



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR DE  
ARQUITECTURA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

# ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL MUSEO DE ARTE CONTEMPORÁNEO DE SANAA EN NUEVA YORK

Autor: Velasco Gomariz, Cynthia  
Tutor: Basset Salom, Luisa | Gallardo Llopis, David

Escuela Técnica Superior de Arquitectura  
Grado en Fundamentos de la arquitectura  
Curso 2019-2020

---

*40°43'11.62" N, 73°59'38.86" W*

## RESUMEN

---

En el presente trabajo se ha realizado un análisis completo del Museo de Arte Contemporáneo situado en el 235 de Bowery, en Nueva York, proyectado por SANAA. Se han estudiado tanto los aspectos compositivos y formales como los aspectos estructurales y constructivos. Este edificio es una de las obras más importantes de SANAA, en él se muestran sus rasgos más característicos, la transparencia, y la ligereza visual. La forma del edificio se resuelve como una superposición de cajas desplazadas entre sí, actuando cada una de ellas como un contenedor estructural, toda la estructura del edificio es metálica.

En primer lugar, se ha realizado un recorrido por el contexto histórico, por el cual se desarrolla la obra, estudiando para ello el origen del 'Nuevo Museo', un tipo de museo muy diferente que trata de ser una plataforma para la innovación. Tras este recorrido por la historia, se ha realizado un recorrido bibliográfico de las figuras principales que han intervenido en el edificio. Kazuyo Sejima y Ryue Nishizawa, arquitectos que diseñan el proyecto, y Guy Nordenson, ingeniero estructural del edificio.

Tras esta búsqueda se ha realizado un estudio del edificio mediante sus aspectos compositivos, formales, geométricos, funcionales, centrándonos en los constructivos y estructurales. Con el fin de obtener la información necesaria para elaborar el modelo de cálculo en el programa AutoCAD. Posteriormente se ha realizado la evaluación de todas las cargas que actúan (teniendo en cuenta la ubicación real del edificio), y se han definido las diferentes combinaciones de carga necesarias para el cálculo.

Para el cálculo estructural se ha empleado el programa SAP2000, las secciones asignadas son secciones americanas para representar de manera más fiel el modelo. Una vez asignadas todas las cargas y secciones al modelo se han obtenido los resultados mediante las comprobaciones a deformación y resistencia exigidas por la normativa española. Todas las limitaciones exigidas han sido verificadas satisfactoriamente. Con las conclusiones obtenidas podemos ver un adecuado comportamiento global de la estructura.

*Museo de Arte Contemporáneo, SANAA, 'Nuevo Museo', análisis estructural, modelo de cálculo, estructura metálica, contenedor estructural.*

## RESUM

---

En el present treball s'ha realitzat una anàlisi completa del Museu d'Art Contemporani situat en el 235 de Bowery, a Nova York, projectat per SANAA. S'han estudiat tant els aspectes compositius i formals com els aspectes estructurals i constructius. Aquest edifici és una de les obres més importants de SANAA, en ell es mostren els seus trets més representatius, la transparència, i la lleugeresa visual. La forma de l'edifici es resol com una superposició de caixes desplaçades entre si, actuant cadascuna d'elles com un contenidor estructural, tota l'estructura de l'edifici és metàl·lica.

En primer lloc, s'ha realitzat un recorregut pel context històric, pel qual es desenvolupa l'obra, estudiant per a això l'origen del 'Nou Museu', un tipus de museu molt diferent que tracta de ser una plataforma per a la innovació. Després d'aquest recorregut per la història, s'ha realitzat un recorregut bibliogràfic de les figures principals que han intervingut en l'edifici. Kazuyo Sejima i Ryue Nishizawa, arquitectes que dissenyen el projecte, i Guy Nordenson, enginyer estructural de l'edifici.

Després d'aquesta cerca s'ha realitzat un estudi de l'edifici mitjançant els seus aspectes compositius, formals, geomètrics, funcionals, centrant-nos en els constructius i estructurals. Amb la finalitat d'obtenir la informació necessària per a elaborar el model de càlcul en el programa AutoCAD. Posteriorment s'ha realitzat l'avaluació de totes les càrregues que actuen (tenint en compte la ubicació real de l'edifici), i s'han definit les diferents combinacions de càrrega necessàries per al càlcul.

Per al càlcul estructural s'ha emprat el programa SAP2000, les seccions assignades són seccions americanes per a representar de manera més fidel el model. Una vegada assignades totes les càrregues i seccions al model s'han obtingut els resultats mitjançant les comprovacions a deformació i resistència exigides per la normativa espanyola. Totes les limitacions exigides han sigut verificades satisfactòriament. Amb les conclusions obtingudes podem veure un adequat comportament global de l'estructura.

*Museu d'Art Contemporani, SANAA, 'Nou Museu' anàlisi estructural, model de càlcul, estructura metàl·lica, contenidor estructural.*

## ABSTRACT

---

In this work, a complete analysis has been made of the Museum of Contemporary Art located at 235 Bowery, New York, designed by SANAA. Compositional and formal aspects as well as structural and constructive aspects have been studied. This building is one of SANAA's most important works, showing its most representative characteristics, transparency and visual lightness. The shape of the building is solved as a superposition of boxes displaced from each other, each one acting as a structural container, the whole structure of the building is metallic..

Firstly, a tour of the historical context, through which the work is developed, has been carried out, studying the origin of the '*New Museum*', a very different type of museum that tries to be a platform for innovation. After this tour of history, a bibliographical review of the main figures who have intervened in the building has been carried out. Kazuyo Sejima and Ryue Nishizawa, architects who designed the project, and Guy Nordenson, structural engineer of the building.

After this search, a study of the building has been carried out by means of its compositional, formal, geometric and functional aspects, focusing on the constructive and structural ones. In order to get the necessary information to elaborate the calculation model in the AutoCAD program. Subsequently, the evaluation of all the loads acting has been carried out (taking into account the real location of the building), and the different load combinations necessary for the calculation have been defined

For the structural calculation the program SAP2000 has been used, the sections assigned are American sections to represent the model more authentically. Once all the loads and sections have been assigned to the model, the results have been obtained by means of the deformation and resistance checks required by the Spanish regulations. All the required limitations have been satisfactorily verified. With the conclusions obtained we can see an adequate global behaviour of the structure.

*Museum of Contemporary Art, SANAA, 'New Museum', structural analysis, calculation model, metal structure, structural container.*

---

Objetivos y metodología .....	7
1. Contexto histórico .....	8
2. Figuras principales.....	9
2.1 Arquitectos. Vida y obra .....	9
I. Kazuyo Sejima y Ryue Nishizawa.....	9
II. Despacho conjunto. SANAA .....	12
III. Timeline de las obras más importantes.....	13
IV. Guy Nordenson .....	13
3. El edificio .....	14
3.1. Implantación .....	14
3.2. Evolución del proyecto .....	15
3.3. Programa .....	16
3.4. Documentación gráfica.....	20
3.5. Revestimiento de fachada .....	22
3.6. Materialidad.....	23
4. Sistema estructural y modelización .....	24
4.1 Definición de la estructura y su construcción .....	24
4.2 Elementos estructurales y su modelización.....	26
4.3 Materiales y su definición.....	29
5. Evaluación de cargas .....	32
5.1 Acciones Permanentes .....	32
5.2 Acciones Variables.....	34
I. Sobrecarga de uso .....	34
II. Carga de viento .....	35
III. Carga de nieve.....	40
IV. Carga de sismo .....	41
5.3 Combinación de Acciones.....	42
6. Análisis estructural .....	45
6.1 Enlaces y apoyos .....	45
6.2 Resultados de cálculo .....	46
I. Comprobación a deformación (ELS).....	46
II. Comprobación a resistencia (ELU).....	62
7. Conclusiones .....	65
Bibliografía .....	66

Índice de imágenes .....	68
Índice de tablas.....	71
Anexos.....	72
Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) .....	72
Materiales estructurales .....	73

## Objetivos y metodología

---

El objetivo principal de este trabajo es el análisis del comportamiento estructural del Museo de Arte Contemporáneo de Nueva York, obra de SANAA. El Museo de Arte Contemporáneo es un edificio que alberga un programa denso de galerías y diferentes espacios para los ciudadanos, como una zona de biblioteca y oficinas. El deslizamiento de las diferentes plantas entre sí produce que los pilares no tengan continuidad a lo largo de toda la altura del edificio, por lo que la solución estructural será analizada con mucho detalle para extraer las conclusiones pertinentes.

En primer lugar, se llevará a cabo una revisión bibliográfica sobre el edificio y las figuras principales que intervienen en el diseño, para introducirnos en el contexto histórico del edificio. A continuación, se describirán los aspectos compositivos, geométricos, formales, estructurales y constructivos del edificio. Finalmente, se realizará el análisis estructural mediante el programa SAP2000 con el objetivo de aumentar mis habilidades en la utilización de un programa de cálculo de estructuras.

Para ello, una vez definido el modelo estructural, se evaluarán las cargas basándose en el *Documento Básico DB SE-AE*, así como en la *ASCE 7-16*, del que se ha obtenido el valor característico de la carga de nieve y el valor básico de la velocidad del viento, se introducirá la geometría de los elementos estructurales, las condiciones de enlace y apoyo y se procederá al cálculo de todas las combinaciones de ELU y de ELS establecidas. Por último, se realizarán las comprobaciones pertinentes, exponiendo un resumen de los resultados obtenidos, estableciendo conclusiones sobre su comportamiento estructural.



## 1. Contexto histórico

La interacción entre el arte y la arquitectura es uno de los factores más importante en el diseño de museos de arte. A lo largo de los años 70 surgieron numerosos movimientos idealistas que produjeron cambios en la cultura, las diferentes transformaciones sociales y políticas que aquí se iniciaron comenzaron a expresarse en nuevos tipos de organizaciones. En el mundo del arte los espacios alternativos creados por los propios artistas aumentaron como una nueva organización artística. (Grima, Wong, & Kaufman, 2008)

En un momento en el que el resto de los museos existentes, no se interesaban por las nuevas ideas y el arte nuevo, bajo el lema *“Arte nuevo, ideas nuevas”* se funda el ‘Nuevo Museo’ en 1977, por Marcia Tucker. Una institución que funcionaría como un anti-museo o no-museo, *“... una organización ‘de laboratorio’ no solo en virtud del tipo de trabajo que mostramos, sino porque tratamos de mirar críticamente la práctica del museo, especialmente la nuestra, cuestionando regularmente nuestras propias premisas y métodos”* (Tucker, M).

Este Nuevo Museo asume una imagen de novedad y temporalidad muy distinta al resto de museos, así como ser una plataforma de lanzamiento para el arte de vanguardia y la innovación. Su creadora intentó mantener el espíritu innovador del Arte Contemporáneo, con una doble vertiente, la de no solo exhibir el arte, sino también aprender del trabajo de los artistas. El ‘Nuevo Museo’ comenzó como una pequeña oficina en una galería de New School, que más tarde en 1983 se trasladó a un loft en Broadway en el SoHo, donde permaneció hasta el año 2007 con su traslado a su actual ubicación en el 235 de Bowery. (Figura 1)



Figura 1. 01: Miembros del personal del Nuevo Museo: John Jacobs, Ned Rifkin y Marcia Tucker. 02: Nuevo edificio del museo en 583 Broadway. 03: Inauguración en 235 Bowery en 2007. (“History :: New Museum,” n.d.)

Cuando Marcia Tucker se retiró, muchas de las innovaciones en las que el ‘Nuevo Museo’ había sido pionero se estaban viendo absorbidas por las principales instituciones, por ello se decidió buscar un nuevo espacio para el Museo, más público y con una mayor audiencia, pero permaneciendo fiel a la misión del ‘Nuevo Museo’. Es entonces cuando Lisa Phillips toma la dirección. El nuevo espacio arquitectónicamente tenía que ser flexible en su alojamiento a los artistas y su arte, y debía estar abierto a múltiples interpretaciones de la creación de arte (“Attempting a New Museum,” 2008).

Para ello se realizó un concurso de diseño cerrado a finales de 2002, en el que los directores del museo seleccionaron 5 estudios de arquitectura, entre ellos, Reiser + Umemoto, New York; Abalos & Herreros, Madrid; Gigon/Guyer Architects, Zurich; Adjaye/Associates, Londres; y SANAA, Tokio. Las condiciones expuestas para el concurso eran el uso creativo de los materiales reciclados, y espacios interiores sin columnas y con iluminación natural. El esquema de SANAA resultó el ganador, por ser el que mejor se adaptó al solar, y el que mejor expresó la idea de ‘Nuevo Museo’, a través de su diseño. (Grima et al., 2008).

## 2. Figuras principales

### 2.1 Arquitectos. Vida y obra

#### I. Kazuyo Sejima y Ryue Nishizawa



Kazuyo Sejima (Figura 2) nació en el campo de Hitachi, en Ibaraki, al noroeste de Tokio, Japón en el año 1956. Nace en el seno de una familia muy modesta. En Japón a los 16 años los niños tienen que decidir a que se van a dedicar el resto de su vida (López, 2011).

Figura 2. Kazuyo Sejima. (Remón Royo, 2017)

La arquitectura no era muy popular donde nació Kazuyo, Ibaraki era una ciudad alejada del ritmo de vida e información de Tokio. El encuentro de Kazuyo con la arquitectura se produce a sus ocho años de forma muy casual, encontrando una revista que habían comprado sus padres para la construcción de su nueva casa familiar, en la que Kazuyo se involucró mucho. En estas revistas descubrió a Kiyonari Kitulake, maestro de Toyo Ito, a través de una de sus casas, la Sky House, un único volumen elevado sobre columnas (Figura 3), con la que Kazuyo quedó impactada por la sencillez de la casa.



Figura 3. Sky House de Kiyonari Kitulake. (Lucarelli, 2013)

Además, Kazuyo conoció a una familia americana, que vivía en las mismas viviendas que ella. La forma en la que esta familia tenía dispuesto el espacio era muy diferente al que Kazuyo tenía en su casa, habían eliminado las particiones creándose un espacio totalmente continuo. “Con cuatro elementos habían transformado una casa y el modo de habitarla” (Sejima, K). Gracias a todo esto Kazuyo decidió estudiar arquitectura.

Kazuyo terminó sus estudios en la Universidad de Mujeres de Arquitectura. Esta universidad era diferente al resto de universidades del país, en esta se dedicaban al estudio minucioso de la pequeña escala, mientras que en el resto de las universidades se dedicaban a la gran escala. Esto hizo que Kazuyo se interesara mucho por la evolución de la vivienda, la célula, ya que para ella esta precede a lo colectivo, es el punto de partida.

(Zabalbeascoa, 2008)

*“La casa es la célula. Y me atrae mucho su evolución. Pero la gran escala también me interesa. [...] Uno se mide cada vez que hace una vivienda. Todas las viviendas que he hecho ilustran mi biografía arquitectónica, mi evolución como arquitecta, los intereses de cada momento”* (Sejima, K).

La primera experiencia laboral de Kazuyo se produjo como becaria en el despacho Toyo Ito, hasta 1987, año en el que creó su propio estudio de arquitectura *“Kazuyo Sejima & Associates”*. En 1995, funda junto a Ryue Nishizawa la oficina conjunta de SANAA. Kazuyo ha impartido clases en varias universidades. Actualmente es profesora en la Universidad de Keio desde 2001.

Kazuyo ha recibido números premios entre ellos el Premio Arte de la Educación del Ministerio de Educación de Tokio, el Premio de Arquitectura de Japón en 2006, y el título Oficial de la Orden de las Artes y las Letras en 2009, entre otros.

(Kesman, 2015).

La arquitectura de Kazuyo destaca por su minimalismo y por su estructura sencilla de funcionamiento y circulación basadas en diagramas sencillos. Las obras más importantes de Kazuyo (Figura 4) se muestran a continuación (Fernandez-Galiano, n.d.), destacando la Residencia para Mujeres Saishunkan Seiyaku, (Figura 5.01) con la que Kazuyo se dio a conocer en la historia de la arquitectura.



Figura 4. Timeline a de las obras más importantes de Kazuyo Sejima. (Elaboración propia).

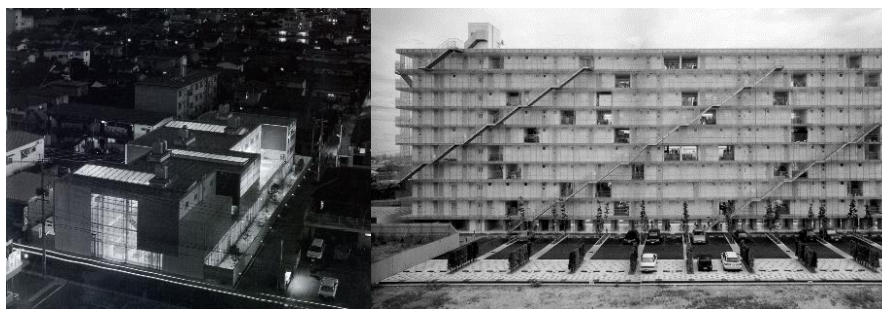


Figura 5. 01: Residencia de mujeres Saishunkan Seiyaku. (Cotela, n.d.) 02: Apartamentos en Gifu. (Muñoz, 2016)



Ryue Nishizawa (Figura 6) nació en Kanagawa, Japón, en el año 1966. Ryue no tenía claro que quería estudiar, simplemente siguió los consejos de su profesor, *“Te gusta la música y el cine, y eres bueno en matemáticas. Entonces, anda a la arquitectura”*, (Profesor de Ryue. (Aránguiz, 2019)) por ello estudió arquitectura en la Universidad Nacional de Yokohama obteniendo una maestría en arquitectura el año 1990.

Figura 6. Ryue Nishizawa. (Boulet, n.d.)

Su experiencia laboral la inicia como colaborador en el estudio de *“Kazuyo Sejima & Associates”*, tras años trabajando juntos, Kazuyo le pidió crear un despacho conjunto. Dos años más tarde en 1997, Nishizawa crea su estudio independiente *“La Oficina Ryue Nishizawa”*, consiguiendo gran éxito en todo el mundo, con sus diseños novedosos.

Actualmente es profesor en la Universidad Nacional de Yokohama, en la que el mismo estudió, y ha dado conferencias, como profesor invitado, en varias universidades internacionales, como la Escuela de diseño de Harvard, la Politécnica Federal de Lausana, entre otras. En el año 2004, obtuvo el premio León de Oro, en la Bienal de Venecia.

(“Ryue Nishizawa - EcuRed,” n.d.)

A diferencia de Kazuyo cuyo mentor fue Toyo Ito, Ryue siente admiración por los maestros del Movimiento Moderno en especial Mies van der Rohe. Esto se puede ver reflejado en algunas de sus obras como en la casa Moriyama donde lleva hasta los límites la fragmentación espacial o en el Centro de Arte de Towada, en la que utiliza estrategias para disgregar el proyecto por el paisaje. (Jaraíz Perez, 2012)

La arquitectura de Ryue destaca por la forma tan delicada y sutil de enlazar el entorno con la obra. Sus obras más destacadas (Figura 7) se muestran a continuación (Fernandez-Galiano, n.d.), destacando el Museo de Arte de Teshima (Figura 8.02) en el que colaboró con el artista Rei Naito, donde expresa claramente esa unión entre naturaleza y obra.



Figura 7. Timeline de las obras más importantes de Ryue Nishizawa. (Elaboración propia).



Figura 8. 01: Casa Moriyama. (Lalueta, 2010). 02: Museo de Arte de Teshima. (Baan, n.d.)

## II. Despacho conjunto. SANAA

En el año 1995 Kazuyo Sejima propone a Ryue Nishizawa crear una oficina conjunta de arquitectura: SANAA (Sejima and Nishizawa and Associates) con base en Tokio. Se creó con la intención de unir fuerzas y dedicarse fundamentalmente a encarar proyectos de mayor escala y concursos internacionales, manteniendo sus despachos individuales en los que realizan encargos de menor envergadura.

El estilo propio de Ryue y de Kazuyo se unen en SANAA. Sus diseños se caracterizan por el uso de formas simples, recuperando la esencia de la arquitectura moderna. Crean una arquitectura a través del programa y la atmosfera. Sus obras presentan una apariencia muy ligera, muros de poco espesor, pilares muy esbeltos, mucha transparencia visual mediante la que se establece una conexión interior-exterior mediante el uso de múltiples pieles en sus fachadas (Fernández-Galiano, 2016).

Kazuyo Sejima y Ryue Nishizawa reciben el Pritzker en el año 2010 dedicado a toda su trayectoria conjunta. *“Delicada y poderosa, precisa y fluida, su arquitectura es a la vez ingenua y sagaz, y explica, como pocas otras, las ventajas del trabajo en equipo”*, subrayó el jurado (Zabalbeascoa, 2010).

Entre el gran número de obras realizadas por SANAA destacan el Museo del Siglo 21 de Arte Contemporáneo en Kanazawa en 2004 (Figura 9.01), el edificio para el Nuevo Museo de Arte Contemporáneo en Nueva York en 2007 y uno de los que mayor impacto ha tenido el Rolex Center en Laussana en 2010 (Figura 9.02).

(“Arquitectos: SANAA. Biografía y Proyectos. Arquitectura y Diseño.” 2013)

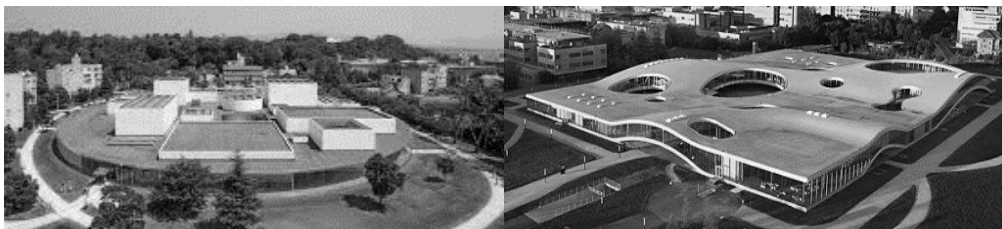


Figura 9. 01: Museo del Siglo 21 de Arte Contemporáneo en Kanazawa. (Yoshihide Urushihara, n.d.). 02: Rolex Center en Laussana. (Baan, n.d.)

### III. Timeline de las obras más importantes



Figura 10. Timeline obras de SANAA. (Elaboración propia).

(Fernandez-Galiano, n.d.)

### IV. Guy Nordenson

Guy Nordenson es ingeniero estructural y profesor en la Universidad de Princeton. Estudió en el Instituto tecnológico de Massachusetts (MIT) y en la Universidad de California en Berkeley. En 1976 comenzó su carrera en el estudio Long Island City studio of R Buckminster Fuller and Isamu Noguchi como dibujante, y años más tarde ejerció en San Francisco y en Nueva York como ingeniero estructural. En 1997 abrió Guy Nordenson and Associates (GNA) con sede en Nueva York.

Ha sido el ingeniero estructural de numerosos proyectos entre ellos el Pabellón de Cristal de Toledo en OH, la expansión del Museo de Vidrio de Corning, la expansión de la Escuela de Arte de Glassell... Participó en la expansión del MoMA en 2004, y ha participado también el en Museo de Arte Contemporáneo de Nueva York.

(“Guy Nordenson and Associates - Home,” n.d.)

### 3. El edificio

El Museo de Arte Contemporáneo de Nueva York es la nueva sede de una prestigiosa institución artística fundada en el año 1977. El edificio aspira a ser el hogar del “Nuevo Arte” contemporáneo, así como el lugar de gestación de nuevas ideas, y aportar al paisaje urbano de la ciudad de Nueva York una contribución arquitectónica (Fernández-Galiano, 2016).

El Museo combina los ideales del estilo minimalista moderno con los principios de las tradiciones arquitectónicas japonesas, consiguiendo de este modo la reducción de la arquitectura a su esencia, espacios muy simples sin adornos que proporcionan lugares perfectos para el desarrollo del arte en su interior.

#### 3.1. Implantación

En el año 2000 comenzó la búsqueda del emplazamiento para el Museo de Arte Contemporáneo. Tras el 11-S, la búsqueda se centró más en un compromiso con la ciudad, y el centro de la comunidad creativa. Se encontraron varios lugares con un gran potencial. Finalmente, el lugar elegido fue el 235 de Bowery, que se encuentra en el origen de la calle Prince Street, al sur de la isla de Manhattan (Figura 11). El Bowery era un barrio que estaba física y geográficamente bien ubicado.

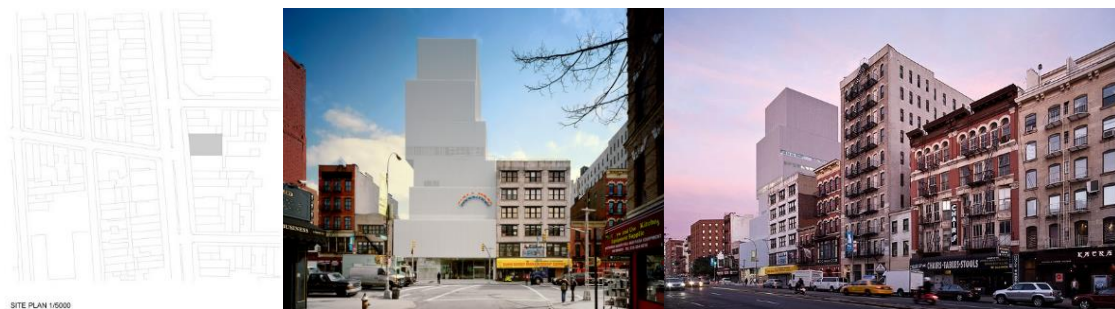


Figura 11. 01: Plano de emplazamiento e: 1/5000. (Sejima & Nishizawa, n.d.). 02: Imagen exterior del Museo en el 235 Bowery desde la calle Prince St. (Oudeman, n.d.). 03: Vista del Museo a lo largo del Bowery. (Baan, n.d.)

Antes de la ubicación del edificio en el Bowery, este era un lugar bastante descuidado, a su alrededor todo cambiaba y cobraba vida. Con la implantación del Museo se pretendía transformar esta histórica calle, que había sido el hogar durante décadas de muchos artistas y de teatros de todo tipo (Grima et al., 2008).

*"El Bowery era muy 'arenoso' cuando lo visitamos por primera vez". "Nos sorprendió un poco, pero también nos impresionó que un museo de bellas artes quisiera estar allí. Al final, el Bowery y el New Museum tienen mucho en común. Ambos tienen una historia de ser muy receptivos, abiertos, abrazando cada idiosincrasia sin prejuicios. [...] El nuevo museo es una combinación elegante y urbana. Estábamos decididos a hacer un edificio que se sintiera así" (Kazuyo Sejima). (Sanaa, Kazuyo Sejima + Ryue Nishizawa : 2004-2008 : topología arquitectónica = architectural topology, 2008)*

El contexto de ubicación en el Bowery se considera el punto de partida de la imagen del Museo, ya que la configuración de este pudiera ser una reinterpretación de los volúmenes de los edificios colindantes, con formas rectangulares y muy simples que el Museo “replica” agrupándolos en altura con diferentes formas y alturas, consiguiendo así que el edificio tenga una forma atractiva pero similar a las construcciones del barrio (“New Art Museum / SANAA | Plataforma Arquitectura,” 2014).

La implantación se produce en una parcela de dimensiones muy ajustadas (21,64 x 34,14 m) y con forma de L. El programa por desarrollar era muy denso con grandes espacios para galerías de arte muy flexibles, por lo que este tuvo que desarrollarse en altura. Finalmente, este se resuelve mediante una serie de cajas apiladas y desplazadas entre sí, lo que aporta una forma dinámica al edificio con una altura total de 53 metros. El diseño del Museo de Arte Contemporáneo oscila entre lo industrial y lo elegante con suelos de hormigón pulido y paredes blancas y lisas, lo que hace que contraste con su entorno, pero se adapte bien a este (Sejima & Nishizawa, 2010).

Los materiales y la apariencia de la fachada juegan un papel muy importante en su implantación, la malla de aluminio que envuelve todas las superficies verticales (Figura 12.01), como las ventanas de las oficinas e incluso las barandillas de las terrazas, genera un edificio muy luminoso y limpio en contraste con el paisaje masivo del Bowery. Por la noche, el Museo muestra la vida interior (Figura 12.02) gracias a las luces artificiales y a las aberturas ocultas en algunos puntos por la malla, otorgándole así una mayor ligereza al edificio. ("New Art Museum / SANAA | Plataforma Arquitectura," 2014).

