

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Aeroespacial

Estudio comparativo del comportamiento frente a sismo de la estructura metálica o de hormigón de una torre de control

Autor: Julio Francisco Molina Molero

Tutor: Antonio Martínez de la Concha

Dpto. Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Aeroespacial

Estudio comparativo del comportamiento frente a sismo de la estructura metálica o de hormigón de una torre de control

Autor:

Julio Francisco Molina Molero

Tutor:

Antonio Martínez de la Concha

Profesor Asociado

Dpto. Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020

Trabajo Fin de Grado: Estudio comparativo del comportamiento frente a sismo de la estructura metálica o de hormigón de una torre de control

Autor: Julio Francisco Molina Molero

Tutor: Antonio Martínez de la Concha

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal

A mi madre

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a mi familia, amigos, compañeros y profesores todo lo que me han aportado para poder concluir esta etapa, y realizar una mención especial a D. Antonio Martínez de la Concha, por haberme dado la oportunidad de realizar este trabajo y aprender un poco más, por su disponibilidad y por todos los recursos y ayuda que me ha proporcionado para la elaboración de este proyecto. Gracias.

Julio Francisco Molina Molero

Sevilla, 2020

El objetivo principal de este trabajo consiste en el diseño de una estructura para una nueva torre de control en el aeropuerto de Jerez de la Frontera-España. Para ello se van a proponer dos modelos estructurales: uno de hormigón armado y otro metálico, efectuando el diseño en base a la normativa española. De esta manera, procederemos a realizar un análisis estático considerando las acciones descritas en la norma. Para este diseño se emplea el software CYPE.

A continuación, se evalúa el comportamiento estructural ante acciones sísmicas realizando este estudio con un análisis estático no lineal- Pushover usando el software MidasGen.

En el primer capítulo se realiza un repaso histórico de la evolución del control aéreo y la infraestructura necesaria para llevarlo a cabo, fundamentalmente las torres de control.

En el segundo capítulo se aborda los fundamentos de los diferentes métodos empleados para la evaluación de la capacidad estructural, explicando los distintos tipos de análisis posibles y los principios fundamentales del diseño sísmico.

En el tercer capítulo se expone el proceso de diseño de los distintos modelos estructurales concluyendo con los esquemas de armado para la estructura de hormigón armado y con las dimensiones de las secciones de los perfiles metálicos para el modelo de estructura metálica.

En el capítulo cuarto se expone el proceso de modelado en el software MidasGen para, posteriormente, poder efectuar el análisis estático no lineal- Pushover, analizando sus resultados en el capítulo quinto.

Finalmente, se extraen las principales conclusiones de los análisis realizados en el capítulo sexto.

Abstract

The main objective of this work is to design a structure for a new control tower at Jerez de la Frontera-Spain airport. For this purpose, two structural models are proposed: one of reinforced concrete and the other metallic, making the design based on Spanish regulations. In this way, we will carry out a static analysis considering the actions described in the standard. CYPE software is used for this design.

The structural behavior against seismic actions is then evaluated by performing this study with a nonlinear static - Pushover analysis using MidasGen software.

In the first chapter, a historical review is made of the evolution of air control and the infrastructure needed to carry it out, mainly the control towers.

The second chapter discusses the rationale for the different methods used for the assessment of structural capacity, explaining the different types of possible analyses and the fundamental principles of seismic design.

In the third chapter, the design process of the different structural models is presented, concluding with the reinforcement schemes for the reinforced concrete structure and with the dimensions of the sections of the metal profiles for the metallic structure model.

In the fourth chapter, the modeling process in the MidasGen software is presented, in order to be able to carry out the nonlinear static - Pushover analysis, analyzing its results in the fifth chapter.

Finally, the main conclusions of the analyses carried out in the sixth chapter are drawn.

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xix
1 Introducción	1
1.1 <i>Evolución histórica del control aéreo en los aeropuertos</i>	1
1.2 <i>La torre de control</i>	3
1.3 <i>Motivación y objetivos del trabajo</i>	4
2 Metodología y fundamentos	7
2.1 <i>Métodos para la evaluación de la capacidad estructural</i>	7
2.1.1 <i>Análisis estático lineal</i>	7
2.1.2 <i>Análisis dinámico lineal</i>	8
2.1.3 <i>Análisis estático no lineal: Método Pushover</i>	9
2.1.4 <i>Análisis dinámico no lineal</i>	12
2.2 <i>Diseño sísmico</i>	12
2.3 <i>Concepto de ductilidad</i>	15
3 Diseño y modelización de la estructura	17
3.1 <i>Geometría de la estructura</i>	17
3.1.1 <i>Geometría para la estructura de hormigón armado</i>	17
3.1.2 <i>Geometría para la estructura metálica</i>	19
3.2 <i>Normativa considerada</i>	20
3.2.1 <i>Normativa para la estructura de hormigón</i>	21
3.2.2 <i>Normativa para la estructura metálica</i>	21
3.3 <i>Acciones consideradas</i>	21
3.3.1 <i>Acciones gravitatorias</i>	21
3.3.2 <i>Carga de viento</i>	22
3.3.3 <i>Sismo</i>	23
3.4 <i>Combinación de acciones</i>	24
3.5 <i>Materiales utilizados</i>	26
3.6 <i>Dimensionamiento de los modelos estructurales</i>	26
3.6.1 <i>Estructura de hormigón armado</i>	26
3.6.2 <i>Estructura metálica</i>	36
4 Modelización y análisis de la estructura en MidasGen	41
4.1 <i>Modelado de la estructura en MidasGen</i>	42
4.1.1 <i>Geometría de la estructura</i>	42
4.1.2 <i>Secciones de la estructura</i>	42
4.1.3 <i>Materiales y normativas</i>	43
4.1.4 <i>Cargas en MidasGen</i>	44
4.2 <i>Realización del análisis Pushover</i>	45

4.2.1	Configuración del menú Control global para el análisis Pushover	45
4.2.2	Creación y definición de los casos de carga	45
4.2.3	Definición de las rótulas plásticas	46
5	Análisis de resultados	51
5.1	<i>Curvas de capacidad</i>	51
5.1.1	Curvas de capacidad para la estructura de hormigón armado	51
5.1.2	Curvas de capacidad para la estructura metálica	53
5.2	<i>Formación y desarrollo de rótulas plásticas en la estructura</i>	55
5.2.1	Formación de rótulas plásticas en la estructura de hormigón armado	55
5.2.2	Formación de rótulas plásticas en la estructura metálica	58
5.3	<i>Comparación entre la estructura de hormigón armado y metálica</i>	64
6	Conclusiones	67
	Referencias	69
	Anexo A-Listado de datos de la obra: estructura de hormigón	73
	Anexo B-Listado de datos de la obra: estructura metálica	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Nivel de desempeño sísmico para diferentes tipos de edificios.	14
Tabla 3-1. Normativa para estructura de hormigón	21
Tabla 3-2. Normativa para estructura metálica	21
Tabla 3-3. Sobrecargas de uso y cargas muertas	22
Tabla 3-4. Valores de carga de viento	23
Tabla 3-5. Características del hormigón empleado en la estructura	26
Tabla 3-6. Datos del acero de armar	26
Tabla 3-7. Dimensiones de pilares y vigas	27
Tabla 3-8. Datos de la armadura de los pilares	35
Tabla 3-9. Perfiles metálicos para pilares.	36
Tabla 3-10. Perfiles metálicos para vigas.	38
Tabla 3-11. Perfiles metálicos para tirantes.	39
Tabla 4-1. Kilos de armadura dispuesta en la estructura de hormigón armado.	43
Tabla 4-2. Valores para el diagrama de interacción	47
Tabla 4-3. Criterios de aceptabilidad FEMA	48
Tabla 5-1. Aceleración sísmica necesaria para originar la plastificación de la estructura de hormigón armado	58
Tabla 5-2. Aceleración sísmica necesaria para originar la plastificación en pilares y vigas de la estructura metálica en dirección X	62
Tabla 5-3. Aceleración sísmica necesaria para originar la plastificación en tirantes de la estructura metálica en dirección X	62
Tabla 5-4. Aceleración sísmica necesaria para originar la plastificación en la estructura metálica en dirección Y	64
Tabla 5-5. Coordenadas del punto de desempeño para las estructuras metálicas y de hormigón	65
Tabla 5-6. Factor de ductilidad y valores máximos del desplazamiento y del cortante basal	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Primera torre de control del aeropuerto de Croydon	1
Figura 1-2. Torre de control del aeropuerto de Atlanta	2
Figura 1-3. Partes de una torre de control	3
Figura 1-4. Torre de control del aeropuerto de Jerez	4
Figura 2-1. Sistema de un grado de libertad sometido a desplazamientos en su base.	9
Figura 2-2. Reducción de un sistema estructural a un sistema de varios grados de libertad: Superposición modal	9
Figura 2-3. Análisis no lineal frente al análisis lineal.	10
Figura 2-4. Espectro de la respuesta.	10
Figura 2-5. Curva de capacidad en coordenadas espectrales	11
Figura 2-6. Curva de capacidad	11
Figura 2-7. Obtención gráfica del punto de desempeño.	12
Figura 2-8. Ductilidad de vigas en función de la cantidad de armadura.	15
Figura 3-1. Proyección horizontal de una planta del fuste	17
Figura 3-2. Proyección horizontal de la planta técnica	18
Figura 3-3. Proyección horizontal de la planta de la cubierta y del fanal	18
Figura 3-4. Modelo en 3D de la estructura de hormigón armado	19
Figura 3-5. Modelo en 3D de la estructura metálica	20
Figura 3-6. Modelo de barras de la estructura metálica	20
Figura 3-7. Valor básico de la velocidad del viento	22
Figura 3-8. Espectro de respuesta elástica – Jerez.	24
Figura 3-9. Armadura longitudinal viga I-Planta 1	28
Figura 3-10. Armadura transversal viga I- Planta 1	28
Figura 3-11. Armadura longitudinal Viga I - Planta 2	29
Figura 3-12. Armadura transversal Viga I- Planta 2	29
Figura 3-13. Armadura longitudinal Viga I – Planta 3	30
Figura 3-14. Armadura transversal Viga I- Planta 3	30
Figura 3-15. Armadura longitudinal Viga I - Planta 4	31
Figura 3-16. Armadura transversal Viga I -Planta 4	31
Figura 3-17. Armadura longitudinal vigas II -Planta técnica	32
Figura 3-18. Armaduras transversales vigas II-Planta técnica	32
Figura 3-19. Armadura longitudinal vigas III-Planta técnica.	33
Figura 3-20. Armadura transversal vigas III-Planta técnica	33
Figura 3-21. Armadura longitudinal vigas II-Fanal	33
Figura 3-22. Armadura transversal Vigas II-Fanal	34

Figura 3-23. Armadura longitudinal viga II-Cubierta.	34
Figura 3-24. Armadura transversal viga II-Cubierta.	35
Figura 3-25. Detalle de la armadura longitudinal y transversal de los pilares	35
Figura 3-26. Detalle de perfiles en plantas quinta y sexta.	38
Figura 4-1. Modelo de la estructura de hormigón armado en MidasGen	42
Figura 4-2. Modelo de la estructura metálica en MidasGen	42
Figura 4-3. Representación del espectro de la respuesta en MidasGen	44
Figura 4-4. Configuración del menú Pushover Global Control	45
Figura 4-5. Definición del caso de carga DX para análisis Pushover	46
Figura 4-6. Definición del caso de carga DY para análisis Pushover	46
Figura 4-7. Propiedades para las rótulas plásticas de las vigas de la estructura de hormigón	47
Figura 4-8. Diagrama de interacción de las rótulas plásticas	47
Figura 4-9. Propiedades para las rótulas plásticas de las columnas de la estructura de hormigón	48
Figura 4-10. Diagrama de interacción axil-flector para las rótulas de los pilares	49
Figura 4-11. Propiedades para las rótulas plásticas de los tirantes de la estructura metálica	49
Figura 5-1. Cortante basal frente a desplazamientos para la estructura de hormigón armado en dirección X	51
Figura 5-2. Cortante basal frente a desplazamientos para la estructura de hormigón armado en dirección Y	51
Figura 5-3. Curva de capacidad y punto de desempeño para la estructura de hormigón armado en dirección X	52
Figura 5-4. Cortante basal frente a desplazamientos para la estructura metálica en dirección X	53
Figura 5-5. Cortante basal frente a desplazamientos para la estructura metálica en dirección Y	53
Figura 5-6. Curva de capacidad y punto de desempeño para la estructura metálica en dirección X	53
Figura 5-7. Curva de capacidad y punto de desempeño para la estructura metálica en dirección Y	53
Figura 5-8. Estructura de hormigón armado y localización de las posibles rótulas plásticas	55
Figura 5-9. Estructura de hormigón armado con las primeras rótulas plásticas	55
Figura 5-10. Estructura de hormigón armado y primeras rótulas LS	56
Figura 5-11. Estructura de hormigón armado con rótulas LS	56
Figura 5-12. Estructura de hormigón armado con las primeras rótulas en planta técnica	57
Figura 5-13. Estructura de hormigón armado con rótula en prevención del colapso	57
Figura 5-14. Rótulas plásticas con estructura de hormigón en colapso total	58
Figura 5-15. Estructura metálica y localización de las posibles rótulas plásticas-X	59
Figura 5-16. Estructura metálica con las primeras rótulas plásticas-X	59
Figura 5-17. Rótulas plásticas en pilares de la estructura-X	60
Figura 5-18. Rótulas plásticas LS en tirantes-X	60
Figura 5-19. Rótulas CP en tirantes-X	60
Figura 5-20. Rótulas LS en pilares y CP en tirantes	60
Figura 5-21. Estructura con rótulas en tirantes, vigas y pilares colapsadas-X	61
Figura 5-22. Estructura metálica y localización de las posibles rótulas plásticas-Y	63

Figura 5-23. Estructura metálica con las primeras rótulas plásticas IO-Y	63
Figura 5-24. Estructura metálica con rótulas plásticas LS -Y	63
Figura 5-25. Estructura metálica con rótulas plásticas CP y CT -Y	63

1 INTRODUCCIÓN

No basta tener un buen ingenio, lo principal es aplicarlo bien.

René Descartes

1.1 Evolución histórica del control aéreo en los aeropuertos

El crecimiento de la demanda de transporte aéreo en la década de 1920 hizo esencial establecer una organización del tráfico aéreo, motivando la creación de las torres de control, espacios en los que se facilitaban información elemental a los pilotos sobre la posición, el clima o el tráfico [1]. En sus inicios, esta información trataba fundamentalmente sobre la dirección del viento, las condiciones de la pista o los movimientos de otras aeronaves en la pista y plataformas usando banderas, luces o comunicaciones por radio. La bandera roja simbolizaba espera, mientras que la bandera a cuadros daba permiso para el despegue o aterrizaje [2].

La primera torre de control se construyó en 1920 en el aeródromo de Croydon localizado al sur de Londres. Esta torre tenía una altura de 4.5 metros con forma rectangular en la base y fue construida de madera. Incluía ventanas por todas sus caras proporcionando una visión completa del área de aeronaves. El aeropuerto desempeñó un papel muy relevante en el periodo comprendido entre la primera y segunda guerra mundial, convirtiéndose en el principal aeropuerto del país durante ese tiempo. Constaba de unas instalaciones sencillas entre las que se encontraba la primera terminal aérea [3].



Figura 1-1. Primera torre de control del aeropuerto de Croydon

Imagen tomada de [4]

En 1926 el aeropuerto de Croydon fue remodelado y ampliado, dotándolo de una nueva torre de control de 15 metros de altura y de un nuevo edificio destinado a pasajeros, mensajería y carga.

El posterior aumento de las operaciones aéreas supuso un nuevo reto para los controladores aéreos. Cada vez había más aviones que operaban con condiciones climatológicas no muy buenas lo que hizo que la información meteorológica que se transmitía a los pilotos fuera más completa. Además, se produjo algún incidente relacionado con colisiones entre aeronaves, lo que hacía necesario guiarlas para proceder con el despegue, vuelo o aterrizaje y que los vuelos no interfirieran unos con otros. Las labores del control aéreo se

hicieron más complejas y todo esto tenía como finalidad mantener la seguridad de las operaciones aéreas [2].

Ya no era suficiente con el uso de banderas para transmitir información a los pilotos, especialmente en días con niebla o de noche. En la década de 1930 empezaron a implantarse los primeros sistemas de radio en las torres de control, lo que hacía posible una comunicación limitada entre controladores y pilotos. También se incorporaron los primeros instrumentos giroscópicos en las aeronaves haciendo posible los vuelos con nubosidad.

Se idearon artilugios que dieran solución a esta nueva realidad añadiendo balizas o señales luminosas que indicaban las rutas aéreas que los aviones debían seguir. Aun así, estas rutas eran escasas y todos los vuelos las usaban, provocando alrededor de una decena de colisiones por año. Esto motivó que las aerolíneas se agruparan y compartieran información acerca de los planes de vuelo y horarios de los vuelos en 1935 [5].

En Estados Unidos se crearon las Oficinas de Control de Vuelo localizadas en medio de las aerovías con la misión de guiar a las aeronaves y coordinarlas. Las primeras se ubicaban en Newark, Chicago y Cleveland. Posteriormente, se añadieron otras en Los Ángeles, Washington DC, Oakland, Fort Worth, Salt Lake City, St Louis, Atlanta, Seattle y Cincinnati [6]. En estos centros se posicionaban a los aviones a partir de la información que transmitían los pilotos y para ello se usaban pizarras. En función de estos datos, se podía conocer la localización próxima de los aviones y así poder planificar las rutas, minimizando el riesgo de colisión entre aeronaves. Más adelante, se incorporaron las fichas de progresión de vuelo [2].

A principio de la década de 1950 se desarrollaron las comunicaciones por radio de largo alcance, pudiéndose establecer una comunicación directa entre los pilotos y la torre de control [2]. También, destaca el desarrollo e incorporación del radar a mediados de esta década, lo que supuso un gran cambio. Gracias a este instrumento se conseguía localizar al avión en cuanto a su posición con una precisión elevada. Sin embargo, la altitud debía ser comunicada por radio [7]. Más adelante, se produjeron mejoras en este campo haciendo este proceso automático.

En los siguientes años se siguió mejorando y desarrollando la tecnología propia del servicio de control del tráfico aéreo (ATC) con el objetivo de prevenir colisiones en vuelo, colisiones en el área de maniobras entre aeronaves o con obstáculos, y ordenar y acelerar el movimiento de tránsito aéreo, modernizando y haciendo más eficientes los equipos de las torres de control y normas empleadas para poder hacer frente al gran aumento del tráfico aéreo experimentado.

Hoy en día el servicio de control del tráfico aéreo incluye a los siguientes servicios:

- Servicio de control de aeródromo (TWR): Este servicio se encarga de controlar el tránsito aéreo en el aeródromo.
- Servicio de control de aproximación (APP): Servicio de control de tránsito aéreo para la llegada y salida de vuelos controlados en condiciones de vuelo por instrumentos.
- Servicio de control de área (ACC): Servicio de control de tránsito aéreo para los vuelos en ruta y controlados en las áreas de control distintas a las de los servicios TWR y APP.



Figura 1-2. Torre de control del aeropuerto de Atlanta

Imagen tomada de [8]

En Europa, se homogeneizaron las unidades que gestionaban los vuelos en lo que hoy en día se conoce como

Eurocontrol, optimizando la capacidad y pudiendo así gestionar el aumento de vuelos, que generalmente se ha estado duplicando cada diez años [7].

Actualmente, hay programas para el uso de satélites en el control aéreo y se están desarrollando procesos de implantación de esta tecnología con especial utilidad en rutas que sobrevuelan los océanos. De esta manera, el avión determina su posición por satélite y esta es comunicada a las estaciones terrestres de ATC o a otras aeronaves pudiendo realizarse de forma automática.

1.2 La torre de control

La torre de control es un edificio imprescindible para el adecuado control de tránsito aéreo. Esta instalación aeroportuaria es generalmente de altura considerable, ubicada en una zona que permita la adecuada visibilidad de las plataformas y zonas de rodadura del aeropuerto, campos de vuelo y otros lugares próximos al aeropuerto. Su ubicación es tal que no interfiera con las operaciones aéreas. La misión de una torre de control aeroportuaria es evitar colisiones de aviones tanto en el aeropuerto como en el aire y establecer un orden en las operaciones aéreas adaptándolas a la capacidad disponible, garantizando la seguridad y eficacia. Las torres de control dan servicio de aeródromo, servicio de aproximación y también pueden dar servicio de ruta [9].

En cuanto a las partes estructurales de una torre podemos distinguir las siguientes:

- Cimentación: La solución constructiva empleada suelen ser zapatas circulares o pilotes [9].
- Fuste: Es la parte básica de la estructura de la torre, la que consigue elevar el fanal que es la planta en la que los controladores desempeñan las labores de control del tráfico aéreo. Al final del fuste de encuentra la entreplanta técnica, compuesta por una o dos plantas, según las necesidades de cada aeropuerto. Dicha planta está dedicada a albergar equipos necesarios para realizar las tareas propias del control del tránsito aéreo como, por ejemplo: equipos de comunicaciones y el radar de superficie, equipos de balizamiento, equipos de aire acondicionado y otras áreas [9].
- Fanal: Parte de la torre más elevada en la que se encuentran los controladores. Este espacio es característico por sus grandes cristalerías permitiendo la visibilidad de todo el área aeroportuaria y sus inmediaciones [9].
- Cubierta: Esta zona de la torre también es de gran importancia ya que albergará el radar primario, antenas y otros aparatos [9].
- Edificio de servicios: Edificio localizado en una planta baja que en ocasiones se encuentra integrada en la torre y en otras cerca de ella. Alberga diferentes secciones entre las que destacan oficinas de supervisores, de jefes de control, oficinas de operaciones aéreas, de secretaría. Otras actividades realizadas en este edificio son las relacionadas con el jefe de mantenimiento o ingenieros, reuniones en las salas correspondientes [9].



Figura 1-3. Partes de una torre de control

Imagen tomada de [10]

1.3 Motivación y objetivos del trabajo

Como ha quedado de manifiesto en los apartados anteriores de esta introducción, la torre de control es un edificio esencial y vital para el correcto funcionamiento de un aeropuerto. Su operatividad es imprescindible para el desempeño de las actividades aéreas.

En este trabajo nos centraremos en la torre de control del aeropuerto de Jerez. A continuación, se resaltan algunos de los aspectos más importantes de la historia de este aeropuerto.

Los trabajos de explanación del aeropuerto comenzaron el 8 de mayo de 1937 localizados a ocho kilómetros al noroeste de Jerez. En noviembre finalizan las obras de este aeródromo dedicado a la formación de pilotos [11].

En 1951 comienza la construcción de una pista pavimentada finalizándose a finales del siguiente año. Posteriormente, la pista es ampliada y se añaden calles de rodadura, plataformas de estacionamiento y equipos de comunicaciones y navegación [11].

En 1968 comienzan las obras de construcción de una terminal de pasajeros, siendo renovada en 1991 incluyendo una nueva plataforma y calles de rodaje, instalaciones eléctricas, depuradora de aguas y edificio contraincendios [11].

La torre de control de este aeropuerto tiene una altura de 28 m distribuidos en 7 plantas. La entreplanta técnica, en la que se encuentran los equipos es la quinta con una superficie de 140 m². El fanal se ubica en la planta séptima con una superficie de 70 m² [12]. En la siguiente imagen se ilustra la torre de control de este aeropuerto.



Figura 1-4. Torre de control del aeropuerto de Jerez

Imagen tomada de [12]

Este edificio se encuentra a demasiada distancia del campo de vuelo, dando ocasionalmente problemas de visibilidad a los controladores aéreos. Además, en la imagen puede apreciarse que no se trata de una construcción reciente. Todo esto justifica la necesidad de implantar una nueva torre en este aeropuerto ubicándola en una posición más adecuada para garantizar una visibilidad plena por parte de los controladores del campo de vuelo y de las inmediaciones del aeropuerto.

Se van a analizar dos propuestas para la estructura de la torre de control siendo una de ellas una estructura de hormigón armado y otra metálica y se comparará su comportamiento.

Las estructuras de hormigón armado y metálicas presentan ciertas ventajas y desventajas, por ejemplo [13], [14]:

- Las estructuras de hormigón armado tienen una vida útil muy elevada frente a otras tipologías constructivas. En las estructuras metálicas la corrosión del material es un problema muy a tener en cuenta.

- El coste del hormigón es menor que las piezas metálicas. Además, estas últimas exigen mayor mantenimiento que las de hormigón.
- Unas de las principales características del hormigón es su elevada resistencia a la compresión lo que le hace ser un material idóneo para la construcción.
- Con buenos recubrimientos para la armadura del hormigón, estas estructuras tienen capacidad para resistir el fuego. En cambio, las estructuras metálicas pierden rápidamente la resistencia en situaciones de incendios. Esta problemática puede solventarse empleando recubrimientos o pinturas ignífugas.
- El hormigón es un material muy maleable pudiendo adoptar muchos tipos de formas. Por el contrario, el uso de las estructuras metálicas con formas variadas es complejo.
- El hormigón presenta una elevada rigidez siendo adecuado para aguantar acciones sísmicas o de viento. Las estructuras metálicas pueden necesitar elementos adicionales que aporten rigidez como los arriostramientos.
- En las estructuras metálicas se consigue reducir el peso propio de la estructura con respecto a una estructura de hormigón equivalente. Cuando este requisito es fundamental, es muy adecuado el empleo de estructuras metálicas.
- Las estructuras metálicas requieren de una instalación sencilla y rápida, frente a las de hormigón en las que se necesitan encofrados, tiempos de fraguado.
- El metal es un material altamente reciclable frente al hormigón que es complejo de reciclar.
- La calidad de elementos estructurales metálicos suele ser muy alta y controlada, frente al hormigón que debe ser dispuesto en obra.
- En los elementos metálicos se consigue eliminar las deformaciones diferidas, aspecto que no sucede en las estructuras de hormigón.

Para las estructuras de hormigón armado y metálica que se van a modelar se hará especial énfasis en los aspectos dinámicos de las estructuras ya que, al ser una instalación vital para un aeropuerto, se debe garantizar la integridad del edificio ante este tipo de acciones.

En primer lugar, se va a describir la metodología a seguir, con especial interés en los diferentes tipos de análisis de capacidad estructural. En el capítulo 3, se desarrollará el modelo de la nueva estructura de la torre de control para este aeropuerto empleando el software CYPECAD para el modelado de la estructura de hormigón armado y usando CYPE3D para el modelado de la estructura metálica. Se realizará un análisis elástico lineal con las acciones de la normativa, tanto estáticas como dinámicas, pudiendo así definir ambos modelos de estructuras.

Posteriormente, se realizará un análisis de comportamiento tipo Pushover con el software MIDASGEN.

2 METODOLOGÍA Y FUNDAMENTOS

La simplicidad es la máxima sofisticación.

Leonardo da Vinci

En este trabajo debemos evaluar la capacidad de la estructura de la torre de control ante diversas acciones o sollicitaciones. Para ello nos serviremos, en primer lugar, del análisis elástico lineal, pudiendo así dimensionar los modelos estructurales de hormigón armado y metálico, y a continuación, realizar un análisis de comportamiento tipo Pushover.

Existen varios tipos de análisis a los que pueden ser sometidos las estructuras con el fin de evaluar su capacidad estructural. En este capítulo se abordarán dichos análisis y se tratarán sus fundamentos.

2.1. Métodos para la evaluación de la capacidad estructural

En esta sección se van a tratar los diferentes procedimientos de análisis estructural que son aquellos que permiten obtener la respuesta de un sistema estructural ante un estado de carga. Estos análisis son los siguientes: análisis estático lineal, análisis dinámico lineal, análisis estático no lineal y análisis dinámico no lineal.

2.1.1 Análisis estático lineal

En este análisis se supone un comportamiento elástico de las estructuras ante las acciones a las que puedan estar sometidas, siendo un tipo de análisis eficaz para la resolución del cálculo de estructuras. En dicho análisis se hacen dos suposiciones principales: la suposición de linealidad y la suposición estática.

- Suposición de linealidad: El comportamiento de la estructura es lineal. Esto significa que la relación entre la tensión y la deformación es lineal, ante una carga se induce una respuesta de forma lineal. Si se duplica una carga, su respuesta también se duplicará, es decir, habrá doble valor de desplazamientos, deformación unitaria y tensiones. Cuando se realiza este análisis se verifican los siguientes aspectos [15]:
 - Los materiales empleados para la realización del modelo estructural satisfacen la Ley de Hooke, es decir, la tensión es directamente proporcional a la deformación unitaria.
 - Se desprecia la variación de la rigidez como consecuencia de aplicación de la carga ya que los desplazamientos inducidos son muy pequeños.
 - Las condiciones de contorno se mantienen constantes durante la aplicación de las cargas. Las cargas no cambian durante la deformación de la estructura manteniendo dirección, distribución y magnitud.
- Suposición de carga estática: La aplicación de cargas es estática lo que implica que actúen de manera gradual y lenta hasta alcanzar el valor requerido, manteniéndose constantes, es decir, no varían con el tiempo. De esa manera se permite despreciar fuerzas de naturaleza inercial o de amortiguación

producidas por pequeñas aceleraciones despreciables. Las fuerzas inerciales o de amortiguación no despreciables implicarían la realización de un análisis dinámico en lugar de estático [15].

En muchas ocasiones el análisis estático lineal es suficiente para realizar el cálculo de la estructura ya que se basa en pequeñas deformaciones, y esto va en consonancia con la gran parte de normativa y códigos referidos al cálculo de estructuras, que están del lado de la seguridad [16].

2.1.2 Análisis dinámico lineal

El análisis dinámico se centra en el estudio del movimiento vibratorio u oscilatorio de un sistema estructural respecto a su posición de equilibrio.

Cuando un sistema estructural se somete a una acción externa su respuesta dinámica dependerá de la masa, la rigidez y la capacidad disipativa de energía de la estructura [17].

Las fuerzas internas se oponen al movimiento del sistema estructural y esto se debe a estas otras fuerzas [17]:

- Fuerzas de inercia: Fuerzas que se originan al acelerar la masa, oponiéndose al movimiento.
- Fuerzas disipativas: La masa del sistema, m , se somete a fuerzas proporcionales a la velocidad, disminuyéndose su energía para alcanzar un estado de reposo.
- Fuerzas elásticas que se oponen al desplazamiento producido respecto a la posición de equilibrio y son de origen elástico.

A partir del equilibrio de fuerzas externas e internas que actúan sobre la masa del sistema se puede formular una ecuación que gobierna el movimiento de dicho sistema:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{u}(t) = \mathbf{f}(t) \quad (2.1)$$

Para un sistema de N grados de libertad:

- \mathbf{M} es la matriz de masa.
- \mathbf{C} es la matriz de amortiguamiento.
- \mathbf{K} es la matriz de rigidez.
- $\ddot{\mathbf{u}}(t)$ es el vector de aceleración dependiente del tiempo.
- $\dot{\mathbf{u}}(t)$ es el vector de velocidad dependiente del tiempo.
- $\mathbf{u}(t)$ es el vector de desplazamiento dependiente del tiempo.
- $\mathbf{f}(t)$ es el vector de fuerzas externas dependiente del tiempo.

En este análisis las cargas varían con el tiempo. Estas cargas pueden ser periódicas o no, o ser cargas asociadas a algún fenómeno con una ocurrencia que se puede determinar estadísticamente. Las aceleraciones y velocidades del sistema no son despreciables y, por tanto, hay que tener en cuenta las fuerzas de inercia o amortiguamiento. En este análisis lineal las propiedades de los materiales son lineales y las matrices de masa, amortiguamiento y rigidez no varían con el tiempo [18].

En cuanto a la respuesta sísmica de un sistema estructural, esta se caracteriza por una excitación en la base produciendo desplazamientos en la estructura. Por ejemplo, en sistemas de un grado de libertad sometidos a la acción sísmica se produce un desplazamiento del sistema como sólido rígido por la traslación de la base y otro desplazamiento debido a la respuesta dinámica.

