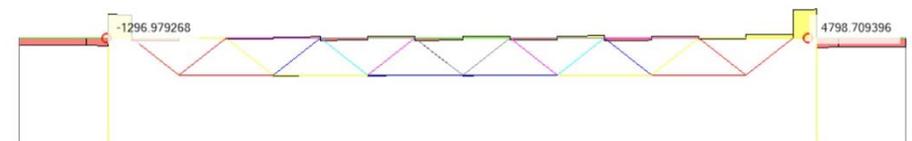


Ilustración 98 Diagrama de cortantes ELUu de la viga Gerber. Elaboración propia.

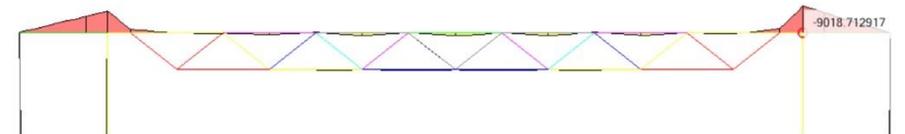


Ilustración 99 Diagrama de flectores ELUu de la viga Gerber. Elaboración propia.

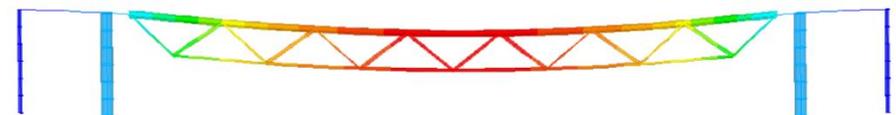


Ilustración 100 Deformada de la viga Gerber. Elaboración propia.

## ARTICULACIÓN EN EL PILAR

Si se colocara una articulación en el pilar, la forma de trabajar de la estructura cambiaría considerablemente.

El tramo de la viga colocado entre pilar y tirante no se comporta como la Gerberette (palanca), si no que actúa como un elemento biapoyado. Esto significa que el tirante pasaría a actuar como un pilar, pasando de ser una barra traccionada a una comprimida.

Por otro lado, el vano central tiene un momento positivo muy elevado, ya que se trata de una barra biarticulada. La viga Warren también está biarticulada, sin embargo, la articulación no se coloca en el apoyo, sino que se coloca unos metros antes sobre las Gerberettes. Esto hace que el momento máximo de la barra situada en el vano central sea considerablemente menor, dado que la distancia entre apoyos es inferior.

Los pilares trabajarían igual, ya que no van a recibir carga de momentos y continuarían trabajando a compresión simple.

Esta tipología sería bastante menos eficaz que la Viga Gerber ya que para resistir los grandes momentos que se producen en el vano central sería necesario una sección de mayor tamaño.

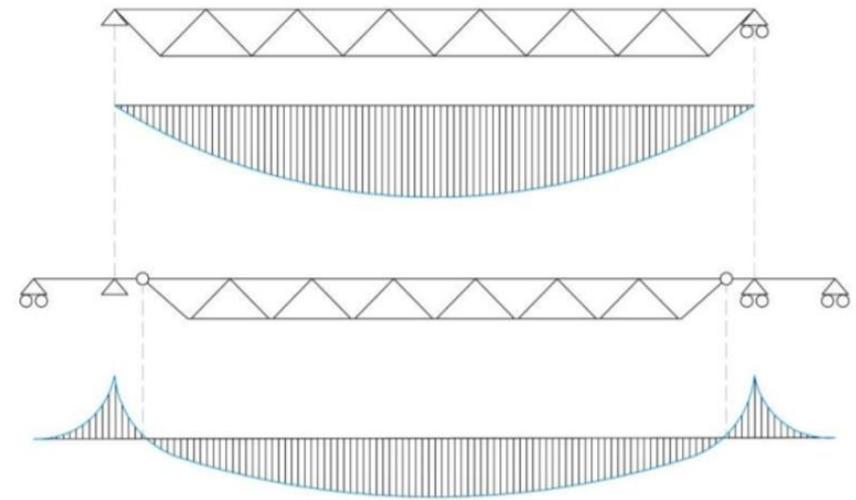


Ilustración 101 Comparación viga Gerber con viga articulada en los pilares. Ana Ezquerro Eguizábal.

## VIGA CONTINUA

Se trata de un pórtico que a nivel esquemático se comporta de una forma muy similar a la Viga Gerber.