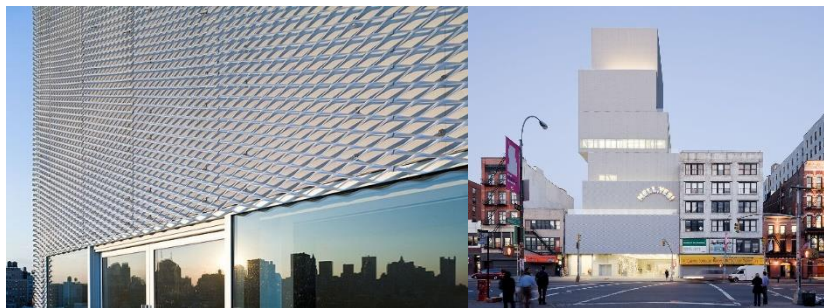


Figura 12. 01: Fachada revestida con la malla de aluminio. 02: Imagen nocturna del exterior del Museo. (Baan, n.d.)

SANAA juega con la interacción entre el tiempo y el mundo natural con los cambios de apariencia que muestra el edificio durante el día y la noche, aplicando así los conceptos tradicionales de la arquitectura japonesa, pero de una manera más innovadora. (Zhang, 2014)

### 3.2. Evolución del proyecto

La búsqueda de la sección arquitectónica viene definida por los condicionantes expuestos por los directores del Museo, que buscaban una arquitectura innovadora y sorprendente que diera forma a un edificio para el "Nuevo Arte", por las dimensiones de la parcela, y a la necesidad de contribuir a la arquitectura de la ciudad de Nueva York. (Grima et al., 2008)

Para abordar estos condicionantes SANAA concibió el edificio como un conjunto de cajas apiladas y desplazadas entre sí, teniendo para ello en cuenta los patrones de circulación de los usuarios en el Museo ("Building: The New Museum," n.d.). El desfase entre las cajas produce unos espacios internos abiertos y fluidos y, además, permite introducir terrazas y abrir lucernarios sobre estos (Figura 13), proporcionando iluminación natural a las galerías. Incorporando así una visión de la naturaleza en el edificio, un aspecto fundamental del estilo japonés que se reconoce en el todo el diseño. (Zhang, 2014)





Figura 13. 01: Aparición de lucernarios. 02: Terrazas generadas por el deslizamiento de los volúmenes. (Baan, n.d.)

Cada volumen alberga una función, con dimensiones diferentes tanto en planta como en altura. Todos ellos se encuentran enlazados mediante el núcleo rígido de comunicación vertical que recorre toda la altura y contiene los ascensores y las escaleras. El edificio adquiere una superficie total de unos 5.500 m<sup>2</sup> (Fernández-Galiano, 2016).

Gracias al desplazamiento de los volúmenes, no se muestra como una masa rígida, sino como una masa cambiante, dinámica, reflejando así la misión del “Nuevo Museo” y la naturaleza del arte contemporáneo. Se eleva 53 m desde la calle, creando contraste con los edificios de su entorno. Se revistió con una malla de aluminio que lo desmaterializa ópticamente. Esta malla cambia a medida que lo hace la luz a lo largo del tiempo.

La estructura del Museo se resuelve una estructura perimetral portante de acero. Cada volumen actúa como un contenedor estructural, dejando el espacio interior libre de columnas. Parte de esta estructura se muestra en las plantas superiores del edificio.

*“El nuevo edificio del Nuevo Museo es parte de SANAA y del Nuevo Museo. En el tiempo que hemos estado juntos, ambos han cambiado mucho. De alguna manera, los dos somos más grandes, más relajados, pero siempre esperamos explorar y encontrar cosas nuevas. El Nuevo Museo es intrigante porque siempre está tratando de encontrarse y esperamos que siga siendo así. Nuestro edificio es un intento de expresar esa aventura y libertad” (Sanaa, Kazuyo Sejima + Ryue Nishizawa : 2004-2008 : topología arquitectónica = architectural topology, 2008).*

### 3.3. Programa

El acceso público y la entrada de carga del museo se producen por el gran plano de vidrio transparente de 4,6 m de alto y todo el ancho del edificio (Figura 14). A través de esta membrana de vidrio los visitantes pueden ver desde el exterior todas las actividades que se producen en el vestíbulo e incluso el movimiento de las obras de arte. Se crea así un espacio de transición entre el color y ruido de Bowery y el espacio blanco y luminoso del Museo y afirmando el carácter de público de la institución.

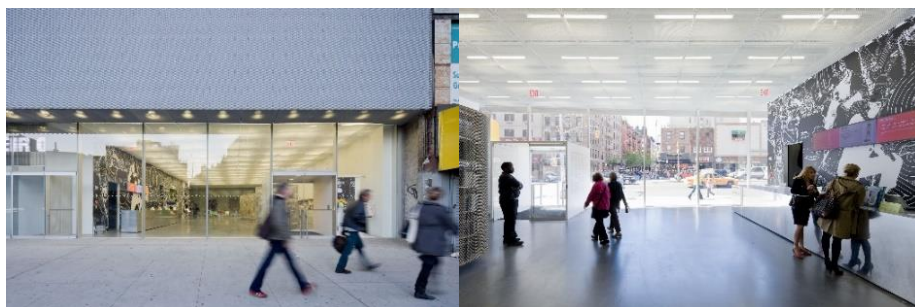


Figura 14. Plano de vidrio de acceso al Museo desde el exterior y el interior. (Baan, n.d.)

La planta baja alberga el vestíbulo de acceso, la tienda del Museo, que se encuentra delimitada por una pantalla sinuosa, creada con una malla metálica, y, detrás de ella, una amplia escalera que conduce a la planta inferior del edificio. Tras esta se encuentra la cafetería con su cocina abierta, el gran núcleo rígido de comunicación vertical del edificio y una galería de aproximadamente 100 m<sup>2</sup>, iluminada con la luz del día que se filtra en el desplazamiento de la caja superior y separada del resto de espacios con una pared de vidrio. (Figura 15)



Figura 15. 01: Imagen general de la planta baja, recepción a la izquierda, tienda del museo a la derecha. 02: Escalera que conduce hasta planta baja, tras esta aparece la cafetería. 03: Cafetería del Museo. 04: Galería de exposición. (Baan, n.d.)

En la planta inferior del edificio se sitúa un teatro-auditorio con 182 asientos (Figura 16) y una antesala que funciona como galería para exposiciones espaciales. En este nivel se encuentran también los baños del Museo, y diferentes salas para almacenamiento general y de soporte mecánico.

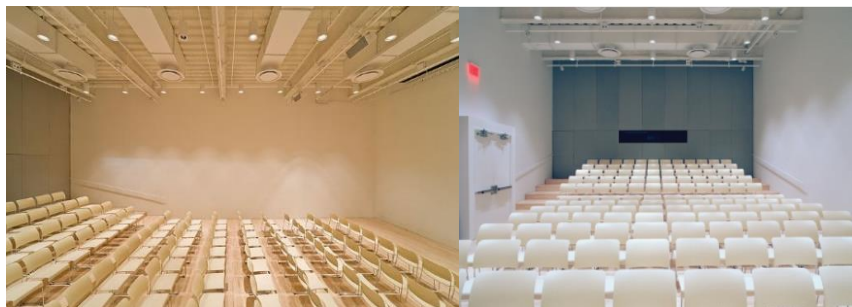


Figura 16. Teatro- auditorio. (Baan, n.d.; "History :: New Museum," n.d.)

Los tres niveles intermedios contienen las salas de exposición, todas ellas libres de columnas (Figura 17). Cuentan con un ambiente neutro para que el arte pueda desarrollarse libremente. El desplazamiento de las cajas permite que todas las galerías reciban luz natural, combinada con la luz artificial, y en las plantas superiores se crean terrazas con vistas panorámicas de la ciudad.

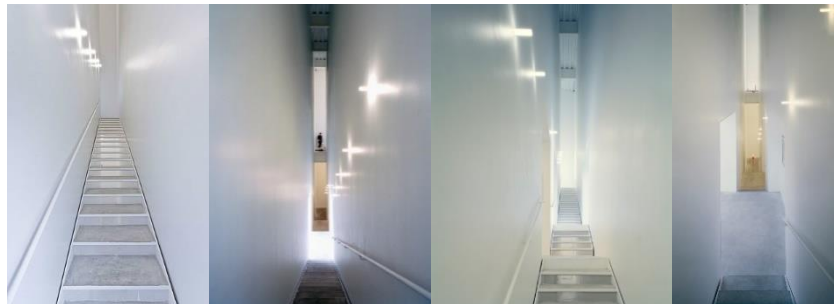
*"Un museo de arte contemporáneo debe ser neutral en el carácter de sus espacios de galería, a fin de crear la paleta más amplia para el arte mismo". "Con las galerías de este edificio, tratamos de jugar con las dimensiones y la forma en que cae la luz del día en los espacios. Esto permite al visitante experimentar el arte en condiciones ligeramente diferentes en diferentes visitas, en diferentes momentos del día, en*

*diferentes espacios, sin impedir las cualidades del arte ".(Sanaa, Kazuyo Sejima + Ryue Nishizawa : 2004-2008 : topología arquitectónica = architectural topology, 2008)*



*Figura 17. Salas de exposiciones diáfanas. (Baan, n.d.)*

La primera planta tiene aproximadamente 470 m<sup>2</sup> de espacio para exposiciones con una altura de 5,7 m. En esta planta aparecen grandes lucernarios en la parte oeste y norte de la sala. La galería de la segunda planta más pequeña con una superficie de 370 m<sup>2</sup> y con una altura de 6,1 m, con lucernarios en la parte este y oeste, cuenta con una escalera que recorre la parte norte del edificio y conduce hasta la planta superior (Figura 18). En el segundo rellano de esta escalera aparece un enorme ventanal que aporta luz natural al hueco, a través de una abertura en la malla de aluminio que cubre todo el museo.



*Figura 18. Escalera norte que conduce a la 3 planta. (Baan, n.d.; Oudeman, n.d.)*

El final de esta escalera se produce en la tercera planta, frente a una abertura horizontal de vidrio que hace que los visitantes desconecten por un momento de las exposiciones de arte y vuelvan a reconectar con la ciudad. Esta planta tiene la huella más pequeña de las galerías, con aproximadamente 280 m<sup>2</sup>, pero es la más alta con de 8,5 m. En la parte sur de la sala, hay un lucernario que permite la entrada de la luz del sol en las diferentes horas del día. Los diversos lucernarios de las salas de exposiciones pueden regular la entrada de luz mediante un sistema de paneles situado debajo de los vidrios. En las galerías superiores la estructura de acero se expone pintada de blanco y recubierta con una pintura ignífuga.

*"Queremos que el edificio muestre lo que es", "Queríamos hacer interiores que expongan la forma en que funciona de una manera 'hermosa y tosca' que sea apropiada para el museo y adecuada para el presupuesto y el lugar", "No queremos esconder cosas detrás de la placa de yeso, queremos mostrar de qué está hecho el edificio y maximizar la sensación de apertura [...]. Es por eso que la estructura y las tripas del edificio están expuestas..."(Sanaa, Kazuyo Sejima + Ryue Nishizawa : 2004-2008 : topología arquitectónica = architectural topology, 2008)*

La cuarta planta alberga el centro educativo del edificio, contiene espacios para aulas y salas de estudio (Figura 19. 01). Esta planta conecta con el barrio con una gran banda de ventanas en el lado oeste. Las plantas superiores son privadas, en la quinta planta se encuentran los espacios para oficinas (Figura 19. 02), los baños, la cocina y espacios de reuniones para el personal. Los grandes ventanales de vidrio en el lado sur y este de la sala ofrecen grandes vistas de la ciudad de Nueva York.

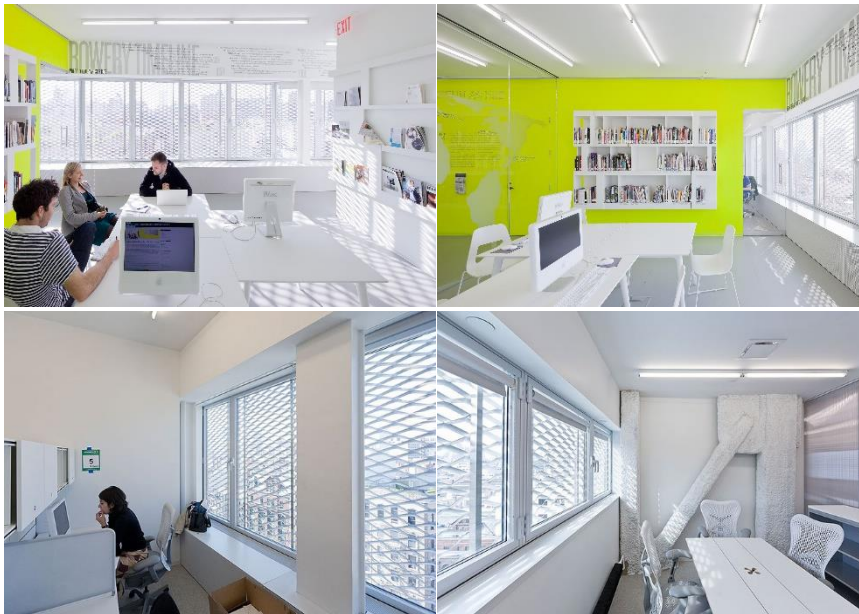


Figura 19. 01: Salas de estudio y aulas. 02: Espacios para oficinas. (Baan, n.d.)

En la sexta planta se desarrolla un espacio multiusos para eventos y actividades especiales con una terraza que la rodea por los lados sur y este del edificio (Figura 20). La última planta alberga el soporte mecánico del edificio, y se encuentra abierta superiormente.

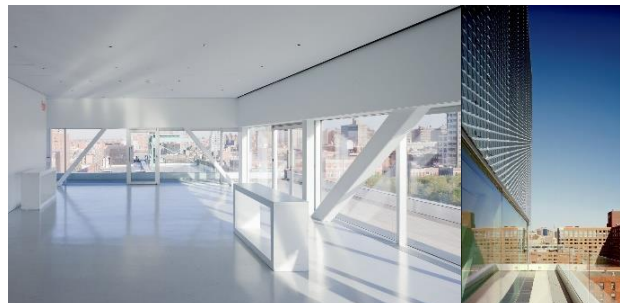
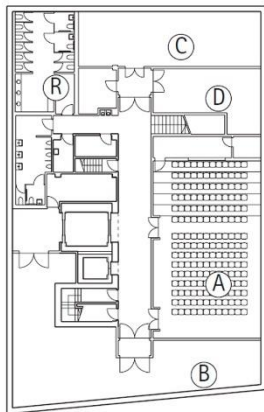
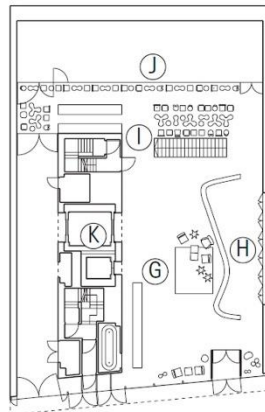


Figura 20. 01: Espacio multiusos. 02: Terraza con vistas a la ciudad. (Baan, n.d.)

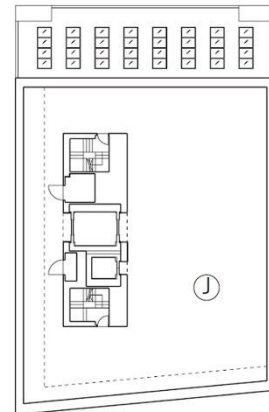
3.4. Documentación gráfica



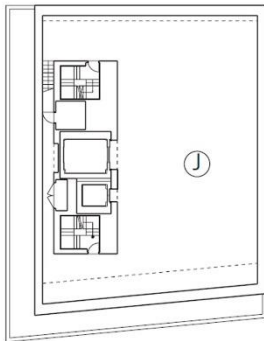
Planta sótano -2



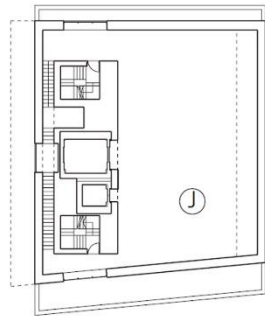
Planta baja



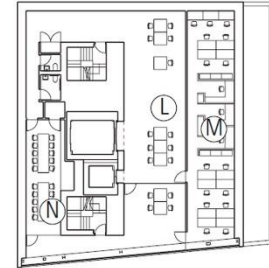
Planta exposición



Planta exposición



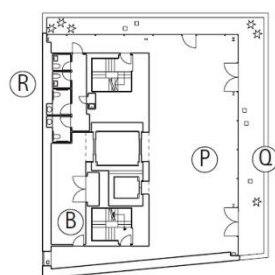
Planta exposición



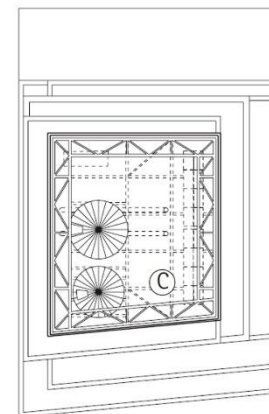
Planta educación



Planta oficinas



Planta 6 usos múltiples



Cubierta e instalaciones

- |                   |   |                                     |                     |                    |
|-------------------|---|-------------------------------------|---------------------|--------------------|
| A. Teatro.        | E. Acceso principal.                    | H. Tienda.                          | L. Educación.       | P. Sala multiusos. |
| B. Almacén.       | F. Acceso de servicio y piezas de arte. | I. Cafetería.                       | M. Oficina.         | Q. Terraza.        |
| C. Instalaciones. | G. Vestíbulo.                           | J. Sala de exposición.              | N. Aula.            | R. Aseos.          |
| D. Limpieza.      |   | K. Núcleo de comunicación vertical. | O. Sala de reunión. |                    |

Figura 21. Plantas del Museo de Arte contemporáneo. SANAA (Varela, 2017)

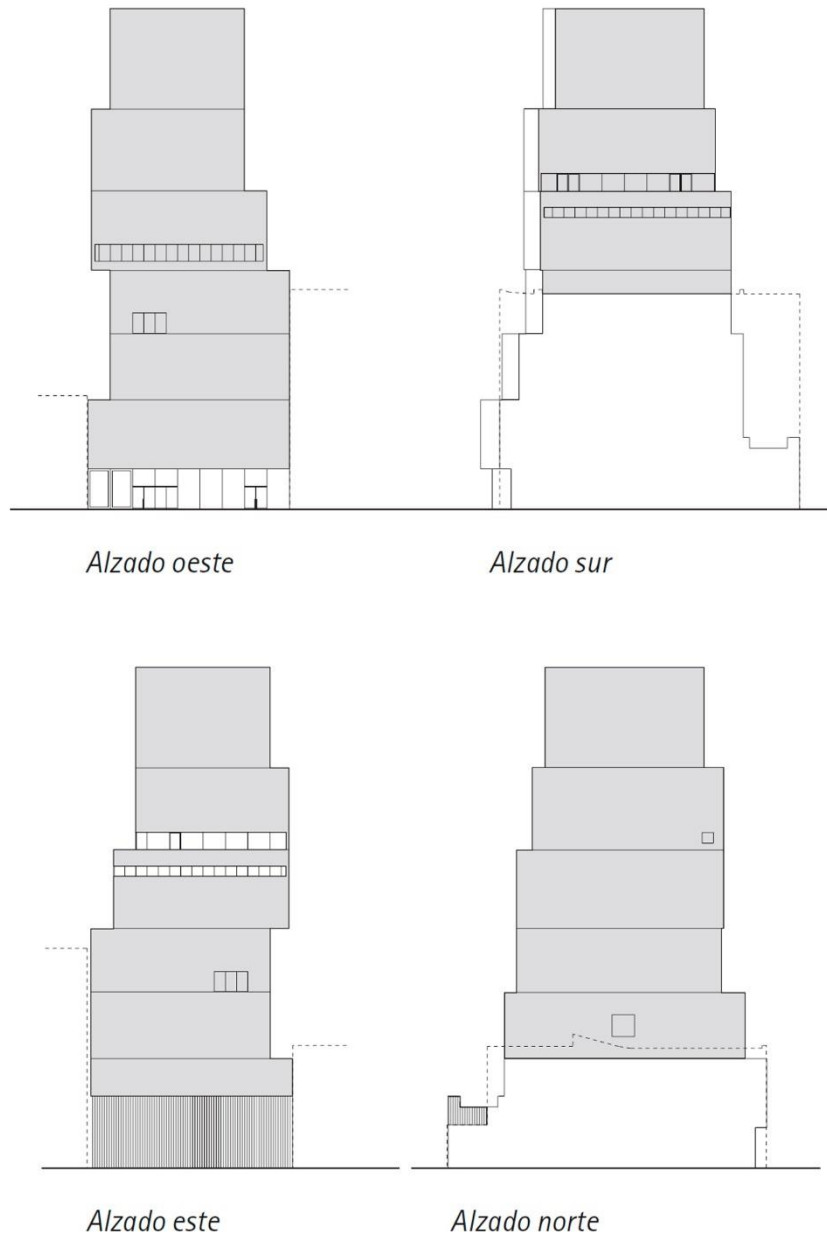


Figura 22. Alzados del Museo de Arte contemporáneo. SANAA (Varela, 2017)

### 3.5. Revestimiento de fachada

Es aquí donde SANAA aplica su concepto de fachadas exteriores como membranas permeables, a través de las que se establecen relaciones interior-exterior y pública-privada con el individuo, todo ello de manera sutil.

El cerramiento de las fachadas (Figura 23) se realizó mediante un sistema autoportante en seco de doble hoja de cartón yeso sobre una subestructura de montantes de acero galvanizado y perfiles en U de grandes dimensiones ancladas de forjado a forjado. A la hoja exterior se añadió una capa de paneles machihembrados de aluminio, atornillados mediante omegas horizontales y con calzos de tal manera que se crea una cámara drenante para condensaciones. Sobre estos paneles se instaló la malla de aluminio en bandas verticales de 1,20 m de ancho compuesta por 6 rombos de 20 cm cada una, mediante anclajes de acero inoxidable (Varela, 2017).

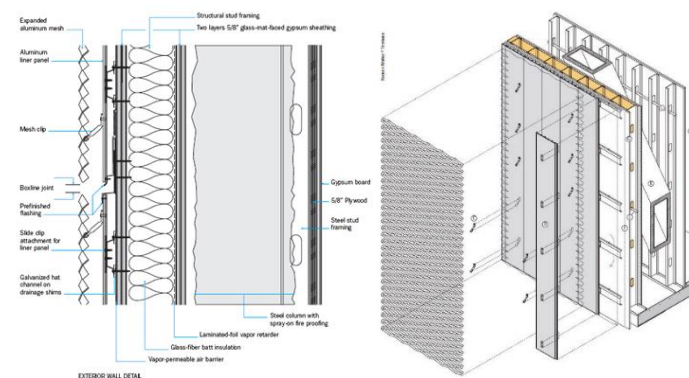


Figura 23. Detalle constructivo de la fachada. (Brooks, 2010; Varela, 2017)

La malla de aluminio expandido anodizado reviste totalmente el edificio. Este material que se fabrica en Inglaterra nunca había sido utilizado para revestir las fachadas de los edificios, originalmente se utilizaba para estabilizar los caminos. La elección de este material se debe a que tras realizar distintas pruebas, los paneles que se habían elegido de acero galvanizado o inoxidable se estropearían en poco tiempo con el aire de Nueva York (Sejima & Nishizawa, 2010).

Esta malla enfatiza los volúmenes de las cajas apiladas a la vez que crea una superficie única, continua y brillante de todo el edificio y, además, sirve como celosía a las distintas ventanas que aparecen en el cerramiento (Figura 24). La calidad opaca del aluminio construye una fachada dinámica y animada respondiendo constantemente a los cambios climáticos y a la posición de la luz en su entorno y los colores del paisaje urbano. (Zhang, 2014).



Figura 24. 01: Detalle malla metálica. ("El Plan Z Arquitectura: SANAA, Nuevo Museo de Nueva York, NY," 2012) 02: Vista desde el interior del edificio. (Kovalev, Kovalev, & Fil, n.d.). 03: Imagen exterior malla metálica. (Baan, n.d.) (Baan, n.d.) 04: Montaje de la malla. (DeOld, n.d.)

### 3.6. Materialidad

Con el objetivo de cumplir los condicionantes expuestos como el uso de materiales reciclados y reducir el presupuesto, la estructura está realizada íntegramente de acero. En un principio se había planteado realizarla de hormigón armado, pero se rechazó esta idea por motivos económicos. Los materiales principales son: el acero, el aluminio y el cartón yeso.

El acero está presente en todos los elementos estructurales, como son las vigas, correas y vigas diagonales. Las partes de la estructura que quedan vistas muestran su protección frente al fuego (Figura 25.01). Los forjados de todas las plantas del Museo son forjados de chapa colaborante sobre correas metálicas y están arriostrados en el núcleo de comunicación vertical. (Figura 25.02)

Las fachadas del edificio se resuelven como se ha comentado anteriormente mediante un sistema autoportante con un revestimiento de aluminio (Figura 25.03). Los cerramientos interiores y las particiones son de cartón yeso, sin ningún tipo de revestimiento, ya que es un material bastante maleable para salas de exposiciones.

Los pavimentos de todas las plantas del edificio están resueltos con hormigón pulido, y el vidrio aparece sobre todo como elemento de separación entre distintas estancias del edificio, y en los lucernarios (Figura 25.04) y en las aperturas en la fachada para la entrada de luz natural.

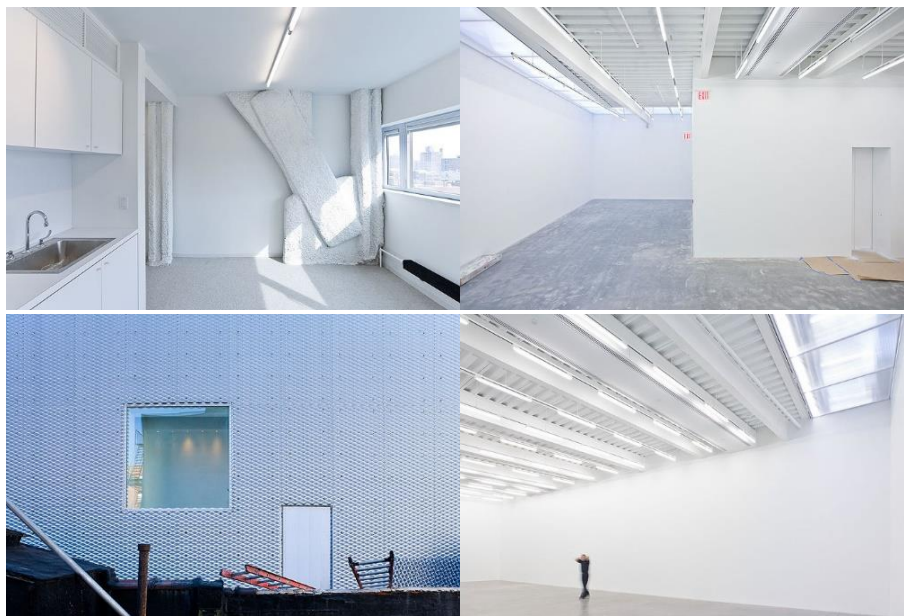


Figura 25. 01: Estructura de acero con protección frente al fuego. 02: imagen de la Chapa Grecada y núcleo de comunicación vertical. 03: Malla de aluminio. 04: Detalle Chapa Grecada y lucernario. (Baan, n.d.)



## 4. Sistema estructural y modelización

### 4.1 Definición de la estructura y su construcción

A pesar de la aparente simplicidad que presenta el Museo de Arte contemporáneo, su estructura es muy compleja. La forma que propone SANAA para el edificio es una superposición de cubos desplazados entre sí, actuando cada uno de ellos como un contenedor estructural. Estos contenedores constituyen la estructura primaria del edificio (Figura 26).

La necesidad de conseguir espacios flexibles para las diferentes salas de exposición del Museo hace que no aparezcan pilares interiores y que el núcleo de comunicación vertical se encuentre desplazado del centro, en las distintas plantas. Debido a esto, toda la estructura se desplaza hasta las fachadas del edificio.