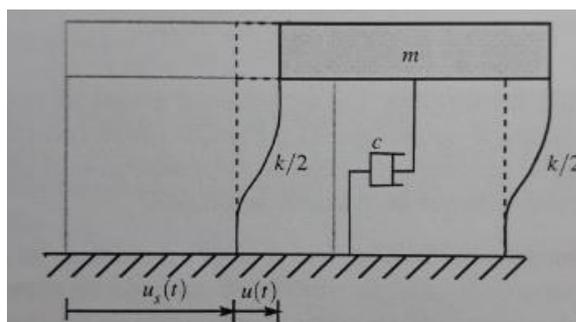


Figura 2-1. Sistema de un grado de libertad sometido a desplazamientos en su base.

Información tomada de [17]

En este caso el desplazamiento total se puede expresar como la suma de estos dos desplazamientos descritos [17]:

$$u_t(t) = u_s(t) + u(t) \quad (2.2)$$

Las fuerzas elásticas asociadas al desplazamiento $u_s(t)$ son nulas y como la velocidad $\dot{u}_s(t)$ es igual para el sistema se puede concluir que las fuerzas disipativas de dicho movimiento también son nulas. Para la aceleración $\ddot{u}_s(t)$ sí que se producen fuerzas de inercia. La ecuación que gobierna este movimiento quedaría descrita de la siguiente manera [17]:

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m\ddot{u}_s(t) \quad (2.3)$$

A partir de la integral de Duhamel se puede resolver esta ecuación conociéndose así el desplazamiento en cada instante. La resolución de esta ecuación para diferentes valores de frecuencias y amortiguamiento permite definir conceptos propios del análisis sísmico como por ejemplo el espectro de la respuesta, que es el valor del máximo desplazamiento para todos los posibles sistemas de un grado de libertad definidos por su frecuencia natural y por el factor de amortiguamiento [17].

Para una estructura con varios grados de libertad es muy útil la aplicación de la superposición modal, permitiendo expresar la respuesta del sistema como una combinación lineal de los modos de vibración.

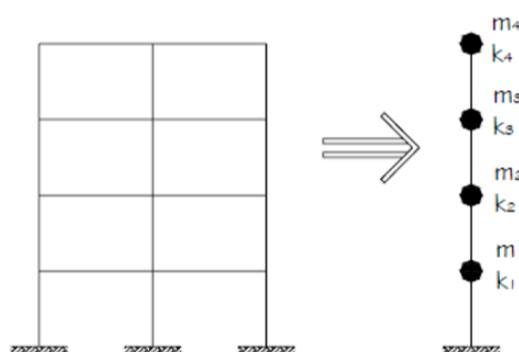


Figura 2-2. Reducción de un sistema estructural a un sistema de varios grados de libertad: Superposición modal

2.1.3 Análisis estático no lineal: Método Pushover

En un análisis estático no lineal la respuesta de una estructura ante unas cargas es no lineal. Ante el doble de carga, los desplazamientos, deformaciones o tensiones no se duplican como sí sucedería en un análisis de tipo lineal. En la siguiente figura se ilustra esta idea de no linealidad [19].

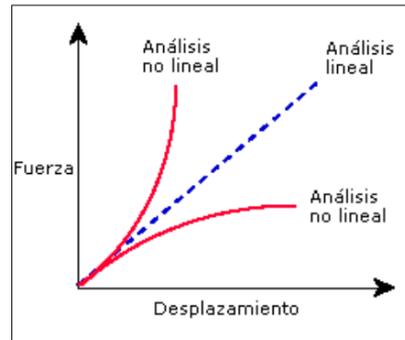


Figura 2-3. Análisis no lineal frente al análisis lineal.

Imagen tomada de [16]

En realidad, las estructuras presentan de algún modo un comportamiento no lineal, lo que sucede en algunos casos es que es posible desprestigiar los efectos no lineales y obtener unos resultados adecuados. En otros casos la no aplicación de un análisis no lineal conllevará grandes errores.

La no linealidad se fundamenta en los siguientes aspectos [19]:

- El comportamiento del material es no lineal.
- Se producen grandes desplazamientos.
- Hay cambios en las condiciones de contorno.

Además, en este tipo de análisis no se considera el comportamiento dinámico de la estructura, omitiéndose fuerzas inerciales y fuerzas viscosas o de amortiguación.

Es conveniente mencionar el concepto de espectro de la respuesta. El espectro de la respuesta es una representación gráfica que asigna a cada valor del periodo de oscilación de una estructura el valor de la máxima aceleración provocada en dicha estructura como consecuencia de las acciones sísmicas. Con el espectro de la respuesta se puede determinar las fuerzas que actúan sobre el edificio.

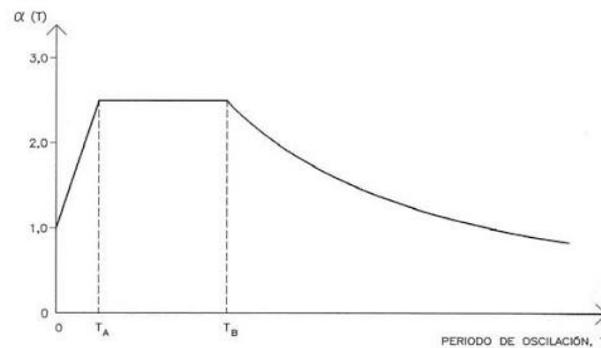


Figura 2-4. Espectro de la respuesta.

Imagen tomada de [20]

2.1.3.1 Análisis Pushover

Un tipo de análisis estático no lineal es el análisis de comportamiento tipo Pushover, análisis que aplicaremos a los modelos de estructuras para la torre de control dimensionada en este trabajo. Es uno de los análisis estáticos no lineales más empleados. Permite hallar la curva de capacidad descarga de estructuras sometidas a acciones sísmicas de manera eficaz [21].

En el análisis Pushover partimos de una estructura dimensionada previamente. Se pretende llevarla al colapso. Para ello se necesita conocer la armadura de la estructura o los elementos estructurales ya diseñados [21].

La estructura se somete a un patrón de cargas laterales, que representan las fuerzas sísmicas, cuyo valor

aumenta progresivamente hasta alcanzar la capacidad última o el colapso, manteniéndose las cargas gravitatorias sin variaciones.

De esta manera se logra conocer unas fuerzas estimadas y la demanda de deformaciones que se producen con el sismo. El análisis Pushover también puede emplearse para comprobar la resistencia del sistema, para predecir aproximadamente los mecanismos de plasticidad en la estructura hallando las posiciones del daño. También, permite comprobar las zonas más sensibles de transmisión de cargas o ser otro modo de mejorar el diseño [21].

Con el análisis Pushover se puede obtener la curva de capacidad que se define como la relación que existe entre la resistencia a la carga lateral de una estructura y su desplazamiento lateral. Así es como se logra ponderar la resistencia de la estructura ante la acción sísmica [22].

El cortante en la base se incrementa paulatinamente manteniendo el patrón de fuerzas sísmicas laterales a lo largo de la altura del edificio.

Así es como se consigue representar la curva de capacidad ilustrada en la siguiente figura:

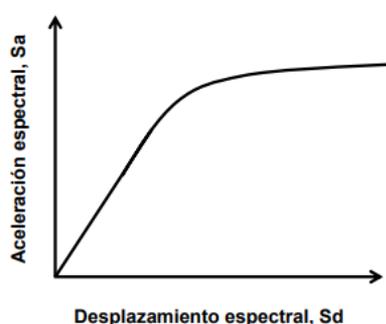


Figura 2-5. Curva de capacidad en coordenadas espectrales

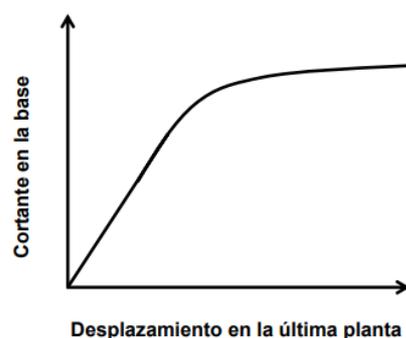


Figura 2-6. Curva de capacidad

Imágenes tomadas de [22]

En el eje de abscisas se representa el desplazamiento en la última planta y en eje de ordenadas se representa el cortante en la base, figura 2-6.

Para poder compararlo con el espectro de demanda, que permite encontrar el desplazamiento de demanda en régimen inelástico, es necesario efectuar un cambio de variable. De esta manera el cortante en la base se transforma a aceleración espectral y el desplazamiento en la última planta a desplazamiento espectral. Así se transforma la curva de capacidad al espectro de capacidad, representada en la figura 2-5.

El análisis Pushover tiene como objetivo conocer el máximo desplazamiento espectral que experimentará la estructura para así poder estimar el máximo daño que va a sufrir el sistema estructural. Es por ello por lo que se debe emplear el espectro de demanda y así poder determinar el punto de desempeño de la estructura [22].

El método de la capacidad espectral ofrece buenos resultados para el desplazamiento máximo en estructuras cuya respuesta está dominada por el primer modo de vibración [22].

El espectro de la demanda está basado en el espectro de respuesta con un amortiguamiento minorado. Esta disminución corresponde a la energía disipada por incurrir en el rango inelástico, ya que el hecho de encontrarse en la zona plástica hace que el amortiguamiento efectivo sea una combinación de amortiguamiento viscoso y de histéresis [22].

Un parámetro importante en un análisis Pushover es el llamado punto de desempeño. Este punto da el máximo desplazamiento al que será sometido una estructura ante un terremoto de demanda. La obtención de este punto se logra en el punto de intersección de los espectros de capacidad y demanda [22].

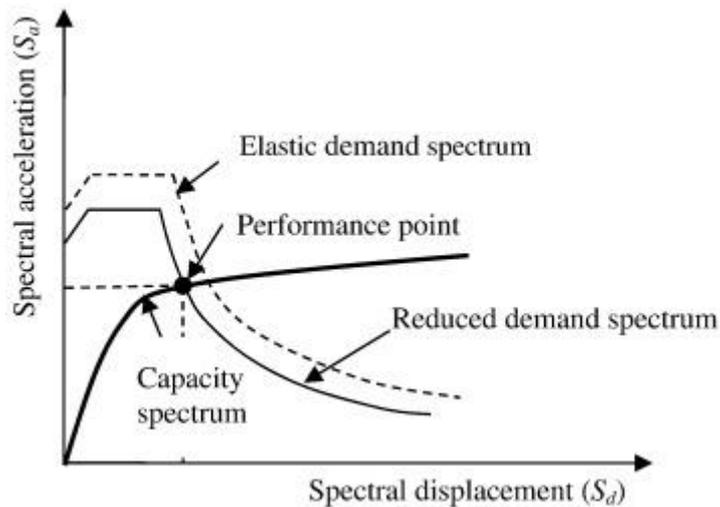


Figura 2-7. Obtención gráfica del punto de desempeño.

Imagen tomada de [23]

En la figura 2-7, se puede observar el punto de desempeño o Performance Point, localizándose en el punto de corte del espectro de capacidad y el espectro de demanda reducido por el comportamiento inelástico de la estructura.

2.1.4 Análisis dinámico no lineal

Este tipo de análisis refleja el comportamiento real de una estructura ante acciones sísmicas, siendo esto un problema dinámico y no lineal. La complejidad de abordar este tipo de análisis motivó el desarrollo de otras metodologías para poder abordar el problema sísmico. De esta manera se han creado los análisis estáticos lineal y no lineal y el análisis dinámico lineal. En todos ellos se hacen ciertas suposiciones o simplificaciones para lograr realizar el estudio de las estructuras ante sismos [24].

Este análisis incorpora la no linealidad de los materiales, barras o apoyos a las estructuras sometidas a solicitaciones dinámicas. Este tipo de análisis es complejo e implica el uso de programas especializados y gran costo computacional. Además, los datos de partida para realizar este análisis son más complejos. Se debe prestar especial atención en las reglas de histéresis o en los registros de aceleración ya que pequeñas variaciones de estos datos de partida con respecto a los reales pueden producir resultados muy diferentes. Por lo que al hacer un análisis de este tipo conviene realizar varios análisis con entradas sísmicas diferentes y así poder evaluar el correcto funcionamiento del análisis [24].

En la resolución de este análisis, se usa la ecuación de equilibrio (2.1) tomando un paso temporal constante Δt para la discretización temporal. Así es como se consigue resolver el sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias obteniendo resultados en función del tiempo.

2.2 Diseño sísmico

Los terremotos son movimientos bruscos del terreno producidos por la actividad tectónica. En ellos se libera energía, variando su valor en función de la magnitud del terremoto. Las ondas sísmicas se propagan por el terreno pudiendo causar graves daños en las edificaciones o a las personas. Es de vital importancia que los edificios cumplan con la normativa sísmica del lugar en el que se encuentran para evitar que sufran graves daños o que estos sean menores. En las zonas de alta sismicidad un diseño estructural antisísmico es fundamental. En la actualidad se implementan mejoras constructivas para evitar o minimizar daños estructurales. La tecnología antisísmica ha evolucionado mucho en los últimos años, ideando métodos para proteger los edificios como, por ejemplo [21]:

- Aisladores en la base: permiten desacoplar el edificio del terreno, colocándose en la parte inferior de la estructura. Así se consigue reducir el impacto sísmico en la estructura mejorando su tolerancia ante estos movimientos [25].

- Disipadores sísmicos: logran amortiguar el movimiento generado en el edificio y liberar la energía recibida en forma de calor [25].
- Los amortiguadores de masa son dispositivos formados por pesos móviles que se encargan de minimizar las oscilaciones generadas por acciones dinámicas como viento o sismo [25].
- Otras alternativas tratan sobre el refuerzo estructural aportando más rigidez [25].

En ingeniería estructural el diseño antisísmico persigue los siguientes objetivos [21]:

- Proteger vidas humanas.
- Evitar el colapso de la estructura.
- Reducir los daños producidos por terremotos en edificios.

Para cuantificar el riesgo sísmico de una edificación hay que valorar varios parámetros: la peligrosidad del sismo, la vulnerabilidad y el valor económico [21].

- Peligrosidad: se refiere a la probabilidad de que existan terremotos en una zona específica y que sean de cierta magnitud. Esta peligrosidad está considerada en las normativas estableciendo zonas de peligrosidad en mapas. Cada país tiene su mapa sísmico en el que se ilustra la probabilidad de que ocurra un sismo en una zona determinada y el valor de la aceleración de dicho sismo.
- Vulnerabilidad: Este parámetro está estrechamente relacionado con el trabajo del ingeniero que es el encargado de conseguir un diseño para que la estructura no sea vulnerable. En definitiva, este es el aspecto sobre el que actúa directamente el ingeniero.

La vulnerabilidad tiene que ver con el comportamiento de la estructura ante sismos. Este comportamiento debe ser adecuado para soportar las acciones sísmicas. En las estructuras vulnerables se producen roturas frágiles de forma relativamente inmediata, generando colapso. Un mecanismo de fallo dúctil es más deseado que un mecanismo frágil, ya que puede ser apreciado por los ocupantes. Este comportamiento se consigue con calidades de materiales adecuadas, calidad de ejecución de la obra y buena disposición de elementos estructurales para soportar las cargas de diversa naturaleza, entre las que se encuentran las sísmicas.

- El valor económico, generalmente ligado a la importancia del edificio.

En el diseño sísmico las estructuras deben poder soportar grandes acciones sísmicas sin llegar al colapso. Se prefiere que la estructura se deforme de manera dúctil, incluso produciéndose grandes deformaciones inelásticas como modo de disipar la energía y sin gran disminución de resistencia. Las normativas sismorresistentes se configuran para otorgar a las estructuras esta ductilidad necesaria [21].

Se permiten que se produzcan daños estructurales irreparables sin que estos comprometan la estabilidad de la estructura cuando se aplican cargas sísmicas elevadas [21].

Las **rótulas plásticas** son mecanismos de fallo estables ya que permiten la disipación de la energía sin comprometer la estabilidad del sistema estructural, por lo que se desea la formación de rótulas plásticas en ciertos lugares de la estructura ante estas situaciones. En estructuras formadas con pórticos es más deseable la aparición de las rótulas plásticas en los extremos de las vigas y se debe evitar la aparición de rótulas plásticas en los pilares.

En la formación de una rótula plástica la distribución de tensiones en una sección del material pasa por varias fases [26]:

- Fase elástica lineal. En todos los puntos de la sección se alcanzan una tensión no superior a la de plastificación. En esta fase la distribución de tensiones es lineal.
- Fase de plastificación parcial. En esta fase comienza la formación de la rótula plástica. Hay zonas de la sección en la que elongación supera la de plastificación, de forma que la tensión no sigue aumentando en la misma proporción. Si la ley de comportamiento es bilineal, la tensión será constante en los puntos plastificados.

- Fase de colapso: Todos los puntos de la sección de la rótula plastifican. Esta sección no puede aguantar más cargas y se deforma continuamente a carga constante. Aquí se produce el colapso de la viga.

El fallo producido a través de rótulas plásticas es considerado un mecanismo de colapso. Este se alcanza cuando se forman un número suficiente de rótulas plásticas generando el mecanismo. En las rótulas plásticas se produce la plastificación completa de la sección pudiendo girar sin que el momento flector aplicado varíe. A este momento se le llama momento plástico. En ocasiones en el hormigón armado se produce un ablandamiento por desegregación a compresión [26].

En cuanto al nivel de diseño sísmico se pueden establecer cuatro niveles: frecuente, ocasional, excepcional y extremo. Esta clasificación es la establecida en la norma SEAOC de 1995 [27].

- Frecuente: con periodo de retorno 43 años y probabilidad de excedencia 50% en 30 años.
- Ocasional: con periodo de retorno 72 años y probabilidad de excedencia 50% en 50 años.
- Raro: con periodo de retorno 475 años y probabilidad de excedencia 10% en 50 años.
- Muy raro: con periodo de retorno 970 años y probabilidad de excedencia 10% en 100 años.

Para cada uno de estos niveles de amenaza sísmica se establecen unos niveles de desempeño sísmico: colapso, seguridad, operacional y totalmente operacional. En la tabla 2-1 se recoge el nivel de desempeño sísmico para diferentes tipos de edificios.

Tabla 2-1. Nivel de desempeño sísmico para diferentes tipos de edificios.

[27]

		Nivel de desempeño sísmico			
		Colapso	Seguridad	Operacional	Totalmente operacional
Nivel de diseño sísmico	Frecuente	No aceptable para ninguna instalación	No aceptable para ninguna instalación	No aceptable para ninguna instalación	Todo tipo de instalaciones
	Ocasional	No aceptable para ninguna instalación	No aceptable para ninguna instalación	Instalaciones básicas	Instalaciones esenciales y de seguridad crítica
	Raro	No aceptable para ninguna instalación	Instalaciones básicas	Instalaciones esenciales	Instalaciones de seguridad crítica
	Muy raro	Instalaciones básicas	Instalaciones esenciales	Instalaciones de seguridad crítica	-

2.3 Concepto de ductilidad

La ductilidad es una propiedad de los materiales consistente en experimentar deformaciones sin llegar a producir pérdida apreciable de rigidez y resistencia ante la acción de cargas cíclicas. En los elementos dúctiles se permiten estas deformaciones inelásticas sin pérdida de las cualidades descritas [21].

Gracias a la ductilidad se permite la dispersión de energía procedente de acciones sísmicas, interviniendo los fenómenos de histéresis propios de la plasticidad [26].

En el hormigón armado la colocación del acero desempeña un papel fundamental en la consecución de elementos estructurales dúctiles. Colocando una cantidad grande y suficiente tanto transversal como longitudinal de este material se puede conseguir. Incrementar la armadura transversal en las zonas de máximos esfuerzos consigue aumentar la ductilidad de este elemento estructural. En la siguiente imagen puede apreciarse como el aumento de la armadura en la zona más solicitada consigue aumentar la ductilidad, el área bajo la curva es cada vez mayor [21].

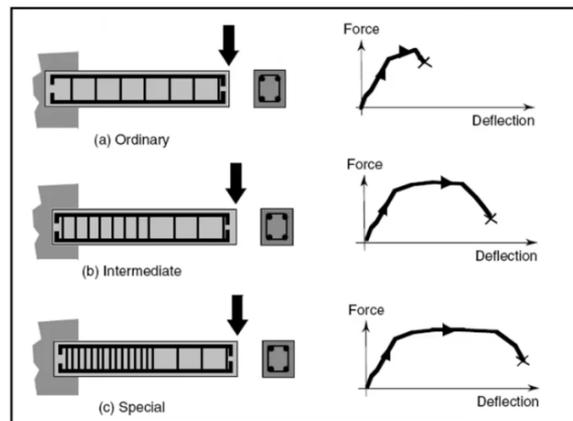


Figura 2-8. Ductilidad de vigas en función de la cantidad de armadura.

Imagen tomada de [21]

El aumento de armadura longitudinal también es relevante ya que en vigas sometidas a flexión la armadura debe soportar las tracciones originadas y que el hormigón en gran medida no es capaz de soportar [21].

3 DISEÑO Y MODELIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA

La mente es como un paracaídas, solo funciona si se abre.

Albert Einstein

En este capítulo se mostrará el proceso de modelización de la estructura mediante el software CYPE, proponiendo dos modelos para la estructura de la torre de control: un primer modelo de hormigón y otro metálico. Se mostrarán las geometrías y dimensiones del modelo propuesto, las acciones que intervienen en este análisis, materiales y normativa empleada y los resultados del dimensionamiento del software.

3.1 Geometría de la estructura

La nueva torre de control para el aeropuerto de Jerez constará de ocho plantas formadas por cinco plantas en el fuste de la torre, la planta técnica, el fanal y la cubierta, zona que alberga equipos para la navegación aérea como antenas y radares.

3.1.1 Geometría para la estructura de hormigón armado

En esta sección se describirá e ilustrará la geometría de la estructura para el modelo de hormigón armado

- Las plantas del fuste tendrán una altura de 5 metros y serán de forma cuadrada con 5 metros de lado.

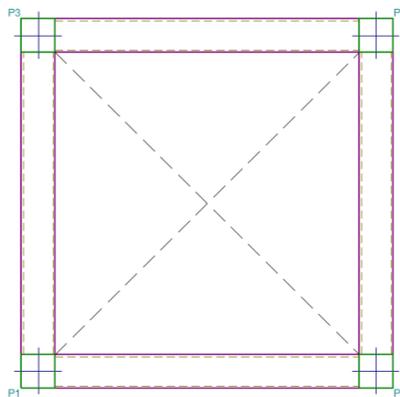


Figura 3-1. Proyección horizontal de una planta del fuste

- La planta técnica también tiene forma cuadrada de lado 8 metros. Estos metros adicionales, con

respecto a las plantas del fuste, se obtienen gracias a un voladizo de 1.5 metros por cada lado. La altura de esta planta será 4 metros.

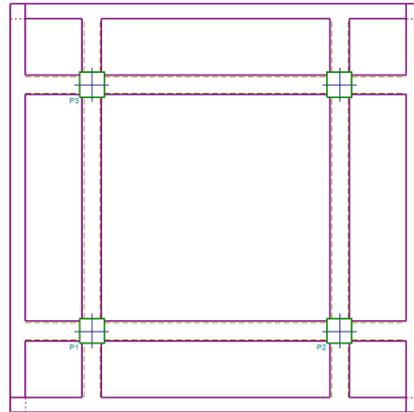


Figura 3-2. Proyección horizontal de la planta técnica

- El fanal, zona en la que se encuentran los controladores, será una planta cuadrangular de lado 5 metros y una altura de 3 metros.
- Finalmente, se encuentra la cubierta justo encima del fanal, a una cota de 32 metros sobre el suelo.

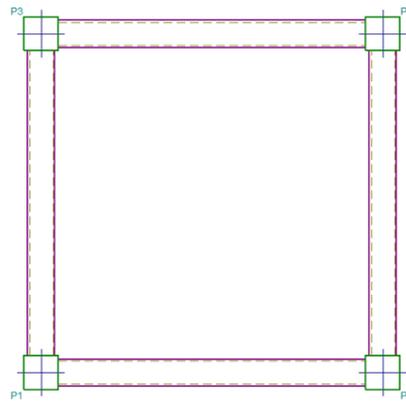


Figura 3-3. Proyección horizontal de la planta de la cubierta y del fanal

Debido a que Jerez es un aeropuerto con un tráfico aéreo relativamente bajo, se consideran adecuadas las dimensiones descritas para esta torre de control.

Finalmente, el programa CYPE también proporciona una representación en tres dimensiones de la estructura, mostrada en la siguiente figura.



Figura 3-4. Modelo en 3D de la estructura de hormigón armado

En la figura 3-4, correspondiente con el modelo en tres dimensiones de la estructura de hormigón, se han representado los pilares en color marrón, las vigas en color azul y los forjados en color amarillo. Los pilares se colocarán empotrados en el suelo. La cimentación de la estructura no es parte de este trabajo. No obstante, el empotramiento de pilares puede conseguirse de diversas formas como por ejemplo mediante el empleo de pilotes, solución constructiva para la cimentación de otras torres de control. Todo lo referido a la cimentación requiere de un estudio geotécnico que no es objeto de este trabajo.

3.1.2 Geometría para la estructura metálica

La estructura metálica se ha modelizado con el software CYPE 3D. Básicamente, la geometría de la estructura metálica es idéntica al modelo realizado en hormigón armado. Se mantiene la forma y dimensiones de la torre descritas en el apartado anterior, empleando como es lógico perfiles metálicos para los pilares y vigas. Otra diferencia consiste en la utilización de tirantes en las cinco primeras plantas, con ellos se consigue arriostrar la estructura aportando más rigidez ante las solicitaciones, principalmente ante cargas de viento elevadas o solicitaciones sísmicas.

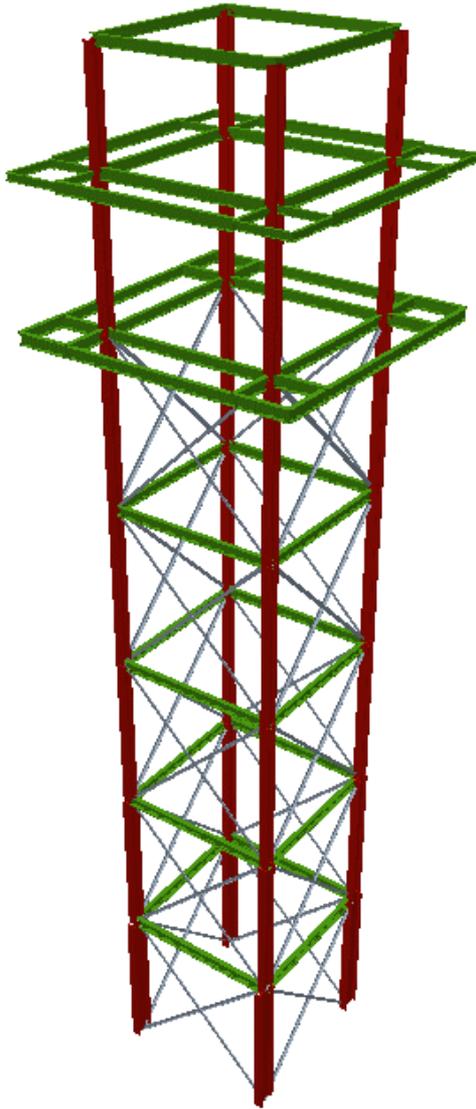


Figura 3-5. Modelo en 3D de la estructura metálica

Se han representado los pilares en rojo, las vigas en verde y los tirantes en gris.

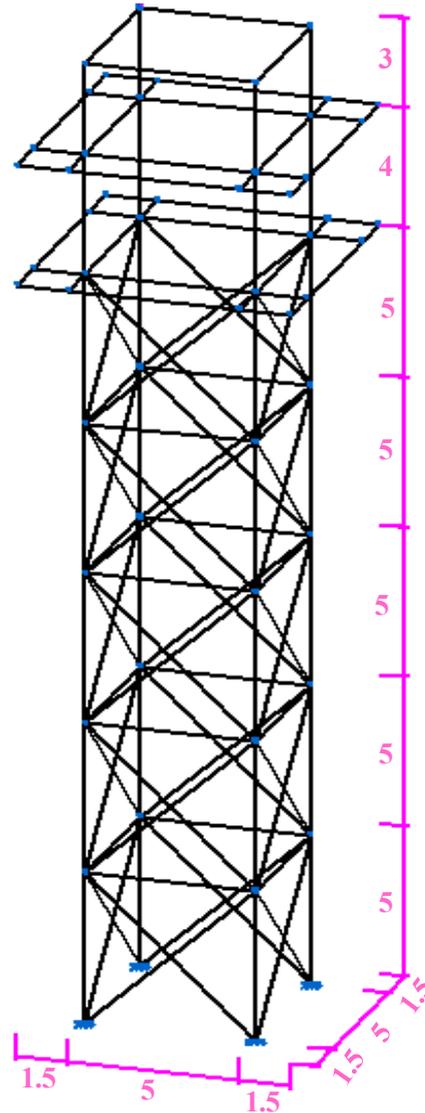


Figura 3-6. Modelo de barras de la estructura metálica

Cotas en metros

3.2 Normativa considerada

En este apartado se especifica la normativa considerada para la realización de los modelos de estructuras para la torre de control.

3.2.1 Normativa para la estructura de hormigón

Tabla 3-1. Normativa para estructura de hormigón

Normativa
Instrucción Española del hormigón estructural (EHE-08)
Código Técnico de la Edificación: Documento básico de seguridad estructural- Acero (CTE DB SE-A)
Norma de construcción sismorresistente española (NCSE-02)
Código Técnico de la Edificación: Documento básico de seguridad estructural- Acciones en la edificación (CTE DB SE-AE)

3.2.2 Normativa para la estructura metálica

Tabla 3-2. Normativa para estructura metálica

Normativa
Código Técnico de la Edificación: Documento básico de seguridad estructural- Acero (CTE DB SE-A)
Norma de construcción sismorresistente española (NCSE-02)
Código Técnico de la Edificación: Documento básico de seguridad estructural- Acciones en la edificación (CTE DB SE-AE)

3.3 Acciones consideradas

En primer lugar, es importante conocer la categoría de uso del edificio. El código técnico de la edificación establece diferentes categorías de uso para los edificios. En función de estas categorías se establecen unos valores de sobrecargas. Podemos asimilar la torre de control de un aeropuerto como zona administrativa, en ese caso la categoría de uso es la B, excepto para la cubierta cuya categoría es la G1, categoría accesible únicamente para conservación.

Las acciones consideradas para la modelización de la estructura son las siguientes:

- Acciones permanentes: Peso propio.
- Acciones variables: Sobrecarga de uso, cargas muertas, viento y nieve.
- Acciones accidentales: Sismo.

3.3.1 Acciones gravitatorias

Además del peso propio, que incluye el correspondiente a vigas, pilares, forjados y cerramientos del edificio (implementado en el software mediante una carga lineal en barras de valor 10 kN/m), hay otras acciones gravitatorias como son las sobrecargas de uso y las cargas muertas. En la siguiente tabla se muestran las categorías de uso, las sobrecargas de uso y las cargas muertas que intervienen en las distintas partes de la

estructura.

Tabla 3-3. Sobrecargas de uso y cargas muertas

Nombre	Categoría de uso	Sobrecarga de uso Q [kN/m ²]	Carga muerta CM [kN/m ²]
Cubierta	Uso G1	3	3
Fanal	Uso B	5	2
Planta técnica	Uso B	5	2
Planta 4	Uso B	1	2
Planta 3	Uso B	1	2
Planta 2	Uso B	1	2
Planta 1	Uso B	1	2

3.3.2 Carga de viento

La determinación de la carga de viento se realiza en base al Código Técnico de la Edificación: Documento básico de seguridad estructural- Acciones en la edificación (CTE DB SE-AE). Proporcionando al programa CYPE los datos de ancho de banda, de la zona eólica, del grado de aspereza y la geometría del edificio, se obtienen la carga de viento que actúa sobre la estructura.