Como se puede apreciar en el esquema, la ley de momentos es muy similar, ya que al ser continua la viga, hay dos puntos en el vano central en el que los momentos son cero. A nivel esquemático esta solución podría ser válida para resolver los pórticos del Centro Georges Pompidou, sin embargo, hay otras características que hacen que la viga Gerber sea una solución mucho más apropiada:

-Horizontalidad y rigidez de la viga: Si se produce algún pequeño desnivel en algún apoyo las consecuencias en la viga continua son mucho más desfavorables que en una viga por tramos.

-La posibilidad de colocar la rótula en el punto que se desee, no solo brinda la posibilidad de cambiar el comportamiento de la estructura, si no de adaptarla al espacio arquitectónico que se desea conseguir.

En resumen, la tipología de Viga Gerber no solo es adecuada para el edificio en cuanto a los requisitos estructurales que tiene que cubrir, si no que además se adapta perfectamente a las necesidades espaciales del mismo

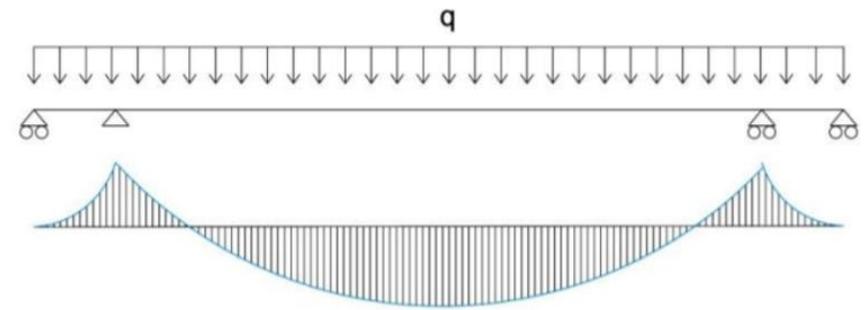


Ilustración 102 Esquema del funcionamiento de la viga continua. Ana Ezquerro Eguizábal

## 8. CONCLUSIONES

---

En el trabajo se ha desarrollado un análisis completo de El Centro Nacional de Arte y Cultura Georges Pompidou. Recordando los objetivos propuestos al principio de este, se planteó realizar un estudio que, siendo principalmente estructural, siguiera un hilo que ayudara a entender el edificio de una forma progresiva, estudiando la influencia de la sociedad francesa en el edificio, sus características arquitectónicas y su entorno.

En primer lugar, se analiza la sociedad francesa de la época y a sus dirigentes, analizando las revueltas de 1968 y sus consecuencias en los años posteriores. Entendiendo la gran influencia que tienen en el Centro Pompidou, tanto en la forma de gestionar el concurso por parte del gobierno como en la solución proyectada por Renzo Piano y Richard Rogers, de la mano de Ove Arup & Partners.

En la segunda parte, se realiza un pequeño análisis de los agentes principales que intervienen en el proceso proyectual de este edificio, estudiando las características más personales y distintivas de su arquitectura, así como las obras más influyentes de toda su carrera.

En el tercer apartado analizamos el entorno, la idea y otras características arquitectónicas como la implantación, organización y materialidad. Es un punto de vital importancia, ya que conocer las características arquitectónicas que se buscan es fundamental para la elección de una tipología estructural u otra.

Por último, en el análisis estructural, se empieza haciendo una descripción sobre la composición general de la estructura principal. También se definen las características de los elementos que componen el modelo.

A continuación, se establecen las cargas y las combinaciones de hipótesis que se deben de tener en cuenta en las comprobaciones que se realizaran posteriormente.

Una vez realizado el modelo se definen las características de los nudos y de las barras en SAP2000, siendo necesario conocer el comportamiento de la Gerberette y como simularlo en este programa. Al tener definidas todas las propiedades de la estructura se comprueba si cumple a flecha, resistencia y desplome horizontal y se estudia la tipología de viga Gerber que aparece en este edificio, analizando los motivos por los que se ha escogido este sistema estructural en lugar de otro más convencional.

En conclusión, este edificio es el claro ejemplo de la importancia de la estructura en la arquitectura. No solo como *aquello que aguanta el espacio*, si no como una parte más del proyecto que se debe plantear y pensar en su conjunto. Por lo que una de las conclusiones que se puede sacar del análisis de un edificio como este, es la importancia que tiene el conocimiento sobre arquitectura proyectual a la hora de diseñar una estructura.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

---

## 9.1. DOCUMENTAL

(s.f.). Obtenido de [http://mediation.centrepompidou.fr/education/ressources/ENS-architecture-Centre-Pompidou/comment\\_ca\\_fonctionne/p2.htm](http://mediation.centrepompidou.fr/education/ressources/ENS-architecture-Centre-Pompidou/comment_ca_fonctionne/p2.htm)