Figura 26. Detalle de la construcción de la estructura perimetral de acero. (Arango, 2013)

A pesar de que la mayor parte de la estructura se encuentra oculta en los muros perimetrales, hay ciertos puntos en los que se muestra, permitiendo una lectura de esta en mayor profundidad. En las plantas superiores, como la planta de oficinas y la planta multiusos, empiezan a aparecer los pilares y las vigas diagonales dando a conocer la magnitud de estos elementos, y la forma de unión entre ellos (Figura 27.01). Además, en ciertas plantas detrás del núcleo de comunicaciones se puede ver como las correas cuentan con un número variable de pletinas rigidizadoras en función de la carga que soportan (Figura 27.02).

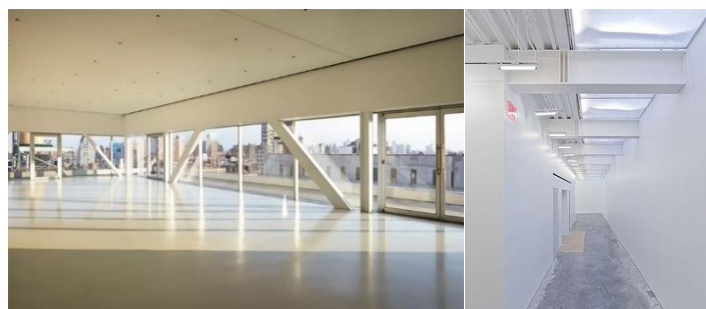


Figura 27. 01: Aparición de la estructura. 02: Detalle de las pletinas rigidizadoras. (Baan, n.d.)

La transmisión de las cargas excéntricas y la mayor parte de las cargas horizontales se produce a través de las vigas diagonales, que aparecen de suelo a techo. La falta de alineación entre las distintas plantas, debido al desplazamiento de estas, hace que no aparezcan pilares continuos en la mayor parte de las fachadas, excepto en el núcleo de comunicación, por lo que las cargas gravitatorias se desplazan a las esquinas (Figura 28). Las barras de la estructura perimetral tienen un máximo de unas 8 pulgadas de anchura (20,32 cm), de tal manera que el espesor de la fachada es igual en todo el edificio.

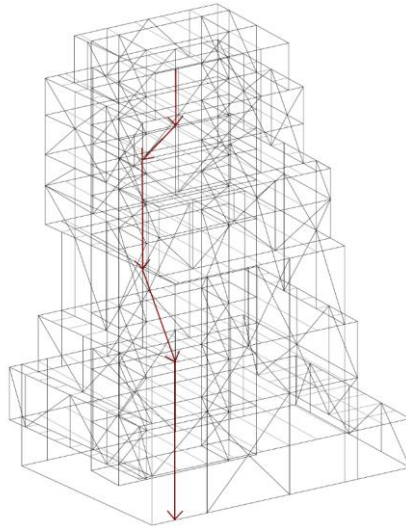


Figura 28. Esquema de la transmisión de cargas. (Elaboración propia)

El desplazamiento entre las distintas plantas genera lucernarios en algunas esquinas del edificio a lo largo de todas las plantas del Museo. Los lucernarios se resolvieron con un sistema de carpintería de aluminio, sobre el vidrio aparece un trámex registrable y por el interior un elemento de policarbonato que introduce luz difusa y produce una alineación horizontal con los techos (Figura 29).

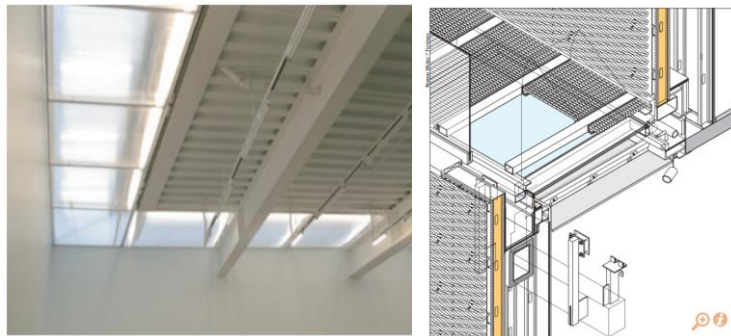


Figura 29. Detalle constructivo de los lucernarios. (Baan, n.d.; Varela, 2017)

La construcción del edificio se produjo en diferentes fases (Figura 30), en primer lugar, los contenedores estructurales perimetrales de acero, y la estructura del núcleo de comunicación vertical del edificio, seguido de la instalación de la subestructura de la fachada de acero galvanizado, el cerramiento de esta con placas de yeso, y la colocación de la estructura horizontal para anclar en ella los paneles de aluminio extruido sobre la que se coloca la malla metálica.



Figura 30. Fases del proceso constructivo del Museo. (Arango, 2013)

## 4.2 Elementos estructurales y su modelización

Para estudiar el comportamiento de la estructura de Museo de Arte Contemporáneo de Nueva York se ha realizado un modelo de cálculo con el programa AutoCAD de Autodesk. En primer lugar, se ha analizado la geometría del edificio a partir de la planimetría existente y de los datos bibliográficos, para construir el modelo de la manera más rigurosa posible.

Debido a la dificultad que presenta el edificio se han realizado algunas simplificaciones, no se realiza el modelado del sótano ni de la cimentación real, muros de sótano, sustituyendo esta por empotramientos en la base de los soportes de planta baja. El modelo comprende la planta baja y las 8 plantas superiores del edificio. Los elementos que componen la fachada no se han incluido en el modelo.

Los elementos superficiales como los forjados de chapa colaborante y la losa del núcleo de comunicaciones se han modelizado como elementos finitos superficiales, mientras que los elementos lineales como los soportes, vigas, correas y vigas diagonales del edificio se ha modelizado como barras. Obteniendo de esta forma un modelo donde cada elemento se modeliza acorde con su funcionamiento. La estructura global se compone de los siguientes elementos:

Elemento	N.º
Línea	865
3Dcara	834
<b>TOTAL</b>	<b>1699</b>

Tabla 1. N.º de elementos que componen el modelo.

Para la realización del modelo, en primer lugar, se han modelizado los contenedores estructurales que forman cada planta (Figura 31), se componen de las vigas de borde (elemento verde), los pilares (elemento magenta) y las vigas diagonales (elemento rojo).

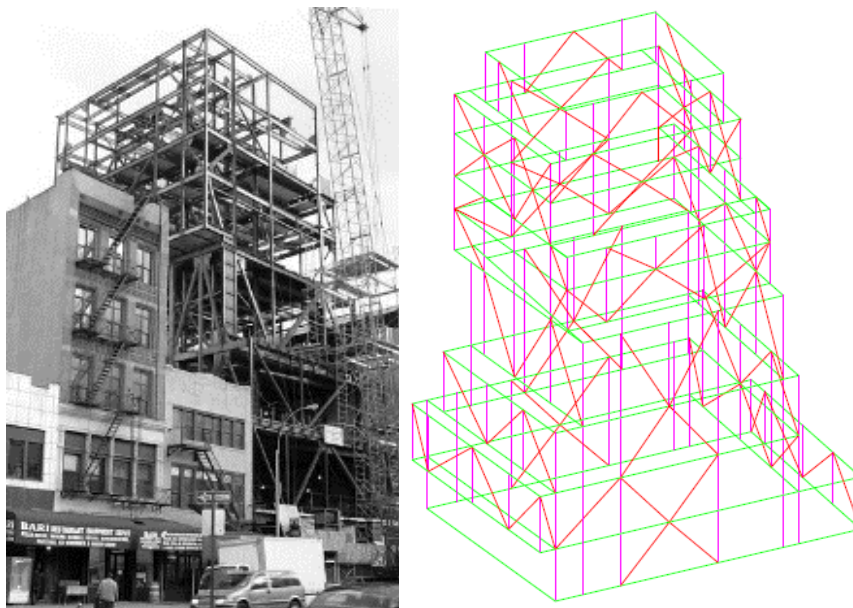


Figura 31. 01: Construcción de la estructura perimetral. 02: Modelización contenedor estructural. (Elaboración propia).

En segundo lugar, se ha modelizado el núcleo de comunicación vertical (Figura 32) que recorre toda la altura del edificio, compuesto por vigas, pilares y vigas diagonales que rigidizan el núcleo. Estas aparecen en una posición desplazada de cada extremo del núcleo.

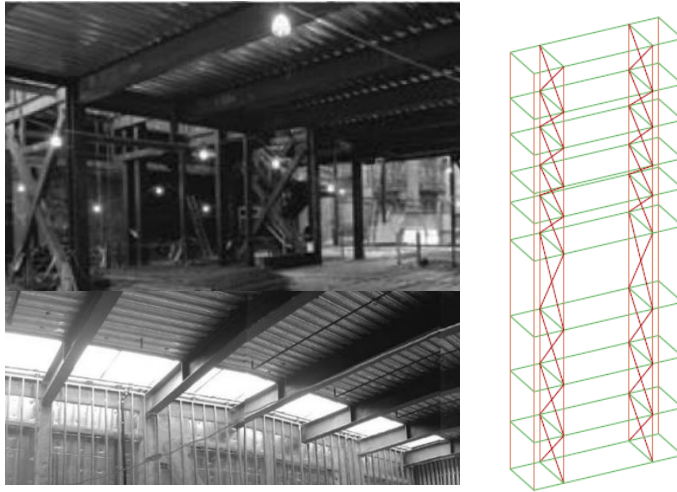


Figura 32. 01: Detalles de la construcción del núcleo de comunicación (Arango, 2013). 02: Modelización núcleo de comunicación (Elaboración propia).

Después se han modelizado las correas metálicas (elemento azul) (Figura 33) sobre las que se apoya el forjado de chapa y las correas sobre las que apoyan los lucernarios (elemento cian).

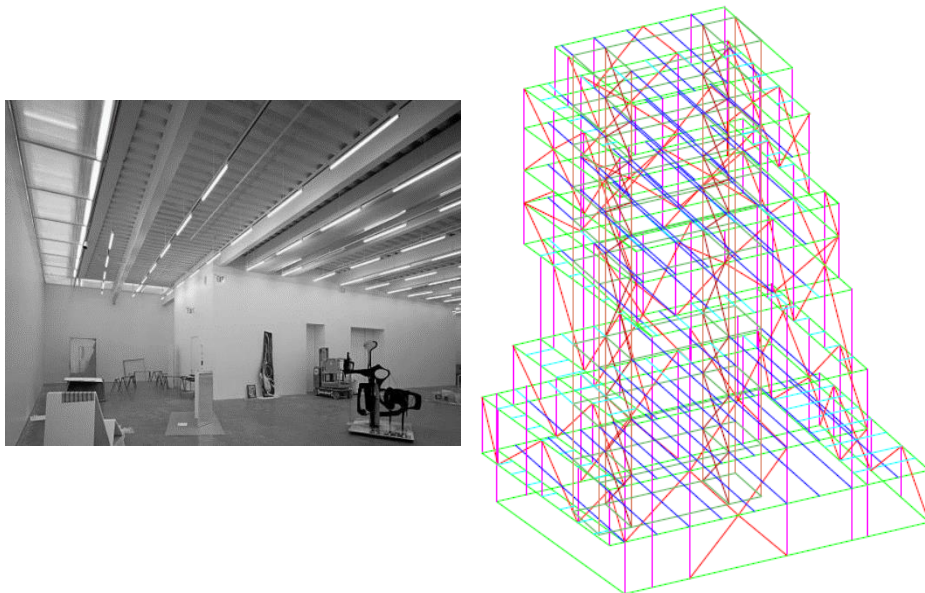


Figura 33. 01: Detalle de las correas metálicas. (Baan, n.d.) 02: Modelización de las correas metálicas. (Elaboración propia).

Finalmente se han modelizado los elementos superficiales (Figura 34) del forjado, la chapa colaborante (elemento naranja), la losa (elemento cian) del núcleo de comunicaciones y los lucernarios (elemento amarillo).

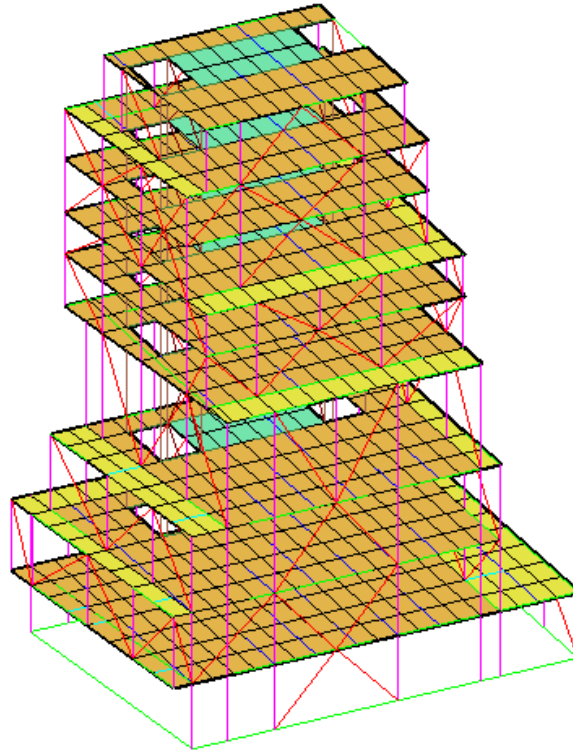


Figura 34. Modelización completa del edificio. (Elaboración propia).

### 4.3 Materiales y su definición

Una vez definido el modelo se pasa a definir los materiales utilizados para su construcción. El Museo de Arte contemporáneo está construido fundamentalmente en acero. Los materiales principales son *ASTM A992 Grado 50* para las vigas, las correas y pilares con secciones del tipo W, y *ASTM A500* para para los elementos diagonales con secciones del tipo HSS (secciones estructurales huecas, tubulares), mediante *Define Material*, a partir de perfiles normalizados del archivo *AISC.PRO*.

A continuación, se muestran algunas de las secciones asignadas a los elementos lineales (barras) en el programa de cálculo SAP2000, para los distintos elementos estructurales. *Assign Frame Sections*. Las secciones de las barras se han elegido estudiando las imágenes de la construcción del edificio, y las del contenedor estructural perimetral se han elegido con la limitación de un acho de 8 pulgadas (20,23 cm).

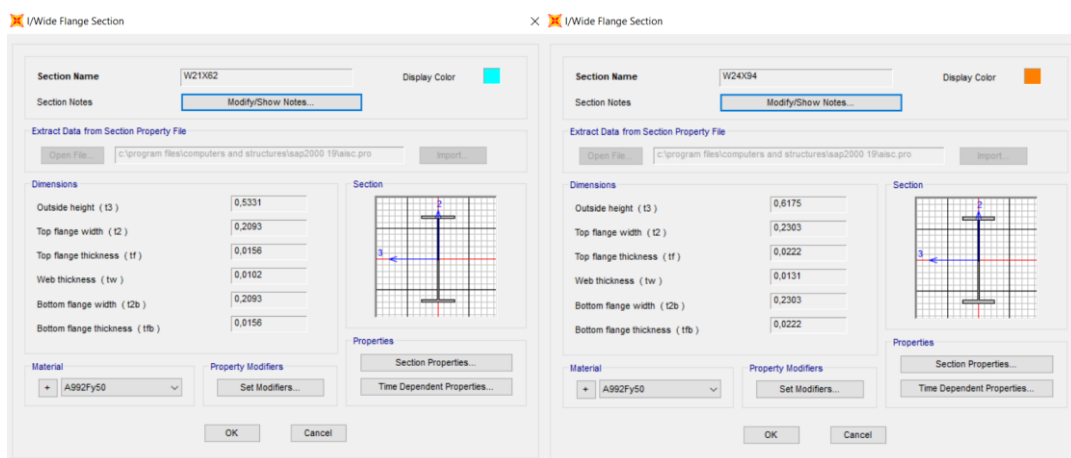


Figura 35. Secciones tipo W asignadas a vigas.

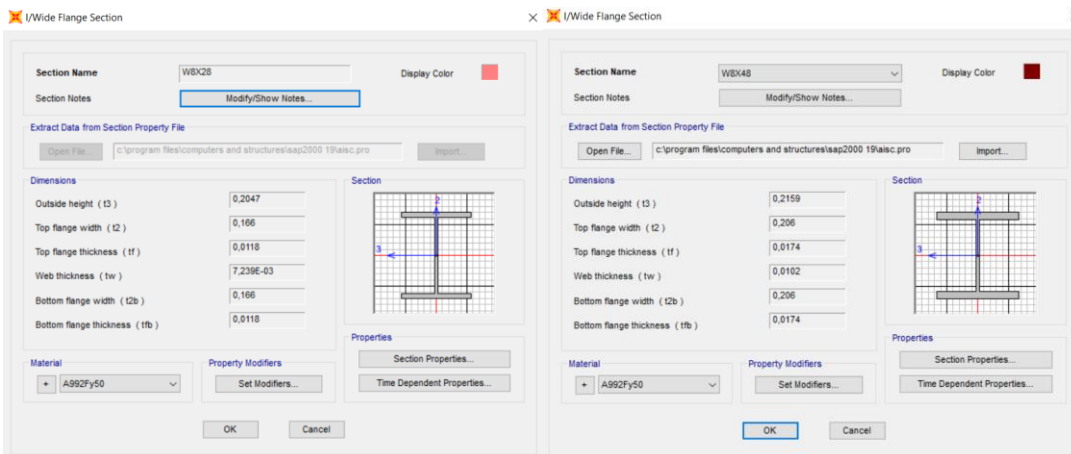


Figura 36. Secciones tipo W asignadas a pilares.

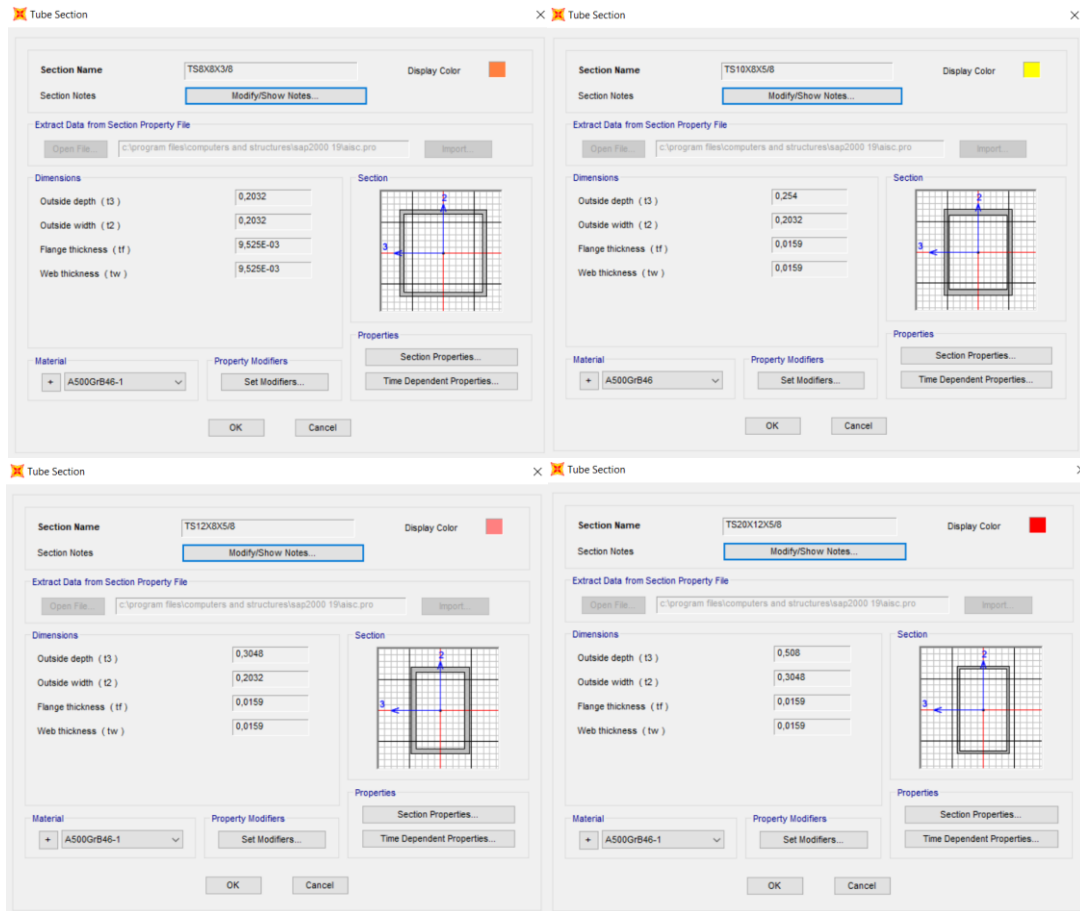


Figura 37. Secciones tipo HSS asignadas a las vigas diagonales y a las correas sobre las que apoyan los lucernarios.

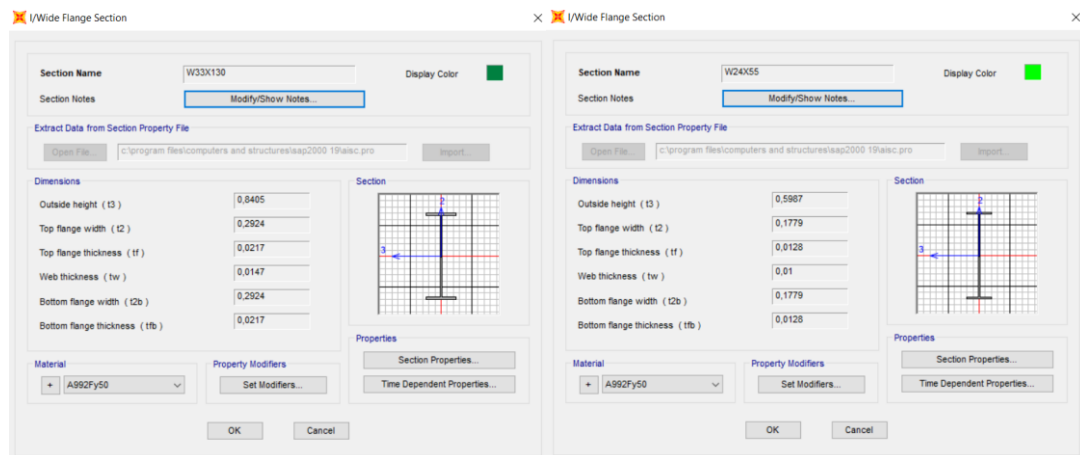


Figura 38. Secciones tipo W asignadas a las correas.

A continuación, se muestran las secciones asignadas a los elementos superficiales (elementos finitos) en el programa de cálculo SAP2000, los forjados de chapas colaborante, la losa del núcleo de comunicaciones y los lucernarios, a los que se les asigna la sección *None*, que aporta SAP, ya que no es un elemento estructural. *Assign Area Sections*.

Para la definición de la chapa colaborante en SAP, se utiliza una tabla de Excel, proporcionada por el profesor David Gallardo, en la que se introducen las diferentes medidas de la chapa colaborante, como la altura de las greclas, el intereje... con el fin de asimilarlo a una losa maciza.

EQUIVALENCIA CHAPA GRECADA - LOSA (MATERIAL HORMIGON)			
	ALTO GRECA	7,00	cm
	ALTO CAPA COMPRESION	6,00	cm
	INTEREJE GRECA	21,00	cm
	ANCHO MEDIO GRECA	13,00	cm
CHAPA GRECADA (7+6)x21	CENTRO DE GRAVEDAD	7,27	cm
	INERCIA	2982,02	cm4
	INERCIA POR METRO	14200,09	cm4
	AREA	217,00	cm2
	AREA POR METRO	1033,33	cm2
LOSA MACIZA	MEMBRANE (AREA)	0,1033	m
	BENDING (INERCIA)	0,1194	m
PROPERTY MODIFIER	FLEXIÓN SECUNDARIA (M22, V23)	0,1268	
	AXIL SECUNDARIO (F22)	0,4615	

Figura 39. 01: Tabla Excel. 02: Definición de la chapa grecada en SAP.

Para que la chapa colaborante trabaje en la dirección correcta hay que cambiar los ejes (*Local Axes*), y para que pueda trabajar unidireccionalmente en mayor medida hay que aplicar el *Property Modifier*.

Figura 40. 01: Local Axes. 02: Property Modifier.

Figura 41. Definición de la losa.



## 5. Evaluación de cargas

Para completar el modelo, se realiza la estimación de cargas a las que podría estar sometida la estructura real. Considerando los efectos del peso propio de la estructura y del resto de las cargas permanentes y de las cargas variables. Para la evaluación de acciones permanentes seguiremos el CTE (*Documento Básico SE-AE. Seguridad Estructural y Acciones en la edificación*) y catálogos comerciales. En cuanto a las acciones variables, la sobrecarga de uso se ha determinado a partir del CTE (*DB SE-AE*), mientras que las cargas de nieve y viento se han estimado a partir de los datos en el lugar de implantación del edificio (Norma ASCE 7-16). Para estimar las acciones sísmicas se tomarán también los datos correspondientes a Nueva York. No se tendrán en cuenta otras acciones accidentales como el incendio ya que la estructura se encuentra protegida frente al fuego.

### 5.1 Acciones Permanentes

Las acciones permanentes son el peso propio de la estructura y de los elementos constructivos como pavimentos, tabiquería, cerramientos, falsos techos, además del posible mobiliario o maquinaria fija.

El peso propio de la estructura es una acción permanente, pero esta no se tiene en cuenta en la estimación de cargas previa ya que la asigna directamente el programa informático SAP2000 al definir la sección. Las cargas que se muestran a continuación corresponden al *Anejo C del DB SE-AE*.

#### PLANTAS TIPO

Pesos propios de los elementos constructivos

- El pavimento es de hormigón pulido con una carga de  $1,2 \text{ kN/m}^2$ .
- La tabiquería interior se resuelve mediante elementos prefabricados de cartón yeso muy ligeros por lo que se ha optado por definir la tabiquería como una carga superficial de  $1 \text{ kN/m}^2$  en toda la planta.
- Instalaciones con una carga de  $0,3 \text{ kN/m}^2$
- La cubierta del edificio es una cubierta plana, que permite acceder a las instalaciones. Según el CTE adoptamos: la Cubierta plana, con impermeabilización vista protegida, con una carga de  $1,5 \text{ kN/m}^2$ .
- Los cerramientos están formados un sistema autoportante de doble hoja de cartón yeso revestido por dos capas de aluminio expandido, es un sistema muy ligero por lo que la carga se va a asimilar a la de un muro cortina de vidrio con  $0,5 \text{ kN/m}^2$ .
- Los forjados son de chapa colaborante. La distancia entre correas es de  $3,3 \text{ m}$ , a partir del catálogo comercial de INCO, se va a definir el canto del forjado y la carga correspondiente.

Para definir el canto necesitamos conocer la carga que actúa sobre el forjado de chapa colaborante, que es la suma de las distintas cargas como la sobrecarga de uso, la tabiquería, el pavimento y las instalaciones:

SCU:	5 kN/m <sup>2</sup>
Pavimento:	1,2 kN/m <sup>2</sup>
Tabiquería:	1 kN/m <sup>2</sup>
Instalaciones:	0,3 kN/m <sup>2</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>7,5 kN/m<sup>2</sup> → 750 kg/m<sup>2</sup></b>

Tabla 2. Sobrecarga sobre el forjado en Kg/m<sup>2</sup>.

Por tanto, el forjado tendrá un canto de 13 cm y el peso propio del forjado de chapa colaborante es de 220 kp/m<sup>2</sup> → 2,2 kN/m<sup>2</sup>. Como se puede ver en las Figuras 42 y 43.

SOBRECARGA ADMISIBLE, q (Kg/m <sup>2</sup> )		Espesor = 1,00 mm														
Canto del Forjado, H (cm)	Luz libre entre apoyos, L (m)															
	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
	12	1503	1351	1224	1117	1025	925	803	700	614	540	477	423	349	275	214
13	1586	1424	1289	1175	1077	972	844	739	649	569	500	439	357	275	214	164
14	1885	1694	1534	1399	1284	1154	1001	872	764	672	593	525	465	413	367	316
15	1968	1768	1601	1459	1338	1233	1107	966	847	745	659	583	518	460	409	364
16	2039	1830	1655	1507	1381	1271	1175	1049	919	808	713	631	560	497	441	392
17	2213	1986	1797	1637	1500	1381	1277	1143	1002	882	779	690	613	545	485	431
18	2279	2043	1847	1681	1539	1416	1308	1213	1073	944	833	737	654	581	516	458
19	2356	2113	1910	1738	1591	1463	1351	1253	1158	1019	900	798	708	629	560	499
20	2419	2167	1957	1779	1627	1495	1379	1277	1187	1080	953	844	748	664	590	525
21	2481	2221	2004	1821	1664	1527	1408	1303	1209	1126	1008	892	790	701	622	553

Figura 42. Canto del Forjado.(Catalogo Comercial de Forjado Colaborante INCO70.4.pdf, n.d.)