En la siguiente ilustración, obtenida del CTE DB SE-AE, se establecen tres zonas eólicas en España a las que se le asocia una determinada velocidad básica.

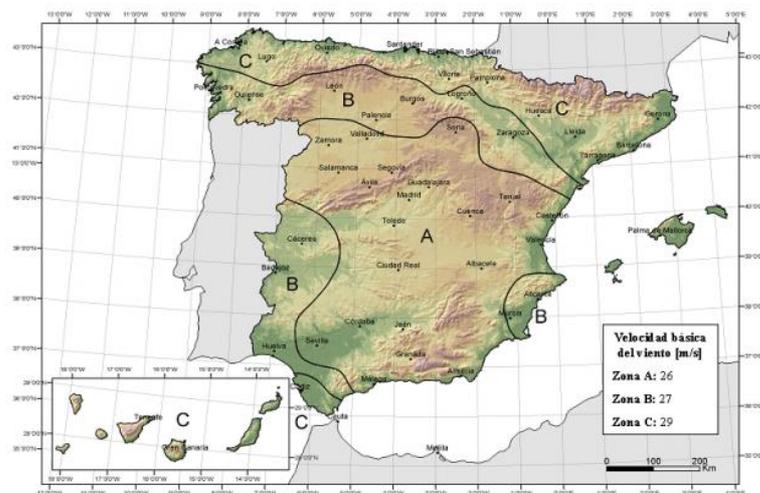


Figura 3-7. Valor básico de la velocidad del viento

Imagen tomada de [28]

Jerez de la Frontera se encuentra en la zona eólica C correspondiéndole un valor de 29 m/s de velocidad básica. Además, se considera un terreno rural sin obstáculos como grado de aspereza.

CYPE calcula la presión estática q_e , la que actúa en una dirección perpendicular a la superficie expuesta, de manera automática teniendo en cuenta los parámetros descritos anteriormente y basándose en el CTE DB SE-AE. Para ello sigue la siguiente fórmula:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p \quad (3.1)$$

q_b Es la presión dinámica del viento conforme al mapa eólico del Anejo D [28].

c_e Es el coeficiente de exposición, determinado conforme a las especificaciones del Anejo D.2, en función del grado de aspereza del entorno y la altura sobre el terreno del punto considerado [28].

c_p Es el coeficiente eólico o de presión, calculado según la tabla 3.5 del apartado 3.3.4, en función de la esbeltez del edificio en el plano paralelo al viento [28].

En la siguiente tabla se muestran las cargas de viento para la estructura realizada en CYPECAD.

Tabla 3-4. Valores de carga de viento

Planta	Viento +X [kN]	Viento +Y [kN]
Cubierta	31.677	31.677
Fanal	72.535	72.535
Planta técnica	56.635	56.635
Planta 4	60.213	60.213
Planta 3	56.793	56.793
Planta 2	52.124	52.124
Planta 1	44.557	44.557

3.3.3 Sismo

La norma NCSE-02 es la norma de construcción sismorresistente. Proporciona los criterios para la consideración de la acción sísmica en la construcción de edificios, reforma y conservación de estos y es la norma que se implementa en CYPECAD para tener en cuenta la acción sísmica en la resolución de la estructura.

La primera clasificación que esta norma efectúa es aquella referida a la importancia del edificio diferenciando entre moderada, normal y especial. La torre de control puede considerarse un edificio de importancia especial ya que se ubican en los aeropuertos y su integridad es esencial para el correcto funcionamiento de los aeródromos. De hecho, en la propia norma se especifica que serán edificios de importancia especial: “*Edificios e instalaciones vitales de los medios de transporte en las estaciones de ferrocarril, aeropuertos y puertos*”. Esto justifica la importancia del edificio considerado. Esta importancia especial y aceleración básica superior a 0.04g, en Jerez es 0.06g, también justifica la aplicación de la norma NCSE-02.

Como ya se ha adelantado en el capítulo 2, la peligrosidad sísmica se cuantifica en mapas de peligrosidad sísmica del país, mapas que proporcionan dos parámetros fundamentales en el cálculo sísmico: la aceleración básica y el coeficiente de contribución.

- Aceleración sísmica básica, a_b : está expresada en relación con la aceleración de la gravedad y da una medida de la aceleración horizontal producida durante el sismo.
- Coeficiente de contribución, K : para considerar la influencia de los distintos tipos de terremotos.

La aceleración sísmica de cálculo se obtiene de la siguiente manera:

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b \quad (3.2)$$

donde:

ρ Coeficiente adimensional de riesgo. Toma el valor 1.3 para construcciones de importancia especial.

a_b Aceleración básica sísmica. Toma el valor 0.06g en Jerez.

S Coeficiente de amplificación del terreno. Para $\rho \cdot a_b \leq 0.1g$

$$S = \frac{C}{1.25} \quad (3.3)$$

Siendo C el coeficiente del terreno. Considerando un suelo tipo III, C toma el valor 1.6.

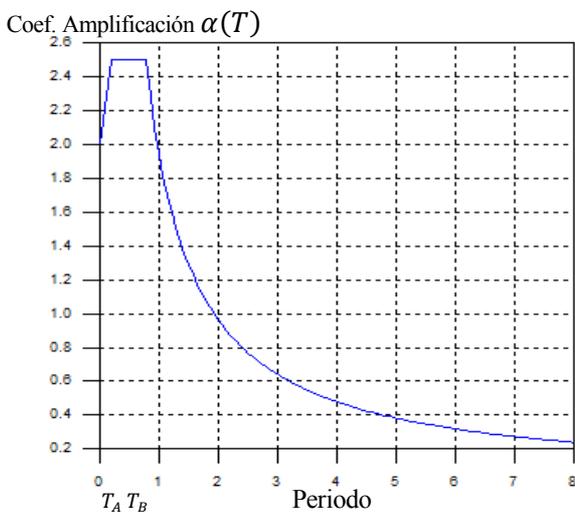
En Jerez: $1.3 \cdot 0.06g \leq 0.1g$, entonces:

$$S = \frac{C}{1.25} = \frac{1.6}{1.25} = 1.28$$

Con todos estos valores definidos, procedemos a calcular la aceleración sísmica de cálculo (3.2):

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b = 1.28 \cdot 1.3 \cdot 0.06g = 0.9794 \frac{m}{s^2}$$

Con los valores de estos parámetros ya definidos, podemos representar el espectro de respuesta elástica con un amortiguamiento de referencia del 5% con respecto al crítico.



$$T_A = K \cdot \frac{C}{10} \quad T_B = K \cdot \frac{C}{2.5}$$

$$\text{Si } T \leq T_A \quad \alpha(T) = 1 + 1.5 \cdot T/T_A$$

$$\text{Si } T_A \leq T \leq T_B \quad \alpha(T) = 2.5$$

$$\text{Si } T \geq T_B \quad \alpha(T) = K \cdot \frac{C}{T}$$

Figura 3-8. Espectro de respuesta elástica – Jerez.

3.4 Combinación de acciones

Como se puede intuir en este momento, no todas las acciones actúan de forma simultánea. Por un lado, hay acciones permanentes que siempre se consideran conjuntamente, y otras acciones que son variables o accidentales. Es necesario establecer diferentes combinaciones de acciones para así poder calcular la estructura con unos valores adecuados. En el artículo 13.1 de la norma EHE-08 se define el concepto de combinación de acciones: “*Conjunto de acciones compatibles que se considerarán actuando simultáneamente para una comprobación determinada. La combinación la forman las acciones permanentes, una acción variable determinante y una o varias acciones variables concomitantes*” [29].

Los tipos de combinaciones se realizan para Estados Límites Últimos (ELU) o para Estados Límites de Servicio (ELS).

- En Estados Límites Últimos. Se consideran las siguientes situaciones:
 - Situaciones persistentes o transitorias.
 - Situaciones sísmicas.
- En Estados Límites de Servicio
 - Combinación frecuente.

Tras esta aclaración, procedemos a mostrar las expresiones que recogen la combinación de las acciones.

Para Estados Límites de Servicio, considerando situaciones de proyecto persistentes y transitorias.

- Combinación característica para acciones de corta duración que efectos que puedan ser irreversibles.

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

- Combinación frecuente para acciones de corta duración que efectos que puedan ser reversibles.

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

- Combinación cuasipermanente para acciones de larga duración.

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

Para Estado Límite Último se considera la situación sísmica.

- Situaciones sísmicas

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_A \cdot A_{E,k} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Donde:

$G_{k,j}$ Valor característico de las acciones permanentes.

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

$\psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$ Valor representativo de combinación de las acciones variables concomitantes.

$\psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}$ Valor representativo frecuente de la acción variable determinante.

$\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$ Valores representativos cuasipermanentes de las acciones variables con la acción determinante o con la acción accidental.

$A_{E,k}$ Valor característico de la acción sísmica.

γ_G Coeficientes parciales de seguridad para acciones permanentes.

γ_Q Coeficientes parciales de seguridad para acciones variables.

γ_A Coeficiente parcial de seguridad de la acción sísmica.

ψ Coeficientes de simultaneidad. Toman los valores de la tabla 4.2 CTE DB-SE.

En los modelos de hormigón armado y metálicos, implementado en CYPECAD y CYPE3D, respectivamente, las acciones quedan definidas mediante hipótesis de carga. A continuación, se muestran estas:

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| • Peso propio | • Viento +Y excentricidad + |
| • Cargas muertas | • Viento +Y excentricidad - |
| • Sobrecarga de uso | • Viento -Y excentricidad + |
| • Viento +X excentricidad + | • Viento -Y excentricidad - |

- Viento +X excentricidad -
- Viento -X excentricidad +
- Viento -X excentricidad -
- Sismo X
- Sismo Y

3.5 Materiales utilizados

Las características de los materiales utilizados se definen en los datos de la obra del software CYPE y con ellos el programa modela la estructura. Para la estructura de hormigón armado se emplea hormigón y acero. Las plantas de cubierta, fanal y planta técnica consisten en un forjado de viguetas armadas unidireccional con un espesor de 30 cm, correspondiendo 25 cm al canto de la bovedilla y 5 cm al espesor de la capa de compresión. En estas viguetas también se usa acero, aunque para el desarrollo de este trabajo no tienen suficiente relevancia.

En la siguiente tabla, tabla 3-5, se recoge la información sobre los materiales empleados en el modelado de la **estructura de hormigón armado**.

Tabla 3-5. Características del hormigón empleado en la estructura

Elementos	Hormigón	f_{ck} [MPa]	γ_c	Árido	
				Naturaleza	Tamaño máximo [mm]
Pilares y vigas	HA-30	30	1.30 a 1.50	Cuarcita	15
Forjados	HA-30	30	1.30 a 1.50	Cuarcita	15

El acero usado para las armaduras presenta las características recogidas en la tabla 3-6.

Tabla 3-6. Datos del acero de armar

Elemento	Acero	f_{yk} [MPa]	γ_s
Todos	B 500 S	500	1.00 a 1.15

Para la **estructura metálica** se ha empleado perfiles de acero estructural. Dicho material es acero laminado con un límite elástico de 275 MPa y su designación es S275.

3.6 Dimensionamiento de los modelos estructurales

3.6.1 Estructura de hormigón armado

Tras la realización del cálculo de la estructura con el software CYPE se obtienen los armados de las vigas y pilares. También se comprueban que las dimensiones de los elementos estructurales sean las adecuadas. En los siguientes subapartados se desarrollan estos aspectos.

3.6.1.1 Dimensiones de pilares y vigas

Las dimensiones son tales que se verifica los criterios de vigas débil-pilar fuerte para vigas y pilares de la estructura. En la siguiente tabla se recogen las dimensiones de las vigas y pilares de la estructura.

Considerando, únicamente, las dimensiones del ancho y canto de vigas y pilares, se tienen los siguientes elementos, recogidos en la tabla 3-7.

Tabla 3-7. Dimensiones de pilares y vigas

ELEMENTO	NOMBRE	SECCIÓN [cm]
PILARES	Pilar I	Cuadrado [50x50]
VIGAS	Viga I	Cuadrada [50x50]
	Viga II	Rectangular [40x50]
	Viga III	Cuadrada [30x30]

En función de la armadura dispuesta en las vigas de la estructura se pueden diferenciar más subtipos de vigas, como se detallará en el apartado 3.6.1.2 Armado de vigas y pilares.

3.6.1.2 Armado de vigas y pilares

Tras realizar el cálculo de la estructura con CYPE, el software dispone la armadura necesaria para cumplir con las normativas consideradas. A continuación, se mostrarán los esquemas de armado para las vigas.

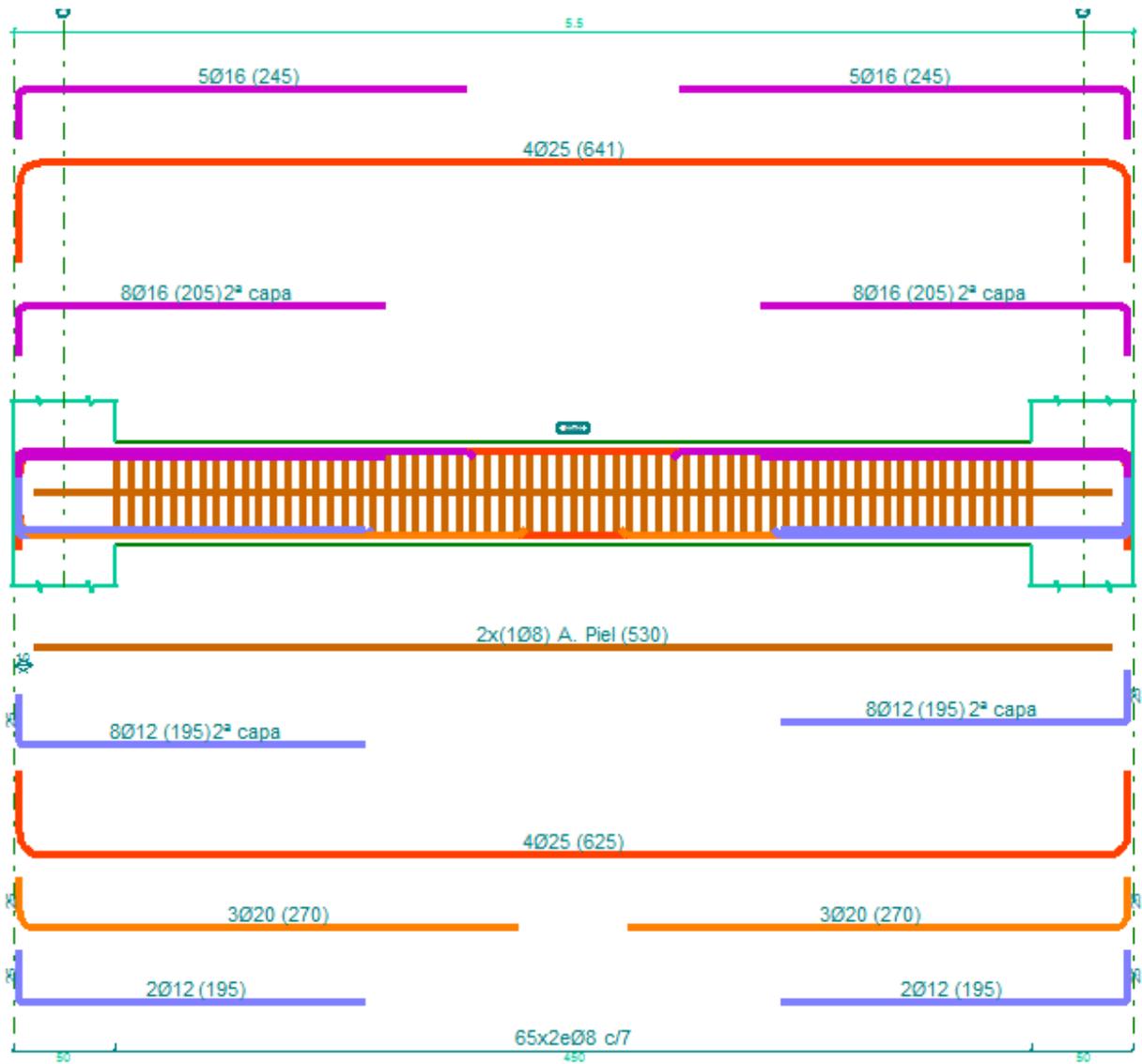


Figura 3-9. Armadura longitudinal viga I-Planta 1

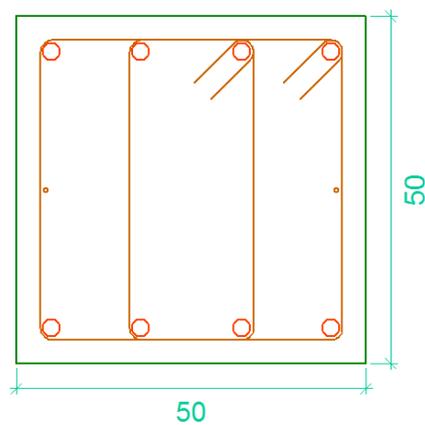


Figura 3-10. Armadura transversal viga I-Planta 1

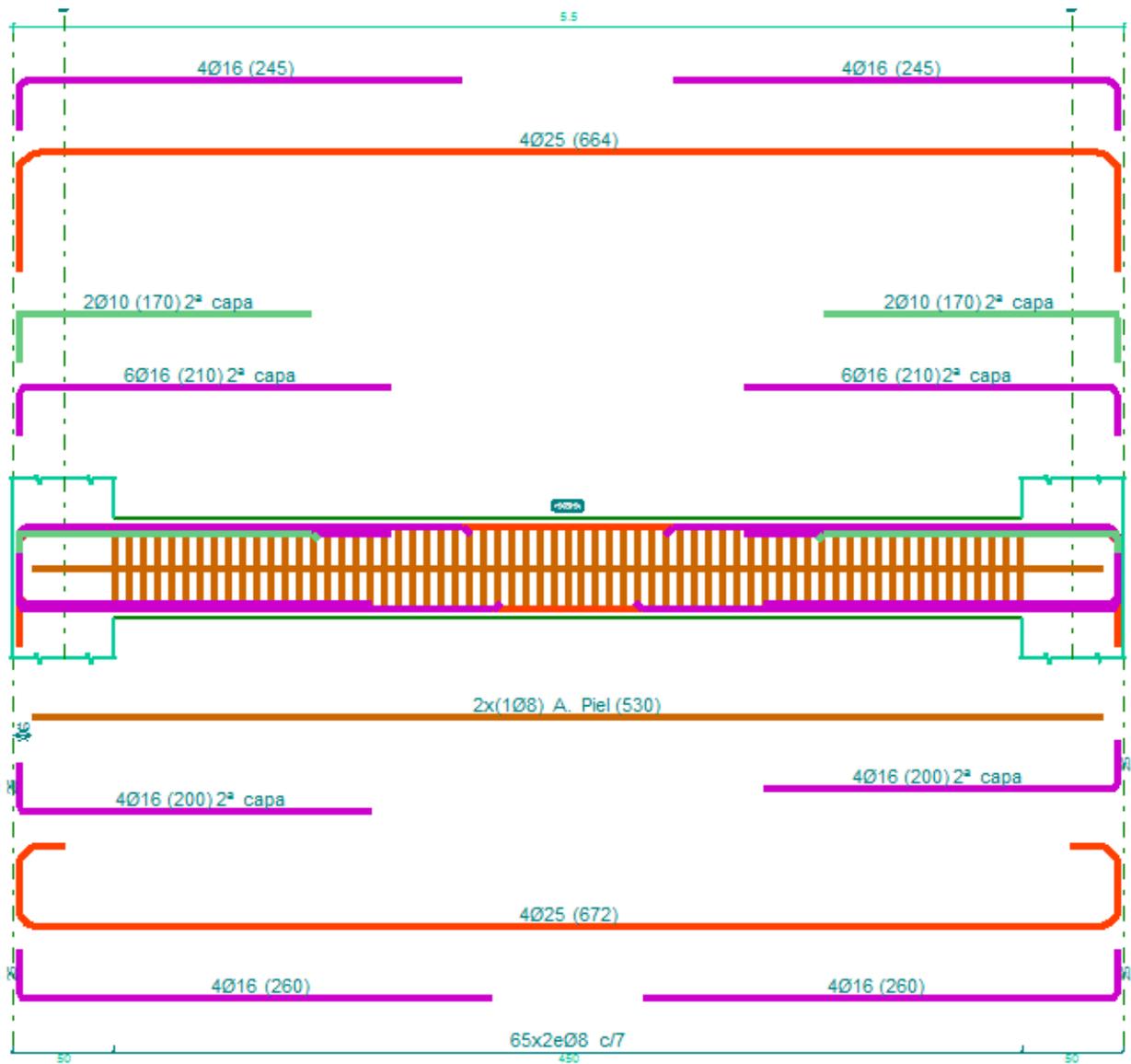


Figura 3-11. Armadura longitudinal Viga I - Planta 2

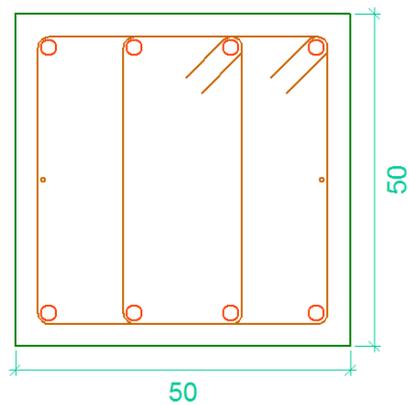


Figura 3-12. Armadura transversal Viga I- Planta 2

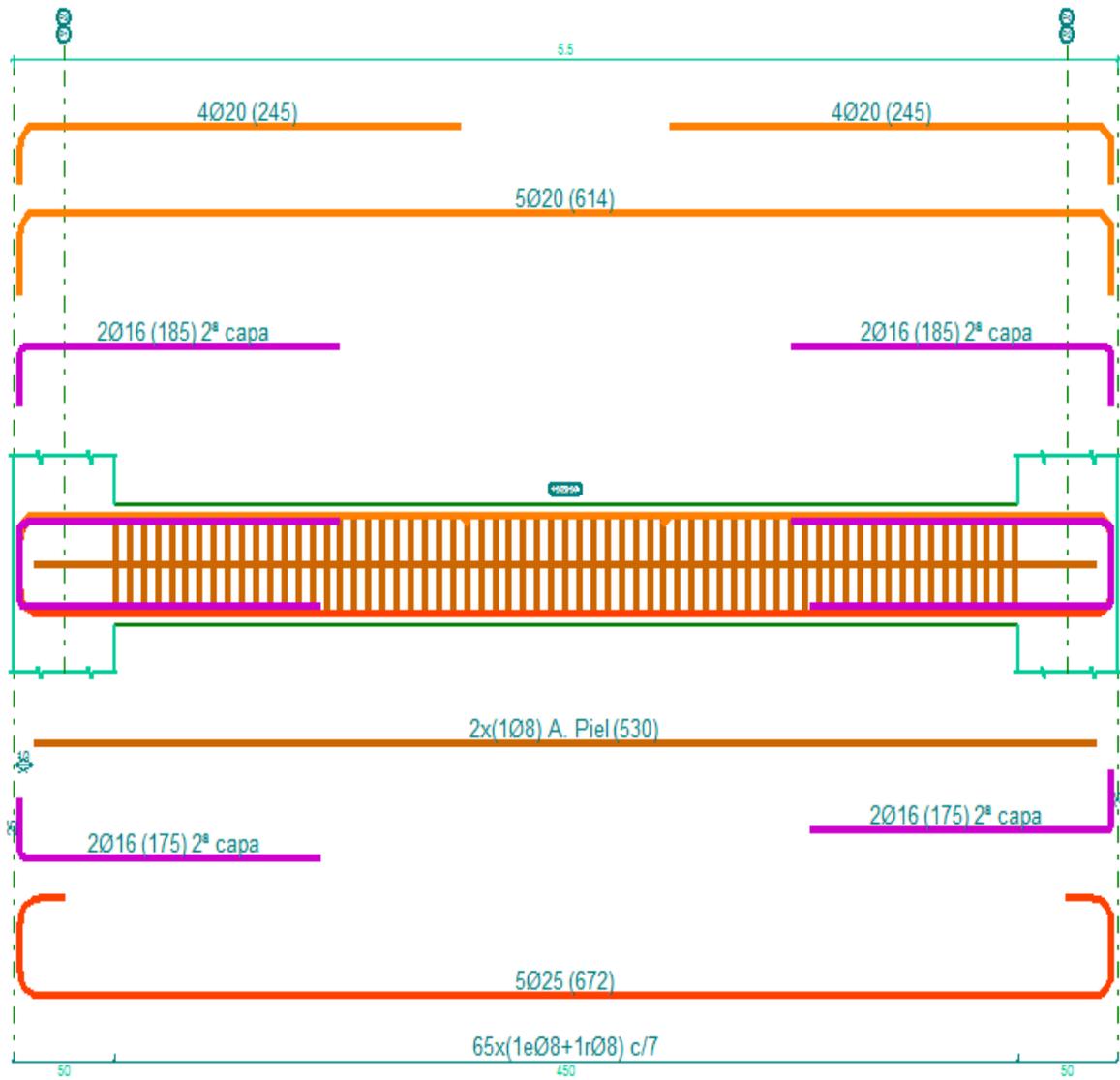


Figura 3-13. Armadura longitudinal Viga I – Planta 3

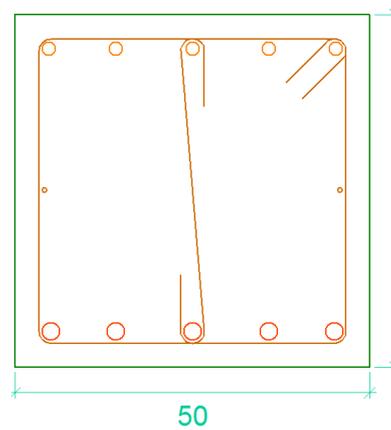


Figura 3-14. Armadura transversal Viga I- Planta 3

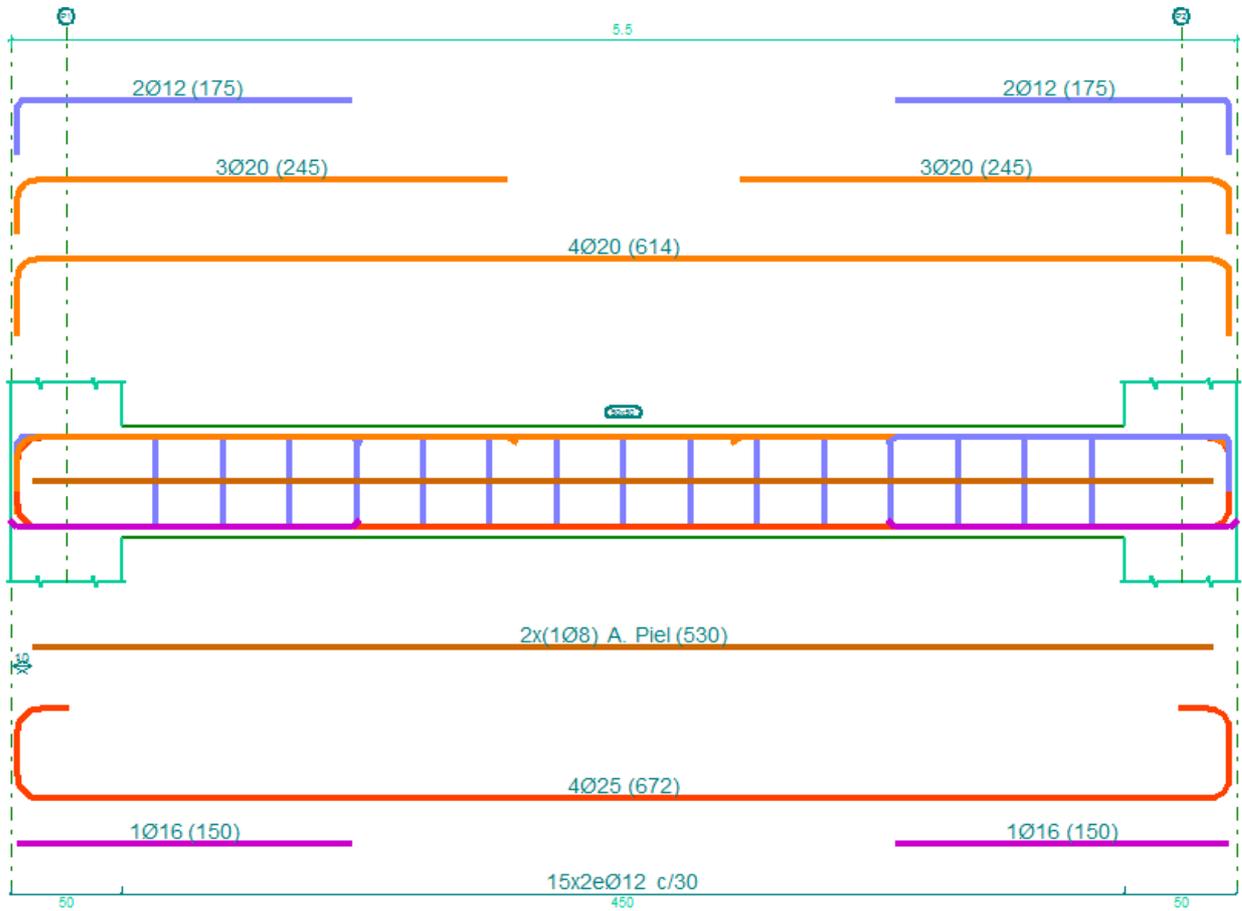


Figura 3-15. Armadura longitudinal Viga I - Planta 4

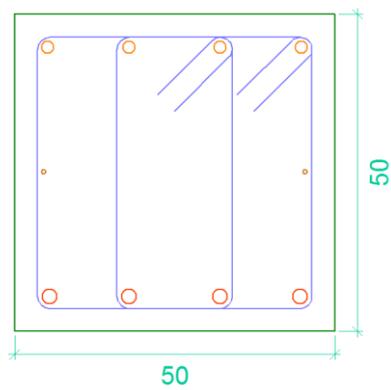


Figura 3-16. Armadura transversal Viga I - Planta 4

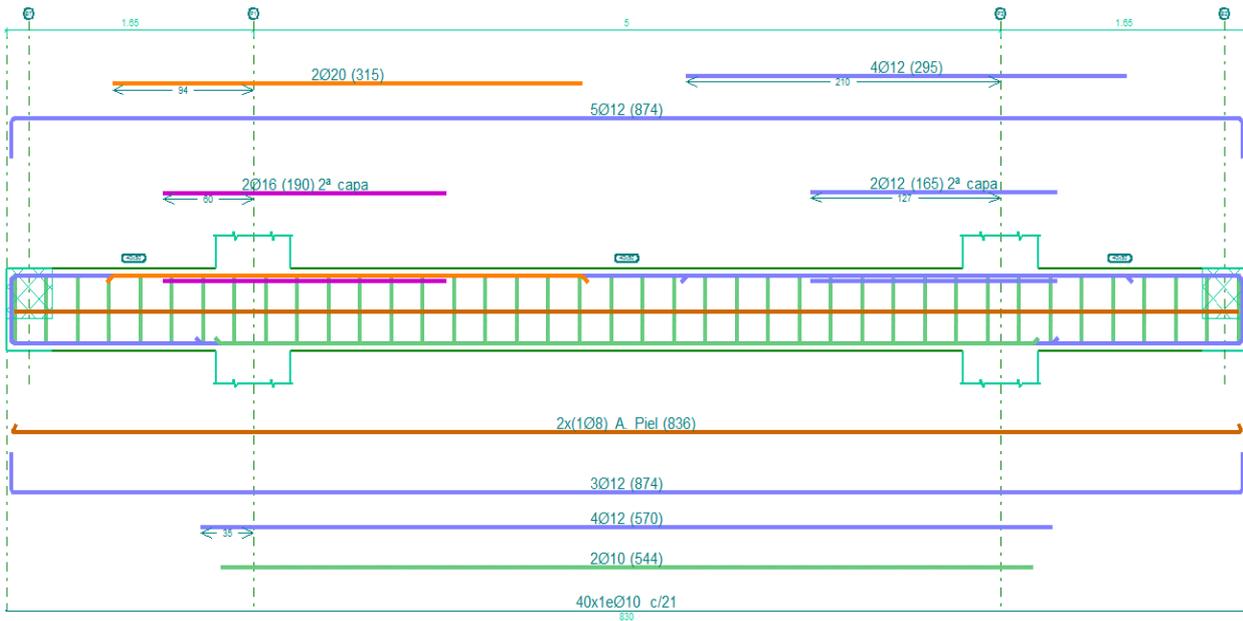


Figura 3-17. Armadura longitudinal vigas II -Planta técnica

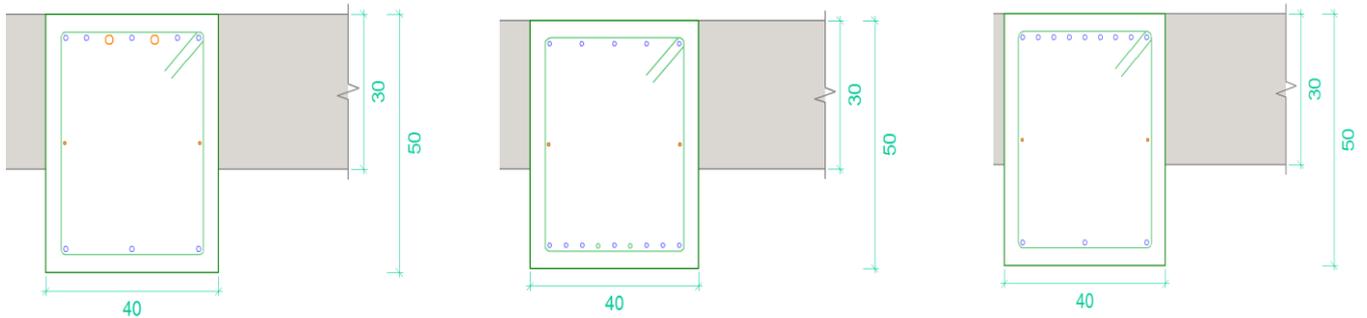


Figura 3-18. Armaduras transversales vigas II-Planta técnica

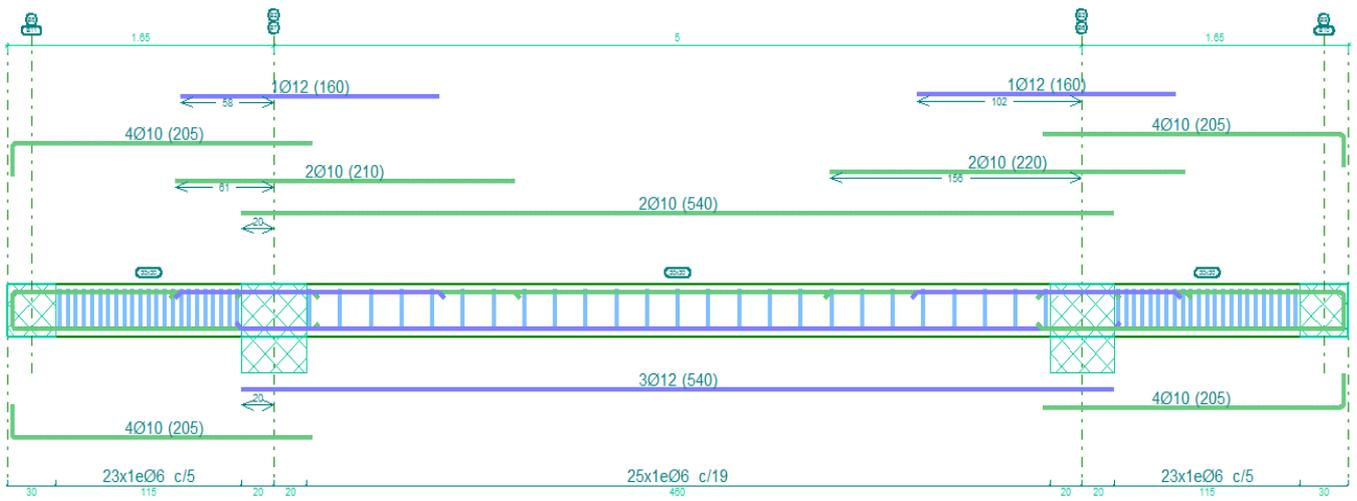


Figura 3-19. Armadura longitudinal vigas III-Planta técnica.