Anaya, J. (s.f.). *oa.upm.es*. Obtenido de <http://oa.upm.es/21120/1/A4-02%20Anaya%2C%20J.pdf>

Architecture, D. S. (s.f.). *www.dit.ie*. Obtenido de <https://www.dit.ie/media/architecture/images/student-work/dt175work/peterrice/POMPIDOU.pdf>

*cca9bparch2230.wordpress.com*. (s.f.). Obtenido de <https://cca9bparch2230.wordpress.com/2014/12/07/centre-georges-pompidou/>

*centre-pompidou-hda.pagesperso-orange.fr*. (s.f.). Obtenido de <https://centre-pompidou-hda.pagesperso-orange.fr/grand3.html>

*centrogompidou.blogspot.com*. (s.f.). Obtenido de <http://centrogompidou.blogspot.com>

Co, F. D. (2017). *Centre Pompidou*. Yale University Press.

*dadun.unav.edu*. (s.f.). Obtenido de [https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/16510/1/RE\\_Vol%2012\\_06.pdf](https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/16510/1/RE_Vol%2012_06.pdf)

Eguizábal, A. E. (Julio de 2016). *riunet.upv.es*. Obtenido de [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68059/VIGAS%20GERBER\\_EZQUERRO%2c%20ANA%20%5b1045530%5d.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68059/VIGAS%20GERBER_EZQUERRO%2c%20ANA%20%5b1045530%5d.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

*es.slideshare.net*. (s.f.). Obtenido de <https://es.slideshare.net/BRUYEL/centro-pompidou-7824577>

*faculty.arch.tamu.edu*. (s.f.). Obtenido de [https://faculty.arch.tamu.edu/media/cms\\_page\\_media/4433/PompidouF16.pdf](https://faculty.arch.tamu.edu/media/cms_page_media/4433/PompidouF16.pdf)

Gameiro, M. (s.f.). *issuu.com*. Obtenido de [https://issuu.com/gravidade-eng/docs/art-beaubourg\\_cmm45\\_en\\_](https://issuu.com/gravidade-eng/docs/art-beaubourg_cmm45_en_)

Howarth, D. (s.f.). *www.dezeen.com*. Obtenido de <https://www.dezeen.com/2013/07/29/competition-five-centre-pompidou-and-villa-savoie-kits-to-be-won/>

*informesdelaconstruccion.revistas.csic.es*. (s.f.). Obtenido de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/2476/2788>

Juan, C. f. (s.f.). *www.cice.es*. Obtenido de <https://www.cice.es/proyecto/proyecto-centro-pompidou-paris/>

*www.biografiasyvidas.com*. (s.f.). Obtenido de  
<https://www.biografiasyvidas.com/biografia/p/piano.htm>

*www.biografiasyvidas.com*. (s.f.). Obtenido de  
[https://www.biografiasyvidas.com/biografia/r/rogers\\_richard.htm](https://www.biografiasyvidas.com/biografia/r/rogers_richard.htm)

*www.centrepompidou.fr*. (s.f.). Obtenido de  
<https://www.centrepompidou.fr/es/El-Centre-Pompidou/El-Edificio>

*www.centrepompidou.fr*. (s.f.). Obtenido de  
[https://www.centrepompidou.fr/es/Media/Plan-du-batiment/\(niv\)/6](https://www.centrepompidou.fr/es/Media/Plan-du-batiment/(niv)/6)

*www.codigotecnico.org*. (s.f.). Obtenido de  
<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE.pdf>

*www.codigotecnico.org*. (s.f.). Obtenido de  
<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-AE.pdf>

*www.cometoparis.com*. (s.f.). Obtenido de  
<https://www.cometoparis.com/spa/descubra-paris/monumentos-de-paris/centro-pompidou-s932>

*www.engineering-timelines.com*. (s.f.). Obtenido de [http://www.engineering-timelines.com/who/Rice\\_P/ricePeter4.asp](http://www.engineering-timelines.com/who/Rice_P/ricePeter4.asp)

*www.icab.eu*. (s.f.). Obtenido de <https://www.icab.eu/guide/>

*www.rpbw.com*. (s.f.). Obtenido de <http://www.rpbw.com/>

*www.rsh-p.com*. (s.f.). Obtenido de <https://www.rsh-p.com/>

*www.youtube.com*. (s.f.). Obtenido de  
<https://www.youtube.com/watch?v=A9POQMB4pDw>

*www.youtube.com*. (s.f.). Obtenido de  
<https://www.youtube.com/watch?v=lkgnXkBcVGs>