FORJADO COLABORANTE										
Peso Propio del Forjado (kp/m <sup>2</sup> )										
Esesor (mm)	Canto del Forjado (cm)									
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0,75	193	217	241	265	289	313	337	361	385	409
1,00	196	220	244	268	292	316	340	364	388	412
1,20	198	222	246	270	294	318	342	366	390	414

Figura 43. Peso Propio del Forjado.(Catalogo Comercial de Forjado Colaborante INCO70.4.pdf, n.d.)

## 5.2 Acciones Variables

Las acciones variables son aquellas que no actúan permanentemente, sino que actúan durante un intervalo de tiempo. Las cargas variables más relevantes son la sobrecarga de uso, de nieve y la carga de viento. En el Museo que estamos analizando, la asignación de cargas de viento se simplificará a una carga repartida horizontal en las vigas/zunchos de borde.

### I. Sobrecarga de uso

“La sobrecarga de uso es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso”. Como valores característicos se adoptaran los de la “*tabla 3.1 Valores característicos de la sobrecarga de uso*” (Figura 44) del DB SE- acciones en la edificación del CTE. (Gobierno de España, 2009).

**Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso**

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

Figura 44. Valores característicos de las sobrecargas de uso. CTE. (Gobierno de España, 2009)

PLANTAS	SCU
PLANTA 00 (Hall del edificio): .....	C3: 5kN/m <sup>2</sup>
PLANTA 01 (Sala de exposiciones): .....	C3: 5kN/m <sup>2</sup>
PLANTA 02 (Sala de exposiciones): .....	C3: 5kN/m <sup>2</sup>
PLANTA 03 (Sala de exposiciones): .....	C3: 5kN/m <sup>2</sup>
PLANTA 04 (Oficina y educación): .....	B: 2 kN/m <sup>2</sup>
PLANTA 05 (Oficina): .....	B: 2 kN/m <sup>2</sup>
PLANTA 06 (Sala multifuncional): .....	C1: 3 kN/m <sup>2</sup>
PLANTA 07 (Sala de máquinas): .....	C2: 4 kN/m <sup>2</sup>
PLANTA 08 (Cubierta: Sala de máquinas): .....	C2: 4 kN/m <sup>2</sup>

Tabla 3. Sobrecarga de uso por planta.

## II. Carga de viento

Para la carga de viento se ha tenido en cuenta el DBSE-AE y el Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-16).

Manhattan se encuentra a Latitud: 40°47'00"N, Longitud: 73°57'58"O y Altitud sobre el nivel del mar: 38 m. El viento predominante en Nueva York NO, y el Museo tiene una orientación EO, la carga más frecuente de viento se encontraría respecto a su fachada Oeste. Pero se va a modelizar la carga de viento en las dos direcciones principales.

En la ciudad de Nueva York, el valor básico de la velocidad del viento es  $v = 130,0 \text{ mph} = 58,1 \text{ m/s} = 0,0581 \text{ Km/s}$ , (Figura 45 y 46), para una Categoría de Riesgo III, ya que se trata de un edificio cuya ocupación principal es publica con sobrecarga de uso superior a  $3 \text{ kN/m}^2$ , según lo expuesto en ASCE/SEI 7-16 (American Society of Civil Engineers, 2016).

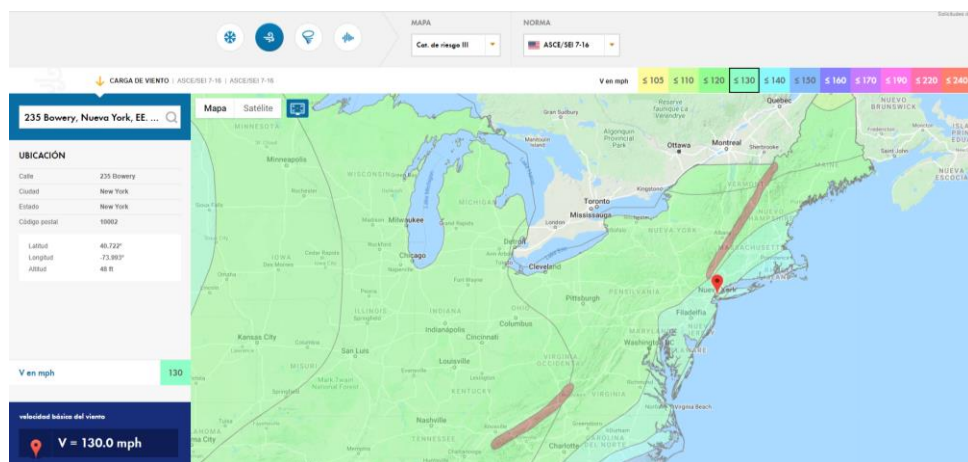


Figura 45. Valor básico de la velocidad del viento. ("Velocidad básica del viento en Estados Unidos según ASCE," n.d.)

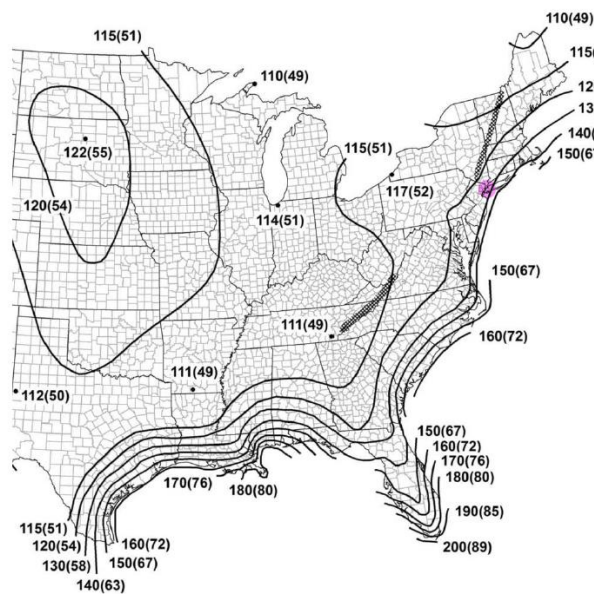


Figura 46. Basic Wind Speeds for Risk Category III Buildings and Other Structures. ASCE/SEI 7-16. (American Society of Civil Engineers, 2016)

Según el *Capítulo 26 “Wind Load: General Requirements”* de la norma ASCE/SEI 7-16, la Presión del viento ( $\text{kN/m}^2$ ) sobre los paramentos se obtiene a partir de la presión dinámica y del coeficiente eólico o de presión mediante la siguiente expresión:

$$q_z \cdot C_p$$

Siendo  $q_z$  la presión dinámica a una determinada altura y  $C_p$  el coeficiente de eólico o de presión

La Presión dinámica  $q_z$ , a una altura  $z$  sobre el suelo se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$q_z = 0,613 \cdot K_z \cdot K_e \cdot V^2(\text{m/S}) \rightarrow \text{N/m}^2$$

Siendo  $K_z$  el coeficiente de exposición,  $K_e$  el coeficiente de elevación del suelo y  $V$  la velocidad básica del viento.

El Coeficiente de exposición  $K_z$ , se obtiene mediante una interpolación lineal de valores de la tabla de la *Figura 47*, y depende de la altura del punto considerado y de la categoría de exposición.

Para cada dirección de viento considerada, la exposición se basará en la rugosidad de la superficie del suelo que se determina a partir de la topografía natural, la vegetación y las instalaciones construidas. El edificio que estamos analizando se encuentra en la ciudad de Nueva York, en una zona urbana, por ello el grado de aspereza del contorno es *Rugosidad de la superficie B*, y la categoría de *Exposición es B*.

**Table 26.10-1 Velocity Pressure Exposure Coefficients,  $K_d$  and  $K_z$**

Height above Ground Level, $z$		Exposure		
ft	m	B	C	D
0-15	0-4.6	0.57 (0.70) <sup>a</sup>	0.85	1.03
20	6.1	0.62 (0.70) <sup>a</sup>	0.90	1.08
25	7.6	0.66 (0.70) <sup>a</sup>	0.94	1.12
30	9.1	0.70	0.98	1.16
40	12.2	0.76	1.04	1.22
50	15.2	0.81	1.09	1.27
60	18.0	0.85	1.13	1.31
70	21.3	0.89	1.17	1.34
80	24.4	0.93	1.21	1.38
90	27.4	0.96	1.24	1.40
100	30.5	0.99	1.26	1.43
120	36.6	1.04	1.31	1.48
140	42.7	1.09	1.36	1.52
160	48.8	1.13	1.39	1.55
180	54.9	1.17	1.43	1.58
200	61.0	1.20	1.46	1.61
250	76.2	1.28	1.53	1.68
300	91.4	1.35	1.59	1.73
350	106.7	1.41	1.64	1.78
400	121.9	1.47	1.69	1.82
450	137.2	1.52	1.73	1.86
500	152.4	1.56	1.77	1.89

*Figura 47. Coeficiente de exposición. ASCE/SEI 7-16. (American Society of Civil Engineers, 2016)*

El coeficiente de elevación del suelo  $K_e$  utilizado para ajustar la densidad del aire, se determinará de acuerdo con la Tabla de la *Figura 48*, como Manhattan se encuentra a 38 m sobre el nivel del mar,  $K_e$  es 0,96.

**Table 26.9-1 Ground Elevation Factor,  $K_e$**

Ground Elevation above Sea Level		Ground Elevation Factor $K_e$
ft	m	
<0	<0	See note 2
0	0	1.00
1,000	305	0.96
2,000	610	0.93
3,000	914	0.90
4,000	1,219	0.86
5,000	1,524	0.83
6,000	1,829	0.80
>6,000	>1,829	See note 2

Figura 48. Coeficiente de elevación del suelo. ASCE/SEI 7-16. (American Society of Civil Engineers, 2016)

El coeficiente eólico o de presión  $C_p$ , se obtiene mediante una interpolación lineal de valores de la tabla de la Figura 49. Para una esbeltez en dirección perpendicular a la fachada oeste (dirección Y), de  $53/21,6 \text{ m} = 2,45 \text{ m}$ , el coeficiente de presión es 0,8 y de succión -0,28. Para una esbeltez en la dirección paralela a la fachada oeste (dirección X), de  $53/33 \text{ m} = 1,60 \text{ m}$ , el coeficiente de presión es 0,8 y de succión -0,38.

**Wall Pressure Coefficients,  $C_p$**

Surface	L/B	$C_p$	Use With
Windward wall	All values	0.8	$q_z$
	0-1	-0.5	$q_h$
Leeward wall	2	-0.3	$q_h$
	$\geq 4$	-0.2	$q_h$
Sidewall	All values	-0.7	$q_h$

Figura 49. Coeficiente eólico o de presión. ASCE/SEI 7-16. (American Society of Civil Engineers, 2016)

La carga de viento se va a simplificar a una carga repartida horizontal en las vigas de borde, ya que el modelo se ha realizado sin los elementos superficiales que componen la fachada. Para representar de una manera fiel como actúa la carga de viento, con un valor mayor en las plantas altas y que va disminuyendo hasta la base del edificio, hay que tener en cuenta el coeficiente de exposición, en función de la altura del punto considerado (Figura 50). Se va a calcular la Presión dinámica  $q_z$ , en ambas direcciones, a una altura  $z$  en la tabla que se muestra a continuación:

Z (m)	$K_z$	$q_z = 0,613 \cdot K_z \cdot K_e \cdot V^2$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_z \cdot C_p$ (Presión)	$q_z \cdot C_p$ (Succión)
53	1,16	2,30	1,84	-0,65
46,6	1,12	2,22	1,78	-0,62
41,5	1,08	2,15	1,72	-0,60
37,5	1,05	2,09	1,67	-0,58
33,2	1,02	2,03	1,62	-0,57
29,8	0,98	1,95	1,56	-0,55
25,6	0,94	1,87	1,49	-0,52
17,1	0,84	1,67	1,33	-0,47
11	0,74	1,47	1,18	-0,41
5,3	0,6	1,19	0,95	-0,33
0	0,57	1,13	0,91	-0,32

Tabla 4. Valores en dirección perpendicular a la fachada oeste (dirección Y)

Z (m)	$K_z$	$q_z = 0,613 \cdot K_z \cdot K_e \cdot V^2$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_z \cdot C_p$ (Presión)	$q_z \cdot C_p$ (Succión)
53	1,16	2,30	1,84	-0,88
46,6	1,12	2,22	1,78	-0,85
41,5	1,08	2,15	1,72	-0,82
37,5	1,05	2,09	1,67	-0,79
33,2	1,02	2,03	1,62	-0,77
29,8	0,98	1,95	1,56	-0,74
25,6	0,94	1,87	1,49	-0,71
17,1	0,84	1,67	1,33	-0,63
11	0,74	1,47	1,18	-0,56
5,3	0,6	1,19	0,95	-0,45
0	0,57	1,13	0,91	-0,43

Tabla 5. Valores en dirección paralela a la fachada oeste (dirección X)

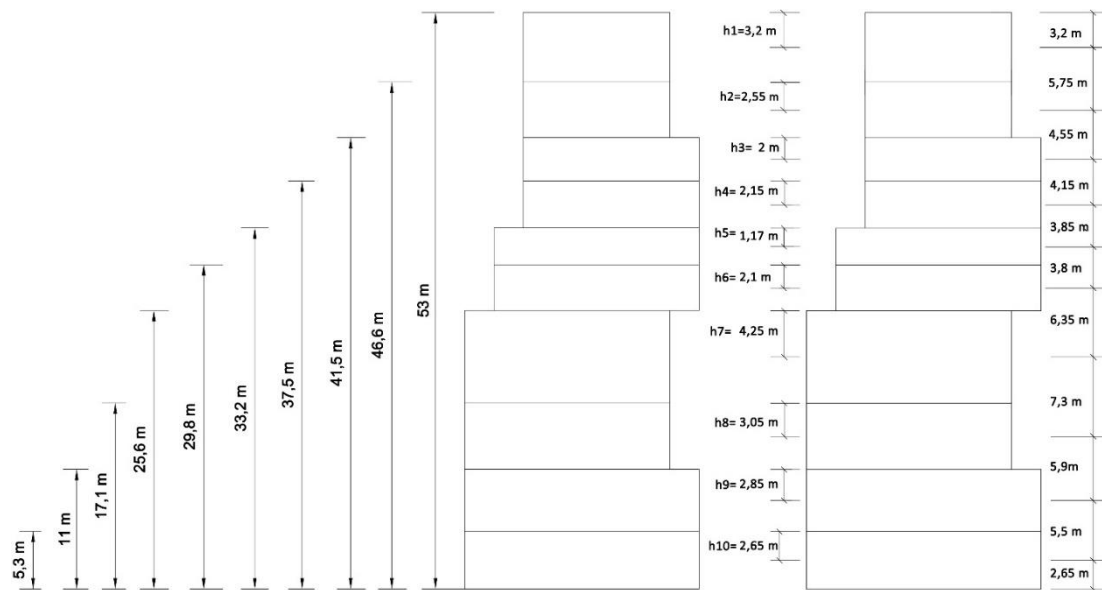


Figura 50. Alzado oeste del edificio, con las alturas de cada planta. Elaboración propia.

Para repartir la carga de viento a las vigas de borde hay que transformarla en una carga lineal.

	Z (m)	$q_z \cdot C_p$ (kN/m <sup>2</sup> )	kN/m	$q_z \cdot C_p$ (kN/m <sup>2</sup> )	kN/m
h1= 3,20	h1=3,20	1,84	5,89	-0,65	-2,08
h2= 2,55	h1 + h2=5,75	1,78	10,43	-0,62	-3,661
h3= 2	h2+h3= 4,55	1,72	7,98	-0,60	-2,78
h4=2,15	h3+h4=4,15	1,67	7,03	-0,58	-2,45
h5=1,7	h4+h5=3,85	1,62	6,34	-0,57	-2,22
h6=2,1	h5+h6=3,8	1,56	6,03	-0,55	-2,12
h7=4,25	h6+h7=6,35	1,49	9,61	-0,52	-3,37
h8=3,05	h7+h8=7,3	1,33	10,39	-0,47	-3,64
h9=2,85	h8+h9= 5,9	1,18	7,42	-0,41	-2,60
h10=2,65	h9+h10=5,5	0,95	5,88	-0,33	-2,04
	h10=2,65	0,91	2,52	-0,32	-0,87

Tabla 6. Valores en dirección perpendicular a la fachada oeste (dirección Y)

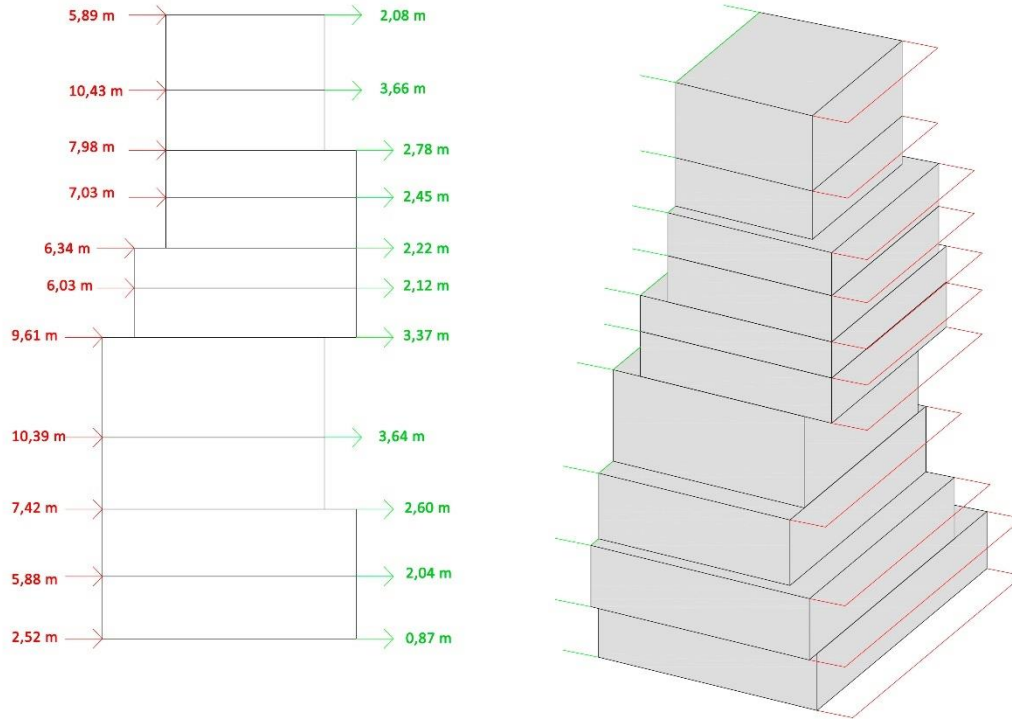


Figura 51. Cargas de viento horizontal aplicada en las vigas de borde en la dirección Y. (Elaboración propia).

	Z (m)	$q_z \cdot C_p$ (kN/m <sup>2</sup> )	kN/m	$q_z \cdot C_p$ (kN/m <sup>2</sup> )	kN/m
h1= 3,20	h1=3,20	1,84	5,89	-0,88	-2,82
h2= 2,55	h1 + h2=5,75	1,78	10,43	-0,85	-4,9835
h3= 2	h2+h3= 4,55	1,72	7,98	-0,82	-3,81
h4=2,15	h3+h4=4,15	1,67	7,03	-0,79	-3,34
h5=1,7	h4+h5=3,85	1,62	6,34	-0,77	-3,01
h6=2,1	h5+h6=3,8	1,56	6,03	-0,74	-2,86
h7=4,25	h6+h7=6,35	1,49	9,61	-0,71	-4,57
h8=3,05	h7+h8=7,3	1,33	10,39	-0,63	-4,94
h9=2,85	h8+h9= 5,9	1,18	7,42	-0,56	-3,52
h10=2,65	h9+h10=5,5	0,95	5,88	-0,45	-2,79
	h10=2,65	0,91	2,52	-0,43	-1,19

Tabla 7. Valores en dirección paralela a la fachada oeste (dirección X)



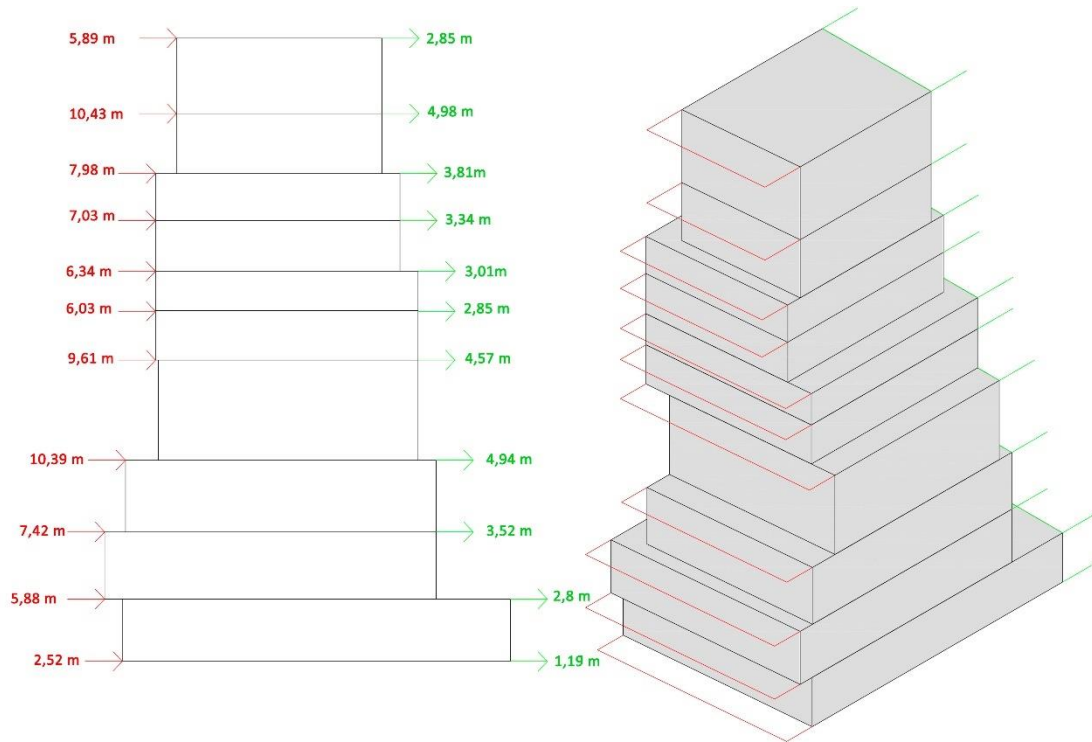


Figura 52. Cargas de viento horizontal aplicada en las vigas de borde en la dirección X. (Elaboración propia)

### III. Carga de nieve

Nueva York se encuentra en una zona en la que  $p_g = 20 \text{ lb/ft}^2$  (Figura 53 y 54). Según la normativa americana (ASCE/SEI 7-16), cuando la carga de nieve en el suelo ( $p_g$ ) es  $20 \text{ lb/ft}^2$  ( $0,96 \text{ kN/m}^2$ ) o menos:

La carga de nieve mínima para techos de baja inclinación será:

$$p_m = I_s \cdot p_g = 1,1 \cdot 0,96 \text{ kN/m}^2 = 1,056 \text{ kN/m}^2$$

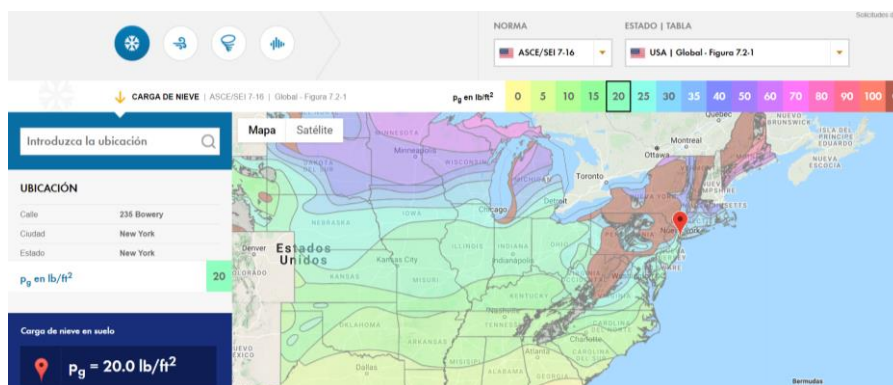


Figura 53. Valor de la carga de nieve en el suelo. ("Cargas de nieve en Estados Unidos según ASCE," n.d.)

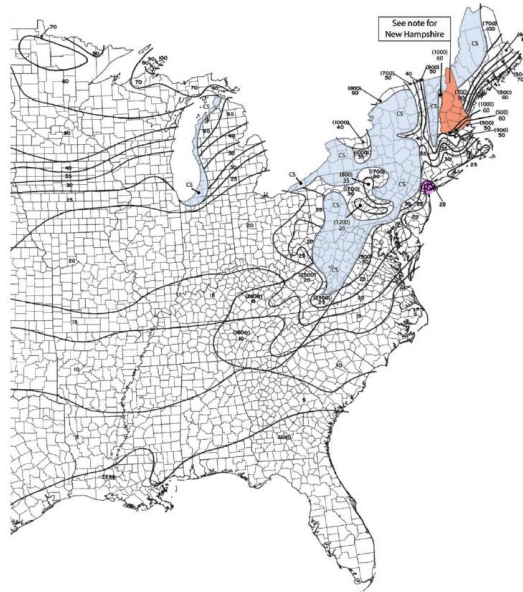


Figura 54. Ground Snow Loads,  $pg$ , for the United States ( $lb/ft^2$ ). (American Society of Civil Engineers, 2016)

Table 1.5-1 Risk Category of Buildings and Other Structures for Flood, Wind, Snow, Earthquake, and Ice Loads

Use or Occupancy of Buildings and Structures	Risk Category
Buildings and other structures that represent low risk to human life in the event of failure	I
All buildings and other structures except those listed in Risk Categories I, III, and IV	II
Buildings and other structures, the failure of which could pose a substantial risk to human life	III

Table 1.5-2 Importance Factors by Risk Category of Buildings and Other Structures for Snow, Ice, and Earthquake Loads

Risk Category from Table 1.5-1	Snow Importance Factor, $I_s$	Ice Importance Factor—Thickness, $I_i$	Ice Importance Factor—Wind, $I_w$	Seismic Importance Factor, $I_e$
I	0.80	0.80	1.00	1.00
II	1.00	1.00	1.00	1.00
III	1.10	1.15	1.00	1.25
IV	1.20	1.25	1.00	1.50

Figura 55. 01: Categoría de Riesgo según el tipo de edificio. 02: Factor  $I_s$ . (American Society of Civil Engineers, 2016)

#### IV. Carga de sismo

Nueva York es una zona de sismicidad muy baja (Figura 56). Por ello no se calculan los efectos provocados por el sismo en el trabajo debido a su poca influencia.

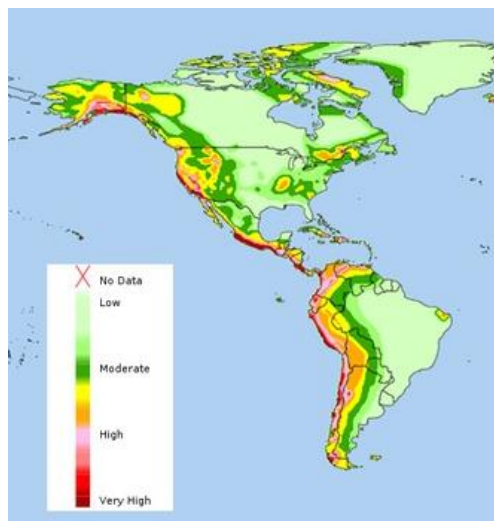


Figura 56. Mapa de actividad sísmica en América. ("Mapa del día: las zonas del mundo con mayor actividad sísmica - Infobae," 2014)

### 5.3 Combinación de Acciones

La combinación de cargas se hace en el programa SAP200 de acuerdo con lo establecido en el *Código Técnico de la Edificación (CTE)* y el apartado 4.2.2 del *Documento Básico de Seguridad Estructural (DB-SE)*. En la norma se distingue entre combinaciones para estados límite último y de servicio. El estado límite último es el que, al ser rebasado, la estructura colapsa al superar su capacidad resistente mientras que el estado límite de servicio es aquel que de ser superado produce una pérdida de funcionalidad o excesiva deformación de la estructura.