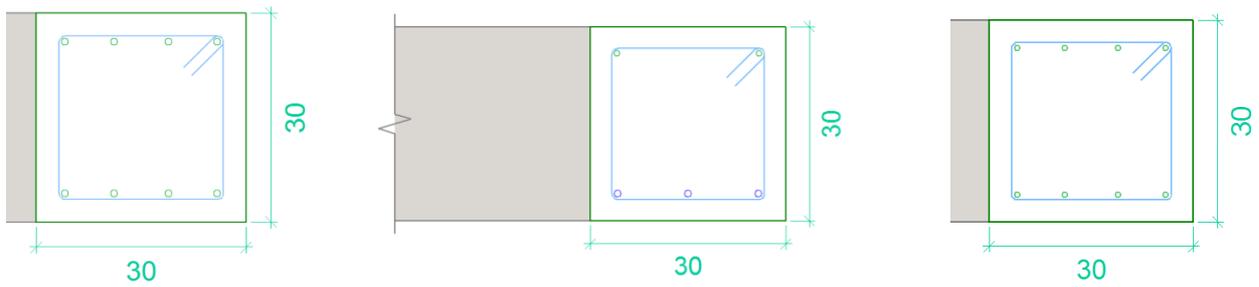


Figura 3-20. Armadura transversal vigas III-Planta técnica

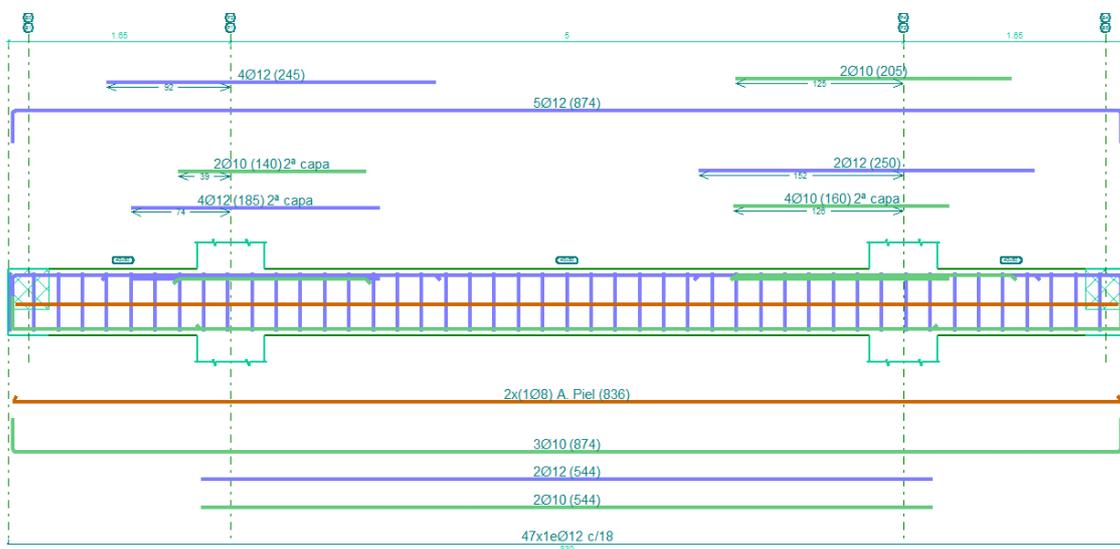


Figura 3-21. Armadura longitudinal vigas II-Fanal

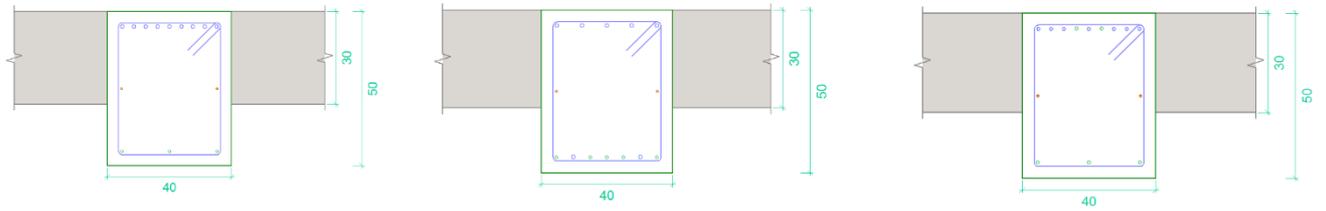


Figura 3-22. Armadura transversal Vigas II-Fanal

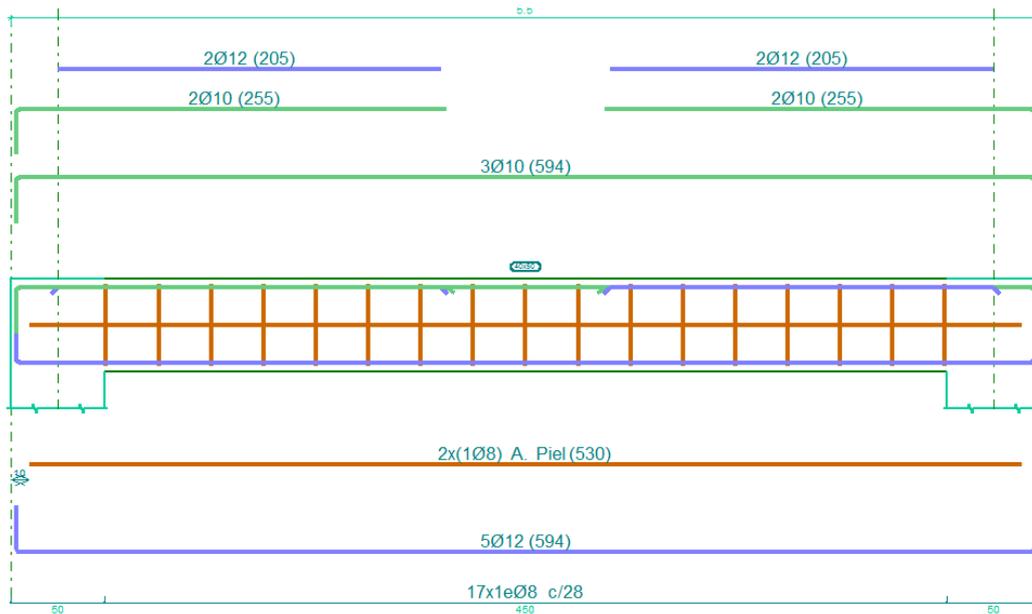


Figura 3-23. Armadura longitudinal viga II-Cubierta.

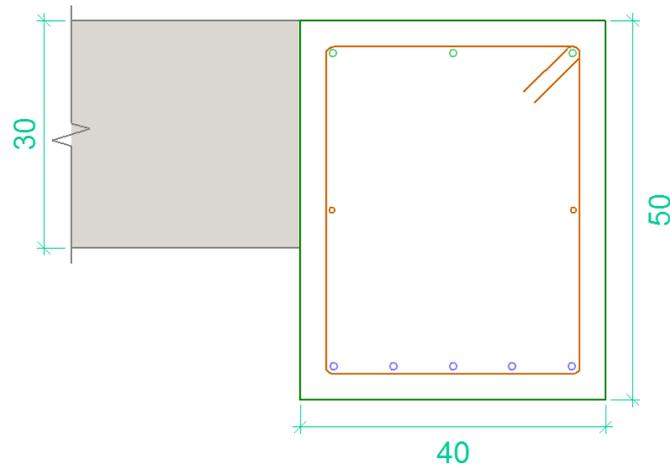


Figura 3-24. Armadura transversal viga II-Cubierta.

En la tabla 3-6 se muestra información sobre las dimensiones de las armaduras y las cantidades necesarias.

Tabla 3-8. Datos de la armadura de los pilares

DIMENSIONES	ARMADURA DE PILARES					
	Armadura longitudinal			Armadura transversal		
50X50 cm Sección cuadrada	Posición	Diámetro	Número de barras	Posición	Diámetro	Separación de cercos
	P1	Ø25	4	P3	Ø8	15 cm
	P2	Ø16	16	P4	Ø8	

En la figura 3-24 se muestra la disposición de la armadura para los pilares, que se encuentran empotrados al terreno.

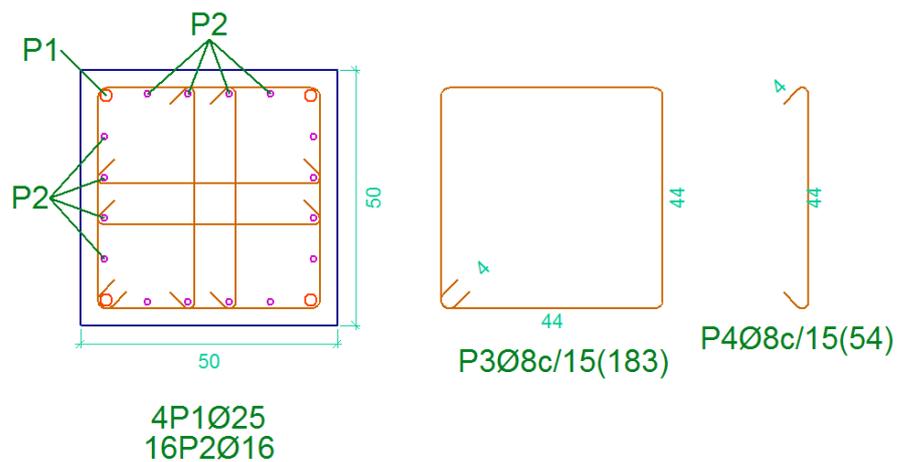


Figura 3-25. Detalle de la armadura longitudinal y transversal de los pilares

3.6.2 Estructura metálica

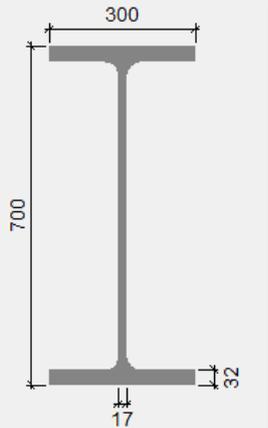
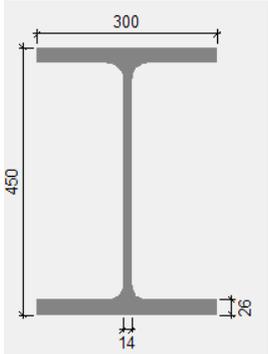
Para el modelado de la estructura metálica de la torre de control se emplean tres tipos de perfiles metálicos:

- Perfiles de la serie HEB para los pilares de la estructura.
- Perfiles de la serie IPE para las vigas.
- Perfiles de la serie L para los tirantes dispuestos formando cruces de San Andrés en las cuatro caras de cada planta del edificio, entre el suelo y la planta técnica.

Mediante la ejecución del software CYPE3D se verifican que estos perfiles son los adecuados para las acciones descritas en este capítulo, que son las que actúan sobre la estructura.

A continuación, se recoge información más detallada de los perfiles usados en el modelo de estructura metálica.

Tabla 3-9. Perfiles metálicos para pilares.

PERFILES METÁLICOS PARA PILARES	SERIE Y TIPO DE PERFIL	PLANTAS EN LAS QUE SE USAN	GEOMETRÍA	CARACTERÍSTICAS
	HE 700 B	Primera planta		<p>Canto total: 700.0 mm</p> <p>Canto del ala: 300.0 mm</p> <p>Espesor del alma: 17.0 mm</p> <p>Espesor del ala: 32.0 mm</p> <p>Radio de acuerdo entre ala y alma: 27.0 mm</p> <p>Área sección: 306.40 cm²</p> <p>Inercia flexión I_{yy}: 256900.00 cm⁴</p> <p>Módulo plástico Z_{yy}: 8327.00 cm³</p> <p>Inercia flexión I_{zz}: 14440.00 cm⁴</p> <p>Módulo plástico Z_{zz}: 1495.00 cm³</p> <p>Inercia a torsión: 830.90 cm⁴</p> <p>Módulo de alabeo: 16060000.00 cm⁶</p>
HE 450 B	Segunda planta		<p>Canto total: 450.0 mm</p> <p>Canto del ala: 300.0 mm</p> <p>Espesor del alma: 14.0 mm</p> <p>Espesor del ala: 26.0 mm</p> <p>Radio de acuerdo entre ala y alma: 27.0 mm</p> <p>Área sección: 218.00 cm²</p> <p>Inercia flexión I_{yy}: 79890.00 cm⁴</p> <p>Módulo plástico Z_{yy}: 3982.00 cm³</p> <p>Inercia flexión I_{zz}: 11720.00 cm⁴</p> <p>Módulo plástico Z_{zz}: 1198.00 cm³</p> <p>Inercia a torsión: 440.50 cm⁴</p> <p>Módulo de alabeo: 5258000.00 cm⁶</p>	

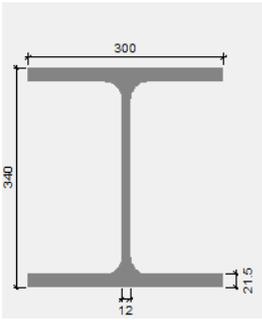
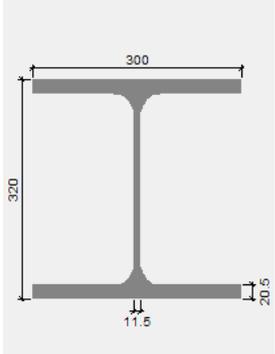
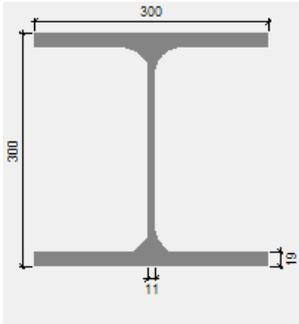
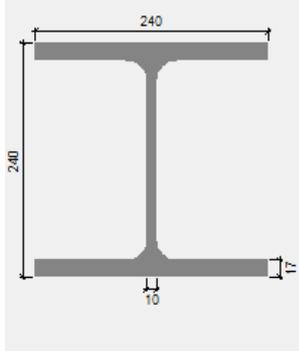
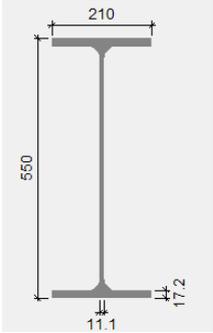
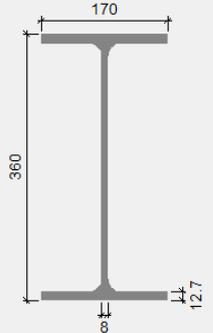
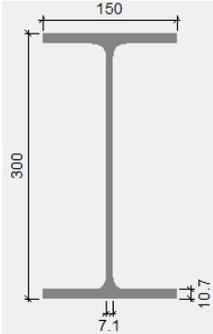
HE 340 B	Tercera planta		<table border="0"> <tr><td>Canto total:</td><td>340.0 mm</td></tr> <tr><td>Canto del ala:</td><td>300.0 mm</td></tr> <tr><td>Espesor del alma:</td><td>12.0 mm</td></tr> <tr><td>Espesor del ala:</td><td>21.5 mm</td></tr> <tr><td>Radio de acuerdo entre ala y alma:</td><td>27.0 mm</td></tr> <tr><td>Área sección:</td><td>170.90 cm²</td></tr> <tr><td>Inercia flexión I_{yy}:</td><td>36660.00 cm⁴</td></tr> <tr><td>Módulo plástico Z_{yy}:</td><td>2408.00 cm³</td></tr> <tr><td>Inercia flexión I_{zz}:</td><td>9690.00 cm⁴</td></tr> <tr><td>Módulo plástico Z_{zz}:</td><td>985.70 cm³</td></tr> <tr><td>Inercia a torsión:</td><td>257.20 cm⁴</td></tr> <tr><td>Módulo de alabeo:</td><td>2454000.00 cm⁶</td></tr> </table>	Canto total:	340.0 mm	Canto del ala:	300.0 mm	Espesor del alma:	12.0 mm	Espesor del ala:	21.5 mm	Radio de acuerdo entre ala y alma:	27.0 mm	Área sección:	170.90 cm²	Inercia flexión I _{yy} :	36660.00 cm⁴	Módulo plástico Z _{yy} :	2408.00 cm³	Inercia flexión I _{zz} :	9690.00 cm⁴	Módulo plástico Z _{zz} :	985.70 cm³	Inercia a torsión:	257.20 cm⁴	Módulo de alabeo:	2454000.00 cm⁶
Canto total:	340.0 mm																										
Canto del ala:	300.0 mm																										
Espesor del alma:	12.0 mm																										
Espesor del ala:	21.5 mm																										
Radio de acuerdo entre ala y alma:	27.0 mm																										
Área sección:	170.90 cm²																										
Inercia flexión I _{yy} :	36660.00 cm⁴																										
Módulo plástico Z _{yy} :	2408.00 cm³																										
Inercia flexión I _{zz} :	9690.00 cm⁴																										
Módulo plástico Z _{zz} :	985.70 cm³																										
Inercia a torsión:	257.20 cm⁴																										
Módulo de alabeo:	2454000.00 cm⁶																										
HE 320 B	Cuarta y quinta planta		<table border="0"> <tr><td>Canto total:</td><td>320.0 mm</td></tr> <tr><td>Canto del ala:</td><td>300.0 mm</td></tr> <tr><td>Espesor del alma:</td><td>11.5 mm</td></tr> <tr><td>Espesor del ala:</td><td>20.5 mm</td></tr> <tr><td>Radio de acuerdo entre ala y alma:</td><td>27.0 mm</td></tr> <tr><td>Área sección:</td><td>161.30 cm²</td></tr> <tr><td>Inercia flexión I_{yy}:</td><td>30820.00 cm⁴</td></tr> <tr><td>Módulo plástico Z_{yy}:</td><td>2149.00 cm³</td></tr> <tr><td>Inercia flexión I_{zz}:</td><td>9239.00 cm⁴</td></tr> <tr><td>Módulo plástico Z_{zz}:</td><td>939.10 cm³</td></tr> <tr><td>Inercia a torsión:</td><td>225.10 cm⁴</td></tr> <tr><td>Módulo de alabeo:</td><td>2069000.00 cm⁶</td></tr> </table>	Canto total:	320.0 mm	Canto del ala:	300.0 mm	Espesor del alma:	11.5 mm	Espesor del ala:	20.5 mm	Radio de acuerdo entre ala y alma:	27.0 mm	Área sección:	161.30 cm²	Inercia flexión I _{yy} :	30820.00 cm⁴	Módulo plástico Z _{yy} :	2149.00 cm³	Inercia flexión I _{zz} :	9239.00 cm⁴	Módulo plástico Z _{zz} :	939.10 cm³	Inercia a torsión:	225.10 cm⁴	Módulo de alabeo:	2069000.00 cm⁶
Canto total:	320.0 mm																										
Canto del ala:	300.0 mm																										
Espesor del alma:	11.5 mm																										
Espesor del ala:	20.5 mm																										
Radio de acuerdo entre ala y alma:	27.0 mm																										
Área sección:	161.30 cm²																										
Inercia flexión I _{yy} :	30820.00 cm⁴																										
Módulo plástico Z _{yy} :	2149.00 cm³																										
Inercia flexión I _{zz} :	9239.00 cm⁴																										
Módulo plástico Z _{zz} :	939.10 cm³																										
Inercia a torsión:	225.10 cm⁴																										
Módulo de alabeo:	2069000.00 cm⁶																										
HE 300 B	Sexta planta		<table border="0"> <tr><td>Canto total:</td><td>300.0 mm</td></tr> <tr><td>Canto del ala:</td><td>300.0 mm</td></tr> <tr><td>Espesor del alma:</td><td>11.0 mm</td></tr> <tr><td>Espesor del ala:</td><td>19.0 mm</td></tr> <tr><td>Radio de acuerdo entre ala y alma:</td><td>27.0 mm</td></tr> <tr><td>Área sección:</td><td>149.10 cm²</td></tr> <tr><td>Inercia flexión I_{yy}:</td><td>25170.00 cm⁴</td></tr> <tr><td>Módulo plástico Z_{yy}:</td><td>1869.00 cm³</td></tr> <tr><td>Inercia flexión I_{zz}:</td><td>8563.00 cm⁴</td></tr> <tr><td>Módulo plástico Z_{zz}:</td><td>870.10 cm³</td></tr> <tr><td>Inercia a torsión:</td><td>185.00 cm⁴</td></tr> <tr><td>Módulo de alabeo:</td><td>1688000.00 cm⁶</td></tr> </table>	Canto total:	300.0 mm	Canto del ala:	300.0 mm	Espesor del alma:	11.0 mm	Espesor del ala:	19.0 mm	Radio de acuerdo entre ala y alma:	27.0 mm	Área sección:	149.10 cm²	Inercia flexión I _{yy} :	25170.00 cm⁴	Módulo plástico Z _{yy} :	1869.00 cm³	Inercia flexión I _{zz} :	8563.00 cm⁴	Módulo plástico Z _{zz} :	870.10 cm³	Inercia a torsión:	185.00 cm⁴	Módulo de alabeo:	1688000.00 cm⁶
Canto total:	300.0 mm																										
Canto del ala:	300.0 mm																										
Espesor del alma:	11.0 mm																										
Espesor del ala:	19.0 mm																										
Radio de acuerdo entre ala y alma:	27.0 mm																										
Área sección:	149.10 cm²																										
Inercia flexión I _{yy} :	25170.00 cm⁴																										
Módulo plástico Z _{yy} :	1869.00 cm³																										
Inercia flexión I _{zz} :	8563.00 cm⁴																										
Módulo plástico Z _{zz} :	870.10 cm³																										
Inercia a torsión:	185.00 cm⁴																										
Módulo de alabeo:	1688000.00 cm⁶																										
HE 240 B	Séptima planta		<table border="0"> <tr><td>Canto total:</td><td>240.0 mm</td></tr> <tr><td>Canto del ala:</td><td>240.0 mm</td></tr> <tr><td>Espesor del alma:</td><td>10.0 mm</td></tr> <tr><td>Espesor del ala:</td><td>17.0 mm</td></tr> <tr><td>Radio de acuerdo entre ala y alma:</td><td>21.0 mm</td></tr> <tr><td>Área sección:</td><td>106.00 cm²</td></tr> <tr><td>Inercia flexión I_{yy}:</td><td>11260.00 cm⁴</td></tr> <tr><td>Módulo plástico Z_{yy}:</td><td>1053.00 cm³</td></tr> <tr><td>Inercia flexión I_{zz}:</td><td>3923.00 cm⁴</td></tr> <tr><td>Módulo plástico Z_{zz}:</td><td>498.40 cm³</td></tr> <tr><td>Inercia a torsión:</td><td>102.70 cm⁴</td></tr> <tr><td>Módulo de alabeo:</td><td>486900.00 cm⁶</td></tr> </table>	Canto total:	240.0 mm	Canto del ala:	240.0 mm	Espesor del alma:	10.0 mm	Espesor del ala:	17.0 mm	Radio de acuerdo entre ala y alma:	21.0 mm	Área sección:	106.00 cm²	Inercia flexión I _{yy} :	11260.00 cm⁴	Módulo plástico Z _{yy} :	1053.00 cm³	Inercia flexión I _{zz} :	3923.00 cm⁴	Módulo plástico Z _{zz} :	498.40 cm³	Inercia a torsión:	102.70 cm⁴	Módulo de alabeo:	486900.00 cm⁶
Canto total:	240.0 mm																										
Canto del ala:	240.0 mm																										
Espesor del alma:	10.0 mm																										
Espesor del ala:	17.0 mm																										
Radio de acuerdo entre ala y alma:	21.0 mm																										
Área sección:	106.00 cm²																										
Inercia flexión I _{yy} :	11260.00 cm⁴																										
Módulo plástico Z _{yy} :	1053.00 cm³																										
Inercia flexión I _{zz} :	3923.00 cm⁴																										
Módulo plástico Z _{zz} :	498.40 cm³																										
Inercia a torsión:	102.70 cm⁴																										
Módulo de alabeo:	486900.00 cm⁶																										

Tabla 3-10. Perfiles metálicos para vigas.

PERFILES METÁLICOS PARA VIGAS	SERIE Y TIPO DE PERFIL	PLANTAS EN LAS QUE SE USAN	GEOMETRÍA	CARACTERÍSTICAS
	IPE 550	Primera, segunda, tercera y cuarta planta		<p>Canto total: 550.0 mm</p> <p>Canto del ala: 210.0 mm</p> <p>Espesor del alma: 11.1 mm</p> <p>Espesor del ala: 17.2 mm</p> <p>Radio de acuerdo entre ala y alma: 24.0 mm</p> <p>Área sección: 134.00 cm²</p> <p>Inercia flexión I_{yy}: 67120.00 cm⁴</p> <p>Módulo plástico Z_{yy}: 2787.00 cm³</p> <p>Inercia flexión I_{zz}: 2668.00 cm⁴</p> <p>Módulo plástico Z_{zz}: 401.00 cm³</p> <p>Inercia a torsión: 123.00 cm⁴</p> <p>Módulo de alabeo: 1884000.00 cm⁶</p>
	IPE 360	Quinta, sexta y séptima planta		<p>Canto total: 360.0 mm</p> <p>Canto del ala: 170.0 mm</p> <p>Espesor del alma: 8.0 mm</p> <p>Espesor del ala: 12.7 mm</p> <p>Radio de acuerdo entre ala y alma: 18.0 mm</p> <p>Área sección: 72.70 cm²</p> <p>Inercia flexión I_{yy}: 16270.00 cm⁴</p> <p>Módulo plástico Z_{yy}: 1019.00 cm³</p> <p>Inercia flexión I_{zz}: 1043.00 cm⁴</p> <p>Módulo plástico Z_{zz}: 191.00 cm³</p> <p>Inercia a torsión: 37.30 cm⁴</p> <p>Módulo de alabeo: 314000.00 cm⁶</p>
	IPE 300	Quinta y sexta planta		<p>Canto total: 300.0 mm</p> <p>Canto del ala: 150.0 mm</p> <p>Espesor del alma: 7.1 mm</p> <p>Espesor del ala: 10.7 mm</p> <p>Radio de acuerdo entre ala y alma: 15.0 mm</p> <p>Área sección: 53.80 cm²</p> <p>Inercia flexión I_{yy}: 8356.00 cm⁴</p> <p>Módulo plástico Z_{yy}: 628.00 cm³</p> <p>Inercia flexión I_{zz}: 604.00 cm⁴</p> <p>Módulo plástico Z_{zz}: 125.00 cm³</p> <p>Inercia a torsión: 20.10 cm⁴</p> <p>Módulo de alabeo: 126000.00 cm⁶</p>

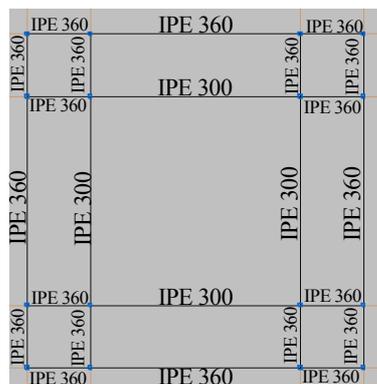
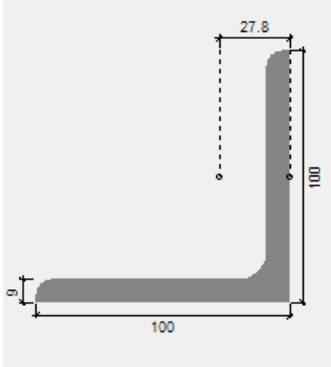


Figura 3-26. Detalle de perfiles en plantas quinta y sexta.