## 9.2. FOTOGRAFICA

Ilustración 1. Revueltas de mayo de 1968. ....	9	Ilustración 25 Opera de Sídney (Jorn Urtzon) .....	27
Ilustración 2. General Charles de Gaulle. ....	10	Ilustración 26 Museo Soumaya (Fernando Romero) .....	27
Ilustración 3. Revueltas de mayo del 68.....	10	Ilustración 27 Swiss Re (Norman Foster) .....	28
Ilustración 4. Georges Pompidou. ....	11	Ilustración 28. Torre de Collserola (Foster).....	28
Ilustración 5. Respuesta de los estudiantes a la famosa frase “ <i>La réforme oui, la chienlin non</i> ”. .....	11	Ilustración 29. Imagen exterior Centro Pompidou. Luisa Basset Salom. ....	30
Ilustración 6 Centro Pompidou en las fases finales de su construcción.....	12	Ilustración 30 Situación de la parcela antes de la construcción del Centro Georges Pompidou. ....	31
Ilustración 7 Renzo Piano y Richard Rogers. Hervé Veronese.....	13	Ilustración 31. Plano de situación antes de la construcción del centro Georges Pompidou .....	32
Ilustración 8. Renzo Piano. ....	14	Ilustración 32 Imagen exterior Centro Pompidou .....	33
Ilustración 9. Richard Rogers.....	15	Ilustración 33 Boceto Centro Pompidou. Richard Rogers y Renzo Piano. ....	34
Ilustración 10 Ted Happold. ....	16	Ilustración 34 Imagen exterior Centro Pompidou .....	35
Ilustración 11 Peter Rice.....	16	Ilustración 35 Imagen exterior Centro Pompidou .....	36
Ilustración 12. Nemo Museo de Ciencias (Renzo Piano).....	18	Ilustración 36 Imagen interior Les Halles de Baltard. ....	37
Ilustración 13. Edificio Shard London Bridge (Renzo Piano) .....	18	Ilustración 37 Plano de situación una vez construido el centro Georges Pompidou .....	38
Ilustración 14. Astrup Fearnley Museum of Modern Art (Renzo Piano) .....	19	Ilustración 38 Planta funcional nivel 1. Centre Pompidou.....	39
Ilustración 15. Aeropuerto Internacional de Kansai (Renzo Piano) .....	19	Ilustración 39 Planta funcional nivel 2. Centre Pompidou.....	39
Ilustración 16. Centro Botín (Renzo Piano) .....	20	Ilustración 40 Planta funcional nivel 3. Centre Pompidou.....	39
Ilustración 17. Jean-Marie Tjibaou Cultural Center (Renzo Piano) .....	20	Ilustración 41 Planta funcional nivel 4. Centre Pompidou.....	40
Ilustración 18 Zentrum Paul Klee (Renzo Piano) .....	21	Ilustración 42 Planta funcional nivel 5. Centre Pompidou.....	40
Ilustración 19. Lloyd’s of London (Richard Rogers) .....	23	Ilustración 43 Planta funcional nivel 6. Centre Pompidou.....	40
Ilustración 20 Millenium Dome (Richard Rogers) .....	23	Ilustración 44 Imagen exterior Centro Pompidou .....	41
Ilustración 21 Leadenhall Building (Richard Rogers) .....	24	Ilustración 45 Gerberette.....	43
Ilustración 22 Three World Trade Center (Richard Rogers) .....	24		
Ilustración 23 Terminal 5 de Heathrow (Richard Rogers) .....	25		
Ilustración 24 National Assembly for Wales (Richard Rogers) .....	25		

Ilustración 46 Axonometría del modelo del Centro Pompidou. Elaboración propia. ....	44
Ilustración 47 Alzado del modelo del Centro Pompidou. Elaboración propia. ....	45
Ilustración 48 Alzado del modelo del Centro Pompidou. Elaboración propia. ....	45
Ilustración 49 Proceso constructivo – excavación.....	46
Ilustración 50 Proceso constructivo – muros de sótano de hormigón .....	46
Ilustración 51 Proceso constructivo – colocación de los pilares sobre muros de hormigón .....	47
Ilustración 52 Proceso constructivo – colocación de las Gerberettes sobre los pilares.....	47
Ilustración 53 Proceso constructivo – fijación de los tirantes.....	48
Ilustración 54 Proceso constructivo – apoyo de la viga Warren sobre las Gerberettes.....	48
Ilustración 55 Proceso constructivo – Colocación del forjado. ....	49
Ilustración 56 Proceso constructivo – Completa la estructura principal. ....	49
Ilustración 57 Proceso constructivo – Arriostramientos y estructuras secundarias.....	50
Ilustración 58 Imagen del pórtico de fachada.....	51
Ilustración 59 Esquema del funcionamiento de la viga Gerber. Ana Ezquerro Eguizábal. ....	51
Ilustración 60 Perfiles que conforman la viga Warren. Elaboración propia....	52
Ilustración 61 Axonometría del modelo de la viga Warren. Elaboración propia. ....	52
Ilustración 62 Planos de la Gerberette.....	53
Ilustración 63 Axonometría del modelo de la Gerberette. Elaboración propia .....	53
Ilustración 64 Cónica parcial del modelo del Centro Pompidou. Elaboración propia .....	54