- Estado límite último (ELU)

Como se especifica en el apartado 4.2.2 *Combinación de acciones*, “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 siguiente expresión:

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

*Considerando la acción simultanea de todas las acciones permanentes, en valor de cálculo, y una acción variable cualquiera, en valor de cálculo, debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis, y el resto de las acciones variables, en valor de cálculo de combinación.”* (“Documento Básico-Seguridad estructural,” 2007)

Los valores del coeficiente de seguridad,  $\gamma$ , son los que se muestran en la Figura 57.01. dependiendo del tipo de acción y los valores de los coeficientes de simultaneidad,  $\psi$ , son los que se muestran en la Figura 57.02.

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

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

**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)		<sup>(1)</sup>	
• 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

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

Figura 57. 01: Coeficientes parciales de seguridad para las acciones. 02: Coeficientes de simultaneidad.  
 (“Documento Básico-Seguridad estructural,” 2007)

- Estado límite de servicio (ELS)

Como se especifica en el apartado 4.3.2 *combinación de acciones*, para comprobar a estabilidad se definen las siguientes combinaciones

- Combinación Característica  

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

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

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

(“CTE-DBSE,” 2007)

De este modo en primer lugar se han definido, tanto para ELS como para ELU, una combinación de acciones que únicamente tiene en cuenta las cargas permanentes:

ELSp	<b>1 · G</b>		ELUp	<b>1,35 · G</b>
------	--------------	--	------	-----------------

Después se han definido unas combinaciones que tienen en cuenta cada acción variable de manera aislada. (SCU, SCN, SCV)

ELSu	<b>1 · G + 1 · SCU</b>		ELUu	<b>1,35 · G + 1,5 · SCU</b>
ELSn	<b>1 · G + 1 · SCN</b>		ELUn	<b>1,35 · G + 1,5 · SCN</b>
ELSV	<b>1 · G + 1 · SCV</b>		ELUv	<b>1,35 · G + 1,5 · SCV</b>

Para tener en cuenta los efectos debidos a acciones de corta duración como puede ser la SCU, se ha utilizado la siguiente expresión:

ELSqpu	<b>1 · G + <math>\psi_2</math> · SCU</b>
$\psi_2 (0,6)$	<b>1 · G + <b>0,6</b> · SCU</b>

Finalmente, para ELU, se ha utilizado la expresión de la normativa que tiene en cuenta los efectos de las acciones correspondiente a una situación persistente o transitoria que se determina mediante la combinación de acciones, considerando las cargas permanentes, una carga variable como principal y el resto de las cargas multiplicadas por el coeficiente de simultaneidad, mediante la siguiente expresión:  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_1 + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot Q_2 + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot Q_3$

A través de la tabla de la *Figura 57.02*, obtenemos los coeficientes de simultaneidad  $\psi_0$  para los tres tipos de acciones variables, la sobrecarga de usos, la sobrecarga de viento y la sobrecarga de nieve.

- $\psi_0 = 0,7$  para la sobrecarga de uso
- $\psi_0 = 0,6$  para la sobrecarga de viento
- $\psi_0 = 0,5$  para la sobrecarga de nieve

Sustituyendo en la expresión los coeficientes se obtienen las siguientes combinaciones:

$$\begin{array}{ll}
 \text{ELUunv} & 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot \text{SCU} + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot \text{SCN} + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot \text{SCV} & \mathbf{1,35 \cdot G + 1,5 \cdot \text{SCU} + 0,5 \cdot 1,5 \cdot \text{SCN} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot \text{SCV}} \\
 \text{ELUnuv} & 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot \text{SCN} + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot \text{SCU} + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot \text{SCV} & \mathbf{1,35 \cdot G + 1,5 \cdot \text{SCN} + 0,7 \cdot 1,5 \cdot \text{SCU} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot \text{SCV}} \\
 \text{ELUvun} & 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot \text{SCV} + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot \text{SCU} + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot \text{SCN} & \mathbf{1,35 \cdot G + 1,5 \cdot \text{SCV} + 0,7 \cdot 1,5 \cdot \text{SCU} + 0,5 \cdot 1,5 \cdot \text{SCN}}
 \end{array}$$

En resumen, todas las combinaciones que se han definido son las siguientes <sup>1</sup>:

ELSp	ELUp
ELSu	ELUu
ELSn	ELUn
ELSvx	ELUvx
ELSvy	ELUvy
ELSqpu	ELUunv
	ELUnuv
	ELUvun

Una vez definidas todas las combinaciones posibles para el cálculo lineal de la estructura, se han introducido en el programa SAP2000, en el menú *Define-Load-Combinations*. Para todos los casos se ha elegido el tipo de combinación lineal, y se han añadido los coeficientes parciales de seguridad y los coeficientes de simultaneidad (Figura 58), adoptando 1,35 para el peso propio y carga permanente, 1,5 para cargas variables, 0,9 cargas de viento ( $1,5 \cdot \psi_0$  (0,6)) y 0,75 para cargas de nieve ( $1,5 \cdot \psi_0$  (0,5)).

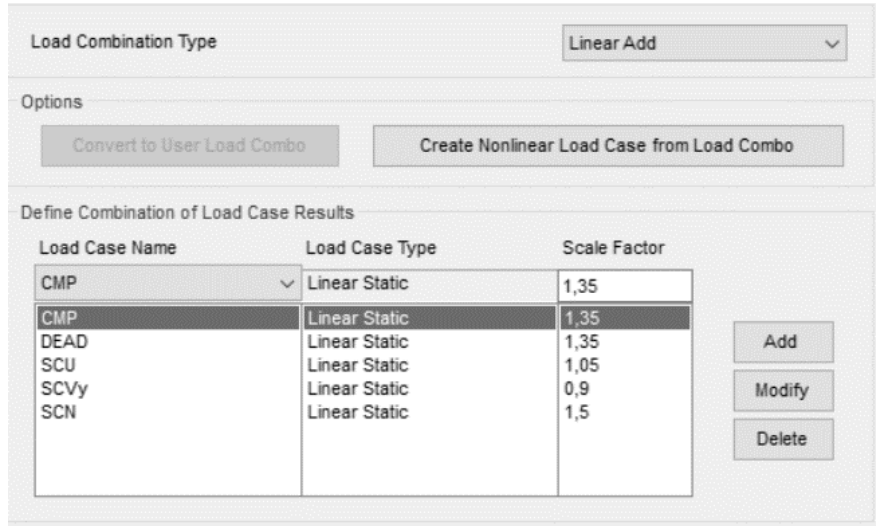


Figura 58. Coeficientes de seguridad aplicados en SAP2000.

<sup>1</sup> Para las combinaciones de viento se tienen en cuenta las dos direcciones principales, X e Y.

## 6. Análisis estructural

### 6.1 Enlaces y apoyos

Una vez asignadas las secciones y las cargas al modelo, hay que definir los enlaces entre las barras y los apoyos, para comprobar que no hay ninguna desconexión y que la geometría del modelo es correcta. Para los apoyos como ya se ha comentado anteriormente, no se ha representado la cimentación real, si no que esta se ha sustituido por empotramientos en la base de los soportes de planta baja, mediante *Asing-joint-restraints*.

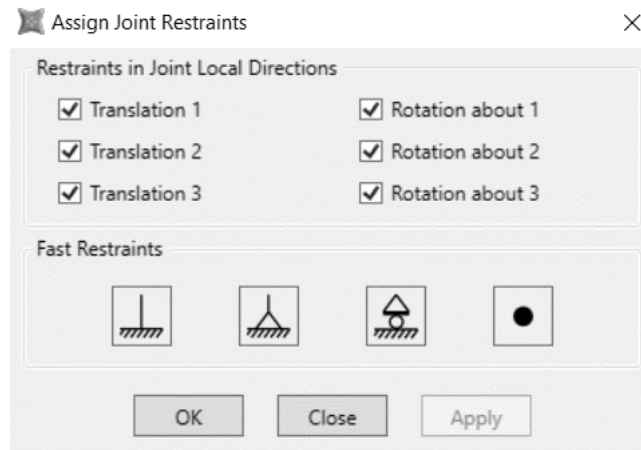


Figura 59. Asignación de empotramientos en los soportes de planta baja.

## 6.2 Resultados de cálculo

### I. Comprobación a deformación (ELS)

#### I.1. Deformación vertical: Flecha

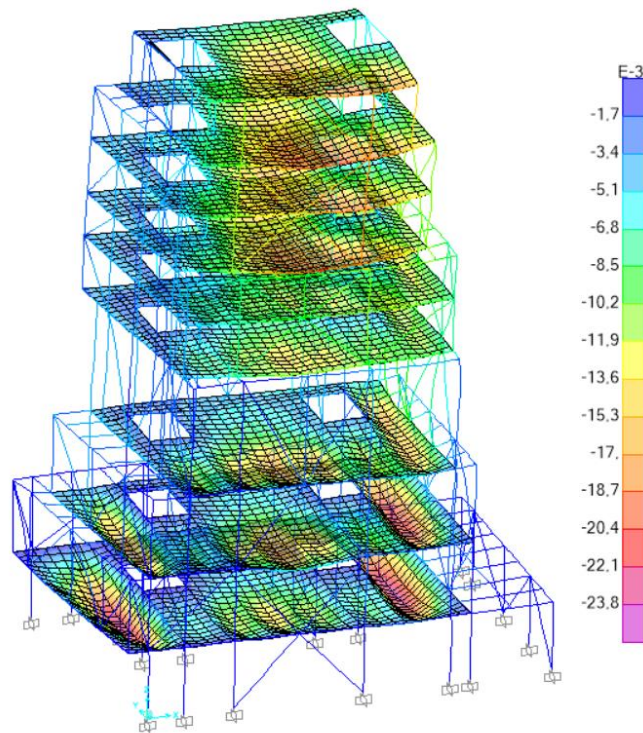


Figura 60. Deformada general ELSu. Deformaciones en el eje z. (Elaboración propia)

Según lo especificado en el Código Técnico “es necesario comprobar las deformaciones verticales de los elementos horizontales para que cumplan con las exigencias que se exponen en el apartado 4.3.3.1 Flechas del DBSE”:

#### - Integridad de elementos constructivos

Se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante las combinaciones de acciones característica, considerando solo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento, la flecha relativa es menor que 1/500, 1/400 o 1/300. (“Documento Básico-Seguridad estructural,” 2007). Según las características de la tabiquería y pavimentos se ha considerado la limitación 1/400 para todos los forjados y la limitación 1/300 para la cubierta.

Esta comprobación busca garantizar la integridad de los elementos constructivos que pueden verse dañados por la flecha de los forjados, por ello solo hay que tener en cuenta las cargas que actúan después de la puesta en obra del elemento. Los elementos constructivos como tabiques y pavimentos se colocan después de la estructura, por lo que el peso propio de la misma no se debe tener en cuenta en esta comprobación.

#### - 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. (“Documento Básico-Seguridad estructural,” 2007)

Para esta comprobación solo se tienen en cuenta las acciones de corta duración. Por ello solo se considerará la flecha producida por la sobrecarga de uso. Para el cálculo en el programa informático se realizará la comprobación con la hipótesis SCU.

- 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. ("Documento Básico-Seguridad estructural," 2007)

Para esta comprobación se deben tener en cuenta todas las cargas que actúan, es decir todas las acciones permanentes, en valor característico y todas las acciones variables en valor casi permanente ( $\psi_2 (0,6)$ ).

Estas condiciones se tienen que verificar entre dos puntos de la planta, tomando como luz el doble de la distancia entre ellos. Se comprobarán las dos direcciones principales ortogonales del modelo.

### INTEGRIDAD DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Para esta comprobación utilizamos la combinación ELS característica de integridad:

$$1 \cdot \text{Permanentes}^2 \quad 1 \cdot \text{Uso} \quad 0,5 \cdot \text{Nieve} \quad 0,6 \cdot \text{Viento}$$

En ambas direcciones se verificará que la flecha entre dos puntos cumpla, tomando como luz el doble de la distancia entre ellas. Se obtiene la deformada en alzado XZ del modelo completo (Figura 61) y es destacable la flecha que se produce en los forjados 1 y 2, en los extremos de estos. Por ello vamos a analizar la flecha en ambos puntos.

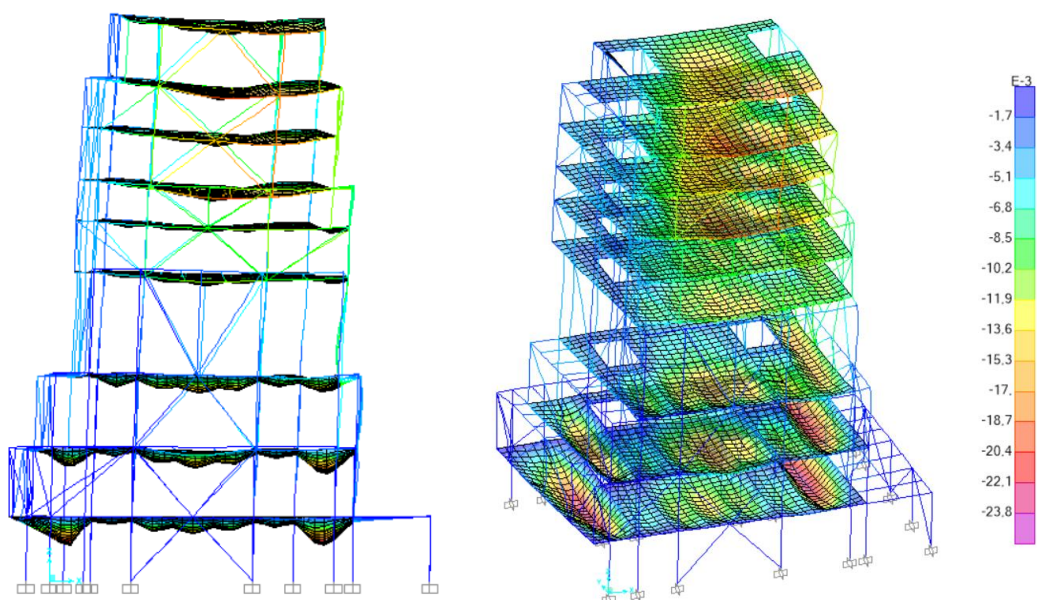


Figura 61. 01: Deformada ELS característica de integridad. Alzado XZ. 02: Deformada ELS característica de integridad. Deformaciones en el eje z (Elaboración propia)

<sup>2</sup> Teniendo en cuenta el proceso constructivo, en las cargas permanentes no se ha incluido el peso propio de la estructura, para esta comprobación.



- Forjado 1

Los valores obtenidos en la dirección X son  $U_3 = -0,00232$  m y  $U_3 = -0,02268$  m. La distancia entre ambos puntos es de 4,12 m.

$$f_{forjado} = 2L/400 = (2 \cdot 4,12) / 400 = 0,0206 \text{ m} > 0,02268 - 0,00232 = 0,02036 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

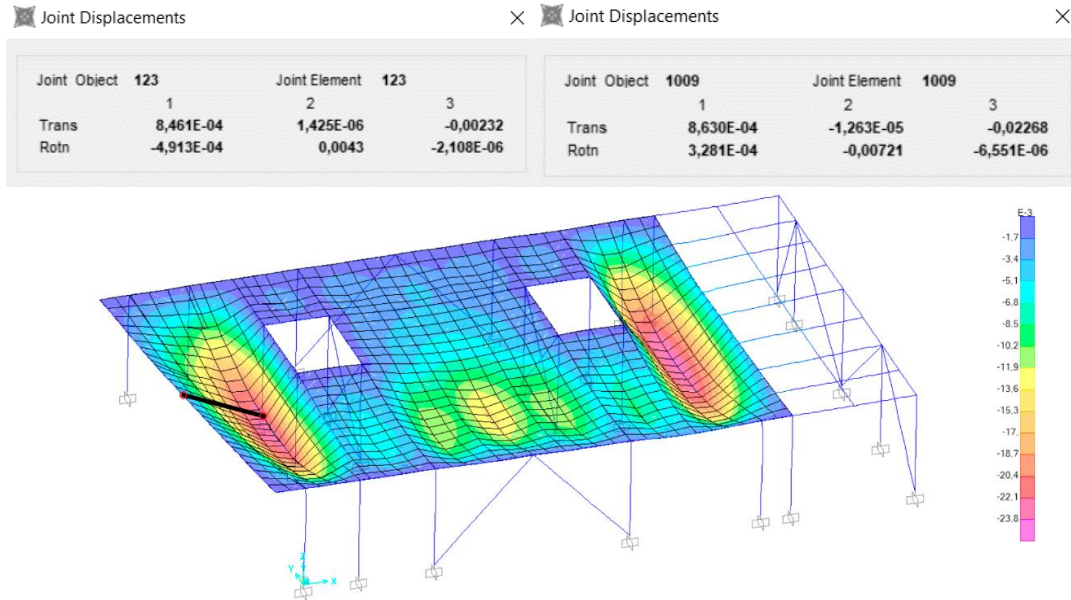


Figura 62. Deformada ELS característica de integridad. Valores en la dirección X (Elaboración propia)

Los valores obtenidos en la dirección Y son  $U_3 = -0,0002949$  m y  $U_3 = -0,02268$  m y. La distancia entre ambos puntos es de 10,8 m.

$$f_{forjado} = 2L/400 = (2 \cdot 10,8) / 400 = 0,054 \text{ m} > 0,02268 - 0,0002949 = 0,02238 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

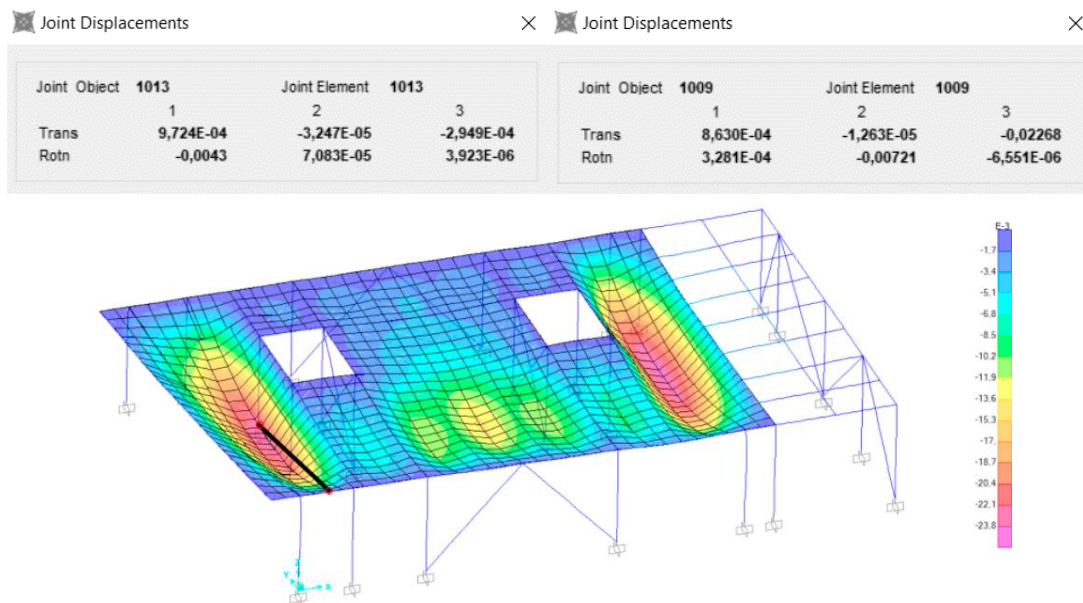


Figura 63. Deformada ELS característica integridad. Valores en la dirección Y (Elaboración propia)

- Forjado 2

Los valores obtenidos en la dirección X son  $U_3 = -0,00344$  m y  $U_3 = -0,02202$  m. La distancia entre ambos puntos es de 3,8 m.

$$f_{forjado} = 2L/400 = (2 \cdot 3,8) / 400 = 0,019 \text{ m} > 0,02202 - 0,00344 = 0,01858 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

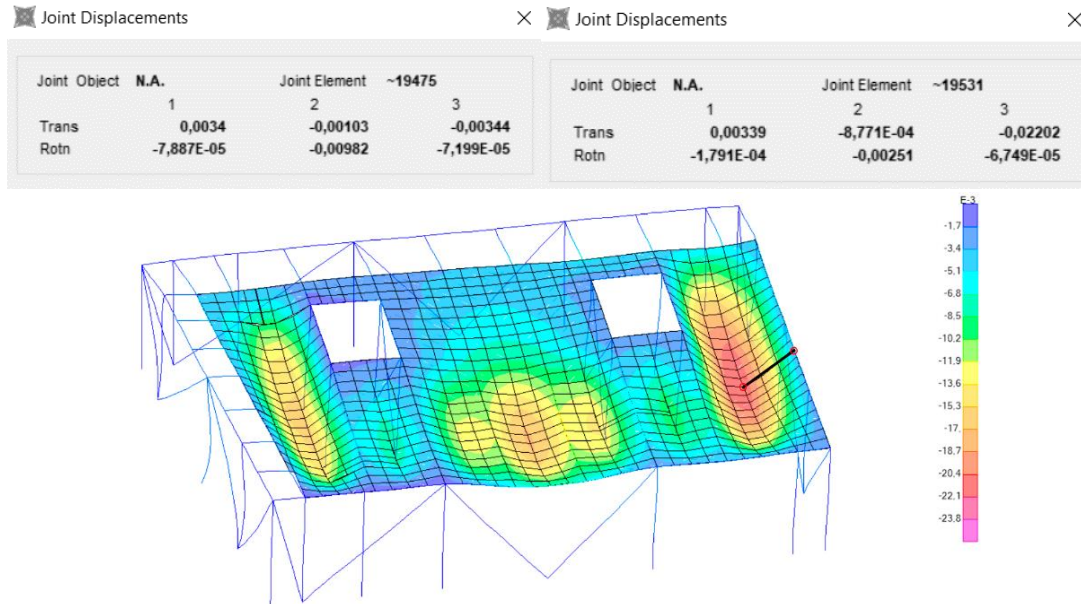


Figura 64. Deformada ELS característica de integridad. Valores en la dirección X (Elaboración propia)

Los valores obtenidos en la dirección Y son  $U_3 = -0,00222$  m y  $U_3 = -0,02202$  m. La distancia entre ambos puntos es de 11,5 m.

$$f_{forjado} = 2L/400 = (2 \cdot 11,5) / 400 = 0,0575 \text{ m} > 0,02202 - 0,00222 = 0,0217 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

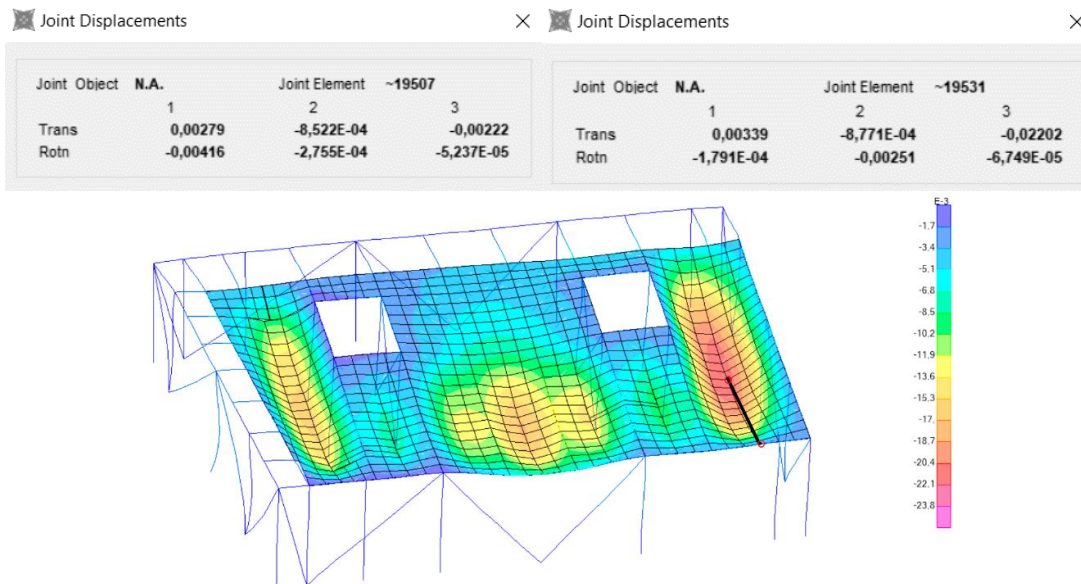


Figura 65. Deformada ELS característica integridad. Valores en la dirección Y (Elaboración propia)

## CONFORT DE LOS USUARIOS

Para la verificación de confort como se ha explicado anteriormente solo se tiene en cuenta la carga de uso. Se obtiene la deformada para la combinación SCU.

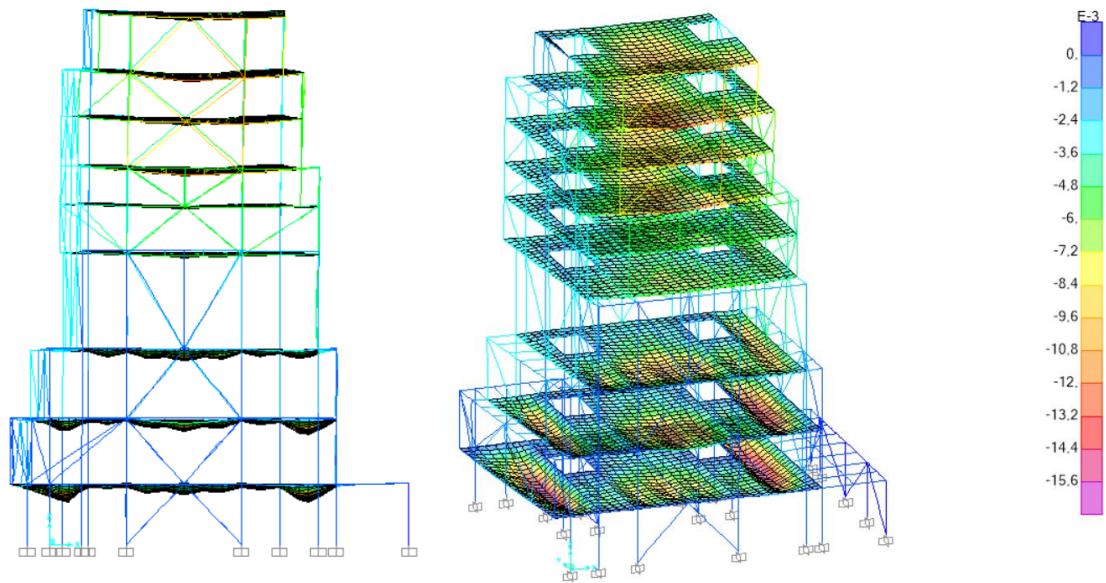


Figura 66.01: Deformada SCU. Alzado XZ. 02: Deformada SCU. Deformaciones en el eje Z. (Elaboración propia)

Al igual que en el caso anterior las deformaciones más importantes se producen en los forjados 1 y 2 en los extremos. Por ello que vamos a analizar la flecha en ambos puntos.