Tabla 3-11. Perfiles metálicos para tirantes.

PERFILES METÁLICOS PARA TIRANTES	SERIE Y TIPO DE PERFIL	PLANTAS EN LAS QUE SE USAN	GEOMETRÍA	CARACTERÍSTICAS																								
	L 100 x 100 x 9	Primera, segunda, tercera, cuarta y quinta planta.		<table border="0"> <tr> <td>Canto:</td> <td>100.0 mm</td> </tr> <tr> <td>Espesor:</td> <td>9.0 mm</td> </tr> <tr> <td>Radio de acuerdo entre ala y alma:</td> <td>12.0 mm</td> </tr> <tr> <td>Radio de acuerdo del ala:</td> <td>6.0 mm</td> </tr> <tr> <td>Área sección:</td> <td>17.30 cm²</td> </tr> <tr> <td>Inercia flexión I_{yy}:</td> <td>161.00 cm⁴</td> </tr> <tr> <td>Módulo plástico Z_{yy}:</td> <td>41.30 cm³</td> </tr> <tr> <td>Inercia principal mayor:</td> <td>255.90 cm⁴</td> </tr> <tr> <td>Inercia principal menor:</td> <td>66.13 cm⁴</td> </tr> <tr> <td>Inercia a torsión:</td> <td>4.64 cm⁴</td> </tr> <tr> <td>Módulo de alabeo:</td> <td>35.27 cm⁶</td> </tr> <tr> <td>Posición X del centro de gravedad:</td> <td>27.8 mm</td> </tr> </table>	Canto:	100.0 mm	Espesor:	9.0 mm	Radio de acuerdo entre ala y alma:	12.0 mm	Radio de acuerdo del ala:	6.0 mm	Área sección:	17.30 cm²	Inercia flexión I _{yy} :	161.00 cm⁴	Módulo plástico Z _{yy} :	41.30 cm³	Inercia principal mayor:	255.90 cm⁴	Inercia principal menor:	66.13 cm⁴	Inercia a torsión:	4.64 cm⁴	Módulo de alabeo:	35.27 cm⁶	Posición X del centro de gravedad:	27.8 mm
Canto:	100.0 mm																											
Espesor:	9.0 mm																											
Radio de acuerdo entre ala y alma:	12.0 mm																											
Radio de acuerdo del ala:	6.0 mm																											
Área sección:	17.30 cm²																											
Inercia flexión I _{yy} :	161.00 cm⁴																											
Módulo plástico Z _{yy} :	41.30 cm³																											
Inercia principal mayor:	255.90 cm⁴																											
Inercia principal menor:	66.13 cm⁴																											
Inercia a torsión:	4.64 cm⁴																											
Módulo de alabeo:	35.27 cm⁶																											
Posición X del centro de gravedad:	27.8 mm																											

4 MODELIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA EN MIDASGEN

*De vez en cuando vale la pena salirse del camino,
sumergirse en un bosque. Encontrarás cosas que nunca
habías visto.*

Alexander Graham Bell.

Tras la realización del análisis estático lineal con el software CYPE se procederá a realizar un análisis estático no lineal Pushover. Este tipo de análisis no se puede realizar con CYPE, por lo que será necesario emplear otro software en el que esté implementado como por ejemplo MidasGen, programa que se utilizará.

Los resultados obtenidos para el dimensionamiento de la estructura con CYPE son importantes para poder realizar este tipo de análisis. Se intentará reproducir de la forma más exacta posible los modelos de estructuras de hormigón y metálica dimensionados con CYPE. No obstante, hay que recalcar que son programas con procedimientos diferentes en cuanto a la introducción de datos para el modelado de estructuras, especialmente en el refuerzo de armadura para la estructura de hormigón. Otra diferencia importante reside en las normas que emplean ambos softwares, no siendo exactamente las mismas.

Para la realización del modelado de la estructura en MidasGen se siguen los siguientes pasos, descritos de forma esquemática a continuación:

- Definición de plantas y nodos.
- Definición de elementos para vigas y columnas.
- Definición de material y secciones.
- Definición de condiciones de contorno.
- Definición de cargas.
- Definición del refuerzo de armadura, para el modelo de hormigón armado.

Después se procederá a la definición de parámetros y datos necesarios para la realización del análisis Pushover. Para ello se siguen los siguientes pasos:

- Configuración del menú “*Pushover Global Control*”.
- Creación de los casos de carga en el menú “*Pushover Load Cases*”, creando dos, uno para la dirección X y otro para la dirección Y.
- Definición de las rótulas plásticas con el menú “*Hinge Properties*”. Se procede a definir las rótulas para las vigas y columnas para la estructura de hormigón armado y las rótulas para las vigas, columnas y tirantes para la estructura metálica.
- Finalmente, se procede a realizar el análisis Pushover con “*Perform Pushover Analysis*”.

4.1 Modelado de la estructura en MidasGen

4.1.1 Geometría de la estructura

La geometría de la estructura en MidasGen es idéntica a la definida en el apartado 3.1 “*Geometría de la estructura*”. Se mantienen la misma forma, dimensiones y tamaños de los elementos constructivos usados en el modelado en Cype y Cype3D. Esto se realiza disponiendo las mismas dimensiones, en cuanto a alturas y a lados de planta, en la definición de los nodos que forman los modelos estructurales.

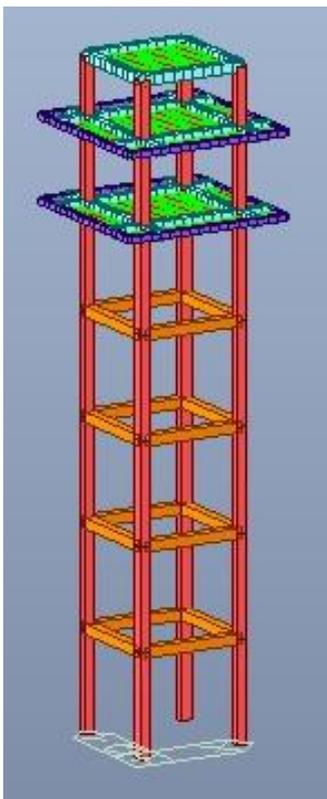


Figura 4-1. Modelo de la estructura de hormigón armado en MidasGen

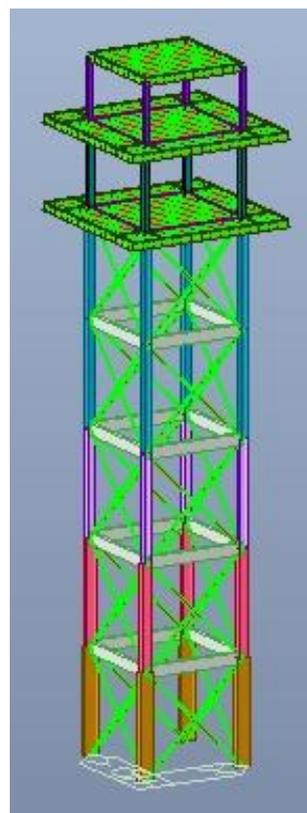


Figura 4-2. Modelo de la estructura metálica en MidasGen

4.1.2 Secciones de la estructura

En la figura 4-1 se ha representado el modelo de hormigón armado en el software MidasGen. Las columnas en rojo son de 50x50 cm, las vigas naranjas son de 50x50 cm, las vigas celestes son de 40x50 cm y las vigas moradas son de 30x30 cm. Esta información está recogida en la tabla 3-7. Dimensiones de pilares y vigas del apartado 3.6.1.1 “*Dimensiones de pilares y vigas*”.

En la figura 4-2 se ha representado el modelo de la estructura metálica en el software MidasGen. Las dimensiones de los perfiles metálicos son iguales a las especificadas en las tablas del apartado 3.6.2 “*Estructura metálica*”: Tabla 3-9 Perfiles metálicos para pilares, Tabla 3-10 Perfiles metálicos para vigas y Tabla 3-11 Perfiles metálicos para tirantes.

Los forjados correspondientes a las plantas quinta, sexta y séptima se modelan con una losa de hormigón de 30 MPa y de espesor 0.15 m. La elección de este espesor se define tal que el peso correspondiente al forjado se

mantenga sin variaciones con respecto al forjado de viguetas implementado en Cype. De esta forma se consigue modelar de la forma más parecida posible la carga de peso propio correspondiente a los forjados.

4.1.3 Materiales y normativas

4.1.3.1 Estructura de hormigón armado

Para la estructura de hormigón se debe emplear un hormigón de resistencia característica 30 MPa. Con objetivo de cumplir con este requisito se selecciona el hormigón Rck30 del estándar UNI.

En cuanto al refuerzo de acero que se añade a los elementos de hormigón se utiliza el Eurocódigo 2:04.

Para la definición de la carga sísmica el programa permite la utilización del Eurocódigo-8 (2014).

Otro aspecto importante, en el modelado de la estructura de hormigón armado en MidasGen, es la introducción del refuerzo o armadura. Este programa presenta un procedimiento de trabajo diferente a Cype. Permite introducir refuerzos hasta en dos capas y diferenciar la cantidad de armadura según sea armadura de los extremos o armadura de secciones intermedias de los elementos estructurales. En base a estas consideraciones y a los resultados obtenidos en Cype para el armado de la estructura, se introduce la armadura de la forma más exacta posible, haciendo los ajustes necesarios para mantener los kilos de acero. En la tabla 4.1 se recoge de forma esquemática los kilos de acero dispuestos en la estructura, desglosado por plantas y dependiendo de si corresponden a pilares y vigas.

Tabla 4-1. Kilos de armadura dispuesta en la estructura de hormigón armado.

ARMADURA DISPUESTA EN LA ESTRUCTURA		
PLANTA	PILARES [kg]	VIGAS [kg]
Primera planta	1956.4	1728.2
Segunda planta	1405.2	1643.2
Tercera planta	1182.0	1227.6
Cuarta planta	901.6	1002.8
Quinta planta - Planta Técnica	813.2	988.5
Sexta planta - Fanal	512.8	967.5
Séptima planta - Cubierta	374.4	268.8
TOTAL	7145.6	7824.6
TOTAL: 14970.2 kg		

Como era de esperar la cantidad de armadura que hay que disponer en los pilares y en las vigas va disminuyendo hasta obtener la cuantía más reducida en la última planta.

4.1.3.2 Estructura metálica

En la estructura metálica se emplea acero Fe510 según el estándar EN(S), estándares europeos. Este acero

tiene un límite elástico de 510 MPa.

Los perfiles metálicos se han seleccionado según el estándar UNI y tienen las mismas dimensiones que los perfiles empleados en el modelado en Cype.

4.1.4 Cargas en MidasGen

Las cargas que hay que definir en MidasGen para la realización del análisis Pushover son las cargas gravitatorias, peso propio y acciones sísmicas. Todas ellas son idénticas a las cargas definidas en los apartados 3.3.1 y 3.3.3.

El proceso para la definición de cargas en MidasGen se realiza mediante la creación de casos de carga y asignación del tipo de carga: carga viva, carga muerta o carga sísmica. Posteriormente, a cada caso de carga se le asignará el valor deseado, definiendo las cargas correspondientes a sobrecargas de uso, cargas de cerramientos, cargas muertas y peso de la estructura.

4.1.4.1 Definición de la carga sísmica

Con la opción “Response spectrum data” se procede a definir el espectro de la respuesta para la acción sísmica. De este modo, se definirá manualmente esta función a partir de los datos característicos del sismo considerado, datos definidos en la sección 3.3.3 Sismo:

- Aceleración básica: 0.06g
- Coeficiente de contribución: $K=1.20$
- Amortiguamiento: 5%
- Coeficiente de amplificación del terreno: $S = 1.28$
- Coeficiente adimensional de riesgo $\rho = 1.3$
- $T_A = K \cdot \frac{C}{10} = 1.2 \cdot \frac{1.6}{10} = 0.192 \text{ s}$
- $T_B = K \cdot \frac{C}{2.5} = 1.2 \cdot \frac{1.6}{2.5} = 0.768 \text{ s}$

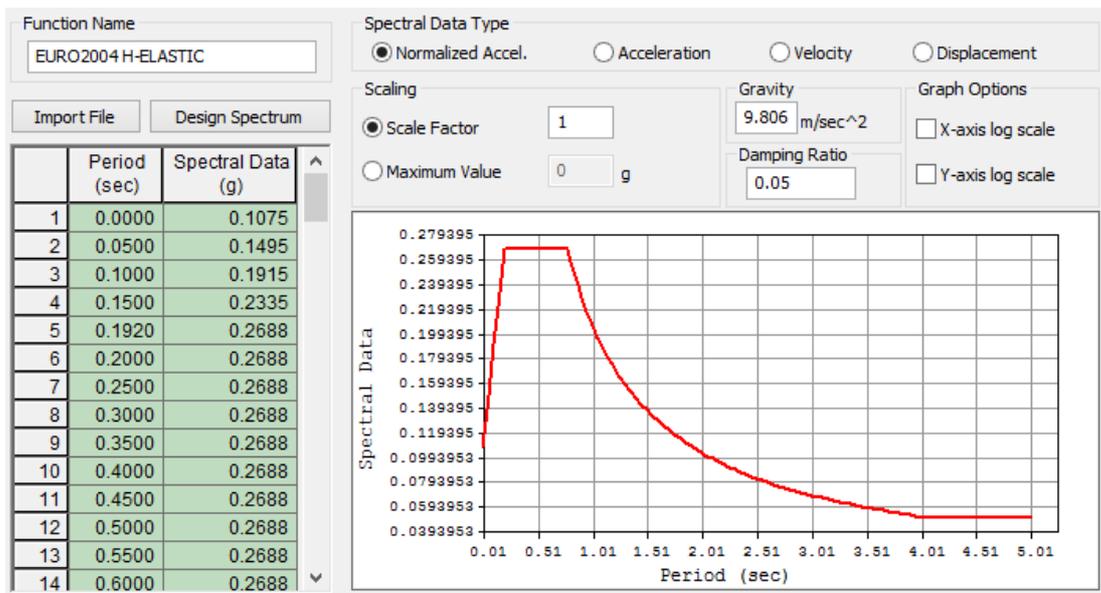


Figura 4-3. Representación del espectro de la respuesta en MidasGen

Posteriormente, este espectro se asociará a dos casos de carga uno en el eje x y otro en el eje y creados a tal efecto. La norma que emplea el software es el Eurocódigo-8 (2004).

4.2 Realización del análisis Pushover

4.2.1 Configuración del menú Control global para el análisis Pushover

En primer lugar, se procede a la definición de los parámetros del menú Pushover Global Control. En este menú se definen las cargas verticales que actúan sobre la estructura: cargas muertas, cargas de peso propio y sobrecargas de uso. A cada una de ellas se le asocia el factor de escala correspondiente.

En cuanto a los criterios de convergencia para el análisis Pushover el software ofrece la posibilidad de usar criterios de desplazamiento, fuerza o energía. Se selecciona criterio de desplazamiento.

Este tipo de análisis estático no lineal no va a tener en cuenta la no linealidad geométrica para grandes desplazamientos.

En la siguiente imagen se recoge la información descrita para la configuración del menú Pushover Global Control.

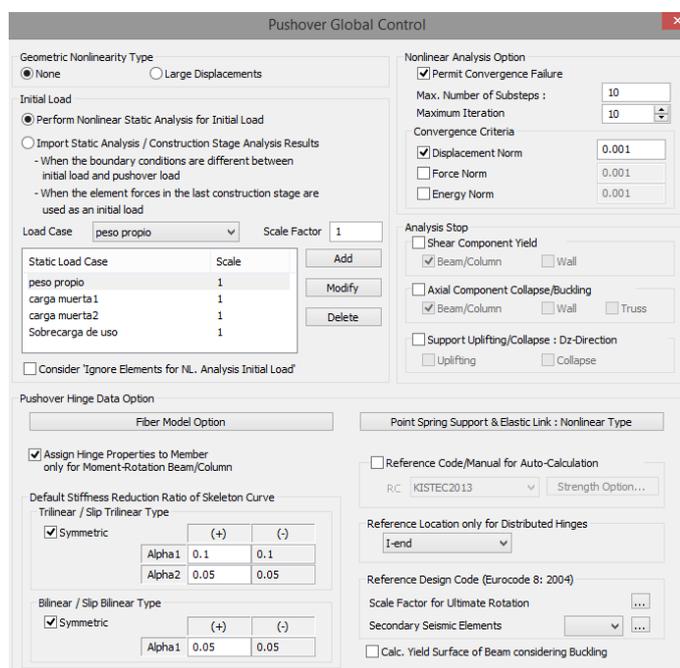


Figura 4-4. Configuración del menú Pushover Global Control

4.2.2 Creación y definición de los casos de carga

El siguiente paso que realizar consiste en la definición de los casos de carga. Hay que recordar que la dirección en la que actuaría un sismo sobre la estructura es desconocida. No obstante, la normativa establece que se toman dos direcciones perpendiculares la dirección X e Y.

Tras esta aclaración, se definen los casos de carga. En primer lugar, se le asigna un nombre a cada caso de carga: DX, para la dirección X, y DY, para la dirección Y. A continuación, se determinan el número de pasos a subdividir el desplazamiento objetivo. Para la carga inicial se usa la carga inicial acumulando reacciones y cortantes en las plantas correspondientes a la carga vertical definida en el menú anterior.

Para el método incremental se selecciona el control por desplazamiento, teniendo que definir un nodo maestro. La selección de este nodo es importante ya que se va a evaluar el desplazamiento que experimentará. Para la realización de este análisis deberemos escoger el nodo que sufre mayores desplazamientos. En los modos de vibración fundamentales, aquellos en los que interviene más masa de la estructura, el nodo que debemos seleccionar corresponde al que se localiza en el centro de la última planta, ubicándose en el centro de masas de la cubierta de la estructura. Posteriormente, le asignamos la dirección correspondiente.

Para la condición de parada del análisis establecemos un límite en la distorsión de las plantas medido a partir

de un ángulo.

Por último, se define como patrón de carga uno referido a una aceleración uniforme.

En la siguiente imagen se muestra estos parámetros definidos en el software MidasGen.

Figura 4-5. Definición del caso de carga DX para análisis Pushover

Figura 4-6. Definición del caso de carga DY para análisis Pushover

La creación y definición de los parámetros para el caso de carga asociada a la dirección Y se realiza de la misma forma que se ha descrito y mostrado para el caso de carga de la dirección X, considerando la dirección Y. En la figura 4-6 se muestra la definición del caso de carga en el eje Y.

4.2.3 Definición de las rótulas plásticas

El tercer paso es uno de los más importantes y consiste en la definición de las propiedades de las rótulas plásticas. Las rótulas plásticas se van a definir en función de cómo trabaja cada elemento diferenciando entre vigas, columnas o tirantes, estos últimos siendo empleados en el modelo de estructura metálica.

Los elementos del tipo viga/columna se basan en la teoría de Timoshenko y los elemento tipo Truss, que son los que se utilizan para los tirantes, solo pueden tomar carga axial.

En primer lugar, debemos definir el tipo de elemento siendo Beam/Colum tanto para vigas como para columnas. A continuación, seleccionaremos el material: RC/SRC (encased) para la estructura de hormigón armado y Steel/SRC (filled) para la estructura metálica.

Para las vigas, la definición de la no linealidad se establece a partir de un diagrama momento-rotación. En cambio, para las columnas esta no linealidad quedará definida con un diagrama momento-curvatura. Otra diferencia entre las vigas y columnas es la componente que dejaremos activa: M_y , en el caso de vigas por ser el plano principal a flexión, y para las columnas se dejan activos M_y y M_z .

El tipo de curvatura elegido es el de las recomendaciones de FEMA tanto para vigas como para columnas. Con este tipo sí se puede definir una rotación o momento último haciendo que, en la curva de capacidad, se refleje los fallos en la estructura al ir perdiendo rigidez.

Add/Modify Pushover Hinge Properties

Name : ROTULA VIGA Description :

Element Type
 Beam/Column Wall
 Truss General Link
 Point Spring Support

Material Type
 RC / SRC (encased)
 Steel / SRC (filled)
 Masonry

Wall Type
 Membrane
 Plate

Definition
 Moment - Rotation (M-Theta)
 Moment - Curvature (M-Phi Lumped)
 Consider Hinge Length Integration Point
 Moment - Curvature (M-Phi Distributed)

Hinge Type
 Skeleton Model
 Fiber Model

Axial-Moment Interaction Type
 None P-M Interaction
 P-M-M in Status Determination

Fiber Section
 Auto Generation User Defined
 Section :
 Fiber Name :
 Out-of-plane Nonlinearity of Fiber Wall

Axial-Shear Interaction Type of RC
 None P-Q Interaction

Component Properties

Component	Hinge Location	Skeleton Curve	
<input type="checkbox"/> Fx	I&J-end	Eurocode 8 : 2004	Properties...
<input type="checkbox"/> Fy	I&J-end	Eurocode 8 : 2004	Properties...
<input type="checkbox"/> Fz	I&J-end	Eurocode 8 : 2004	Properties...
<input type="checkbox"/> Mx	I&J-end	Trilinear Type	Properties...
<input checked="" type="checkbox"/> My	I&J-end	FEMA	Properties...
<input type="checkbox"/> Mz	I&J-end	Eurocode 8 : 2004	Properties...

Yield Surface Properties... Masonry Properties... Shear Span(Lv)...

Figura 4-7. Propiedades para las rótulas plásticas de las vigas de la estructura de hormigón

La curvatura definida a partir de las recomendaciones de FEMA para vigas y columnas establece unos valores que al ser rebasados produciendo una disminución de la estabilidad hasta llegar al fallo, mostrándose en la curva de capacidad. A continuación, se va a mostrar el diagrama de interacción de las rótulas plásticas.

Tabla 4-2. Valores para el diagrama de interacción

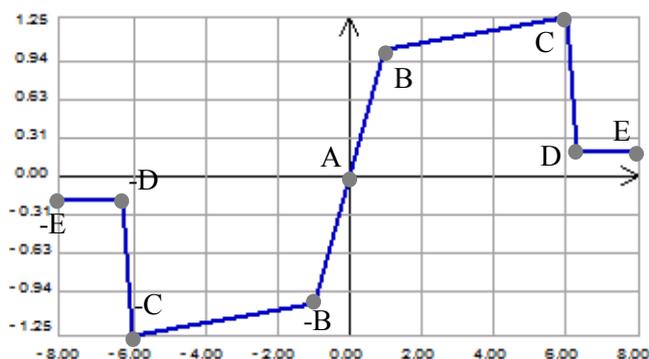


Figura 4-8. Diagrama de interacción de las rótulas plásticas

PUNTO	M/M _y	D/D _y
-E	-0,2	-8
-D	-0,2	-6,3
-C	-1,25	-6
-B	-1	-1
A	0	0
B	1	1
C	1,25	6
D	0,2	6,3
E	0,2	8

En el eje x se representa una relación entre la rotación D y la de fluencia D_y [rad] y en el eje y se representa

una relación entre los momentos M y el de fluencia M_y [kNm].

Los criterios de aceptabilidad acordes a las consideraciones de FEMA se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 4-3. Criterios de aceptabilidad FEMA

Criterio de desempeño estructural	Valor del eje X
Ocupación inmediata (IO)	2
Seguridad de vida (LS)	4
Prevención del colapso (CP)	6

Las propiedades para las rótulas plásticas en las columnas se muestran en la siguiente imagen.

Figura 4-9. Propiedades para las rótulas plásticas de las columnas de la estructura de hormigón

Otro aspecto que hay que tener en cuenta en la definición de las rótulas plásticas para las columnas es la necesidad de definir el tipo de interacción Axil-Momento. Se ha elegido el de P-M-M ya que en un análisis tridimensional tenemos un comportamiento de momento en las dos direcciones.

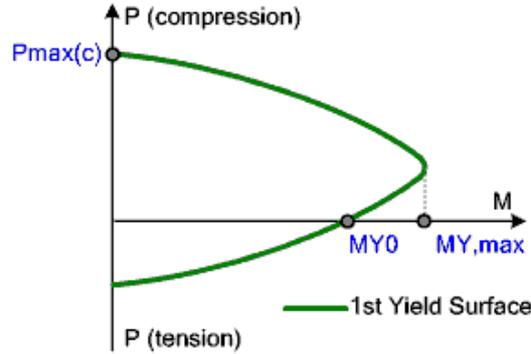


Figura 4-10. Diagrama de interacción axil-flector para las rótulas de los pilares

La definición de las rótulas plásticas para la estructura metálica se realiza de forma casi idéntica que las rótulas para la estructura de hormigón con una diferencia. El tipo de material que hay que seleccionar es acero.

Otro aspecto adicional es la modelización de las rótulas plásticas en los tirantes, para las que hay que emplea la opción tipo Truss y se selecciona la componente F_x .

Figura 4-11. Propiedades para las rótulas plásticas de los tirantes de la estructura metálica

Tras la definición de los parámetros de todas las rótulas plásticas para los diferentes elementos hay que asignarlas a la estructura. Se procede a su asignación a los modelos de estructura metálica y de hormigón armado. A continuación, se procede a ejecutar el programa para realizar el “*Perform Pushover Analysis*”.

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Si buscas resultados distintos no hagas siempre lo mismo.

Albert Einstein

En este capítulo se van a mostrar y analizar los resultados obtenidos en la realización del análisis estático no lineal- Pushover a las estructuras de hormigón armado y metálica. Estos resultados se ilustrarán con las curvas de capacidad de las estructuras y el punto de desempeño. Posteriormente, se expondrá el proceso de formación de rótulas plásticas en los modelos estructurales conforme la carga lateral aumenta monóticamente.

5.1 Curvas de capacidad

5.1.1 Curvas de capacidad para la estructura de hormigón armado

En este apartado se incluyen las curvas de capacidad de los modelos estructurales metálico y de hormigón armado y también se mostrará la representación del punto de desempeño.

En primer lugar, se muestran las curvas de cortante basal frente a desplazamientos para la estructura de hormigón en las figuras 5-1 y 5-2.

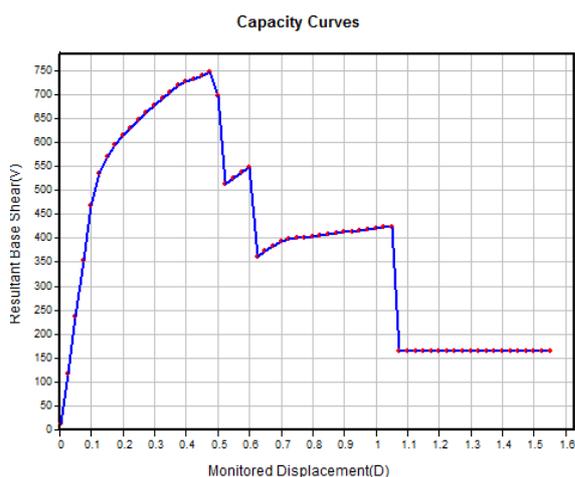


Figura 5-1. Cortante basal frente a desplazamientos para la estructura de hormigón armado en dirección X

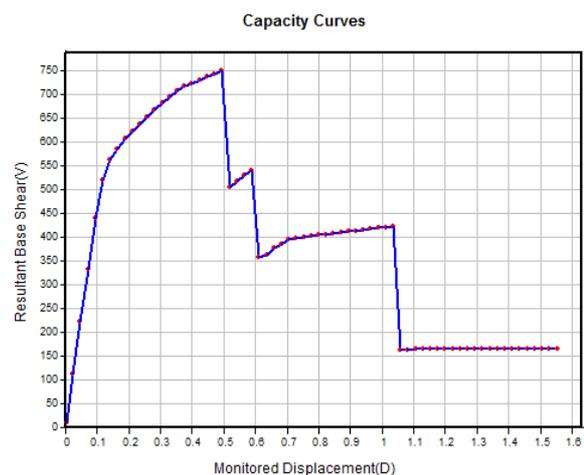


Figura 5-2. Cortante basal frente a desplazamientos para la estructura de hormigón armado en dirección Y

Como era de esperar, las curvas de capacidad en dirección X e Y para la estructura de hormigón armado son casi idénticas. Esto se debe a que la estructura presenta la misma geometría en ambas direcciones y la sollicitación sísmica para las dos direcciones es la misma. En la primera zona en la que se pierde bruscamente rigidez hay alguna sutil diferencia entre las gráficas. Esto puede deberse a que, al haber empleado forjados unidireccionales la carga se transmite en una sola dirección, estando las vigas que reciben las cargas

directamente algo más solicitadas que las otras.

La fuerza resultante en la base (V), eje y de las gráficas, tiene unidades de [kN]. El desplazamiento (D) tiene unidades de [m].

En estas gráficas se observa un primer tramo lineal de pendiente constante correspondiente con un comportamiento lineal de la estructura.

A continuación, se puede observar otra zona diferente en la curva correspondiente con una disminución de la pendiente. Se está produciendo la incursión de la curva en el rango plástico, apareciendo las primeras rótulas plásticas. Este trozo de la curva de capacidad continúa hasta que repentinamente se aprecia una significativa disminución de la fuerza lateral para posteriormente, lograr un aumento de los desplazamientos. Esto se debe a la pérdida de rigidez de la estructura al alcanzarse el colapso en una primera rótula plástica.

La siguiente zona característica de esta curva se localiza tras este escalón. Nuevamente al aumentar la fuerza lateral se consigue un aumento de los desplazamientos, aunque la pendiente de este tramo se reduce con respecto a la anterior zona del rango plástico. Esta nueva zona es debida a la aparición de nuevas rótulas plásticas en la estructura.

En la figura 5-3 se ha representado la curva de capacidad y el espectro de respuesta para el sismo de diseño, en coordenadas espectrales. En la intersección de ambas curvas se localiza el punto de desempeño con coordenadas (0.0633011, 0.166454). La información que proporciona el punto de desempeño hace referencia a los máximos desplazamientos esperados en la estructura ante el sismo de diseño. Estos tendrían este valor: 0.0633 metros. Esto evidencia que la estructura seguirá siendo segura y operativa ante estos sismos y sin sufrir daños.

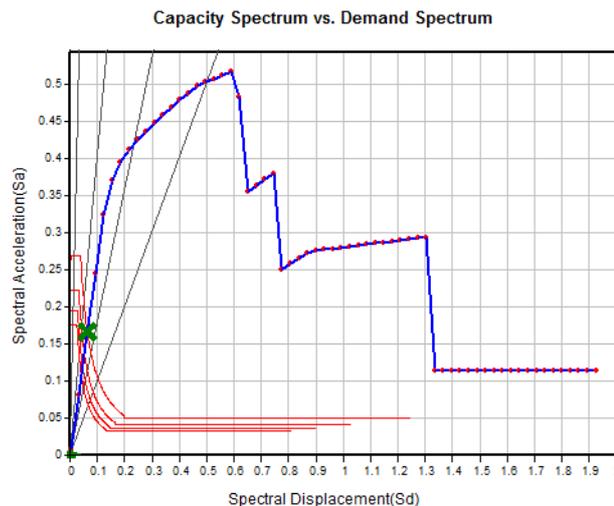


Figura 5-3. Curva de capacidad y punto de desempeño para la estructura de hormigón armado en dirección X

Punto de desempeño: (0.0633011, 0.166454)

Es posible cuantificar la ductilidad a partir de los desplazamientos últimos y los desplazamientos correspondientes al inicio de la plastificación. Para ello se puede calcular el factor de ductilidad como un cociente entre dichos desplazamientos.

- Factor de ductilidad

$$\mu = \frac{0.475}{0.1} = 4.75$$

Ductilidad > 4: Ductilidad muy alta

5.1.2 Curvas de capacidad para la estructura metálica

En este apartado se van a mostrar las curvas de capacidad y punto de desempeño para el modelo de estructura metálica.