Ilustración 65 Características del forjado de placas alveolares en Sap200. Elaboración propia.....	54
Ilustración 66 Características del forjado de chapa grecada en Sap200. Elaboración propia.....	55
Ilustración 67 Aplicación de las cargas en Sap200. Elaboración propia. ....	56
Ilustración 68 Valor de la carga de viento en el emplazamiento del Centro Georges Pompidou. ....	57
Ilustración 69 Valor de la carga de nieve en la ciudad de París.....	57
Ilustración 70 Tabla CTE DB SE. Coeficientes parciales de seguridad para las acciones. ....	58
Ilustración 71 Tabla CTE DB SE. Coeficientes de simultaneidad. ....	59
Ilustración 72 Características nudo doble definido en Sap 2000. Elaboración propia.....	61
Ilustración 73 Nudo doble definido en Sap 2000. Elaboración propia.....	62
Ilustración 74 Sección maciza en Sap 2000. Elaboración propia. ....	63
Ilustración 75 Comando Nonprismatic Sap 2000. Elaboración propia. ....	64
Ilustración 76 Definición tramo 2 de la Gerberette en Sap 2000. Elaboración propia.....	64
Ilustración 77 Definición tramo 1 de la Gerberette en Sap 2000. Elaboración propia.....	65
Ilustración 78 Pórtico tipo extruido en Sap 2000. Elaboración propia. ....	65
Ilustración 79 Deformada general ELSu analizando las deformaciones en el eje z. Elaboración propia.....	67
Ilustración 80 Deformada general ELSunvx- analizando el desplome total en el eje x. Elaboración propia.....	68
Ilustración 81 Deformada general ELSunvy+ analizando el desplome total en el eje y. Elaboración propia.....	69
Ilustración 82 Flecha relativa peso propio. Elaboración propia.....	70

Ilustración 83 Flecha máxima peso propio. Elaboración propia. ....	70
Ilustración 84 Flecha relativa ELSu. Elaboración propia.....	71
Ilustración 85 Valor contraflecha . Elaboración propia.....	71
Ilustración 86 Cumplimiento CTE ELSu. Elaboración propia .....	71
Ilustración 87 Cumplimiento CTE ELSu aplicando contraflecha. Elaboración propia. ....	71
Ilustración 88 Desplome local. Elaboración propia.....	72
Ilustración 89 Diagrama de axiles ELUu. Elaboración propia.....	73
Ilustración 90 Diagrama de axiles ELUu. Elaboración propia.....	74
Ilustración 91 Diagrama de cortantes ELUu. Elaboración propia.....	75
Ilustración 92 Diagrama de cortantes ELUu. Elaboración propia.....	76
Ilustración 93 Diagrama de flectores ELUu. Elaboración propia.....	77
Ilustración 94 Diagrama de flectores ELUu. Elaboración propia.....	78
Ilustración 95 Grado de saturación de las barras. Elaboración propia. ....	79
Ilustración 96 Comando <i>Verify all members passed</i> . Elaboración propia.....	80
Ilustración 97 Diagrama de axiles ELUu de la viga Gerber. Elaboración propia. ....	81
Ilustración 98 Diagrama de cortantes ELUu de la viga Gerber. Elaboración propia. ....	81
Ilustración 99 Diagrama de flectores ELUu de la viga Gerber. Elaboración propia. ....	81
Ilustración 100 Deformada de la viga Gerber. Elaboración propia. ....	81
Ilustración 101 Comparación viga Gerber con viga articulada en los pilares. Ana Ezquerro Eguizábal.....	82
Ilustración 102 Esquema del funcionamiento de la viga continua. Ana Ezquerro Eguizábal.....	83

## 9.3. HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS

- SAP2000. (20).

- AutoCAD. 2018.