### - Forjado 1

Los valores obtenidos en la dirección X son  $U_3 = -0,00183$  m y  $U_3 = -0,01514$  m. La distancia entre ambos puntos es de 4,12 m.

$$f_{\text{forjado}} = 2L/350 = (2 \cdot 4,12) / 350 = 0,0235 \text{ m} > 0,01514 - 0,00183 = 0,02036 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

Joint Displacements				Joint Displacements			
Joint Object	123	Joint Element	123	Joint Object	1009	Joint Element	1009
	1	2	3		1	2	3
Trans	-4,115E-05	-1,151E-04	-0,00183	Trans	-2,109E-05	-1,257E-04	-0,01514
Rotn	-2,876E-04	0,00261	-2,685E-06	Rotn	2,277E-04	-0,00476	-2,327E-06

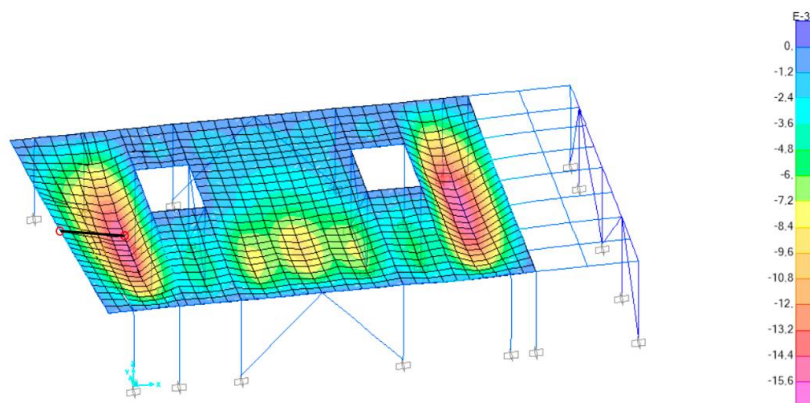


Figura 67. Deformada SCU. Valores en la dirección X (Elaboración propia)

Los valores obtenidos en la dirección Y son  $U_3 = -0,0003265$  m y  $U_3 = -0,01514$  m. La distancia entre ambos puntos es de 10,8 m.

$$f_{forjado} = 2L/350 = (2 \cdot 10,8) / 350 = 0,0617 \text{ m} > 0,01514 - 0,0003265 = 0,01481 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

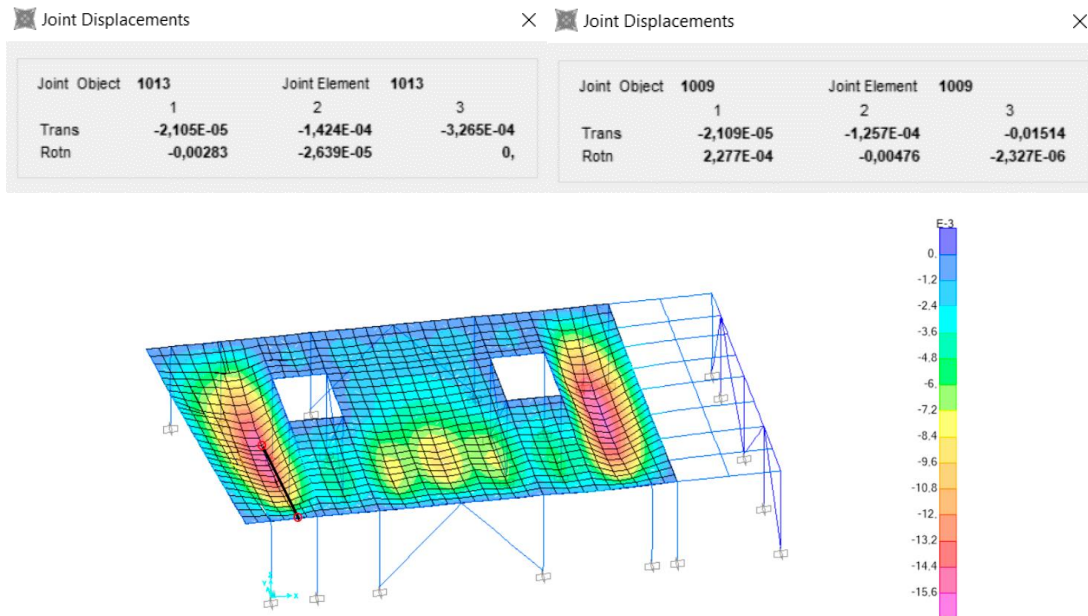


Figura 68. Deformada SCU. Valores en la dirección Y (Elaboración propia)

- Forjado 2

Los valores obtenidos en la dirección X son  $U_3 = -0,00177$  m y  $U_3 = -0,01428$  m. La distancia entre ambos puntos es de 3,8 m.

$$f_{forjado} = 2L/350 = (2 \cdot 3,8) / 350 = 0,0217 \text{ m} > 0,01428 - 0,00177 = 0,013 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

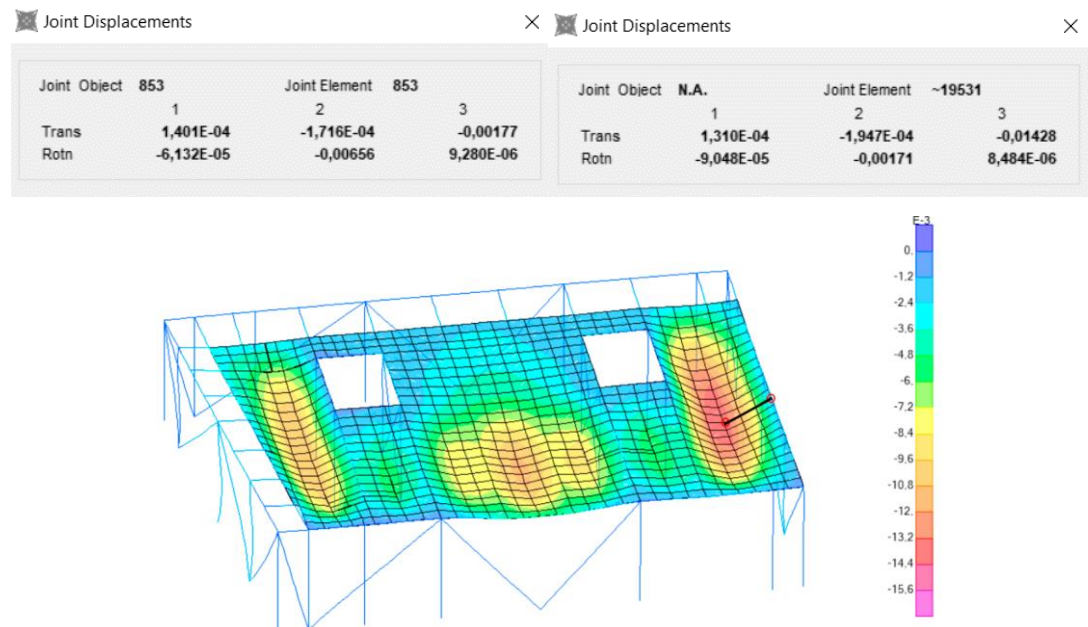


Figura 69. Deformada SCU. Valores en la dirección X (Elaboración propia)

Los valores obtenidos en la dirección Y son  $U_3 = -0,00133$  m y  $U_3 = -0,01428$  m. La distancia entre ambos puntos es de 11,5 m.

$$f_{forjado} = 2L/350 = (2 \cdot 11,5) / 350 = 0,0657 \text{ m} > 0,01428 - 0,00133 = 0,01295 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

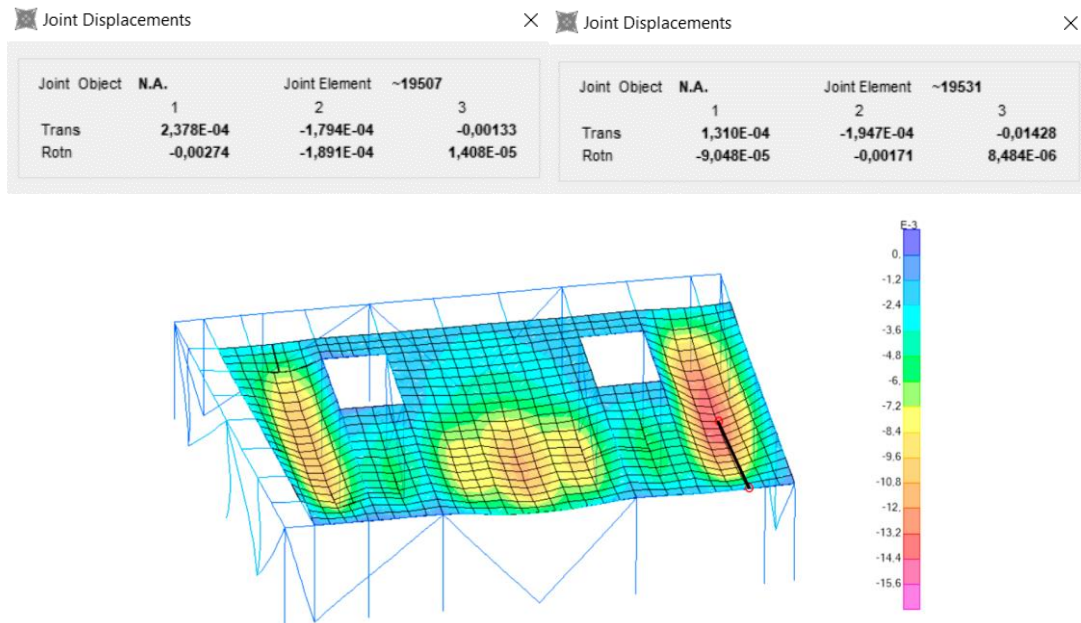


Figura 70. Deformada SCU. Valores en la dirección Y (Elaboración propia)

#### APARIENCIA DE LA OBRA

Para esta comprobación se obtiene la deformada mediante la combinación de acciones casi permanente, en la que se tienen en cuenta todas las cargas que actúan.

Para esta comprobación utilizamos la combinación ELSqpu:

$$\begin{aligned} \text{ELSqpu} & \quad 1 \cdot G + \psi_2 \cdot \text{SCU} \\ \psi_2 (0,6) & \quad 1 \cdot G + 0,6 \cdot \text{SCU} \end{aligned}$$

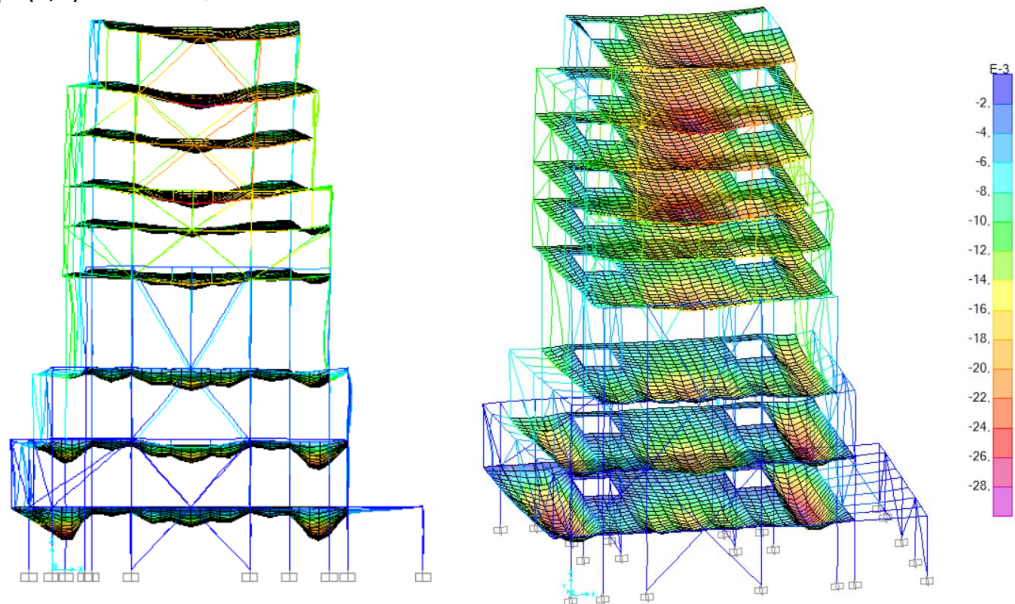


Figura 71. 01: Deformada ELSqpu. Alzado XZ. 02: Deformada SCU. Deformaciones en el eje Z. (Elaboración propia)

Al igual que en los casos anteriores las deformaciones más importantes se producen en los forjados 1 y 2 en los extremos. Por ello que vamos a analizar la flecha en ambos puntos.

- Forjado 1

Los valores obtenidos en la dirección X son  $U_3 = -0,00463$  m y  $U_3 = -0,02712$  m. La distancia entre ambos puntos es de 4,12 m.

$$f_{forjado} = 2L/300 = (2 \cdot 4,12) / 300 = 0,027 \text{ m} > 0,02712 - 0,00463 = 0,02249 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

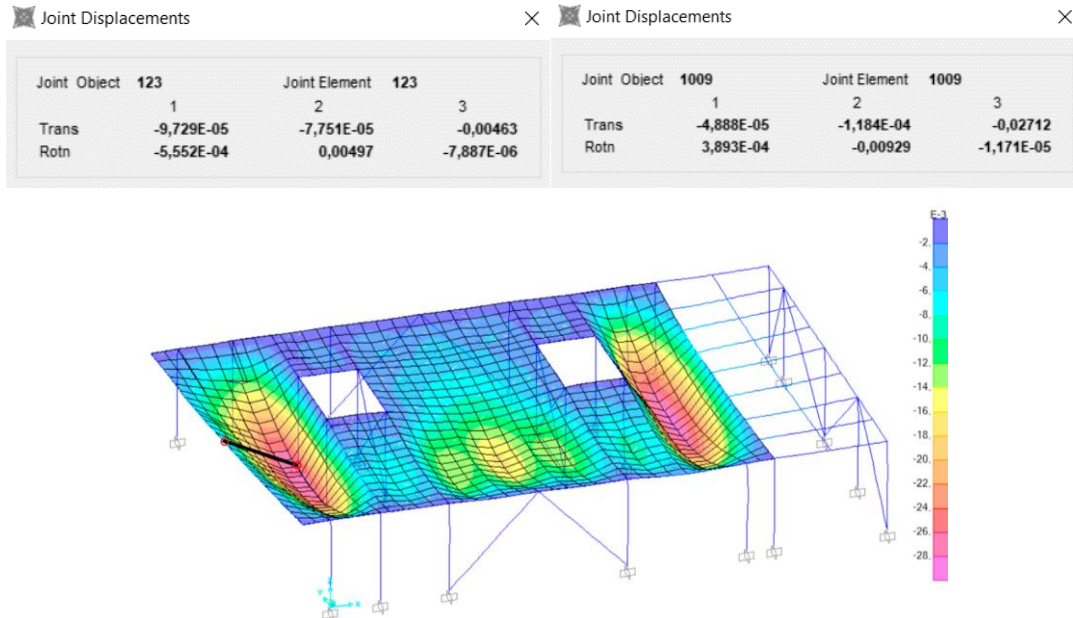


Figura 72. Deformada ELSqpu. Valores en la dirección X (Elaboración propia)

Los valores obtenidos en la dirección Y son  $U_3 = -0,0007622$  m y  $U_3 = -0,02712$  m. La distancia entre ambos puntos es de 10,8 m.

$$f_{forjado} = 2L/300 = (2 \cdot 10,8) / 300 = 0,072 \text{ m} > 0,02712 - 0,0007622 = 0,0264 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

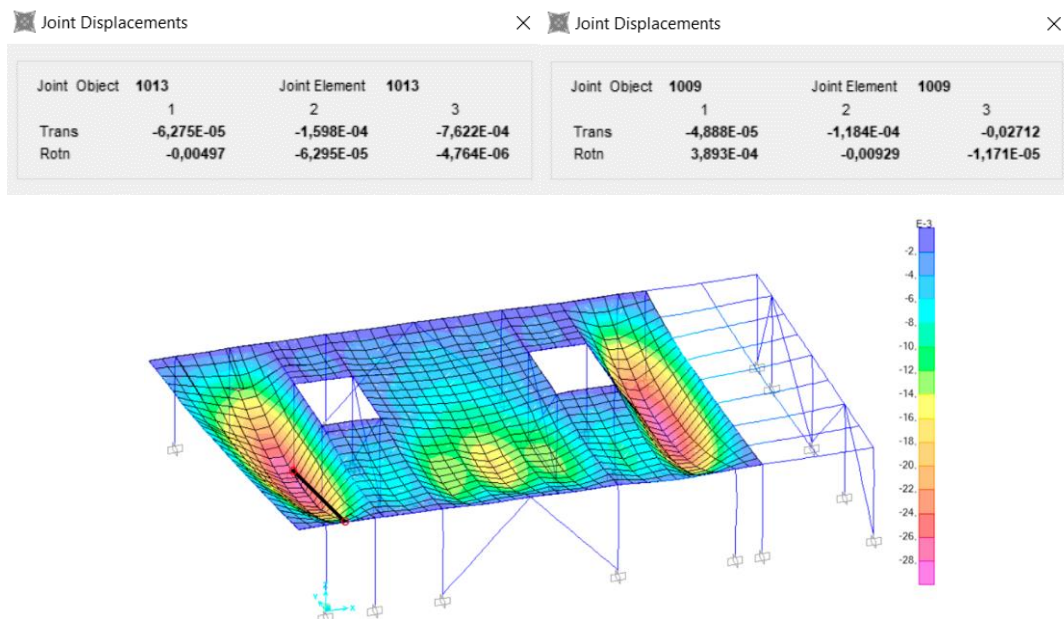


Figura 73. Deformada ELSqpu. Valores en la dirección Y (Elaboración propia)

- Forjado 2

Los valores obtenidos en la dirección X son  $U_3 = -0,00461$  m y  $U_3 = -0,02655$  m. La distancia entre ambos puntos es de 3,8 m.

$$f_{forjado} = 2L/300 = (2 \cdot 3,8) / 300 = 0,0253 \text{ m} > 0,02655 - 0,00461 = 0,0219 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

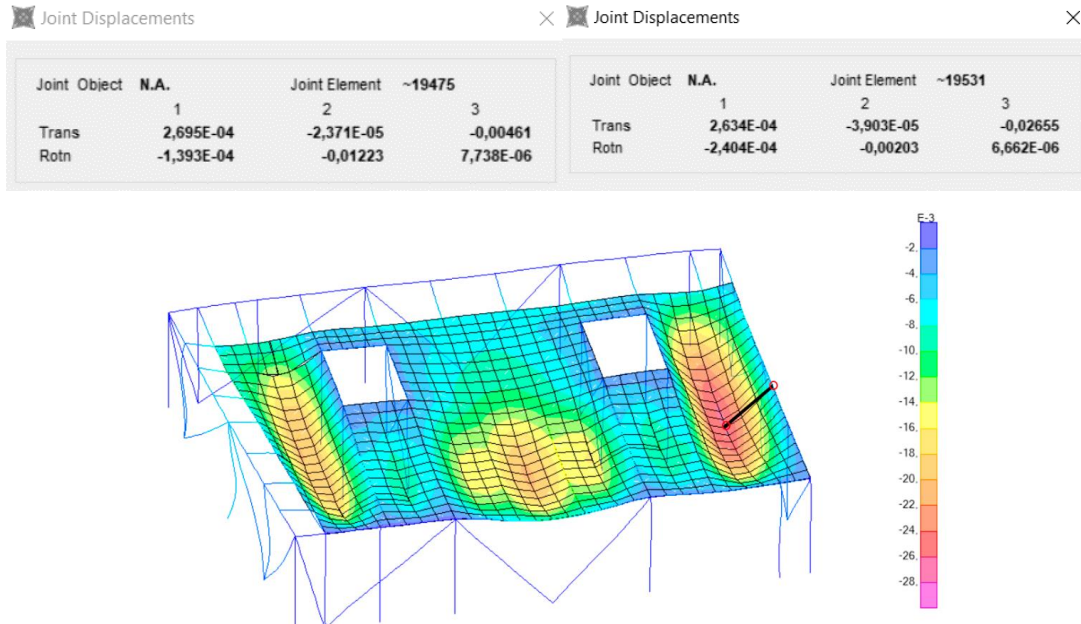


Figura 74. Deformada ELSqup. Valores en la dirección X (Elaboración propia)

Los valores obtenidos en la dirección Y son  $U_3 = -0,00291$  m y  $U_3 = -0,02655$  m. La distancia entre ambos puntos es de 11,5 m.

$$f_{forjado} = 2L/300 = (2 \cdot 11,5) / 300 = 0,0767 \text{ m} > 0,02655 - 0,00291 = 0,02364 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

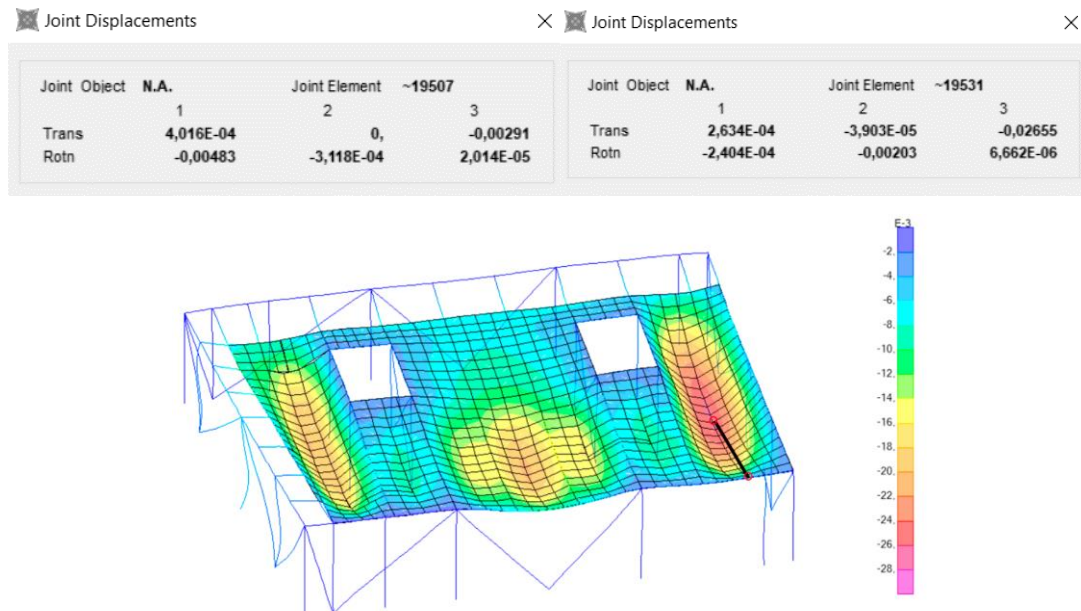


Figura 75. Deformada ELSqup. Valores en la dirección Y (Elaboración propia)

## I.2. Deformación horizontal: Desplome horizontal

Según el DBSE del CTE “cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, susceptibles de ser dañados por desplazamientos horizontales, tales como tabiques o fachadas rígidas, se admite que la estructura global tiene suficiente rigidez lateral, si ante cualquier combinación de acciones característica, el desplome es menor de 1/500 de la altura total del edificio o 1/250 de la altura de la planta”. (“Documento Básico-Seguridad estructural,” 2007)

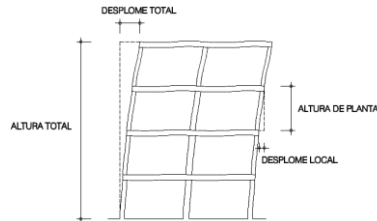


Figura 76. Definición de desplome. CTE

Para esta comprobación vamos a utilizar la combinación más desfavorable en la que el viento es la variable principal, en ambas direcciones.

$$\text{ELSvx+} \quad 1 \cdot G + 1 \cdot \text{SCVx} \quad \text{ELSVy+} \quad 1 \cdot G + 1 \cdot \text{SCVy}$$

- Desplome Lateral ELSvx+

Las cargas de viento horizontales en la dirección X se han asignado a las vigas de borde, en cada planta.

DESPLOME TOTAL:

Para la comprobación del desplome total hay que verificar que este es menor que 1/500 de la altura total del edificio.

$$D_{\text{lateral}}_{\text{TOTAL}} = h/500 = 46,55 \text{ m} / 500 = 0,0931 \text{ m} > U_1 = 0,0381 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

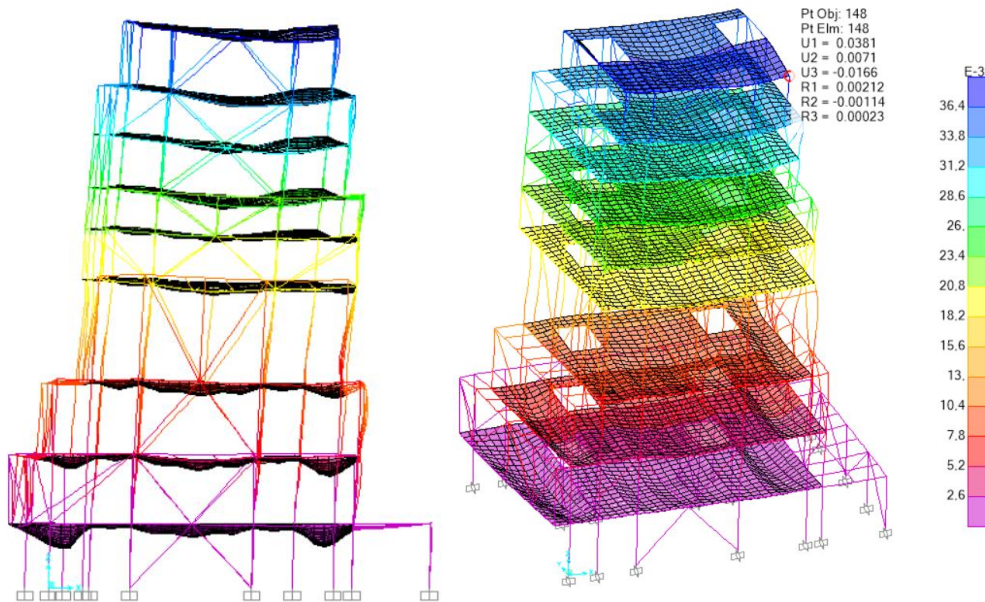


Figura 77. Deformada general ELSvx+ analizando el desplome total en el eje X. (Elaboración propia)



### DESPLOME LOCAL:

Para la comprobación del desplome local hay que verificar que este es menor que  $1/250$  de la altura de cada planta. Para ello sacamos los valores de cada planta del programa de cálculo SAP200.