Veremos que las curvas de capacidad presentarán algunas diferencias con respecto a las del modelo de hormigón armado. Por ejemplo, ya se puede intuir que el comportamiento de la estructura en las direcciones X e Y será diferente porque las propiedades de los perfiles metálicos varían en cada dirección. El sismo de diseño sigue sin variar con respecto al anterior.

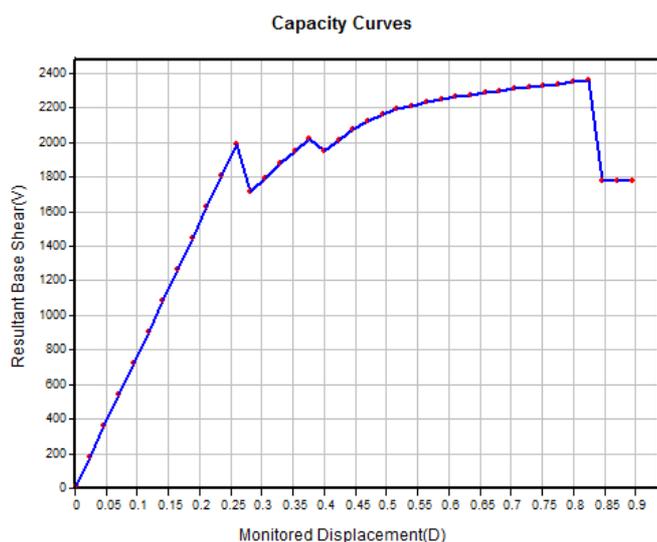


Figura 5-4. Cortante basal frente a desplazamientos para la estructura metálica en dirección X

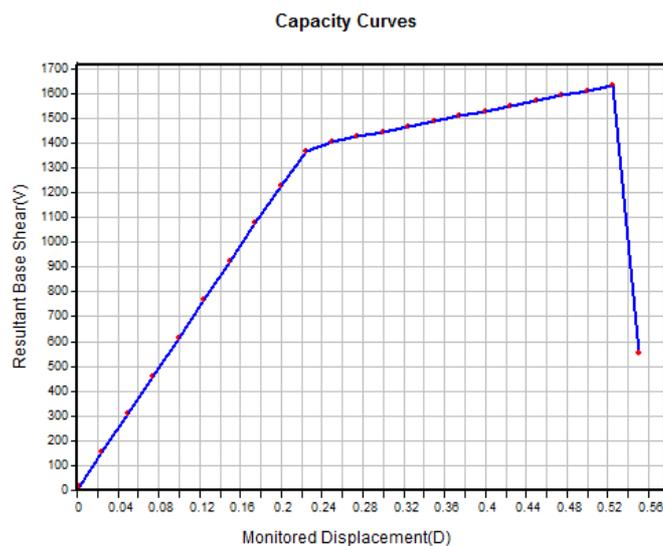


Figura 5-5. Cortante basal frente a desplazamientos para la estructura metálica en dirección Y

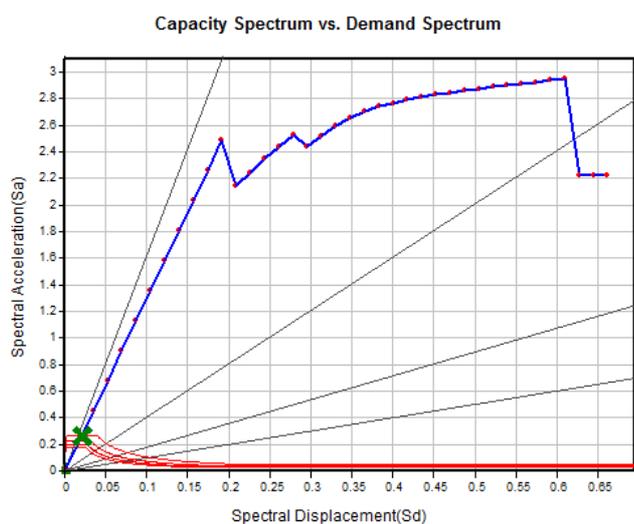


Figura 5-6. Curva de capacidad y punto de desempeño para la estructura metálica en dirección X

Punto de desempeño: (0.0206634, 0.268166)

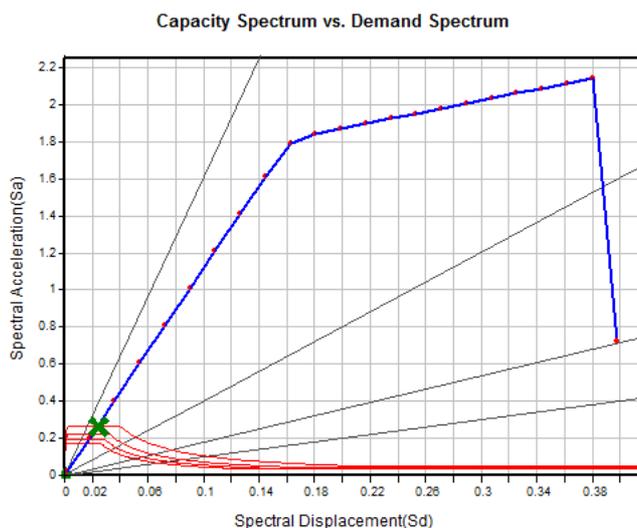


Figura 5-7. Curva de capacidad y punto de desempeño para la estructura metálica en dirección Y

Punto de desempeño (0.0240388, 0.268166)

En las figuras 5-4 y 5-5 se ilustran las curvas de capacidad para la estructura metálica en las direcciones X e Y, respectivamente. Estas curvas son diferentes tal y como puede observarse. La diferencia más notable está en la forma de las curvas y los valores que alcanzan.

En la curva de capacidad en dirección X, cuando hay una primera rótula plástica que se acerca al colapso, el nodo central de la cubierta experimenta los mayores desplazamientos, y estos son de valor 0.8235 m. Sin embargo, en dirección Y los máximos desplazamientos para el mismo nodo, justo antes del colapso, valen 0.525 m, un 36% menos que en dirección X. También podemos resaltar que la fuerza que origina estos desplazamientos vale 2359.26 kN, para la dirección X, y 1632.75 kN, para la dirección Y. Lo que implica un cortante basal un 30.5 % menor en la dirección Y. Todo esto también implica que la energía de deformación en la curva en dirección X es bastante superior a la correspondiente en la curva en dirección Y. Se puede concluir que la resistencia de la estructura en dirección X es superior a la resistencia de la estructura en dirección Y. Evidentemente el material es el mismo, lo que varía son las propiedades de la sección y es particularmente importante los valores de los momentos de inercia de las secciones de los elementos estructurales que son claramente superiores para la evaluación del comportamiento en la dirección X que en la Y.

El comportamiento del acero ante las cargas laterales se manifiesta como dúctil, siendo esto bastante usual en las estructuras metálicas. Las grandes deformaciones se asocian al periodo plástico del material metálico de la estructura lo que redundará en el concepto de ductilidad.

Es posible cuantificar la ductilidad a partir de los desplazamientos últimos y los desplazamientos correspondientes al inicio de la plastificación. Para ello se puede calcular el factor de ductilidad como un cociente entre dichos desplazamientos.

- Factor de ductilidad en dirección X

$$\mu = \frac{0.83}{0.255} = 3.26$$

Ductilidad alta

- Factor de ductilidad en dirección Y

$$\mu = \frac{0.53}{0.22} = 2.41$$

En referencia al punto de desempeño, que hace referencia al máximo desplazamiento de la estructura ante el sismo de diseño, podemos concluir que la estructura se mantendrá sin daños y totalmente operativa tras experimentar la acción de dicho sismo. Experimentará un desplazamiento máximo de 2 cm en caso de que el sismo actúe en dirección X y un desplazamiento máximo de 2.4 cm en caso de que el sismo actúe en dirección Y.

5.2 Formación y desarrollo de rótulas plásticas en la estructura

En este apartado se va a ilustrar la localización de las rótulas plásticas que se van originando en la estructura mientras se somete a una carga lateral que va aumentando monótonicamente, hasta llegar al colapso de la estructura. Además, se indicará el cortante basal que produce dichas rótulas y los desplazamientos máximos de la estructura. De este modo, podremos tener una idea del estado de la estructura tras el sismo de diseño y también conocer por donde la estructura colapsaría en caso de producirse un terremoto de gran magnitud. Este proceso se expone en los siguientes apartados: 5.2.1, para la estructura de hormigón armado, y 5.2.2, para la estructura metálica.

5.2.1 Formación de rótulas plásticas en la estructura de hormigón armado

El software MidasGen permite conocer la localización de las rótulas según va aumentando la carga lateral. En las siguientes imágenes se van a mostrar el proceso de formación de rótulas plásticas para la estructura de hormigón armado.

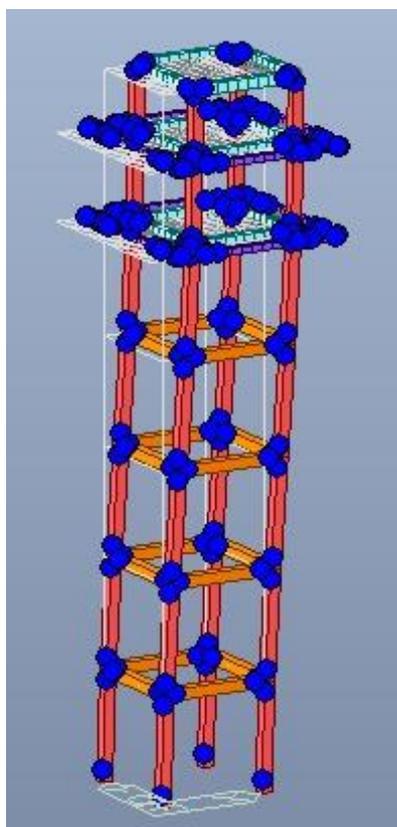


Figura 5-8. Estructura de hormigón armado y localización de las posibles rótulas plásticas

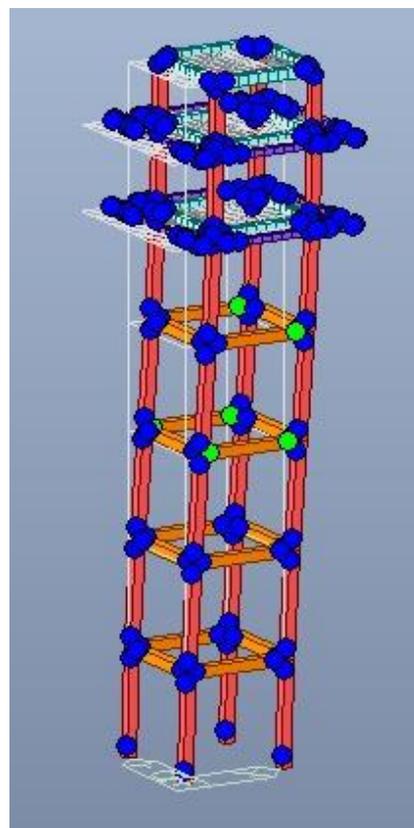


Figura 5-9. Estructura de hormigón armado con las primeras rótulas plásticas

En la figura 5-8 se pueden observar las localizaciones de las posibles rótulas que podrían formarse en la estructura cuando se produzca la plastificación del material. También, se ha representado la estructura indeformada esquemáticamente. Esta imagen se ha obtenido del paso anterior a la formación de las primeras rótulas plásticas. Los valores de cortante basal y desplazamientos máximos son:

Cortante basal: 594.65 kN

Desplazamiento máximo: 0.175 m

Esta estructura, al ser solicitada por el sismo de diseño, se encontraría en un estado correspondiente a unos pasos de carga inferiores al mostrado en la imagen 5-8. Lo que quiere decir, que en la estructura no se producirían rótulas plásticas. El comportamiento del material seguiría siendo lineal y la torre sería completamente operativa.

En la figura 5-9 se pueden visualizar la formación de las primeras rótulas plásticas, simbolizadas en color verde. Se originan 4 rótulas en la tercera planta y 2 rótulas en la planta cuarta. Las rótulas de este color implican un criterio de desempeño estructural de ocupación inmediata. La estructura ha comenzado a experimentar deformaciones plásticas y el daño sufrido empezaría a ser moderado, manteniéndose la torre operativa. Podrían darse pequeños daños que implicarían alguna reparación mínima. Los valores de cortante basal y desplazamientos máximos son:

Cortante basal: 614.54 kN

Desplazamiento máximo: 0.2 m

En el siguiente paso de carga aparecerían otras 2 rótulas adicionales en la planta cuarta. A medida que va aumentando el cortante basal van apareciendo cada vez más rótulas plásticas originándose otras cuatro rótulas en la segunda planta tras el escalón 10.

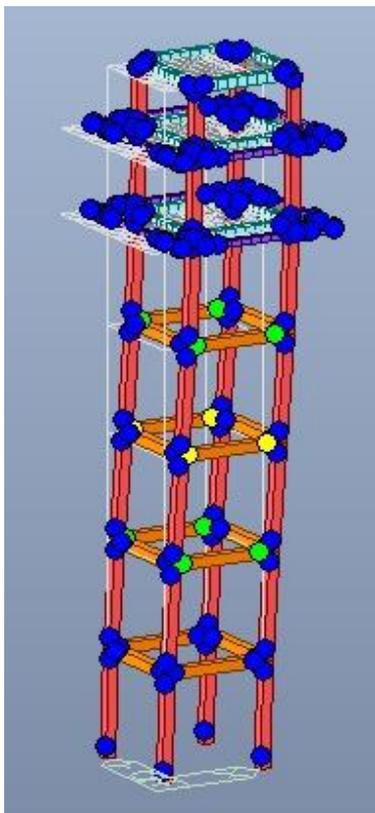


Figura 5-10. Estructura de hormigón armado y primeras rótulas LS

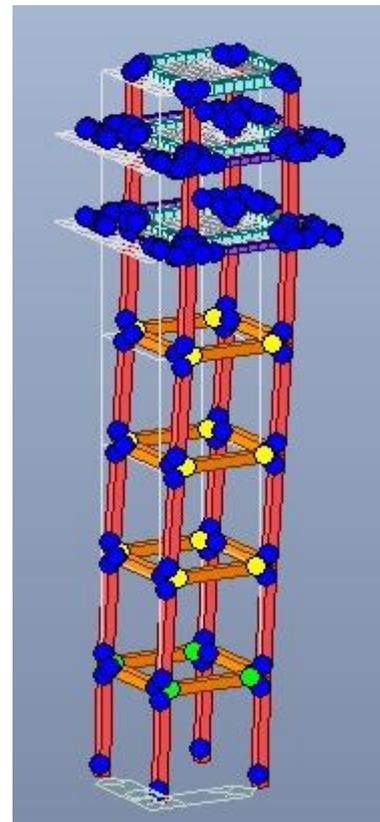


Figura 5-11. Estructura de hormigón armado con rótulas LS

En la figura 5-10, se observan las rótulas plásticas originadas en el escalón de carga número 12. En este momento las rótulas de la tercera planta siguen desarrollándose, pasando al criterio de desempeño estructural de seguridad de vida (LS) estando caracterizado por daños importantes o que pueden ser graves, siendo posible la reparación de la estructura, aunque no compensa económicamente realizarla. Los valores de cortante basal y desplazamientos máximos son:

Cortante basal: 677.36 kN

Desplazamiento máximo: 0.3 m

En la figura 5-11, las rótulas de la segunda y cuarta adquieren el criterio de seguridad de vida. Además, se desarrollan otras 4 rótulas plásticas, con criterio de ocupación inmediata, en la primera planta. Los valores de cortante basal y desplazamientos máximos son:

Cortante basal: 705.58 kN

Desplazamiento máximo: 0.35 m

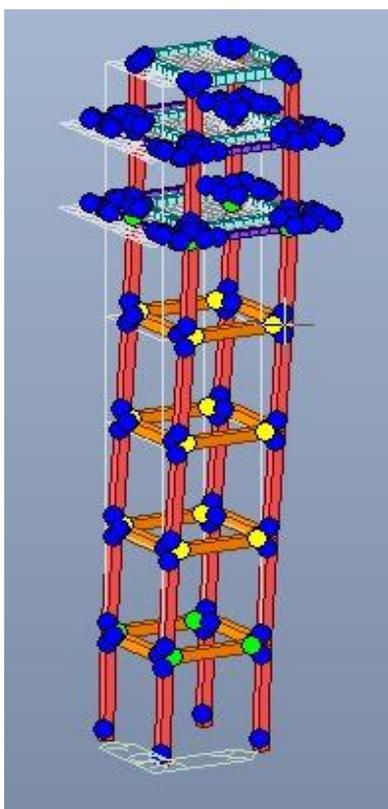


Figura 5-12. Estructura de hormigón armado con las primeras rótulas en planta técnica

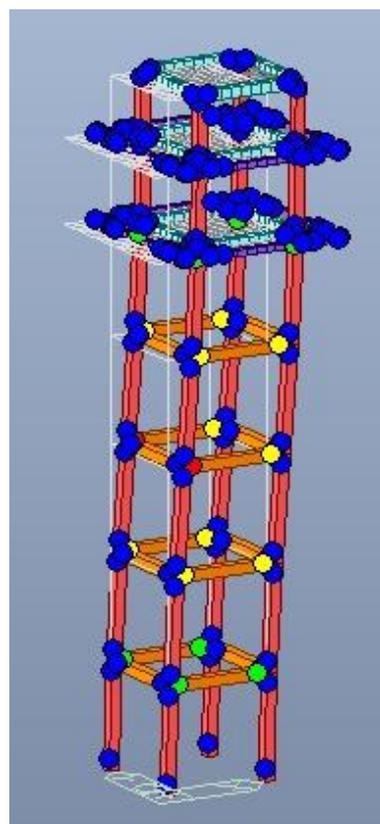


Figura 5-13. Estructura de hormigón armado con rótula en prevención del colapso

Al seguir aumentando el cortante basal se siguen desarrollando las rótulas plásticas, apareciendo las primeras cuatro rótulas en la planta técnica. Se pueden observar en la figura 5-12. Los valores de cortante basal y desplazamientos máximos son:

Cortante basal: 740.05 kN

Desplazamiento máximo: 0.45 m

Finalmente, en la figura 5-13, se pueden observar que dos rótulas plásticas en las vigas de la planta tercera se han desarrollado hasta el criterio de desempeño estructural de prevención del colapso. Los valores de cortante basal y desplazamientos máximos son:

Cortante basal: 747.10 kN

Desplazamiento máximo: 0.475m

El criterio de desempeño estructural de prevención del colapso implica que el daño producido por un sismo en una estructura se encuentra en el límite del colapso parcial o total. La estructura está seriamente dañada y no es conveniente su reparación ni puede ni debe ser ocupada.

A partir de este instante, cada vez hace falta menos fuerza lateral para seguir produciendo desplazamientos laterales en la estructura. Esto se aprecia claramente en la curva de capacidad, figura 5-3. Hay grandes tramos con pendiente decreciente, que corresponden con la aparición de rótulas plásticas en estado de colapso. Estos tramos se alternan con otros en los que la pendiente es ligeramente creciente, debido a la formación de nuevas rótulas plásticas. El último tramo con pendiente nula nos indica que se ha alcanzado el colapso total de la estructura, situación que se ilustra en la siguiente figura:

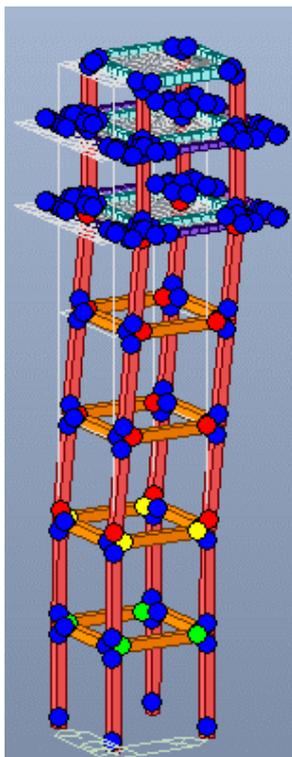


Figura 5-14. Rótulas plásticas con estructura de hormigón en colapso total

En la figura 5-14 se ha representado la estructura de hormigón armado en el instante en el que se produce el colapso total de la estructura. Con respecto a la imagen 5-13 se puede observar el desarrollo de las rótulas plásticas, pasando de un criterio de desempeño estructural de prevención del colapso al colapso total. El valor del cortante basal cae desde 424,25 kN a 164.25 kN y se mantiene constante mientras sigue desplazando la estructura indicando el colapso total de la estructura.

Por último, en la siguiente tabla se detalla los valores de la aceleración sísmica que originarían las rótulas plásticas en la estructura. Estos valores se refieren a la aceleración necesaria para que una primera rótula alcance el límite de comportamiento de Immediate Occupancy, el de Life Safety, el de Collapse Prevention y el de Collapse Total.

Tabla 5-1. Aceleración sísmica necesaria para originar la plastificación de la estructura de hormigón armado

LÍMITE DE COMPORTAMIENTO DE RÓTULAS PLÁSTICAS	ACELERACIÓN BÁSICA	ACELERACIÓN SÍSMICA DE CÁLCULO [m/s ²]
Immediate Occupancy (IO)	0.23 g	3.21
Life Safety (LS)	0.35 g	4.46
Collapse Prevention (CP)	0.55 g	7.01
Collapse Total (CT)	0.62 g	7.91

5.2.2 Formación de rótulas plásticas en la estructura metálica

En este apartado es necesario diferenciar entre un sismo aplicado en la dirección X o en la dirección Y ya que la resistencia de la estructura en ambas direcciones es diferente.

A continuación, procederemos a ilustrar el proceso de formación y desarrollo de las rótulas plásticas de manera similar al apartado correspondiente a la estructura de hormigón armado.

5.2.2.1 Formación de rótulas plásticas en la estructura metálica en dirección X

A continuación, se ilustrará el proceso de formación de rótulas plásticas para la estructura metálica en dirección X. Una primera diferencia con respecto a la estructura de hormigón reside en la incorporación de tirantes en la estructura metálica. El software no proporciona en la misma imagen las rótulas de los tirantes y del resto de elementos estructurales, así que se mostrarán por separado.

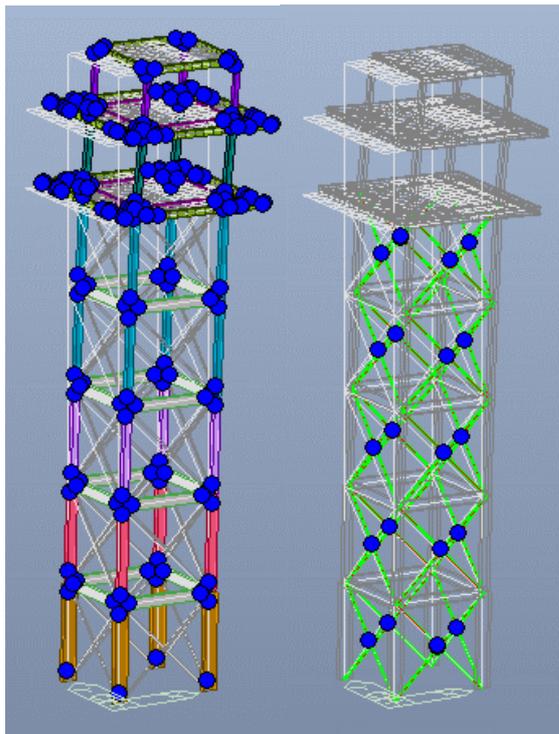


Figura 5-15. Estructura metálica y localización de las posibles rótulas plásticas-X

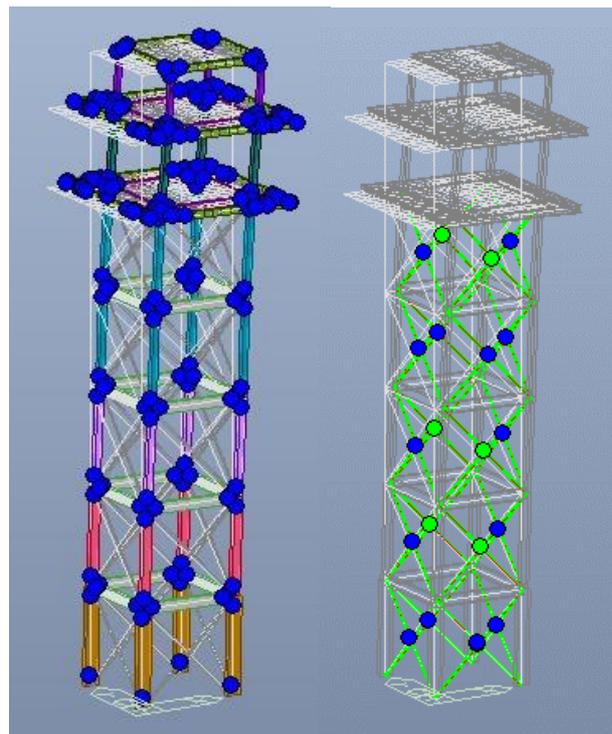


Figura 5-16. Estructura metálica con las primeras rótulas plásticas-X

En la figura 5-15 se pueden observar las localizaciones de las posibles rótulas que podrían formarse en la estructura cuando se produzca la plastificación del material. Esta imagen se ha obtenido del paso anterior a la formación de las primeras rótulas plásticas. Los valores de cortante basal y desplazamientos máximos son:

Cortante basal: 1987.3 kN

Desplazamiento máximo: 0.259 m

En la figura 5-16 se representa la estructura metálica con las primeras rótulas plásticas localizadas en los tirantes situados entre la primera y segunda planta, entre la segunda y tercera planta y entre la cuarta y quinta planta, alcanzando el criterio de desempeño estructural de ocupación inmediata. Los valores de cortante basal y desplazamientos máximos son:

Cortante basal: 1713.71 kN

Desplazamiento máximo: 0.282 m

El inicio del desarrollo de rótulas plásticas en todos estos tirantes mencionados provoca una disminución del cortante basal con respecto al del paso anterior. Aun así, los desplazamientos siguen aumentando hasta 0.282 m.

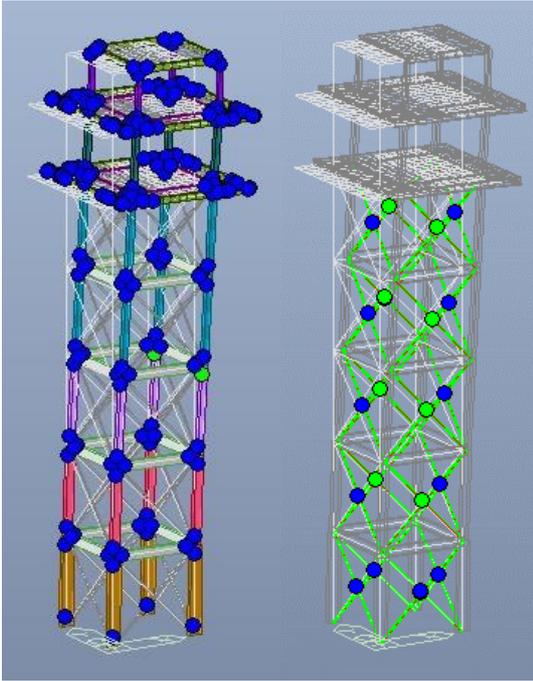


Figura 5-17. Rótulas plásticas en pilares de la estructura-X

Cortante basal: 2213.14 kN Desplazamiento máximo: 0.541 m

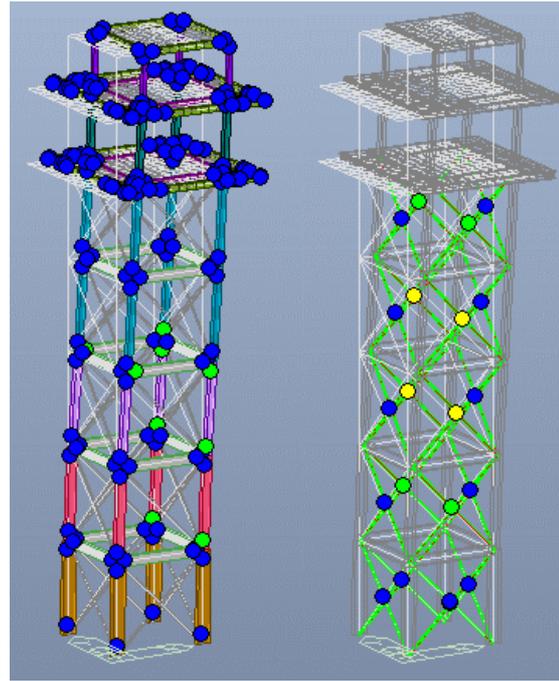


Figura 5-18. Rótulas plásticas LS en tirantes-X

Cortante basal: 2275.6 kN Desplazamiento máximo: 0.635 m

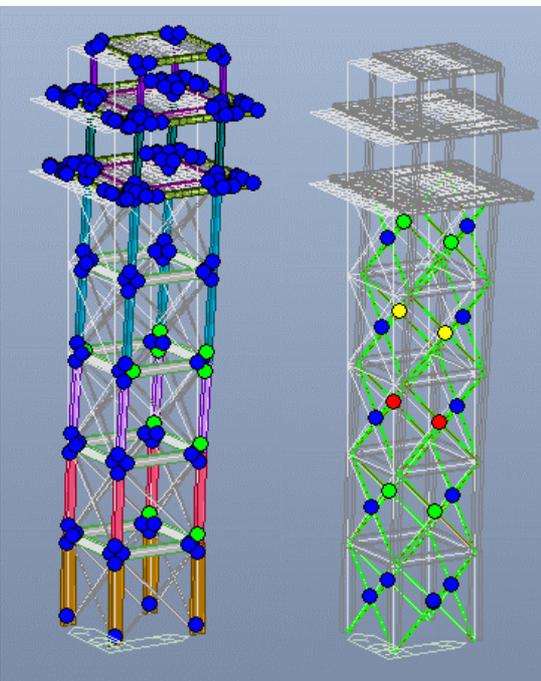


Figura 5-19. Rótulas CP en tirantes-X

Cortante basal: 2288.3 kN Desplazamiento máximo: 0.658 m

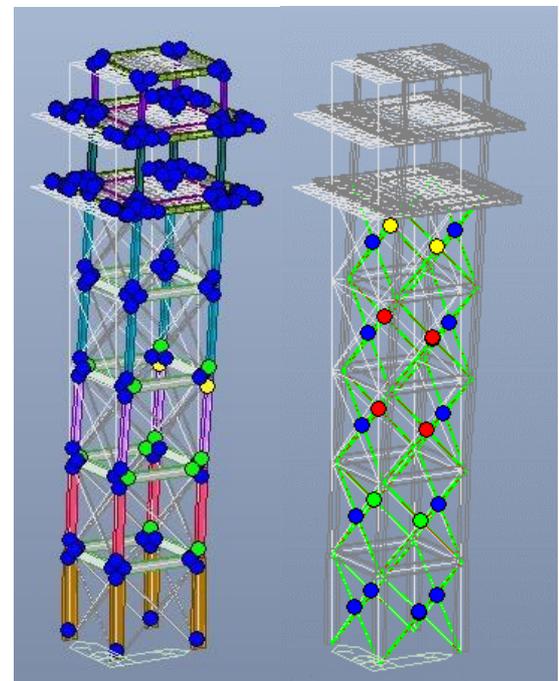


Figura 5-20. Rótulas LS en pilares y CP en tirantes

Cortante basal: 2339,6 kN Desplazamiento máximo: 0.776 m

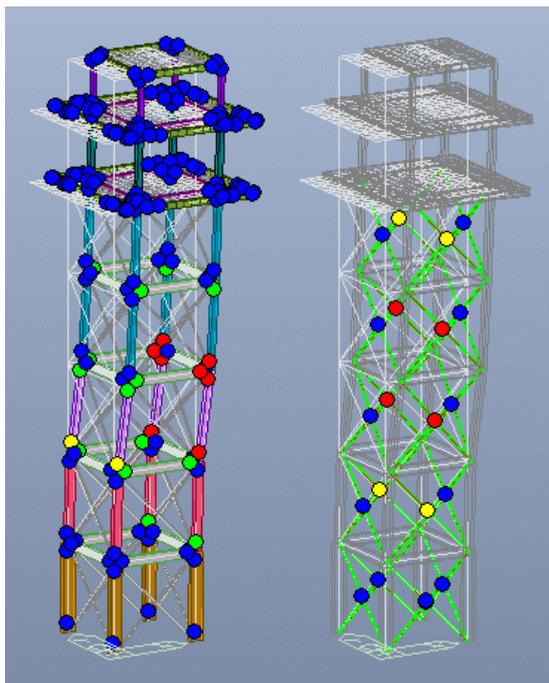


Figura 5-21. Estructura con rótulas en tirantes, vigas y pilares colapsadas-X

Cortante basal: 2359.3 kN

Desplazamiento máximo: 0.824 m

En las figuras, desde la 5-15 a la 5-21, ilustran el proceso de formación y desarrollo de rótulas plásticas hasta el colapso de la estructura metálica ante acciones laterales en el eje X.