- Planta 8

$$D_{lateral\text{PARCIAL}} = h/250 = 5,1 \text{ m} / 250 = 0,0204 \text{ m} > 0,0381 - 0,0334 = 0,0047 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

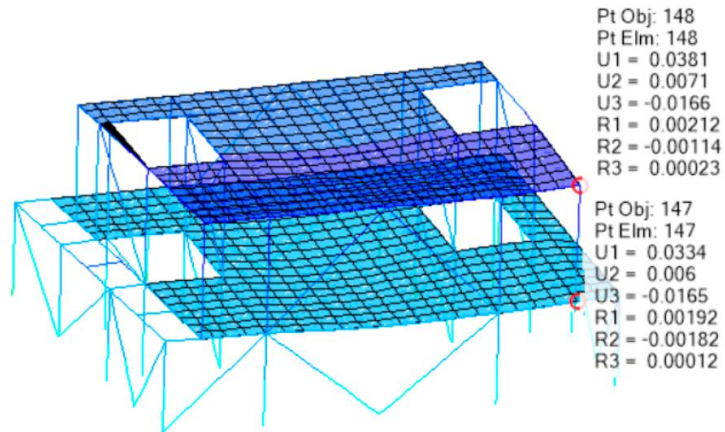


Figura 78. Deformada planta 8 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje X. (Elaboración propia)

- Planta 7

$$D_{lateral\text{PARCIAL}} = h/250 = 4 \text{ m} / 250 = 0,016 \text{ m} > 0,0334 - 0,0295 = 0,0039 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

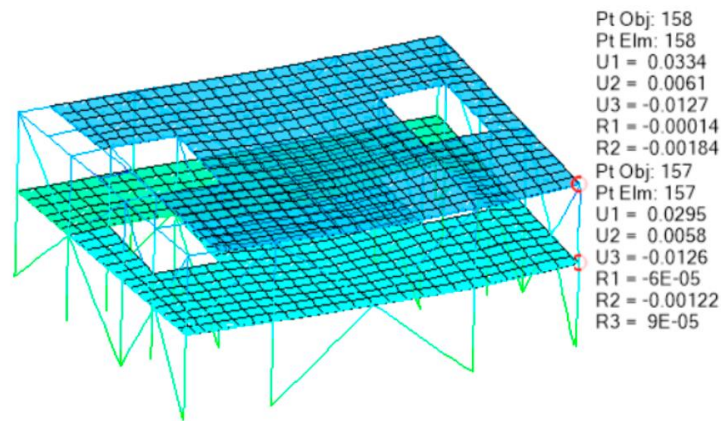


Figura 79. Deformada planta 7 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje X. (Elaboración propia)

- Planta 6

$$Dlateral_{PARCIAL} = h/250 = 4,3 \text{ m} / 250 = 0,0172 \text{ m} > 0,0295 - 0,0254 = 0,0041 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

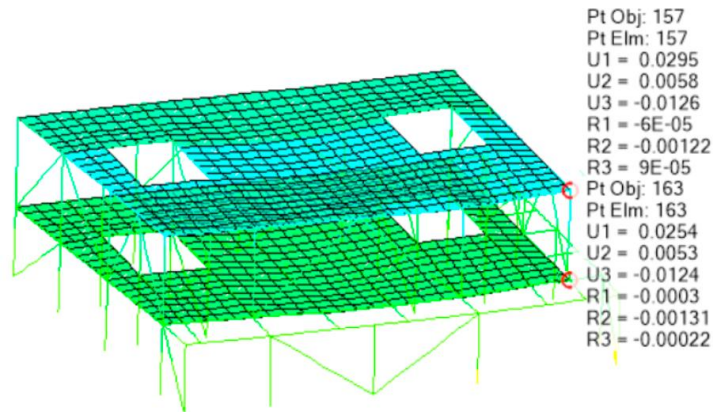


Figura 80. Deformada planta 6 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje X. (Elaboración propia)

- Planta 5

$$Dlateral_{PARCIAL} = h/250 = 3,35 \text{ m} / 250 = 0,0134 \text{ m} > 0,0223 - 0,0196 = 0,00294 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

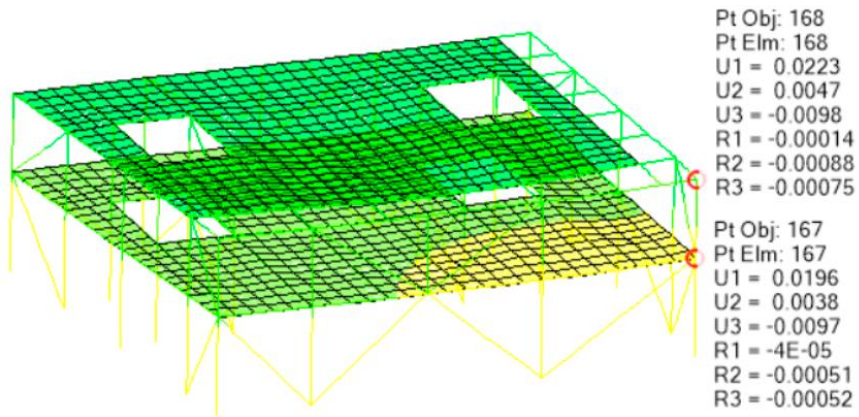


Figura 81. Deformada planta 5 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje X. (Elaboración propia)

- Planta 4

$$Dlateral_{PARCIAL} = h/250 = 4,2 \text{ m} / 250 = 0,0168 \text{ m} > 0,0196 - 0,0192 = 0,0004 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

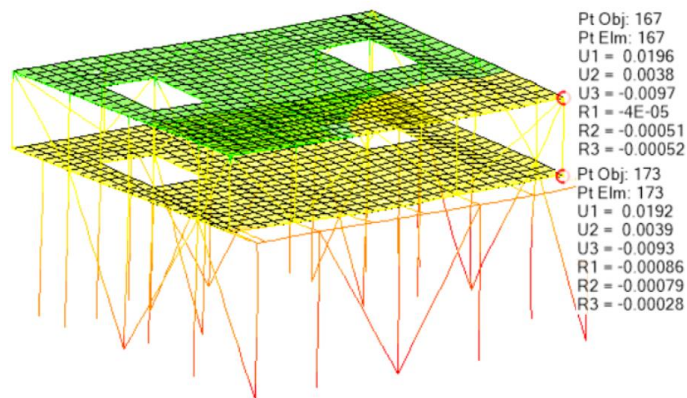


Figura 82. Deformada planta 4 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje X. (Elaboración propia)

- Planta 3

$$Dlateral_{PARCIAL} = h/250 = 8,5 \text{ m} / 250 = 0,034 \text{ m} > 0,012 - 0,0068 = 0,0052 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

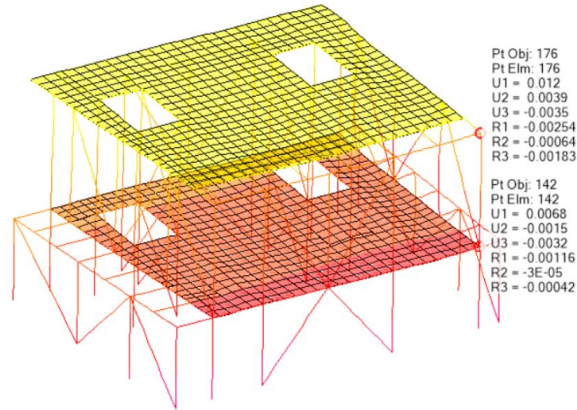


Figura 83. Deformada planta 3 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje X. (Elaboración propia)

- Planta 2

$$Dlateral_{PARCIAL} = h/250 = 6,1 \text{ m} / 250 = 0,0244 \text{ m} > 0,0069 - 0,0043 = 0,0026 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

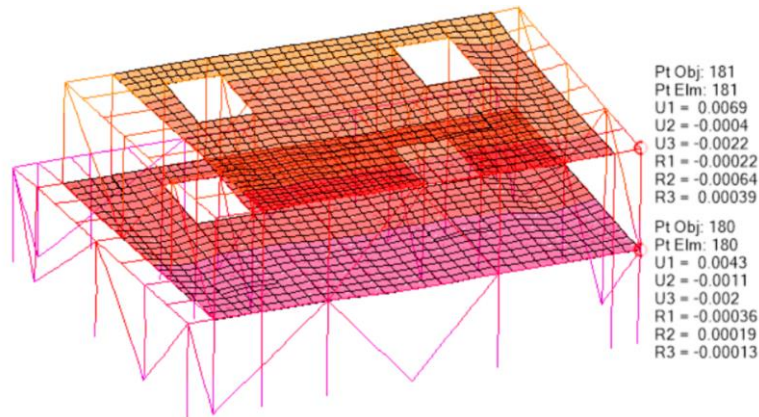


Figura 84. Deformada planta 2 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje X. (Elaboración propia)

- Planta 1

$$Dlateral_{PARCIAL} = h/250 = 5,7 \text{ m} / 250 = 0,0228 \text{ m} > 0,0043 - 0,0011 = 0,0032 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

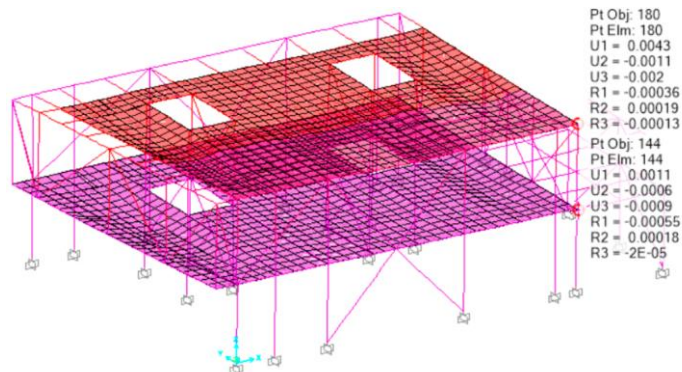


Figura 85. Deformada planta 1 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje X. (Elaboración propia)

- Desplome Lateral ELSvy+

Las cargas de viento horizontales en la dirección Y se han asignado a las vigas de borde, en cada planta.

DESPLOME TOTAL:

Para la comprobación del desplome total hay que verificar que este es menor que 1/500 de la altura total del edificio.

$$D_{lateral_{TOTAL}} = h/500 = 46,55 \text{ m} / 500 = 0,0931 \text{ m} > U_2 = 0,035 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

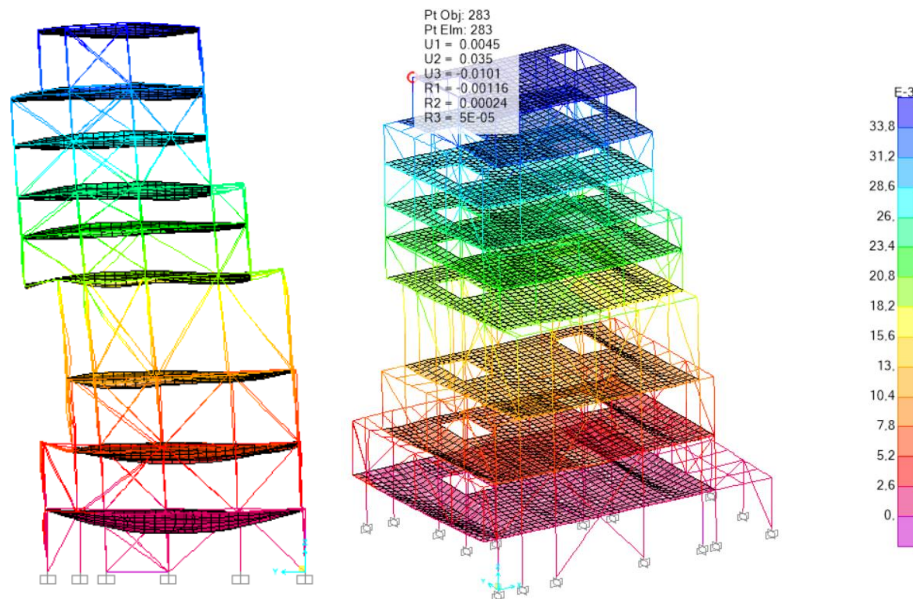


Figura 86. Deformada general ELSvy+ analizando el desplome total en el eje Y. (Elaboración propia)

DESPLOME LOCAL:

Para la comprobación del desplome local hay que verificar que este es menor que 1/250 de la altura de cada planta. Para ello sacamos los valores de cada planta del programa de cálculo SAP200.

- Planta 8

$$D_{lateral_{PARCIAL}} = h/250 = 5,1 \text{ m} / 250 = 0,0204 \text{ m} > 0,035 - 0,0313 = 0,0037 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

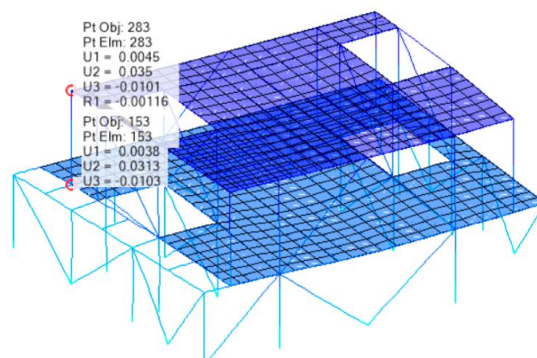


Figura 87. Deformada planta 8 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje Y. (Elaboración propia)

- Planta 7

$$D_{lateral\text{PARCIAL}} = h/250 = 4 \text{ m} / 250 = 0,016 \text{ m} > 0,0309 - 0,0283 = 0,0026 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

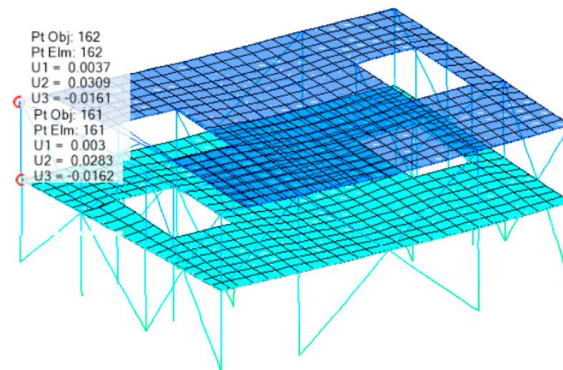


Figura 88. Deformada planta 7 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje Y. (Elaboración propia)

- Planta 6

$$D_{lateral\text{PARCIAL}} = h/250 = 4,3 \text{ m} / 250 = 0,0172 \text{ m} > 0,0283 - 0,0253 = 0,003 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

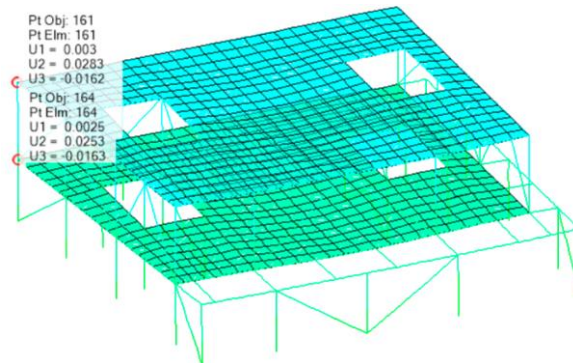


Figura 89. Deformada planta 6 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje Y. (Elaboración propia)

- Planta 5

$$D_{lateral\text{PARCIAL}} = h/250 = 3,35 \text{ m} / 250 = 0,0134 \text{ m} > 0,0253 - 0,0225 = 0,0028 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

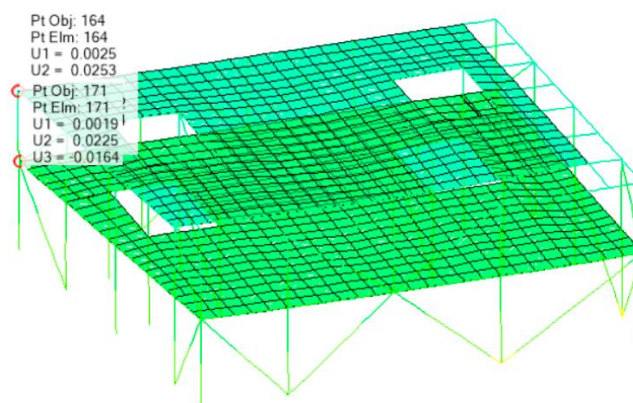


Figura 90. Deformada planta 5 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje Y. (Elaboración propia)

- Planta 4

$$D_{lateral\text{PARCIAL}} = h/250 = 4,2 \text{ m} / 250 = 0,0168 \text{ m} > 0,0225 - 0,0189 = 0,0036 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

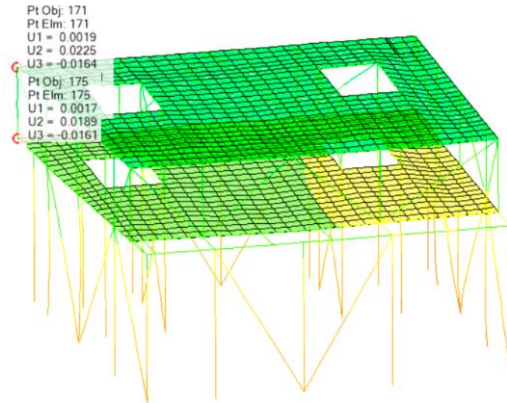


Figura 91. Deformada planta 4 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje Y. (Elaboración propia)

- Planta 3

$$D_{lateral\text{PARCIAL}} = h/250 = 8,5 \text{ m} / 250 = 0,034 \text{ m} > 0,0189 - 0,0115 = 0,0074 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

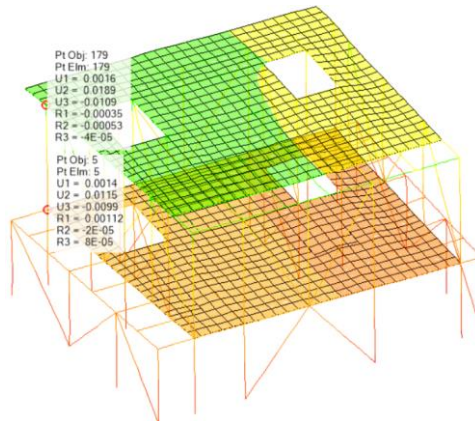


Figura 92. Deformada planta 3 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje Y. (Elaboración propia)

- Planta 2

$$D_{lateral\text{PARCIAL}} = h/250 = 6,1 \text{ m} / 250 = 0,0244 \text{ m} > 0,0083 - 0,0057 = 0,0026 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

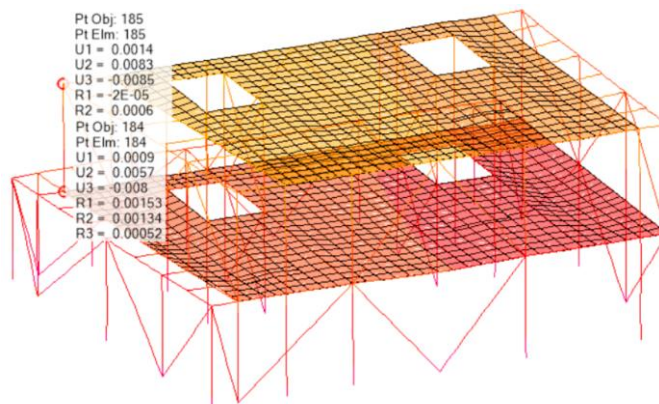


Figura 93. Deformada planta 2 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje Y. (Elaboración propia)

- Planta 1

$$D_{lateral PARCIAL} = h/250 = 5,7 \text{ m} / 250 = 0,0228 \text{ m} > 0,0032 - 0,0027 = 0,0005 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

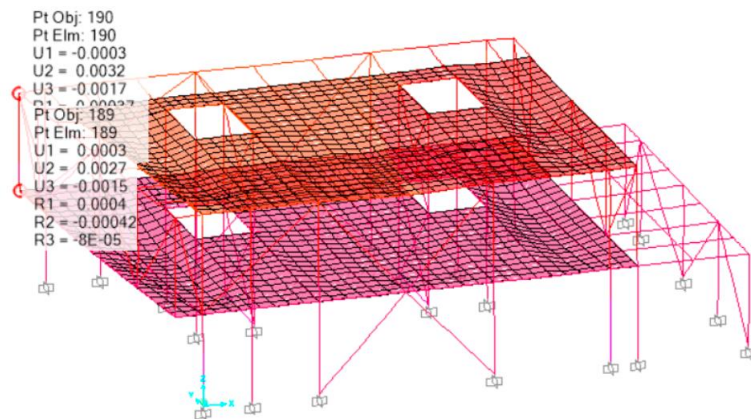


Figura 94. Deformada planta 1 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje Y. (Elaboración propia)

II. Comprobación a resistencia (ELU)

Con el programa de cálculo SAP2000 podemos obtener los esfuerzos, axiles, cortantes y momentos, a los que se ven sometidos todas las barras de la estructura. (Figura 95)

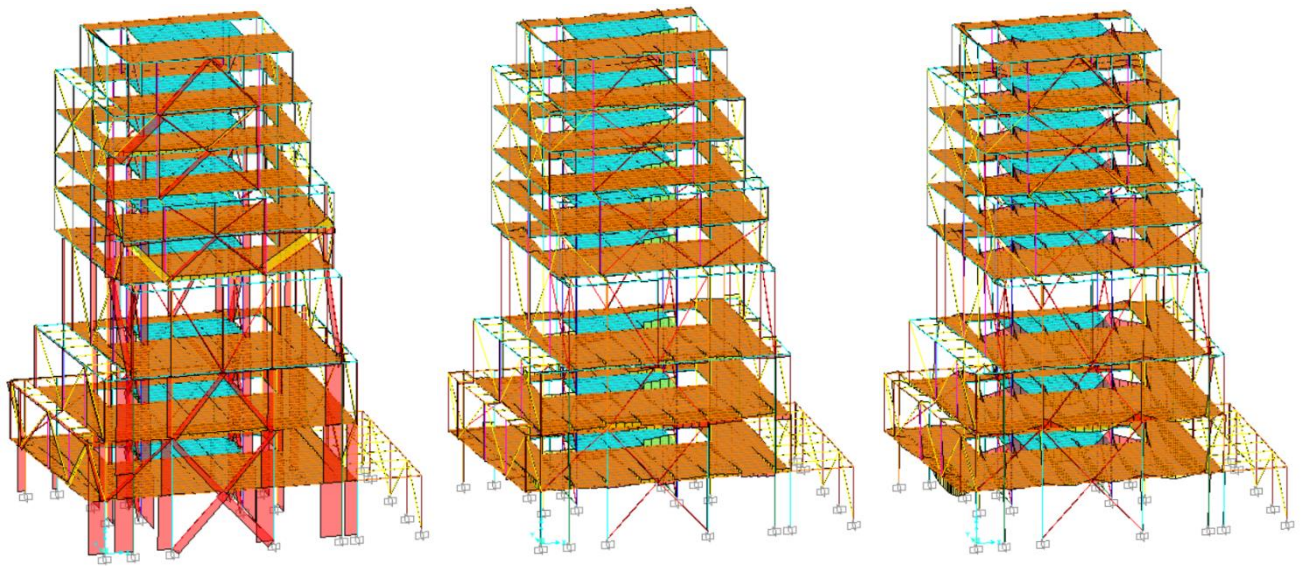


Figura 95.01: Ley de axiles. 02: Ley de cortantes. 03: Ley de momentos. (Elaboración propia)

Como se puede ver en la ley de axiles de todo el edificio (Figura 96.01), los pilares inferiores se ven sometidos a valores de axil muy elevados en la base del edificio que va disminuyendo hasta su coronación. En las vigas diagonales también se puede ver como aquellas que salvan una altura libre mayor y están más alejadas del núcleo de comunicaciones presentan un axil mayor.

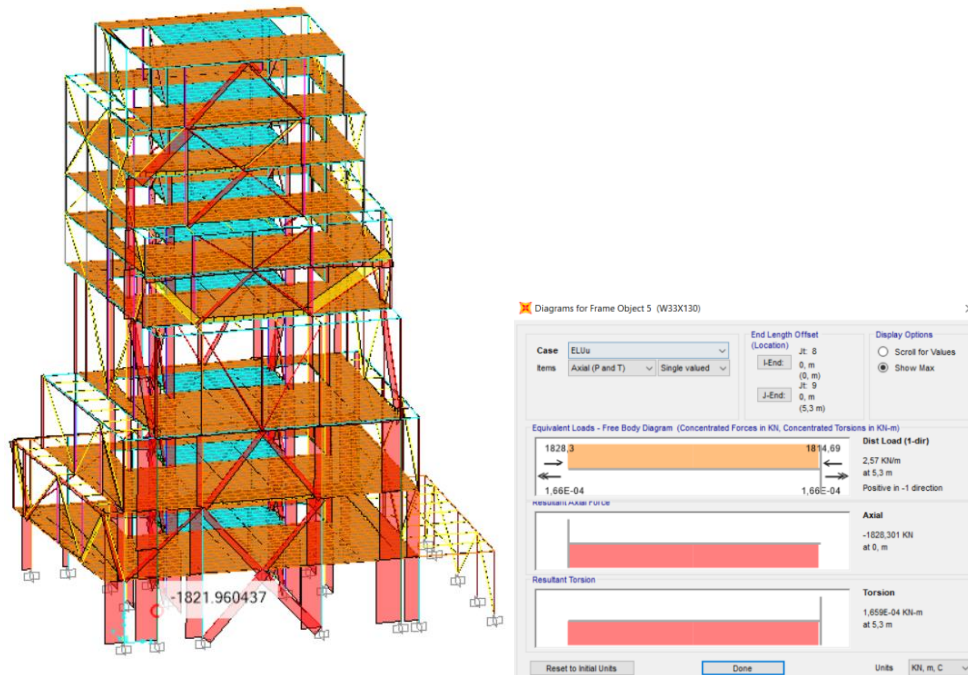


Figura 96. 01: Ley de axiles. 02: Diagrama de axiles del pilar 5

Según el Código Técnico “hay que verificar que todos los elementos del edificio tienen suficiente resistencia y estabilidad 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 todas las situaciones de dimensionado pertinentes, se cumple la siguiente condición.

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

Donde:  $E_{d,dst}$  valor de cálculo del efecto de las acciones desestabilizadoras y  $E_{d,stab}$  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.

$$E_d \leq R_d$$

Donde:  $E_d$ : valor de cálculo del efecto de las acciones y  $R_d$ : valor de cálculo de la resistencia correspondiente”

(“Documento Básico-Seguridad estructural,” 2007)



Para comprobar que la estructura cumple con los requisitos establecidos anteriormente se utiliza el programa de cálculo SAP2000 que realiza la comprobación a resistencia de las barras estructurales metálicas de manera automática, comprobando, para todas las combinaciones de carga establecidas en el programa, el grado al que trabajan los perfiles asignados.

La peritación de los elementos metálicos se hace a partir del menú *Start Design/Check of Structure*. El programa muestra una escala de colores, el color de cada barra indica en que intervalo está trabajando, cuando adquiere el color rojo es porque la capacidad portante ha sido superada.

Superar el grado de saturación nos indica que se está haciendo usos de los coeficientes de seguridad. Si alguna barra supera este valor se podría adoptar siempre y cuando este valor por encima de la unidad sea pequeño.

Tras realizar la peritación de los elementos metálicos (Figura 97) obtenemos que todos los elementos cumplen la condición de resistencia.

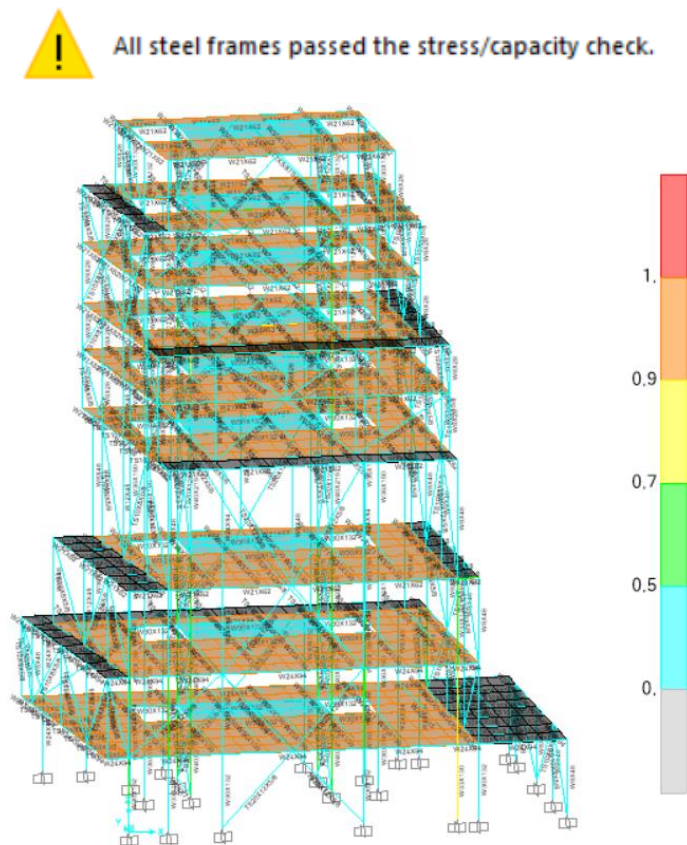


Figura 97.01: Aviso de cumplimiento de la peritación. 02: Peritación de los elementos metálicos.  
(Elaboración propia)

## 7. Conclusiones

---

Una vez analizados tanto los aspectos compositivos y formales como los aspectos estructurales y constructivos, y obtenidos los resultados del análisis estructural de cálculo del Museo de Arte Contemporáneo de SANAA, en Nueva York, se pueden extraer las siguientes conclusiones.

En cuanto al análisis de los aspectos más importantes del edificio vemos que se trata de una de las obras más importantes de SANAA, a nivel estructural y formal. Un edificio público con espacios flexibles para galerías. La forma se desarrolla como una superposición de cajas apiladas y desplazadas unas de otras, creándose terrazas y lucernarios, mediante los que el edificio recibe luz natural. La necesidad de crear espacios libres de columnas hizo que toda la estructura se llevase a las fachadas, actuando cada caja como un contenedor estructural. La transmisión de las fuerzas se produce principalmente a través de las vigas diagonales y las cargas gravitatorias se desplazan a las esquinas, debido a la falta de alineación entre los pilares de las distintas plantas.

En cuanto al análisis estructural, el edificio cumple satisfactoriamente a deformación mediante las comprobaciones realizadas a flecha (integridad de elementos constructivos, confort de los usuarios y apariencia de la obra), y a desplome horizontal, en las dos direcciones principales. A priori, podría parecer que el desplome horizontal sería importante, debido a que las cargas de viento a las que se encuentra sometido el edificio son elevadas, sin embargo, cumple la normativa de manera holgada. Al igual que cumple la flecha en los puntos más desfavorables del forjado.

Por otro lado, el edificio también cumple a resistencia, mediante la peritación por parte del programa SAP2000, de todos los elementos metálicos. Los axiles a los que se encuentran sometidos los pilares de las plantas bajas son muy elevados, por ello las secciones utilizadas para estos son mayores que en las plantas superiores, pero manteniendo la limitación de espesor a 8 pulgadas (20,23 cm).

El comportamiento global de la estructura ha resultado satisfactorio y no presenta ninguna anomalía, debido a una correcta distribución de las cargas mediante los elementos que forman los contenedores estructurales de cada planta. Se puede decir que el Museo de Arte Contemporáneo de SANAA, es un claro ejemplo de la importancia de la estructura en el diseño de los edificios, ya que gracias a un conocimiento profundo de las estructuras se pueden conseguir edificios con estas características formales, que aparentemente parecen muy sencillos.

## Bibliografía

---

- American Society of Civil Engineers. (2016). ASCE standard ASCE/SEI 7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. In *ANSI/ASCE Standard*.  
<https://doi.org/10.1061/9780872629042>
- Arango, I. (2013). New museum. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 88(6), 27. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=pbh&AN=9507241677&lang=ja&site=ehost-live>
- Aránguiz, C. (2019, February 15). Ryue Nishizawa: “Si vemos la planificación de la arquitectura japonesa, no existe el ‘centro’, sino muchos centros y pocas periferias” | AméricaEconomía | AméricaEconomía. Retrieved July 24, 2020, from <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/ryue-nishizawa-si-vemos-la-planificacion-de-la-arquitectura-japonesa-no-existe>
- Arquitectos: SANAA. Biografía y Proyectos. Arquitectura y Diseño. (2013, April 1). Retrieved July 24, 2020, from <https://www.disenoyarquitectura.net/2013/04/arquitectos-sanaa-biografia-y-proyectos.html>
- Attempting a New Museum . (2008, November). Retrieved July 7, 2020, from About typo website: <https://cargocollective.com/jjyeo/Attempting-a-New-Museum>
- Baan, I. (n.d.). New Museum, New York City USA – SANAA – Iwan Baan. Retrieved July 15, 2020, from <https://iwan.com/portfolio/sanaa-new-museum-new-york/>
- Boulet, M. (n.d.). Perspectives de la vida en Londres y Tokio imaginadas por Stephen Taylor y Ryue Nishizawa »Acercade Ryue Nishizawa. Retrieved August 26, 2020, from <https://www.cca.qc.ca/perspectivesdevie/2008/05/a-propos-de-ryue-nishizawa/lang/fr.html>
- Brooks, G. (2010). Más sobre: Nuevo Museo de Arte Contemporáneo | moreAEdesign. Retrieved July 15, 2020, from <https://moreaedesign.wordpress.com/2010/02/07/new-museum-of-contemporary-art-new-york-new-york/>
- Building: The New Museum. (n.d.). Retrieved June 30, 2020, from <https://www.newmuseum.org/building>
- Cargas de nieve en Estados Unidos según ASCE. (n.d.). Retrieved July 24, 2020, from <https://www.dlubal.com/es/soluciones/servicios-en-linea/zonas-de-cargas-para-nieve-viento-y-sismos>
- Catálogo Comercial de Forjado Colaborante INCO70.4.pdf* (p. 4,6). (n.d.).
- Cotela, M. (n.d.). Residencia de mujeres Saishunkan Seiyaku (1990/1991) | habitatge col·lectiu 1 / collective housing / vivienda colectiva / logement collectif / habitação coletiva. Retrieved August 29, 2020, from <https://habitatgecollectiu.wordpress.com/2013/12/05/residencia-de-mujeres-saishunkan-seiyaku-19901991/>
- CTE-DBSE. (2007). *Septiembre Fomento, M. de. (2007). CTE-DBSE. Septiembre, 2013, 1–129. Retrieved from Http://Www.Arquitectura-Tecnica.Com/Hit/Hit2016-2/DBHE.Pdf, 2013, 1–129. Retrieved from http://www.arquitectura-tecnica.com/hit/Hit2016-2/DBHE.pdf*
- DeOld, G. (n.d.). | Geoff DeOld | Flickr. Retrieved July 16, 2020, from <https://www.flickr.com/photos/emilygeoff/1261524669/>
- Documento Básico-Seguridad estructural. (2007). *Septiembre, 2013, 1–129. Retrieved from http://www.arquitectura-tecnica.com/hit/Hit2016-2/DBHE.pdf*
- El Plan Z Arquitectura: SANAA, Nuevo Museo de Nueva York, NY. (2012, March 24). Retrieved July 15, 2020, from <http://elplanz-arquitectura.blogspot.com/2012/03/sanaa-nuevo-museo-de-nueva-york-ny.html>
- Fernandez-Galiano, L. (n.d.). SANAA - Arquitectura Viva · Architecture magazines. Retrieved July 24, 2020, from <http://www.arquitecturaviva.com/en/Shop/Book/Details/28>

- Fernández-Galiano, L. A. (2016). *SANAA : Sejima & Nishizawa 2007-2017* (L. A. Fernández-Galiano, Ed.) [Book]. Madrid: Arquitectura Viva.
- Gobierno de España. (2009). DB SE- AE Seguridad Estructural, Acciones en la Edificación. *Boletín Oficial Del Estado*, 1–42.
- Grima, J., Wong, K., & Kaufman, D. (2008). *Shift : SANAA and the New Museum* (J. Grima, K. Wong, D. Kaufman, New Museum of Contemporary Art (Nueva York), & SANAA (Firma), Eds.) [Book]. New York ; Baden: New Museum of Contemporary Art New York : Lars Müller.
- Guy Nordenson and Associates - Home. (n.d.). Retrieved June 30, 2020, from <https://www.nordenson.com/>
- History :: New Museum. (n.d.). Retrieved July 15, 2020, from <https://www.newmuseum.org/history>
- Jaraíz Perez, J. (2012). *El Parque: Espacio, Límite y Jerarquías en la obra de SANAA*. 482.
- Kesman, C. (2015, October 2). Kazuyo Sejima 1956 | un día | una arquitecta. Retrieved June 29, 2020, from <https://undiaunaarquitecta.wordpress.com/2015/10/02/kazuyo-sejima-1956/>
- Kovalev, D., Kovalev, D., & Fil, A. (n.d.). SANAA: New Art Museum | Sgustok Design. Retrieved July 15, 2020, from <https://sgustokdesign.com/sanaa-new-art-museum>
- Lalueta, I. (2010, December 23). Casa Moriyama | Sobre Arquitectura y más | Desde 1998. Retrieved August 29, 2020, from <https://www.metalocus.es/es/noticias/casa-moriyama>
- López, R. A. (2011). Kazuyo Sejima: arquitecta japonesa. *Asparkia: Investigación Feminista*, (21 SE- Retracts). Retrieved from <https://www.raco.cat/index.php/Asparkia/article/view/225869>
- Lucarelli, F. (2013, December 12). Evolutionary Housescape: the Metabolist Sky House by Kiyonori Kikutake (1958) – SOCKS. Retrieved August 26, 2020, from <http://socks-studio.com/2013/12/12/evolutionary-housescape-the-metabolist-sky-house-by-kiyonori-kikutake-1958/>
- Mapa del día: las zonas del mundo con mayor actividad sísmica - Infobae. (2014, October 6). Retrieved August 19, 2020, from <https://www.infobae.com/2014/10/07/1599999-mapa-del-dia-las-zonas-del-mundo-mayor-actividad-sismica/>
- Muñoz, V. (2016, May 3). Edificio de apartamentos en Gifu Kitagata, Japón (1994-1998). Kazuyo Sejima. Investigación de Víctor Muñoz | PROYECTOS 3 + 4. Retrieved August 29, 2020, from <https://atfpa3y4.wordpress.com/2016/05/03/edificio-de-apartamentos-en-gifu-kitagata-japon-1994-1998-kazuyo-sejima-investigacion-de-victor-munoz/>
- New Art Museum / SANAA | Plataforma Arquitectura. (2014, July 8). Retrieved June 28, 2020, from [https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/623537/new-art-museum-sanaa?ad\\_medium=gallery](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/623537/new-art-museum-sanaa?ad_medium=gallery)
- Oudeman, F. (n.d.). New Museum — Frank Oudeman. Retrieved July 15, 2020, from <http://www.frankoudeman.com/new-gallery>
- Remón Royo, R. (2017, January 3). Kazuyo Sejima: Minimalismo, Discreción y el trabajo perfeccionista | Arquitectura. Retrieved August 26, 2020, from <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/kazuyo-sejima-minimalismo-discrecion-y-el-trabajo-perfeccionista>
- Ryue Nishizawa - EcuRed. (n.d.). Retrieved July 9, 2020, from [https://www.ecured.cu/Ryue\\_Nishizawa](https://www.ecured.cu/Ryue_Nishizawa)
- Sanaa, Kazuyo Sejima + Ryue Nishizawa : 2004-2008 : topología arquitectónica = architectural topology* [Book]. (2008). Madrid: El Croquis.
- Sejima, K., & Nishizawa, R. (n.d.). Kazuyo Sejima + Ryue Nishizawa /. Retrieved June 30, 2020, from <http://www.sanaa.co.jp/>
- Sejima, K., & Nishizawa, R. (2010). *New Museum, New York* (K. Sejima & R. Nishizawa, Eds.) [Book]. New York: Polígrafa.
- Varela, Á. (2017, March 23). Nuevo Museo de Arte Contemporáneo en Nueva York de SANAA. Retrieved July 9, 2020, from <https://tectonica.archi/projects/nuevo-museo-de-arte-contemporaneo-en>

nueva-york/

Velocidad básica del viento en Estados Unidos según ASCE. (n.d.). Retrieved July 16, 2020, from <https://www.dlupal.com/es/zonas-de-cargas-para-nieve-viento-y-sismos/viento-asce-sei-7-16.html?#&center=39.18875109166158,-80.99830665860179&zoom=5&marker=38.888571,-77.05198>

Yoshihide Urushihara. (n.d.). Yoshihide Urushihara | Flickr. Retrieved August 29, 2020, from <https://www.flickr.com/photos/uru48ra/>

Zabalbeascoa, A. (2008). Camino hacia la extrema sencillez. *El País*. Retrieved from [https://elpais.com/diario/2008/11/16/eps/1226820412\\_850215.html](https://elpais.com/diario/2008/11/16/eps/1226820412_850215.html)

Zabalbeascoa, A. (2010, March 29). Los arquitectos del cambio. SANAA. Pritzker 2010. Retrieved July 24, 2020, from <https://sancheztaffurarquitecto.wordpress.com/2010/03/30/los-arquitectos-del-cambio-sanaa-pritzker-2010-a-zabalbeascoa-el-pais-espana/>

Zhang, J. (2014, March 24). New Museum of Contemporary Art / SANAA | simplyminimalist. Retrieved June 28, 2020, from Cultural, SANAA [Architecture] website: <https://simplyminimalistii.wordpress.com/2014/03/24/new-museum-of-contemporary-art-sanaa/>

## Índice de imágenes

Figura 1. 01: Miembros del personal del Nuevo Museo: John Jacobs, Ned Rifkin y Marcia Tucker. 02: Nuevo edificio del museo en 583 Broadway. 03: Inauguración en 235 Bowery en 2007. (“History :: New Museum,” n.d.) .....	8
Figura 2. Kazuyo Sejima. (Remón Royo, 2017) .....	9
Figura 3. Sky House de Kiyonari Kitulake.(Lucarelli, 2013) .....	9
Figura 4. Timeline a de las obras más importantes de Kazuyo Sejima. (Elaboración propia).....	10
Figura 5. 01: Residencia de mujeres Saishunkan Seiyaku. 02: Apartamentos en Gifu.....	10
Figura 6. Ryue Nishizawa. (Boulet, n.d.).....	11
Figura 7. Timeline de las obras más importantes de Ryue Nishizawa. (Elaboración propia). .....	11
Figura 8. 01: Casa Moriyama. 02: Museo de Arte de Teshima .....	12
Figura 9. 01: Museo del Siglo 21 de Arte Contemporáneo en Kanazawa. 02: Rolex Center en Laussana.12	
Figura 10. Timeline obras de SANAA. (Elaboración propia). .....	13
Figura 11. 01: Plano de emplazamiento e: 1/5000. (Sejima & Nishizawa, n.d.). 02: Imagen exterior del Museo en el 235 Bowery desde la calle Prince St. (Oudeman, n.d.). 03: Vista del Museo a lo largo del Bowery. (Baan, n.d.) .....	14
Figura 12. 01: Fachada revestida con la malla de aluminio. 02: Imagen nocturna del exterior del Museo. (Baan, n.d.).....	15
Figura 13. 01: Aparición de lucernarios. 02: Terrazas generadas por el deslizamiento de los volúmenes. (Baan, n.d.).....	16
Figura 14. Plano de vidrio de acceso al Museo desde el exterior y el interior. (Baan, n.d.).....	16
Figura 15. 01: Imagen general de la planta baja, recepción a la izquierda, tienda del museo a la derecha. 02: Escalera que conduce hasta planta baja, tras esta aparece la cafetería. 03: Cafetería del Museo. 04: Galería de exposición. (Baan, n.d.) .....	17
Figura 16. Teatro- auditorio. (Baan, n.d.; “History :: New Museum,” n.d.).....	17
Figura 17. Salas de exposiciones diáfanos. (Baan, n.d.) .....	18
Figura 18. Escalera norte que conduce a la 3 planta. (Baan, n.d.; Oudeman, n.d.) .....	18
Figura 19. 01: Salas de estudio y aulas. 02: Espacios para oficinas. (Baan, n.d.) .....	19
Figura 20. 01: Espacio multiusos. 02: Terraza con vistas a la ciudad. (Baan, n.d.).....	19
Figura 21. Plantas del Museo de Arte contemporáneo. SANAA (Varela, 2017) .....	20
Figura 22. Alzados del Museo de Arte contemporáneo. SANAA (Varela, 2017).....	21

Figura 23. Detalle constructivo de la fachada. (Brooks, 2010; Varela, 2017).....	22
Figura 24. 01: Detalle malla metálica. ("El Plan Z Arquitectura: SANAA, Nuevo Museo de Nueva York, NY," 2012) 02: Vista desde el interior del edificio. (Kovalev, Kovalev, & Fil, n.d.). 03: Imagen exterior malla metálica. (Baan, n.d.) (Baan, n.d.) 04: Montaje de la malla. (DeOld, n.d.) .....	22
Figura 25. 01: Estructura de acero con protección frente al fuego. 02: imagen de la Chapa Grecada y núcleo de comunicación vertical. 03: Malla de aluminio. 04: Detalle Chapa Grecada y Lucernario. (Baan, n.d.) .....	23
Figura 26. Detalle de la construcción de la estructura perimetral de acero. ....	24
Figura 27. 01: Aparición de la estructura. 02: Detalle de las pletinas rigidizadoras. (Baan, n.d.) .....	24
Figura 28. Esquema de la transmisión de cargas. (Elaboración propia).....	25
Figura 29. Detalle constructivo de los lucernarios. (Baan, n.d.; Varela, 2017) .....	25
Figura 30. Fases del proceso constructivo del Museo. (Arango, 2013).....	25
Figura 31. 01: Construcción de la estructura perimetral. 02: Modelización contenedor estructural. (Elaboración propia). ....	26
Figura 32. 01: Detalles de la construcción del núcleo de comunicación (Arango, 2013). 02: Modelización núcleo de comunicación (Elaboración propia). ....	27
Figura 33. 01: Detalle de las correas metálicas. (Baan, n.d.) 02: Modelización de las correas metálicas. (Elaboración propia). ....	27
Figura 34. Modelización completa del edificio. (Elaboración propia).....	28
Figura 35. Secciones tipo W asignadas a vigas. ....	29
Figura 36. Secciones tipo W asignadas a pilares.....	29
Figura 37. Secciones tipo HSS asignadas a las vigas diagonales y a las correas sobre las que apoyan los lucernarios. ....	30
Figura 38. Secciones tipo W asignadas a las correas. ....	30
Figura 39. 01: Tabla Excel. 02: Definición de la chapa grecada en SAP. ....	31
Figura 40. 01: Local Axes. 02: Property Modifier.....	31
Figura 41. Definición de la losa.....	31
Figura 42. Canto del Forjado.(Catalogo Comercial de Forjado Colaborante INCO70.4.pdf, n.d.).....	33
Figura 43. Peso Propio del Forjado.(Catalogo Comercial de Forjado Colaborante INCO70.4.pdf, n.d.) ...	33
Figura 44. Valores característicos de las sobrecargas de uso. CTE. (Gobierno de España, 2009).....	34
Figura 45. Valor básico de la velocidad del viento. ("Velocidad básica del viento en Estados Unidos según ASCE," n.d.) .....	35
Figura 46. Basic Wind Speeds for Risk Category III Buildings and Other Structures. ASCE/SEI 7-16. (American Society of Civil Engineers, 2016).....	35
Figura 47. Coeficiente de exposición. ASCE/SEI 7-16. (American Society of Civil Engineers, 2016) .....	36
Figura 48. Coeficiente de elevación del suelo. ASCE/SEI 7-16. (American Society of Civil Engineers, 2016) .....	37
Figura 49. Coeficiente eólico o de presión. ASCE/SEI 7-16. (American Society of Civil Engineers, 2016) .	37
Figura 50. Alzado oeste del edificio, con las alturas de cada planta. Elaboración propia. ....	38
Figura 51. Cargas de viento horizontal aplicada en las vigas de borde en la dirección Y. (Elaboración propia). ....	39
Figura 52. Cargas de viento horizontal aplicada en las vigas de borde en la dirección X. (Elaboración propia) .....	40
Figura 53. Valor de la carga de nieve en el suelo. ("Cargas de nieve en Estados unidos según ASCE," n.d.) .....	40
Figura 54. Ground Snow Loads, pg, for the United States (lb/ft <sup>2</sup> ). (American Society of Civil Engineers, 2016).....	41
Figura 55. 01: Categoría de Riesgo según el tipo de edificio. 02: Factor Is.(American Society of Civil Engineers, 2016).....	41
Figura 56. Mapa de actividad sísmica en América. ("Mapa del día: las zonas del mundo con mayor actividad sísmica - Infobae," 2014).....	41

Figura 57. 01: Coeficientes parciales de seguridad para las acciones. 02: Coeficientes de simultaneidad. (“Documento Básico-Seguridad estructural,” 2007) .....	42
Figura 58. Coeficientes de seguridad aplicados en SAP2000. ....	44
Figura 59. Asignación de empotramientos en los soportes de planta baja.....	45
Figura 60. Deformada general ELSu. Deformaciones en el eje z. (Elaboración propia) .....	46
Figura 61. 01: Deformada ELS característica de integridad. Alzado XZ. 02: Deformada ELS característica de integridad. Deformaciones en el eje z (Elaboración propia) .....	47
Figura 62. Deformada ELS característica de integridad. Valores en la dirección X (Elaboración propia) ..	48
Figura 63. Deformada ELS característica integridad. Valores en la dirección Y (Elaboración propia) .....	48
Figura 64. Deformada ELS característica de integridad. Valores en la dirección X (Elaboración propia) ..	49
Figura 65. Deformada ELS característica integridad. Valores en la dirección Y (Elaboración propia).....	49
Figura 66.01: Deformada SCU. Alzado XZ. 02: Deformada SCU. Deformaciones en el eje Z. (Elaboración propia) .....	50
Figura 67. Deformada SCU. Valores en la dirección X (Elaboración propia).....	50
Figura 68. Deformada SCU. Valores en la dirección Y (Elaboración propia).....	51
Figura 69. Deformada SCU. Valores en la dirección X (Elaboración propia).....	51
Figura 70. Deformada SCU. Valores en la dirección Y (Elaboración propia).....	52
Figura 71. 01: Deformada ELSqpu. Alzado XZ. 02: Deformada SCU. Deformaciones en el eje Z. (Elaboración propia) .....	52
Figura 72. Deformada ELSqpu. Valores en la dirección X (Elaboración propia).....	53
Figura 73. Deformada ELSqpu. Valores en la dirección Y (Elaboración propia).....	53
Figura 74. Deformada ELSqpu. Valores en la dirección X (Elaboración propia).....	54
Figura 75. Deformada ELSqpu. Valores en la dirección Y (Elaboración propia).....	54
Figura 76. Definición de desplome. CTE.....	55
Figura 77. Deformada general ELSvx+ analizando el desplome total en el eje X. (Elaboración propia)....	55
Figura 78. Deformada planta 8 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje X. (Elaboración propia) ...	56
Figura 79. Deformada planta 7 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje X. (Elaboración propia)...	56
Figura 80. Deformada planta 6 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje X. (Elaboración propia) ...	57
Figura 81. Deformada planta 5 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje X. (Elaboración propia)....	57
Figura 82. Deformada planta 4 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje X. (Elaboración propia)....	57
Figura 83. Deformada planta 3 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje X. (Elaboración propia)....	58
Figura 84. Deformada planta 2 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje X. (Elaboración propia)....	58
Figura 85. Deformada planta 1 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje X. (Elaboración propia)....	58
Figura 86. Deformada general ELSvy+ analizando el desplome total en el eje Y. (Elaboración propia).....	59
Figura 87. Deformada planta 8 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje Y. (Elaboración propia)....	59
Figura 88. Deformada planta 7 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje Y. (Elaboración propia)....	60
Figura 89. Deformada planta 6 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje Y. (Elaboración propia)....	60
Figura 90. Deformada planta 5 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje Y. (Elaboración propia)....	60
Figura 91. Deformada planta 4 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje Y. (Elaboración propia)....	61
Figura 92. Deformada planta 3 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje Y. (Elaboración propia)....	61
Figura 93. Deformada planta 2 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje Y. (Elaboración propia)....	61
Figura 94. Deformada planta 1 ELSvx+ analizando el desplome local en el eje Y. (Elaboración propia)....	62
Figura 95.01: Ley de axiles. 02: Ley de cortantes. 03: Ley de momentos. (Elaboración propia) .....	62
Figura 96. 01: Ley de axiles. 02: Diagrama de axiles del pilar 5 .....	63
Figura 97.01: Aviso de cumplimiento de la peritación. 02: Peritación de los elementos metálicos. (Elaboración propia) .....	64

## Índice de tablas

---

Tabla 1. N.º de elementos que componen el modelo. ....	26
Tabla 2. Sobrecarga sobre el forjado en Kg/m <sup>2</sup> . ....	33
Tabla 3. Sobrecarga de uso por planta. ....	34
Tabla 4. Valores en dirección perpendicular a la fachada oeste (dirección Y) ....	37
Tabla 5. Valores en dirección paralela a la fachada oeste (dirección X) ....	38
Tabla 6. Valores en dirección perpendicular a la fachada oeste (dirección Y) ....	38
Tabla 7. Valores en dirección paralela a la fachada oeste (dirección X) ....	39



## Anexos

### Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

El Museo de Arte Contemporáneo en Nueva York surge con la necesidad de crear un edificio para el “Nuevo Arte” que se desarrolla a lo largo de los años 70 hasta nuestros días. Para ello se convocó un concurso de diseño cerrado en el que participaron 5 despachos de arquitectura de diferentes países a finales de 2002. El esquema de SANAA resultó el ganador, por ser el que mejor se adaptó al solar, y el que mejor expresó la idea de “Nuevo Museo”.

En cuanto a la relación con los objetivos de desarrollo sostenible 2030, este trabajo podría relacionarse con el objetivo 12 “*Producción y consumo responsable*” ya que un punto de partida para la construcción fue que este debía estar hecho con materiales vernáculos, materiales en consonancia con el barrio de Bowery, se quería ver si era posible construir una arquitectura buena y correcta con un precio medio por metro cuadrado, utilizando para ello materiales de bajo coste y componentes modulares. Por ello para la realización de la estructura del Museo se utilizó el acero ya que en Estados Unidos la construcción con hormigón tiene un precio más elevado que la construcción con acero. La diferencia de los costes de unos procedimientos constructivos a otros depende del lugar en el que se realizan. Por ello como indica este objetivo es necesario conseguir un consumo y una producción sostenible.

Podemos ver también una relación con el objetivo 13 “*Acción por el clima*”, ya que la utilización del acero con respecto al hormigón es más sostenible, porque para su fabricación se utiliza menos materia prima y se ahorra energía, la generación de residuos es menor, y tiene una elevada tasa de reciclaje. Cada vez los efectos del cambio climático son más importantes, por lo que es necesario adaptar medidas en las nuevas construcciones de edificios que impliquen un menor impacto medioambiental. Otro punto que encontramos en relación con este objetivo es la optimización de la iluminación que se produce al desplazar los volúmenes entre sí, obteniéndose una iluminación natural que permite un ahorro en energía eléctrica.

Por último, podría relacionarse con el objetivo 4 “*Educación de calidad*” ya que la cuarta planta del Museo alberga el centro educativo del edificio, contiene espacios para aulas y salas de estudio, para los habitantes del barrio, dando así un servicio público para la ciudad y muy importante como es la educación. Y con el objetivo 5 “*Igualdad de género*” ya que una de las arquitectas principales de este Museo es Kazuyo Sejima, socia del grupo SANAA, arquitecta con una trayectoria profesional muy amplia, y con numerosos premios que abalan su carrera.



Como conclusión podríamos decir que en el momento en el que este edificio se construyó se tuvieron en cuenta algunos parámetros relacionados con los objetivos de desarrollo sostenible, pero que hoy en día no serían suficientes si queremos lograr que se cumplan todos los objetivos previstos para el 2030.

## Materiales estructurales

### ACERO ESTRUCTURAL ASTM A500

Es una especificación estándar publicada por la ASTM (Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales) para los tubos estructurales de acero al carbono soldados y sin costuras conformados en frío en formas redondas, cuadradas y rectangulares. Se especifica comúnmente en los EE. UU. para las secciones estructurales huecas. La ASTM A500 define cuatro grados de acero al carbono basados principalmente en la resistencia del material.

Al igual que otros aceros al carbono el acero A500 tiene un peso específico de 7,85 y por tanto una densidad de 7850kg/m<sup>3</sup>.

Los tubos conformados en frío A500 se clasifican en cuatro grados basados en la composición química, la resistencia a la tracción y el tratamiento térmico. Los requisitos de resistencia a la tracción son más altos para los tubos cuadrados y rectangulares que para los redondos. El contenido mínimo de cobre es opcional. El grado D debe ser tratado térmicamente.

Grado	UNS	Composición (% en peso en calor)					Requisitos mínimos de resistencia			
		C	Minnesota	PAGS	S	Cu	de tensión	rendimiento (redondo)	rendimiento (formado)	alargamiento
		% máx.	% máx.	% máx.	% máx.	min%	MPa (ksi)	MPa (ksi)	MPa (ksi)	%
UNA	K03000	0,26	1,35	0,035	0,035	0,20	310 (45)	230 (33)	270 (39)	25
si	K03000	0,26	1,35	0,035	0,035	0,20	400 (58)	290 (42)	315 (46)	23
C	K02705	0,23	1,35	0,035	0,035	0,20	425 (62)	315 (46)	345 (50)	21
re	K03000	0,26	1,35	0,035	0,035	0,20	400 (58)	250 (36)	250 (36)	23

### ACERO ESTRUCTURAL ASTM A922

La especificación estándar ASTM A922 se emplea con mayor frecuencia en la construcción de componentes de estructuras como vigas en I y formas de ala ancha. Además de los marcos de construcción, el acero A922 se encuentra con frecuencia en la construcción de puentes y otras infraestructuras públicas. Este acero se define por una mezcla de elementos que incluye cobre, vanadio, cromo, níquel y molibdeno.

#### - Composición Química

La Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transportes del Estado depende de A922 para muchos de sus proyectos de construcción. Está disponible en una variedad completa de calidades para adaptarse a todas las diferentes aplicaciones, con el grado que indica la resistencia del núcleo del material. El acero A922 se compone generalmente de los siguientes elementos:

ELEMENTO	COMPOSICIÓN %
Carbono, max	0,23
Manganeso	0,50-1,50
Silicio, max	0,40
Vanadio, max	0,11
Colimbio, max	0,05
Fósforo, max	0,055
Azufre, max	0,045
Cobre, max	0,60
Níquel, max	0,48
Cromo, max	0,35
Molibdeno, max	0,15
Hierro	resto

Al igual que otros aceros al carbono, la densidad del acero ASTM A992 es de aproximadamente  $7850 \text{ kg/m}^3$  ( $0.2836 \text{ lb/in}^3$ ). El acero ASTM A992 tiene las siguientes propiedades mecánicas mínimas, de acuerdo con la especificación ASTM A992 / A992M. Resistencia a la tracción, 345 MPa (50 ksi); resistencia máxima a la tracción, 450 MPa (65 ksi); esfuerzo para romper (a veces llamado alargamiento) en una muestra de prueba de 200 mm de largo, 18%; esfuerzo para romperse en un espécimen de prueba de 50 mm de largo, 21%.

ASTM A992 es actualmente el tipo de acero más disponible para vigas estructurales de ala ancha. El instituto técnico de la industria describe el estándar de esta manera: *"ASTM A992 ( $F_y = 50 \text{ ksi}$ ,  $F_u = 65 \text{ ksi}$ ) es la especificación de material preferida para las formas de bridas anchas, reemplazando ASTM A36 y A572 grado 50. Hay un par de mejoras notables. con ASTM A992. La ductilidad del material está bien definida, ya que se especifica una relación de rendimiento máximo a resistencia a la tracción de 0,85. Además, se mejora la soldabilidad ya que se requiere un valor de equivalente de carbono máximo de 0,45. A992 está escrito para cubrir todas las formas laminadas en caliente"*