Las rótulas plásticas de los tirantes son las primeras que alcanzan el criterio de desempeño estructural de prevención del colapso representado en la figura 5-19. Esto era previsible porque son elementos con mucha menor capacidad resistente que otros como las vigas y pilares. La función principal de los tirantes es resistir acciones de viento por lo que se considera oportuno seguir evaluando la formación de rótulas plásticas hasta que se alcance el criterio de prevención del colapso en los elementos principales de la estructura: vigas y/o pilares.

Al aumentar el cortante basal encontramos otros nuevos tirantes de la planta superior con criterio de prevención del colapso, figura 5-20. Si seguimos aumentando el cortante basal hasta 2359.3 kN se desarrollarían rótulas en pilares y vigas hasta el colapso total de la estructura. En particular estos pilares se localizan entre la planta segunda y tercera y las vigas colapsadas se ubican en la tercera planta, figura 5-21. En el siguiente paso del análisis Pushover indica la disminución repentina del cortante basal hasta 1777.78 kN manteniéndose constante, lo que indica que se ha producido el colapso total de la estructura.

Las siguientes tablas detallan los valores de la aceleración sísmica en dirección X que causan plastificación en la estructura, especificándose para los distintos límites de comportamiento. Una tabla presenta los datos referidos a las columnas y pilares de la estructura y la otra tabla a los tirantes.

Tabla 5-2. Aceleración sísmica necesaria para originar la plastificación en pilares y vigas de la estructura metálica en dirección X

LÍMITE DE COMPORTAMIENTO DE RÓTULAS PLÁSTICAS	ACELERACIÓN BÁSICA	ACELERACIÓN SÍSMICA DE CÁLCULO [m/s ²]
Immediate Occupancy (IO)	0.78 g	9.95
Life Safety (LS)	1.00 g	12.75
Collapse Prevention (CP)	1.06 g	13.52
Collapse Total (CT)	1.065 g	13.58

Tabla 5-3. Aceleración sísmica necesaria para originar la plastificación en tirantes de la estructura metálica en dirección X

LÍMITE DE COMPORTAMIENTO DE RÓTULAS PLÁSTICAS	ACELERACIÓN BÁSICA	ACELERACIÓN SÍSMICA DE CÁLCULO [m/s ²]
Immediate Occupancy (IO)	0.71 g	9.05
Life Safety (LS)	0.80 g	10.20
Collapse Prevention (CP)	0.86 g	10.97
Collapse Total (CT)	-	-

5.2.2.2 Formación de rótulas plásticas en la estructura metálica en dirección Y

En este apartado se va a exponer el proceso de formación y desarrollo de rótulas plásticas cuando la sollicitación horizontal actúa en dirección Y. La resistencia de la estructura en esta dirección es significativamente menor que en la dirección X. Esta disminución de resistencia viene determinada por las propiedades geométricas de las secciones de los diferentes elementos estructurales. El proceso se va a ilustrar con una imagen para cada tipo de tramo de la curva de capacidad y criterio de desempeño estructural: una para el tramo lineal, dos para el tramo plástico y otra imagen para representar las rótulas plásticas que alcanzan el criterio de prevención del colapso y colapso total.

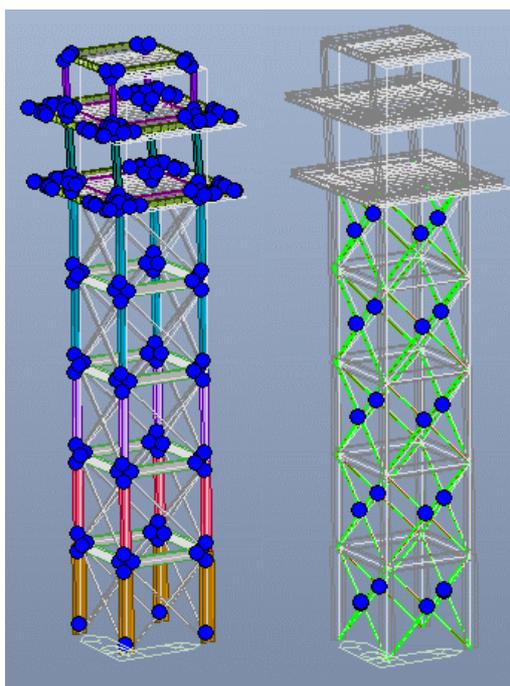


Figura 5-22. Estructura metálica y localización de las posibles rótulas plásticas-Y

Cortante basal: 922.8 kN
Desplazamiento máximo: 0.15 m

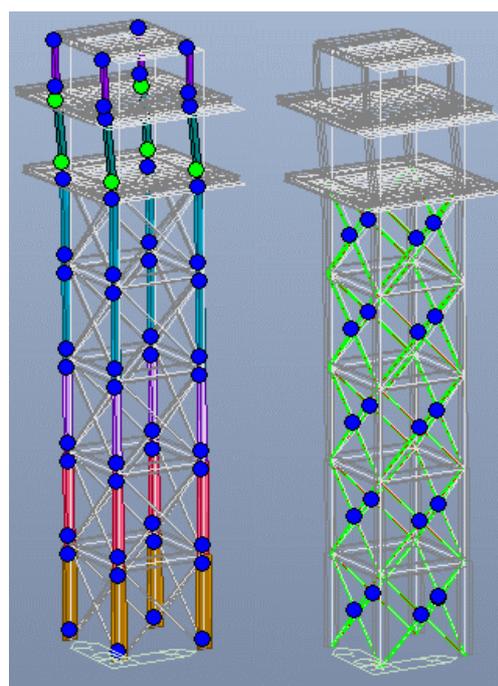


Figura 5-23. Estructura metálica con las primeras rótulas plásticas IO-Y

Cortante basal: 1445.63 kN
Desplazamiento máximo: 0.3 m

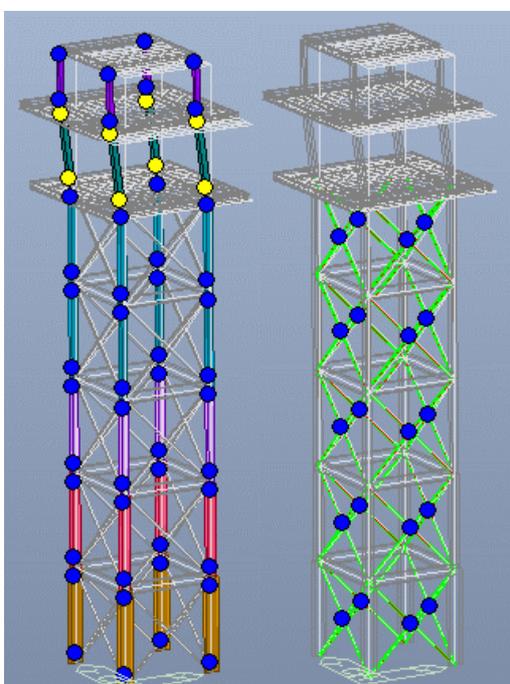


Figura 5-24. Estructura metálica con rótulas plásticas LS -Y

Cortante basal: 1611.7 kN
Desplazamiento máximo: 0.5 m

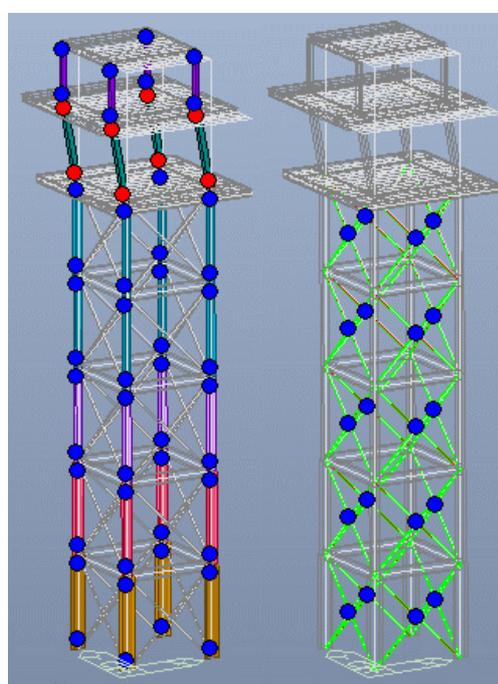


Figura 5-25. Estructura metálica con rótulas plásticas CP y CT -Y

Cortante basal: 1632.75 kN
Desplazamiento máximo: 0.525 m

En la figura 5-22 se muestra la estructura y las posibles localizaciones de las rótulas plásticas que pueden formarse. Aunque en los tirantes las rótulas están señalizadas en el centro de los elementos, estas se localizan en los extremos. La posición que muestra MidasGen en el centro de los tirantes es por una cuestión de mostrar una imagen con claridad.

Para poder visualizar correctamente las rótulas plásticas que se generan no se van a mostrar las posibles rótulas de las vigas. No obstante, cabe destacar que en ninguna viga llegan a formarse rótulas plásticas. Antes de que esto sucediera la estructura colapsa como se puede observar en la imagen 5-25.

Al seguir aumentando el cortante basal se empiezan a formar rótulas plásticas en la base de los pilares de la planta técnica. En la dirección Y, las rótulas no se han formado en primer lugar en los tirantes como sucedía en la sollicitación en dirección X. Esta situación se ilustra en la figura 5-23 cuando el cortante basal toma el valor de 1445.63 kN.

En la figura 5-24 se ha representado el momento en el que las rótulas plásticas generadas alcanzan el criterio de desempeño estructural de seguridad de vida. Estas rótulas plásticas siguen desarrollándose hasta alcanzar el criterio de prevención del colapso. En los extremos de estos pilares se alcanza dicho estado. Son las únicas rótulas que se generan en la estructura cuando la sollicitación horizontal actúa en la dirección Y.

Por último, las rótulas alcanzan el límite de comportamiento de prevención del colapso con un cortante basal de 1632.75 kN. En el paso siguiente del análisis se observa la pérdida completa de rigidez de la estructura disminuyendo drásticamente el valor del cortante basal hasta 553.3 kN, lo que implica que se ha producido el colapso total de la estructura.

Tabla 5-4. Aceleración sísmica necesaria para originar la plastificación en la estructura metálica en dirección Y

LÍMITE DE COMPORTAMIENTO DE RÓTULAS PLÁSTICAS	ACELERACIÓN BÁSICA	ACELERACIÓN SÍSMICA DE CÁLCULO [m/s ²]
Immediate Occupancy (IO)	0.52 g	6.63
Life Safety (LS)	0.61 g	7.78
Collapse Prevention (CP)	0.68 g	8.67
Collapse Total (CT)	0.685 g	8.74

5.3 Comparación entre la estructura de hormigón armado y metálica

En este apartado vamos a realizar una comparación del comportamiento entre los tipos de estructuras propuestas, la de hormigón armado y la metálica. En primer lugar, se compararán los diferentes puntos de desempeño obtenidos, luego se compararán la localización de las rótulas con criterio de desempeño estructural de prevención del colapso y, por último, los valores del cortante basal, del desplazamiento máximo y factor de ductilidad.

La tabla 5-1 recoge las coordenadas del punto de desempeño obtenido en las curvas de capacidad. En las columnas se especifican los valores de los desplazamientos máximos esperados para el sismo de diseño y los correspondientes valores de la aceleración espectral que experimentará la estructura. Estos valores se proporcionan tanto para la estructura metálica en direcciones X e Y como para la estructura de hormigón. En esta última no se ha especificado la dirección porque en ambas se alcanzan los mismos valores.

Tabla 5-5. Coordenadas del punto de desempeño para las estructuras metálicas y de hormigón

PUNTO DE DESEMPEÑO		
Tipología estructural	Valor de los desplazamientos	Aceleración espectral
Estructura de hormigón armado	6.330 cm	0.167g = 1.638 m/s ²
Estructura metálica – dirección X	2.066 cm	0.268g = 2.629 m/s ²
Estructura metálica – dirección Y	2.404 cm	0.268g = 2.629 m/s ²

El valor del desplazamiento máximo es casi tres veces superior para la estructura de hormigón armado que para la estructura metálica. En cambio, la aceleración espectral es superior en la estructura metálica, aproximadamente en 1 m/s². Para la estructura metálica el valor de los desplazamientos máximos en dirección Y son 0.338 m superior con respecto a los desplazamientos en dirección X.

En cuanto a la formación de rótulas plásticas en las estructuras podemos destacar aquellas localizaciones en las que se produce una mayor plastificación del material. Las rótulas plásticas que alcanzan en primer lugar el criterio de desempeño estructural de prevención del colapso son dos en las vigas de la planta tercera, para la estructura de hormigón armado. En cambio, en el modelo de estructura metálica, el criterio de prevención del colapso se da en rótulas ubicadas en otras posiciones. Debemos considerar las direcciones X e Y para la aplicación de la carga horizontal porque, como hemos explicado en el apartado anterior, la estructura aporta una resistencia diferente según la dirección. En la estructura metálica, con la aplicación de la carga lateral en dirección X, las rótulas plásticas en estado de prevención del colapso se localizan, cuatro de ellas, en ambos extremos de dos pilares situados entre las plantas segunda y tercera, otras dos rótulas en la base de los pilares situados entre la planta tercera y cuarta y otras dos rótulas en un extremo final de dos vigas de la tercera planta. Además, los tirantes ubicados en las caras paralelas al eje X entre las plantas segunda y quinta también han llegado a la prevención del colapso. Estas localizaciones se han representado en la figura 5-21. Sin embargo, la formación de las posibles rótulas plásticas en la estructura metálica cuando la dirección de acción de la carga lateral es la Y se da únicamente en los extremos inferiores y superiores de los pilares situados entre la quinta y sexta planta, ilustradas en la figura 5-25. Las propiedades geométricas de las secciones de los pilares y la distribución de la masa de la estructura, habiendo únicamente tres forjados en la parte superior de la torre, explican este fenómeno.

La tabla 5-6 engloba los valores más importantes cuando la estructura empieza a alcanzar el criterio de desempeño estructural de prevención del colapso en las rótulas plásticas. La primera columna reúne los valores de los últimos desplazamientos que se admiten en el estado de colapso, en la segunda columna el respectivo valor del cortante basal y en la última columna una estimación del factor de ductilidad calculado a partir de los desplazamientos últimos y los desplazamientos al inicio de la plastificación,

Tabla 5-6. Factor de ductilidad y valores máximos del desplazamiento y del cortante basal

Tipología estructural	Valor máximo de los desplazamientos	Cortante basal	Factor de ductilidad μ
Estructura de hormigón armado	0.475 m	747.10 kN	4.75
Estructura metálica – dirección X	0.824 m	2359 kN	3.26
Estructura metálica – dirección Y	0.525 m	1632.75 kN	2.41

6 CONCLUSIONES

La vida es como andar en bicicleta. Para mantener el equilibrio, debe mantenerse en movimiento.

Albert Einstein

Conclusiones

- El modelo de estructura metálica presenta mayor rigidez transversal que la estructura de hormigón.
- La mayor rigidez transversal se da en la dirección X de la estructura metálica, siendo un poco menor la rigidez en dirección Y para la misma estructura.
- El modelo de estructura de hormigón armado es el que presenta una rigidez transversal más reducida, casi un 40 % menor que la máxima rigidez del modelo metálico. Las pendientes de estas curvas en el tramo lineal dan una idea de estos valores.
- La estructura que más desplazamientos experimenta en el punto de desempeño es la de hormigón armado, seguido de la estructura metálica en dirección Y y, finalmente, en dirección X.
- La estructura de hormigón armado es la que presenta una ductilidad mayor seguida de la metálica en dirección X y por último en dirección Y.
- Las estructuras de hormigón y metálica no incursionan en el rango plástico al ser solicitadas por el sismo de diseño.
- Es necesario que actúe un sismo de una intensidad bastante superior a la del sismo de diseño de Jerez para que se produzca alguna plastificación en la estructura o eventualmente colapse.
- La estructura metálica, en dirección X, es la que soportaría un sismo de mayor intensidad sin producirse plastificación, seguida de ella misma en dirección Y y, finalmente, la de hormigón armado. De la misma manera, los diferentes criterios de desempeño estructural se alcanzan con valores de aceleraciones sísmicas menores en la estructura de hormigón armado y con valores mayores en la estructura metálica.
- La estructura metálica es la que necesitaría una aceleración sísmica superior para producir el colapso de la estructura, mientras que está sería menor en la estructura de hormigón armado.
- El hecho de que la estructura no incursione en el rango plástico ante el sismo de diseño se debe, principalmente, a que el sismo no tiene una intensidad elevada. El dimensionamiento de la estructura no solo se realiza en base a criterios sísmicos, hay muchos otros que deben satisfacer.

Desarrollos futuros

Respecto a posibles desarrollos futuros se plantea la evaluación del comportamiento sísmico de otros edificios aeroportuarios u otras edificaciones con diferentes tipologías. También, se podría estudiar el comportamiento dinámico de edificaciones ante otras acciones accidentales distintas de las sísmicas o realizar estos estudios con procedimientos de análisis diferentes al método Pushover.

REFERENCIAS

- [1] «Wikipedia,» [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Air_traffic_control
[Último acceso: 01 octubre 2020].
- [2] «U.S.C.A,» [En línea]. Available: <https://www.usca.es/profesion/historia-del-control-aereo/>
[Último acceso: 01 octubre 2020].
- [3] «BBC,» 15 de agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-53791979>
[Último acceso: 02 octubre 2020].
- [4] Ted Thornhill, «dailymail,» 25 de febrero de 2020.
[En línea]. Available: https://www.dailymail.co.uk/travel/travel_news/article-8038271/Fascinating-archive-pictures-air-traffic-control-tower-Croydon.html
[Último acceso: 03 octubre 2020].
- [5] Paul Berge, «ifr-magazine,» 13 de julio de 2017. [En línea]. Available: <https://www.ifr-magazine.com/technique/atc-history/>
[Último acceso: 04 octubre 2020].
- [6] «rwf2000,» 24 de abril de 2019. [En línea]. Available: <https://www.rwf2000.com/atc/ATC-Hist-01.htm>
[Último acceso: 05 octubre 2020].
- [7] «freeservers,» [En línea]. Available: nsolas.freeservers.com/ATC/short_history_of_the_air_traffic.html
[Último acceso: 06 octubre 2020].
- [8] «aerobcn,» 22 de julio de 2014. [En línea]. Available: <https://www.aerobcn.com/aeropuertos/222-las-10-torres-de-control-del-trafico-aereo-mas-altas-del-mundo/>
[Último acceso: 06 octubre 2020].
- [9] «Ingeniería aeroportuaria,» [En línea]. Available: <https://www.studocu.com/es/document/universidad-politecnica-de-madrid/ingenieria-aeroportuaria/apuntes/torre-de-control/2437260/view>
- [10] «Google imágenes,» [En línea]. Available: <https://www.google.com/search?q=torre+de+control+madrid+barajas>
- [11] «Aena,» [En línea]. Available: <http://www.aena.es/es/aeropuerto-jerez/historia.html>
[Último acceso: 07 octubre 2020].
- [12] «Ministerio de Transportes,» marzo de 2019. [En línea]. Available: https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/audienciainfopublica/recursos/cap2.xry_.situacion_actual.pdf
[Último acceso: 07 octubre 2020].
- [13] «Estructura de hormigón armado- Ventajas y desventajas,» [En línea]. Available: <http://ingenieriacivilrd.net/estructura-de-hormigon-armado-ventajas-y-desventajas/>
[Último acceso: 25 octubre 2020].
- [14] «Construcciones metálicas-Ventajas y desventajas,» 1 octubre 2016 [En línea]. Available: <http://www.ferra2.com/construcciones-metalicas/>
[Último acceso: 25 octubre 2020].
- [15] «Análisis estático lineal,» [En línea]. Available: http://help.solidworks.com/2010/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/AnalysisBackground/StaticAnalysis/IDH_Analysis_Background_Linear_Static_Analysis.html?id=3aaa3396b4ea4cae900b01aed66d0

d86#Pg0

[Último acceso: 17 octubre 2020].

[16]

«Análisis estático lineal,» 9 de marzo de 2020. [En línea]. Available: <https://skyciv.com/es/docs/structural-3d/solving/linear-static-analysis/>

[Último acceso: 17 octubre 2020].

[17] Análisis dinámico de estructuras-Asignatura Estructuras Aeroportuarias I

[Último acceso: 17 octubre 2020].

[18] «Análisis dinámico lineal,» [En línea]. Available: http://help.solidworks.com/2010/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/AnalysisBackground/Dynamic_Analysis/Linear_Static_Versus_Linear_Dynamic_Analysis.htm

[Último acceso: 17 octubre 2020].

[19] «Análisis estático no lineal,» [En línea]. Available: http://help.solidworks.com/2010/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/AnalysisBackground/NonlinearAnalysis/Nonlinear_Static_Analysis.htm?id=be57bc6e414c40b0ec137c2eb22649#Pg0

[Último acceso: 17 octubre 2020].

[20] «Imagen de espectro de la respuesta,» [En línea]. Available: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcQ8zdn91kMpGVaH5jrb1AzwjioLsQh9Qzifig&usqp=CAU>

[Último acceso: 23 octubre 2020].

[21] Basil Bondarenko Hernández, «Análisis estático no lineal- Pushover,» [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=e_5EssMGEjA

[Último acceso: 17 octubre 2020].

[22] Moreno González, Rosangel, «Metodología para la evaluación de riesgo sísmico,» [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93559/05RMG05de12.pdf?sequence=5&isAllowed=y#:~:text=Una%20curva%20de%20capacidad%20se,literatura%20inglesa%20como%20an%C3%A1lisis%20pushover>

[Último acceso: 20 octubre 2020].

[23]

Mohd. Zameeruddin, Keshav K.Sangle, « Review on Recent developments in the performance-based seismic design of reinforced concrete structures,» mayo de 2016. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352012416300017>

[Último acceso: 23 octubre 2020].

[24] Jonathan Chambers, Trevor Kelly «Nonlinear dynamic analysis – the only option for irregular structures,» 1 agosto 2004 [En línea]. Available: https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_1389.pdf

[Último acceso: 23 octubre 2020].

[25] Giancarlo Rossi, «Refuerzo antisísmico,» 25 julio 2011 [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Refuerzo_antis%C3%ADsmico

[Último acceso: 26 octubre 2020].

[26] Guillermo Rus Carlborg, «Cálculo plástico de estructuras de barras: teoría,» marzo de 2008 [En línea]. Available: https://www.ugr.es/~grus/docencia/ae/download/libro_plasticidad.pdf

[Último acceso: 28 octubre 2020].

[27] «Desempeño sísmico de edificaciones esenciales,» [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93538/15CAPITULO6.pdf>

[Último acceso: 27 octubre 2020].

[28] «Código Técnico de la Edificación,» [En línea]. Available: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-AE.pdf>

[Último acceso: 16 octubre 2020].

[29] «EHE08- Eurocódigo 8. Proyecto de estructuras sismorresistentes,» 1998 [En línea]. Available: www.une.org

[Último acceso: 15 noviembre 2020].

[30] García Sanchez Arjona, Gonzalo, «Diseño sísmico de un nuevo edificio terminal- torre de control para el aeropuerto de Chauchina-Granada (España) y evaluación de la capacidad estructural utilizando el análisis estático no lineal Pushover,»

[31] Francisco Javier Bujalance Muñoz, «Diseño sísmico de una torre de control para el aeropuerto de Puerto Príncipe (Haití) y su estudio de prestaciones para el terremoto de servicio mediante análisis no lineal tipo push-over,»

[32] MIDAS LA, «Procedimiento de análisis Pushover en Midas Gen,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=TJ-9MOo0qiE>

[Último acceso: 17 noviembre 2020].

[33] «NCSE-02. Norma de Construcción Sismorresistente Española,» 2002 [En línea]. Available: https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/0820200.pdf

[Último acceso: 15 noviembre 2020].

[34] Nagesh R. Iyer, «Evaluation of Seismic Performance of an Existing Steel Building- Pushover Analysis Approach,» 20 de octubre de 2015. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/265573292_Evaluation_of_Seismic_Performance_of_an_Existing_Steel_Building-Pushover_Analysis_Approach/download

[Último acceso: 26 noviembre 2020].

ANEXO A-LISTADO DE DATOS DE LA OBRA: ESTRUCTURA DE HORMIGÓN

ÍNDICE

1. VERSIÓN DEL PROGRAMA Y NÚMERO DE LICENCIA	75
2. DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA	75
3. NORMAS CONSIDERADAS	75
4. ACCIONES CONSIDERADAS	75
4.1. Gravitatorias	75
4.2. Viento	75
4.3. Sismo	77
4.3.1. Datos generales de sismo	77
4.4. Hipótesis de carga	78
4.5. Listado de cargas	79
5. ESTADOS LÍMITE	79
6. SITUACIONES DE PROYECTO	80
6.1. Coeficientes parciales de seguridad (g) y coeficientes de combinación (y)	81
6.2. Combinaciones	83
7. DATOS GEOMÉTRICOS DE GRUPOS Y PLANTAS	91
8. DATOS GEOMÉTRICOS DE PILARES, PANTALLAS Y MUROS	91
8.1. Pilares	91
9. DIMENSIONES, COEFICIENTES DE EMPOTRAMIENTO Y COEFICIENTES DE PANDEO PARA CADA PLANTA	92
10. LISTADO DE PAÑOS	92
11. MATERIALES UTILIZADOS	92
11.1. Hormigones	92
11.2. Aceros por elemento y posición	93
11.2.1. Aceros en barras	93
11.2.2. Aceros en perfiles	93

1.- VERSIÓN DEL PROGRAMA Y NÚMERO DE LICENCIA

Versión: 2020

Número de licencia: 120040

2.- DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA

Proyecto: torre hormigon

Clave: torre hormigon

3.- NORMAS CONSIDERADAS

Hormigón: EHE-08

Aceros conformados: CTE DB SE-A

Aceros laminados y armados: CTE DB SE-A

Forjados de viguetas: EHE-08

Categorías de uso

B. Zonas administrativas

G1. Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento. No concomitante con el resto de acciones variables

4.- ACCIONES CONSIDERADAS

4.1.- Gravitatorias

Planta	Sobrecarga de uso		Cargas muertas (kN/m ²)
	Categoría	Valor (kN/m ²)	
Cubierta	G1	3.0	3.0
Fanal	B	5.0	2.0
Planta técnica	B	5.0	2.0
Forjado 4	B	1.0	2.0
Forjado 3	B	1.0	2.0
Forjado 2	B	1.0	2.0
Forjado 1	B	1.0	2.0
Cimentación	---	0.0	0.0

4.2.- Viento

CTE DB SE-AE

Código Técnico de la Edificación.

Documento Básico Seguridad Estructural - Acciones en la Edificación

Zona eólica: C

Grado de aspereza: II. Terreno rural llano sin obstáculos

La acción del viento se calcula a partir de la presión estática q_e que actúa en la dirección perpendicular a la superficie expuesta. El programa obtiene de forma automática dicha presión, conforme a los criterios del Código Técnico de la Edificación DB-SE AE, en función de la geometría del edificio, la zona eólica y grado de aspereza seleccionados, y la altura sobre el terreno del punto considerado:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

Donde:

q_b Es la presión dinámica del viento conforme al mapa eólico del Anejo D.

c_e Es el coeficiente de exposición, determinado conforme a las especificaciones del Anejo D.2, en función del grado de aspereza del entorno y la altura sobre el terreno del punto considerado.

c_p Es el coeficiente eólico o de presión, calculado según la tabla 3.5 del apartado 3.3.4, en función de la esbeltez del edificio en el plano paralelo al viento.

q_b (kN/m ²)	Viento X			Viento Y		
	esbeltez	c_p (presión)	c_p (succión)	esbeltez	c_p (presión)	c_p (succión)
0.520	2.90	0.80	-0.64	2.90	0.80	-0.64

Presión estática			
Planta	C_e (Coef. exposición)	Viento X (kN/m ²)	Viento Y (kN/m ²)
Cubierta	3.52	2.640	2.640
Fanal	3.45	2.591	2.591
Planta técnica	3.35	2.517	2.517
Forjado 4	3.21	2.409	2.409
Forjado 3	3.03	2.272	2.272
Forjado 2	2.78	2.085	2.085
Forjado 1	2.37	1.782	1.782

Anchos de banda		
Plantas	Ancho de banda Y (m)	Ancho de banda X (m)
Fanal y Cubierta	16.00	16.00
Forjado 1, Forjado 2, Forjado 3, Forjado 4 y Planta técnica	10.00	10.00

Se realiza análisis de los efectos de 2° orden

Valor para multiplicar los desplazamientos 1.00

Coefficientes de Cargas

+X: 0.50 -X:0.50

+Y: 0.50 -Y:0.50

Cargas de viento				
Planta	Viento +X (kN)	Viento -X (kN)	Viento +Y (kN)	Viento -Y (kN)
Cubierta	31.677	-31.677	31.677	-31.677
Fanal	72.535	-72.535	72.535	-72.535
Planta técnica	56.635	-56.635	56.635	-56.635
Forjado 4	60.213	-60.213	60.213	-60.213
Forjado 3	56.793	-56.793	56.793	-56.793
Forjado 2	52.124	-52.124	52.124	-52.124
Forjado 1	44.557	-44.557	44.557	-44.557

Conforme al artículo 3.3.2., apartado 2 del Documento Básico AE, se ha considerado que las fuerzas de viento por planta, en cada dirección del análisis, actúan con una excentricidad de $\pm 5\%$ de la dimensión máxima del edificio.

4.3.- Sismo

Norma utilizada: NCSE-02

Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02

Método de cálculo: Análisis mediante espectros de respuesta (NCSE-02, 3.6.2)

4.3.1.- Datos generales de sismo

Caracterización del emplazamiento

a_b: Aceleración básica (NCSE-02, 2.1 y Anejo 1)

a_b : 0.060 g

K: Coeficiente de contribución (NCSE-02, 2.1 y Anejo 1)

K : 1.20

Tipo de suelo (NCSE-02, 2.4): Tipo III

Sistema estructural

Ductilidad (NCSE-02, Tabla 3.1): Ductilidad muy alta

W: Amortiguamiento (NCSE-02, Tabla 3.1)

W : 5.00 %

Tipo de construcción (NCSE-02, 2.2): Construcciones de importancia especial

Parámetros de cálculo

Número de modos de vibración que intervienen en el análisis: Según norma

Fracción de sobrecarga de uso : 0.50

Fracción de sobrecarga de nieve : 0.50

Se realiza análisis de los efectos de 2º orden

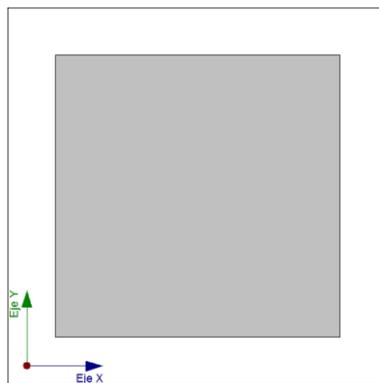
Valor para multiplicar los desplazamientos 1.00

Criterio de armado a aplicar por ductilidad: Ninguno

Direcciones de análisis

Acción sísmica según X

Acción sísmica según Y



Proyección en planta de la obra

4.4.- Hipótesis de carga

Automáticas	Peso propio Cargas muertas Sobrecarga (Uso B) Sobrecarga (Uso G1) Sismo X Sismo Y Viento +X exc.+ Viento +X exc.- Viento -X exc.+ Viento -X exc.- Viento +Y exc.+ Viento +Y exc.- Viento -Y exc.+ Viento -Y exc.-
-------------	--

4.5.- Listado de cargas

Cargas especiales introducidas (en kN, kN/m y kN/m²)

Grupo	Hipótesis	Tipo	Valor	Coordenadas
Forjado 1	Cargas muertas	Lineal	10.00	(0.00,5.00) (5.00,5.00)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(0.00,0.00) (0.00,5.00)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(0.00,0.00) (5.00,0.00)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(5.00,0.00) (5.00,5.00)
Forjado 2	Cargas muertas	Lineal	10.00	(0.00,5.00) (5.00,5.00)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(0.00,0.00) (0.00,5.00)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(0.00,0.00) (5.00,0.00)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(5.00,0.00) (5.00,5.00)
Forjado 3	Cargas muertas	Lineal	10.00	(0.00,5.00) (5.00,5.00)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(0.00,0.00) (0.00,5.00)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(0.00,0.00) (5.00,0.00)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(5.00,0.00) (5.00,5.00)
Forjado 4	Cargas muertas	Lineal	10.00	(0.00,5.00) (5.00,5.00)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(0.00,0.00) (0.00,5.00)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(0.00,0.00) (5.00,0.00)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(5.00,0.00) (5.00,5.00)
Planta técnica	Cargas muertas	Lineal	10.00	(-1.50,5.00) (-1.50,6.50)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(-1.50,0.00) (-1.50,5.00)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(-1.50,-1.50) (-1.50,0.00)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(-1.50,-1.50) (0.00,-1.50)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(0.00,-1.50) (5.00,-1.50)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(5.00,-1.50) (6.50,-1.50)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(6.50,-1.50) (6.50,0.00)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(6.50,0.00) (6.50,5.00)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(6.50,5.00) (6.50,6.50)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(5.00,6.50) (6.50,6.50)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(0.00,6.50) (5.00,6.50)
Cargas muertas	Lineal	10.00	(-1.50,6.50) (0.00,6.50)	
Fanal	Cargas muertas	Lineal	10.00	(0.00,0.00) (5.00,0.00)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(5.00,0.00) (5.00,5.00)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(0.00,5.00) (5.00,5.00)
	Cargas muertas	Lineal	10.00	(0.00,0.00) (0.00,5.00)

5.- ESTADOS LÍMITE

E.L.U. de rotura. Hormigón	CTE
E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones	Cota de nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m
Desplazamientos	Acciones características

6.- SITUACIONES DE PROYECTO

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

- Situaciones persistentes o transitorias

- Con coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

- Sin coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

- Situaciones sísmicas

- Con coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{AE} A_E + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

- Sin coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{AE} A_E + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

- Donde:

G_k Acción permanente

P_k Acción de pretensado

Q_k Acción variable

A_E Acción sísmica

γ_G Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes

γ_P Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado

$\gamma_{Q,1}$ Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal

$\gamma_{Q,i}$ Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento

γ_{AE} Coeficiente parcial de seguridad de la acción sísmica

$\Psi_{p,1}$ Coeficiente de combinación de la acción variable principal

$\Psi_{a,i}$ Coeficiente de combinación de las acciones variables de acompañamiento

6.1.- Coeficientes parciales de seguridad (γ) y coeficientes de combinación (ψ)

Para cada situación de proyecto y estado límite los coeficientes a utilizar serán:

E.L.U. de rotura. Hormigón: EHE-08

Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.350	-	-
Sobrecarga (Q - Uso B)	0.000	1.500	1.000	0.700
Sobrecarga (Q - Uso G1)	0.000	1.500	0.000	0.000
Viento (Q)	0.000	1.500	1.000	0.600

Persistente o transitoria (G1)				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ)
Carga permanente (G)	1.000	1.350	-	-
Sobrecarga (Q - Uso B)	0.000	1.500	0.000	0.000
Sobrecarga (Q - Uso G1)	0.000	1.500	1.000	0.000
Viento (Q)	0.000	1.500	0.000	0.000

Sísmica				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q - Uso B)	0.000	1.000	0.300	0.300
Sobrecarga (Q - Uso G1)	0.000	1.000	0.000	0.000
Viento (Q)	0.000	1.000	0.000	0.000
Sismo (E)	-1.000	1.000	1.000	0.300 ⁽¹⁾

Notas:

⁽¹⁾ Fracción de las solicitaciones sísmicas a considerar en la dirección ortogonal: Las solicitaciones obtenidas de los resultados del análisis en cada una de las direcciones ortogonales se combinarán con el 30 % de los de la otra.

E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones: EHE-08 / CTE DB-SE C

Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.600	-	-
Sobrecarga (Q - Uso B)	0.000	1.600	1.000	0.700
Sobrecarga (Q - Uso G1)	0.000	1.600	0.000	0.000
Viento (Q)	0.000	1.600	1.000	0.600

Persistente o transitoria (G1)				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.600	-	-
Sobrecarga (Q - Uso B)	0.000	1.600	0.000	0.000
Sobrecarga (Q - Uso G1)	0.000	1.600	1.000	0.000
Viento (Q)	0.000	1.600	0.000	0.000

Sísmica				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q - Uso B)	0.000	1.000	0.300	0.300
Sobrecarga (Q - Uso G1)	0.000	1.000	0.000	0.000
Viento (Q)	0.000	1.000	0.000	0.000
Sismo (E)	-1.000	1.000	1.000	0.300 ⁽¹⁾

Notas:

⁽¹⁾ Fracción de las sollicitaciones sísmicas a considerar en la dirección ortogonal: Las sollicitaciones obtenidas de los resultados del análisis en cada una de las direcciones ortogonales se combinarán con el 30 % de los de la otra.

Desplazamientos

Característica				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q - Uso B)	0.000	1.000	1.000	1.000
Sobrecarga (Q - Uso G1)	0.000	1.000	0.000	0.000
Viento (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000

Característica				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q - Uso B)	0.000	1.000	0.000	0.000
Sobrecarga (Q - Uso G1)	0.000	1.000	1.000	1.000
Viento (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000

Sísmica				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q - Uso B)	0.000	1.000	1.000	1.000
Sobrecarga (Q - Uso G1)	0.000	1.000	0.000	0.000
Viento (Q)				
Sismo (E)	-1.000	1.000	1.000	0.000

6.2.- Combinaciones

■ Nombres de las hipótesis

PP	Peso propio
CM	Cargas muertas
Qa (B)	Sobrecarga (Uso B. Zonas administrativas)
Qa (G1)	Sobrecarga (Uso G1. Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento. No concomitante con el resto de acciones variables)
V(+X exc.+)	Viento +X exc.+
V(+X exc.-)	Viento +X exc.-

V(-X exc.+)	Viento -X exc.+
V(-X exc.-)	Viento -X exc.-
V(+Y exc.+)	Viento +Y exc.+
V(+Y exc.-)	Viento +Y exc.-
V(-Y exc.+)	Viento -Y exc.+
V(-Y exc.-)	Viento -Y exc.-
SX	Sismo X
SY	Sismo Y

■ E.L.U. de rotura. Hormigón

Com b.	PP	CM	Qa (B)	Qa (G1)	V(+X exc.+)	V(+X exc.-)	V(-X exc.+)	V(-X exc.-)	V(+Y exc.+)	V(+Y exc.-)	V(-Y exc.+)	V(-Y exc.-)	SX	SY
1	1.00 0	1.00 0												
2	1.35 0	1.35 0												
3	1.00 0	1.00 0	1.500											
4	1.35 0	1.35 0	1.500											
5	1.00 0	1.00 0			1.500									
6	1.35 0	1.35 0			1.500									
7	1.00 0	1.00 0	1.050		1.500									
8	1.35 0	1.35 0	1.050		1.500									
9	1.00 0	1.00 0	1.500		0.900									
10	1.35 0	1.35 0	1.500		0.900									
11	1.00 0	1.00 0				1.500								
12	1.35 0	1.35 0				1.500								
13	1.00 0	1.00 0	1.050			1.500								
14	1.35 0	1.35 0	1.050			1.500								
15	1.00 0	1.00 0	1.500			0.900								
16	1.35 0	1.35 0	1.500			0.900								
17	1.00 0	1.00 0					1.500							

Com b.	PP	CM	Qa (B)	Qa (G1)	V(+X exc.+)	V(+X exc.-)	V(-X exc.+)	V(-X exc.-)	V(+Y exc.+)	V(+Y exc.-)	V(-Y exc.+)	V(-Y exc.-)	SX	SY
18	1.35 0	1.35 0					1.500							
19	1.00 0	1.00 0	1.050				1.500							
20	1.35 0	1.35 0	1.050				1.500							
21	1.00 0	1.00 0	1.500				0.900							
22	1.35 0	1.35 0	1.500				0.900							
23	1.00 0	1.00 0					1.500							
24	1.35 0	1.35 0					1.500							
25	1.00 0	1.00 0	1.050				1.500							
26	1.35 0	1.35 0	1.050				1.500							
27	1.00 0	1.00 0	1.500				0.900							
28	1.35 0	1.35 0	1.500				0.900							
29	1.00 0	1.00 0						1.500						
30	1.35 0	1.35 0						1.500						
31	1.00 0	1.00 0	1.050					1.500						
32	1.35 0	1.35 0	1.050					1.500						
33	1.00 0	1.00 0	1.500					0.900						
34	1.35 0	1.35 0	1.500					0.900						
35	1.00 0	1.00 0							1.500					
36	1.35 0	1.35 0							1.500					
37	1.00 0	1.00 0	1.050						1.500					
38	1.35 0	1.35 0	1.050						1.500					
39	1.00 0	1.00 0	1.500						0.900					
40	1.35 0	1.35 0	1.500						0.900					
41	1.00 0	1.00 0								1.500				
42	1.35 0	1.35 0								1.500				
43	1.00 0	1.00 0	1.050							1.500				
44	1.35 0	1.35 0	1.050							1.500				
45	1.00 0	1.00 0	1.500							0.900				

Com b.	PP	CM	Qa (B)	Qa (G1)	V(+X exc.+)	V(+X exc.-)	V(-X exc.+)	V(-X exc.-)	V(+Y exc.+)	V(+Y exc.-)	V(-Y exc.+)	V(-Y exc.-)	SX	SY
46	1.35 0	1.35 0	1.500								0.900			
47	1.00 0	1.00 0										1.500		
48	1.35 0	1.35 0										1.500		
49	1.00 0	1.00 0	1.050									1.500		
50	1.35 0	1.35 0	1.050									1.500		
51	1.00 0	1.00 0	1.500									0.900		
52	1.35 0	1.35 0	1.500									0.900		
53	1.00 0	1.00 0		1.500										
54	1.35 0	1.35 0		1.500										
55	1.00 0	1.00 0											- 0.30 0	- 1.00 0
56	1.00 0	1.00 0	0.300										- 0.30 0	- 1.00 0
57	1.00 0	1.00 0											0.30 0	- 1.00 0
58	1.00 0	1.00 0	0.300										0.30 0	- 1.00 0
59	1.00 0	1.00 0											- 1.00 0	- 0.30 0
60	1.00 0	1.00 0	0.300										- 1.00 0	- 0.30 0
61	1.00 0	1.00 0											- 1.00 0	0.30 0
62	1.00 0	1.00 0	0.300										- 1.00 0	0.30 0
63	1.00 0	1.00 0											0.30 0	1.00 0
64	1.00 0	1.00 0	0.300										0.30 0	1.00 0
65	1.00 0	1.00 0											- 0.30 0	1.00 0
66	1.00 0	1.00 0	0.300										- 0.30 0	1.00 0
67	1.00 0	1.00 0											1.00 0	0.30 0
68	1.00 0	1.00 0	0.300										1.00 0	0.30 0

Com b.	PP	CM	Qa (B)	Qa (G1)	V(+X exc.+)	V(+X exc.-)	V(-X exc.+)	V(-X exc.-)	V(+Y exc.+)	V(+Y exc.-)	V(-Y exc.+)	V(-Y exc.-)	SX	SY
69	1.00 0	1.00 0											1.00 0	- 0.30 0
70	1.00 0	1.00 0	0.300										1.00 0	- 0.30 0

■ E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones

Com b.	PP	CM	Qa (B)	Qa (G1)	V(+X exc.+)	V(+X exc.-)	V(-X exc.+)	V(-X exc.-)	V(+Y exc.+)	V(+Y exc.-)	V(-Y exc.+)	V(-Y exc.-)	SX	SY
1	1.00 0	1.00 0												
2	1.60 0	1.60 0												
3	1.00 0	1.00 0	1.600											
4	1.60 0	1.60 0	1.600											
5	1.00 0	1.00 0			1.600									
6	1.60 0	1.60 0			1.600									
7	1.00 0	1.00 0	1.120		1.600									
8	1.60 0	1.60 0	1.120		1.600									
9	1.00 0	1.00 0	1.600		0.960									
10	1.60 0	1.60 0	1.600		0.960									
11	1.00 0	1.00 0				1.600								
12	1.60 0	1.60 0				1.600								
13	1.00 0	1.00 0	1.120			1.600								
14	1.60 0	1.60 0	1.120			1.600								
15	1.00 0	1.00 0	1.600			0.960								
16	1.60 0	1.60 0	1.600			0.960								
17	1.00 0	1.00 0					1.600							
18	1.60 0	1.60 0					1.600							
19	1.00 0	1.00 0	1.120				1.600							
20	1.60 0	1.60 0	1.120				1.600							
21	1.00 0	1.00 0	1.600				0.960							
22	1.60 0	1.60 0	1.600				0.960							

Com b.	PP	CM	Qa (B)	Qa (G1)	V(+X exc.+)	V(+X exc.-)	V(-X exc.+)	V(-X exc.-)	V(+Y exc.+)	V(+Y exc.-)	V(-Y exc.+)	V(-Y exc.-)	SX	SY
23	1.00 0	1.00 0						1.600						
24	1.60 0	1.60 0						1.600						
25	1.00 0	1.00 0	1.120					1.600						
26	1.60 0	1.60 0	1.120					1.600						
27	1.00 0	1.00 0	1.600					0.960						
28	1.60 0	1.60 0	1.600					0.960						
29	1.00 0	1.00 0							1.600					
30	1.60 0	1.60 0							1.600					
31	1.00 0	1.00 0	1.120						1.600					
32	1.60 0	1.60 0	1.120						1.600					
33	1.00 0	1.00 0	1.600						0.960					
34	1.60 0	1.60 0	1.600						0.960					
35	1.00 0	1.00 0								1.600				
36	1.60 0	1.60 0								1.600				
37	1.00 0	1.00 0	1.120							1.600				
38	1.60 0	1.60 0	1.120							1.600				
39	1.00 0	1.00 0	1.600							0.960				
40	1.60 0	1.60 0	1.600							0.960				
41	1.00 0	1.00 0									1.600			
42	1.60 0	1.60 0									1.600			
43	1.00 0	1.00 0	1.120								1.600			
44	1.60 0	1.60 0	1.120								1.600			
45	1.00 0	1.00 0	1.600								0.960			
46	1.60 0	1.60 0	1.600								0.960			
47	1.00 0	1.00 0										1.600		
48	1.60 0	1.60 0										1.600		
49	1.00 0	1.00 0	1.120									1.600		
50	1.60 0	1.60 0	1.120									1.600		

Com b.	PP	CM	Qa (B)	Qa (G1)	V(+X exc.+)	V(+X exc.-)	V(-X exc.+)	V(-X exc.-)	V(+Y exc.+)	V(+Y exc.-)	V(-Y exc.+)	V(-Y exc.-)	SX	SY
51	1.00 0	1.00 0	1.600									0.960		
52	1.60 0	1.60 0	1.600									0.960		
53	1.00 0	1.00 0		1.600										
54	1.60 0	1.60 0		1.600										
55	1.00 0	1.00 0											- 0.30 0	- 1.00 0
56	1.00 0	1.00 0	0.300										- 0.30 0	- 1.00 0
57	1.00 0	1.00 0											0.30 0	- 1.00 0
58	1.00 0	1.00 0	0.300										0.30 0	- 1.00 0
59	1.00 0	1.00 0											- 1.00 0	- 0.30 0
60	1.00 0	1.00 0	0.300										1.00 0	- 0.30 0
61	1.00 0	1.00 0											- 1.00 0	0.30 0
62	1.00 0	1.00 0	0.300										- 1.00 0	0.30 0
63	1.00 0	1.00 0											0.30 0	1.00 0
64	1.00 0	1.00 0	0.300										0.30 0	1.00 0
65	1.00 0	1.00 0											- 0.30 0	1.00 0
66	1.00 0	1.00 0	0.300										- 0.30 0	1.00 0
67	1.00 0	1.00 0											1.00 0	0.30 0
68	1.00 0	1.00 0	0.300										1.00 0	0.30 0
69	1.00 0	1.00 0											1.00 0	- 0.30 0
70	1.00 0	1.00 0	0.300										1.00 0	- 0.30 0

■ **Desplazamientos**

Com b.	PP	CM	Qa (B)	Qa (G1)	V(+X exc.+)	V(+X exc.-)	V(-X exc.+)	V(-X exc.-)	V(+Y exc.+)	V(+Y exc.-)	V(-Y exc.+)	V(-Y exc.-)	SX	SY
1	1.00 0	1.00 0												
2	1.00 0	1.00 0	1.000											
3	1.00 0	1.00 0			1.000									
4	1.00 0	1.00 0	1.000		1.000									
5	1.00 0	1.00 0				1.000								
6	1.00 0	1.00 0	1.000			1.000								
7	1.00 0	1.00 0					1.000							
8	1.00 0	1.00 0	1.000				1.000							
9	1.00 0	1.00 0					1.000							
10	1.00 0	1.00 0	1.000				1.000							
11	1.00 0	1.00 0						1.000						
12	1.00 0	1.00 0	1.000					1.000						
13	1.00 0	1.00 0							1.000					
14	1.00 0	1.00 0	1.000						1.000					
15	1.00 0	1.00 0								1.000				
16	1.00 0	1.00 0	1.000								1.000			
17	1.00 0	1.00 0										1.000		
18	1.00 0	1.00 0	1.000									1.000		
19	1.00 0	1.00 0		1.000										
20	1.00 0	1.00 0		1.000	1.000									
21	1.00 0	1.00 0		1.000		1.000								
22	1.00 0	1.00 0		1.000			1.000							
23	1.00 0	1.00 0		1.000				1.000						
24	1.00 0	1.00 0		1.000					1.000					
25	1.00 0	1.00 0		1.000						1.000				
26	1.00 0	1.00 0		1.000							1.000			
27	1.00 0	1.00 0		1.000								1.000		

Com b.	PP	CM	Qa (B)	Qa (G1)	V(+X exc.+)	V(+X exc.-)	V(-X exc.+)	V(-X exc.-)	V(+Y exc.+)	V(+Y exc.-)	V(-Y exc.+)	V(-Y exc.-)	SX	SY
28	1.00 0	1.00 0											- 1.00 0	
29	1.00 0	1.00 0	1.000										- 1.00 0	
30	1.00 0	1.00 0											1.00 0	
31	1.00 0	1.00 0	1.000										1.00 0	
32	1.00 0	1.00 0												- 1.00 0
33	1.00 0	1.00 0	1.000											- 1.00 0
34	1.00 0	1.00 0												1.00 0
35	1.00 0	1.00 0	1.000											1.00 0

7.- DATOS GEOMÉTRICOS DE GRUPOS Y PLANTAS

Grupo	Nombre del grupo	Planta	Nombre planta	Altura	Cota
7	Cubierta	7	Cubierta	3.00	32.00
6	Fanal	6	Fanal	4.00	29.00
5	Planta técnica	5	Planta técnica	5.00	25.00
4	Forjado 4	4	Forjado 4	5.00	20.00
3	Forjado 3	3	Forjado 3	5.00	15.00
2	Forjado 2	2	Forjado 2	5.00	10.00
1	Forjado 1	1	Forjado 1	5.00	5.00
0	Cimentación				0.00

8.- DATOS GEOMÉTRICOS DE PILARES, PANTALLAS Y MUROS

8.1.- Pilares

GI: grupo inicial

GF: grupo final

Ang: ángulo del pilar en grados sexagesimales

Datos de los pilares

Referencia	Coord(P.Fijo)	GI- GF	Vinculación exterior	Ang.	Punto fijo	Canto de apoyo
P1	(0.00, 0.00)	0-7	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
P2	(5.00, 0.00)	0-7	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
P3	(0.00, 5.00)	0-7	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
P4	(5.00, 5.00)	0-7	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00

9.- DIMENSIONES, COEFICIENTES DE EMPOTRAMIENTO Y COEFICIENTES DE PANDEO PARA CADA PLANTA

Pilar	Planta	Dimensiones (cm)	Coeficiente de empotramiento		Coeficiente de pandeo		Coeficiente de rigidez axial
			Cabeza	Pie	X	Y	
Para todos los pilares	7	50x50	0.30	1.00	1.00	1.00	2.00
	6	50x50	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00
	5	50x50	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00
	4	50x50	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00
	3	50x50	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00
	2	50x50	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00
	1	50x50	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00

10.- LISTADO DE PAÑOS

Tipos de forjados considerados

Nombre	Descripción
25+5-72-12	FORJADO DE VIGUETAS DE HORMIGÓN Canto de bovedilla: 25 cm Espesor capa compresión: 5 cm Intereje: 72 cm Bovedilla: De hormigón Ancho del nervio: 12 cm Volumen de hormigón: 0.106 m ³ /m ² Peso propio: 3.643 kN/m ² Incremento del ancho del nervio: 3 cm Comprobación de flecha: Como vigueta armada

11.- MATERIALES UTILIZADOS

11.1.- Hormigones

Elemento	Hormigón	f _{ck} (MPa)	g _c	Árido		E _c (MPa)
				Naturaleza	Tamaño máximo (mm)	
Todos	HA-30	30	1.30 a 1.50	Cuarcita	15	28577

11.2.- Aceros por elemento y posición

11.2.1.- Aceros en barras

Elemento	Acero	f_{yk} (MPa)	g_s
Todos	B 500 S	500	1.00 a 1.15

11.2.2.- Aceros en perfiles

Tipo de acero para perfiles	Acero	Límite elástico (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)
Acero conformado	S235	235	210
Acero laminado	S275	275	210

ANEXO B-LISTADO DE DATOS DE LA OBRA: ESTRUCTURA METÁLICA

ÍNDICE

1.- DATOS DE OBRA	97
1.1.- Normas consideradas	97
1.2.- Estados límite	97
1.2.1.- Situaciones de proyecto	97
1.2.2.- Combinaciones	100
1.3.- Sismo	114
1.3.1.- Datos generales de sismo	114
2.- ESTRUCTURA	115
2.1.- Geometría	115
2.1.1.- Nudos	115
2.1.2.- Barras	116
2.2.- Cargas	127
2.2.1.- Barras	127

1.- DATOS DE OBRA

1.1.- Normas consideradas

Aceros laminados y armados: CTE DB SE-A

Categorías de uso

B. Zonas administrativas

G1. Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento. No concomitante con el resto de acciones variables

1.2.- Estados límite

E.L.U. de rotura. Acero laminado	CTE Cota de nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m
Desplazamientos	Acciones características

1.2.1.- Situaciones de proyecto

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

- Situaciones persistentes o transitorias

- Con coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

- Sin coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

- Situaciones sísmicas

- Con coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{A_E} A_E + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

- Sin coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{A_E} A_E + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

- Donde:

G_k Acción permanente

P_k Acción de pretensado

Q_k Acción variable

A_E Acción sísmica

γ_G Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes

- γ_P Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado
 $\gamma_{Q,1}$ Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal
 $\gamma_{Q,i}$ Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento
 γ_{AE} Coeficiente parcial de seguridad de la acción sísmica
 $\psi_{p,1}$ Coeficiente de combinación de la acción variable principal
 $\psi_{a,i}$ Coeficiente de combinación de las acciones variables de acompañamiento

Para cada situación de proyecto y estado límite los coeficientes a utilizar serán:

E.L.U. de rotura. Acero laminado: CTE DB SE-A

Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	0.800	1.350	-	-
Sobrecarga (Q - Uso B)	0.000	1.500	1.000	0.700
Sobrecarga (Q - Uso G1)	0.000	1.500	0.000	0.000
Viento (Q)	0.000	1.500	1.000	0.600
Nieve (Q)	0.000	1.500	1.000	0.500

Persistente o transitoria (G1)				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	0.800	1.350	-	-
Sobrecarga (Q - Uso B)	0.000	1.500	0.000	0.000
Sobrecarga (Q - Uso G1)	0.000	1.500	1.000	0.000
Viento (Q)	0.000	1.500	0.000	0.000
Nieve (Q)	0.000	1.500	0.000	0.000

Sísmica				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q - Uso B)	0.000	1.000	0.300	0.300
Sobrecarga (Q - Uso G1)	0.000	1.000	0.000	0.000
Viento (Q)	0.000	1.000	0.000	0.000
Nieve (Q)	0.000	1.000	0.000	0.000
Sismo (E)	-1.000	1.000	1.000	0.300 ⁽¹⁾

Sísmica				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
<i>Notas:</i>				
<i>(1) Fracción de las solicitaciones sísmicas a considerar en la dirección ortogonal: Las solicitaciones obtenidas de los resultados del análisis en cada una de las direcciones ortogonales se combinarán con el 30 % de los de la otra.</i>				

Desplazamientos

Característica				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q - Uso B)	0.000	1.000	1.000	1.000
Sobrecarga (Q - Uso G1)	0.000	1.000	0.000	0.000
Viento (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000
Nieve (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000

Característica				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q - Uso B)	0.000	1.000	0.000	0.000
Sobrecarga (Q - Uso G1)	0.000	1.000	1.000	1.000
Viento (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000
Nieve (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000

Sísmica				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q - Uso B)	0.000	1.000	1.000	1.000
Sobrecarga (Q - Uso G1)	0.000	1.000	0.000	0.000
Viento (Q)				
Nieve (Q)				
Sismo (E)	-1.000	1.000	1.000	0.000

1.2.2.- Combinaciones**■ Nombres de las hipótesis**

PP	Peso propio
CM 1 carga muerta	carga muerta
CM 2 carga de cerramientos	carga de cerramientos
CM 3 peso propio de forjados	peso propio de forjados
Q 1 (B)	sobrecarga de uso (Uso B. Zonas administrativas)
Q 1 (G1)	Cubierta (Uso G1. Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento. No concomitante con el resto de acciones variables)
V 1	viento direccion x
V 2	viento direccion y
N 1	nieve
SX	Sismo X
SY	Sismo Y

■ E.L.U. de rotura. Acero laminado

Com b.	PP	CM 1 carga muerta	CM 2 carga de cerramientos	CM 3 peso propio de forjados	Q 1 (B)	Q 1 (G1)	V 1	V 2	N 1	SX	SY
1	0.800	0.800	0.800	0.800							
2	1.350	0.800	0.800	0.800							
3	0.800	1.350	0.800	0.800							
4	1.350	1.350	0.800	0.800							
5	0.800	0.800	1.350	0.800							
6	1.350	0.800	1.350	0.800							
7	0.800	1.350	1.350	0.800							
8	1.350	1.350	1.350	0.800							
9	0.800	0.800	0.800	1.350							
10	1.350	0.800	0.800	1.350							
11	0.800	1.350	0.800	1.350							
12	1.350	1.350	0.800	1.350							
13	0.800	0.800	1.350	1.350							
14	1.350	0.800	1.350	1.350							
15	0.800	1.350	1.350	1.350							

Com b.	PP	CM 1 carga muerta	CM 2 carga de cerramientos	CM 3 peso propio de forjados	Q 1 (B)	Q 1 (G1)	V 1	V 2	N 1	SX	SY
16	1.350	1.350	1.350	1.350							
17	0.800	0.800	0.800	0.800	1.500						
18	1.350	0.800	0.800	0.800	1.500						
19	0.800	1.350	0.800	0.800	1.500						
20	1.350	1.350	0.800	0.800	1.500						
21	0.800	0.800	1.350	0.800	1.500						
22	1.350	0.800	1.350	0.800	1.500						
23	0.800	1.350	1.350	0.800	1.500						
24	1.350	1.350	1.350	0.800	1.500						
25	0.800	0.800	0.800	1.350	1.500						
26	1.350	0.800	0.800	1.350	1.500						
27	0.800	1.350	0.800	1.350	1.500						
28	1.350	1.350	0.800	1.350	1.500						
29	0.800	0.800	1.350	1.350	1.500						
30	1.350	0.800	1.350	1.350	1.500						
31	0.800	1.350	1.350	1.350	1.500						
32	1.350	1.350	1.350	1.350	1.500						
33	0.800	0.800	0.800	0.800			1.500				
34	1.350	0.800	0.800	0.800			1.500				
35	0.800	1.350	0.800	0.800			1.500				
36	1.350	1.350	0.800	0.800			1.500				
37	0.800	0.800	1.350	0.800			1.500				
38	1.350	0.800	1.350	0.800			1.500				
39	0.800	1.350	1.350	0.800			1.500				
40	1.350	1.350	1.350	0.800			1.500				
41	0.800	0.800	0.800	1.350			1.500				
42	1.350	0.800	0.800	1.350			1.500				

Com b.	PP	CM 1 carga muerta	CM 2 carga de cerramientos	CM 3 peso propio de forjados	Q 1 (B)	Q 1 (G1)	V 1	V 2	N 1	SX	SY
43	0.800	1.350	0.800	1.350			1.500				
44	1.350	1.350	0.800	1.350			1.500				
45	0.800	0.800	1.350	1.350			1.500				
46	1.350	0.800	1.350	1.350			1.500				
47	0.800	1.350	1.350	1.350			1.500				
48	1.350	1.350	1.350	1.350			1.500				
49	0.800	0.800	0.800	0.800	1.050		1.500				
50	1.350	0.800	0.800	0.800	1.050		1.500				
51	0.800	1.350	0.800	0.800	1.050		1.500				
52	1.350	1.350	0.800	0.800	1.050		1.500				
53	0.800	0.800	1.350	0.800	1.050		1.500				
54	1.350	0.800	1.350	0.800	1.050		1.500				
55	0.800	1.350	1.350	0.800	1.050		1.500				
56	1.350	1.350	1.350	0.800	1.050		1.500				
57	0.800	0.800	0.800	1.350	1.050		1.500				
58	1.350	0.800	0.800	1.350	1.050		1.500				
59	0.800	1.350	0.800	1.350	1.050		1.500				
60	1.350	1.350	0.800	1.350	1.050		1.500				
61	0.800	0.800	1.350	1.350	1.050		1.500				
62	1.350	0.800	1.350	1.350	1.050		1.500				
63	0.800	1.350	1.350	1.350	1.050		1.500				
64	1.350	1.350	1.350	1.350	1.050		1.500				
65	0.800	0.800	0.800	0.800	1.500		0.900				
66	1.350	0.800	0.800	0.800	1.500		0.900				
67	0.800	1.350	0.800	0.800	1.500		0.900				
68	1.350	1.350	0.800	0.800	1.500		0.900				
69	0.800	0.800	1.350	0.800	1.500		0.900				

Com b.	PP	CM 1 carga muerta	CM 2 carga de cerramientos	CM 3 peso propio de forjados	Q 1 (B)	Q 1 (G1)	V 1	V 2	N 1	SX	SY
70	1.350	0.800	1.350	0.800	1.500		0.900				
71	0.800	1.350	1.350	0.800	1.500		0.900				
72	1.350	1.350	1.350	0.800	1.500		0.900				
73	0.800	0.800	0.800	1.350	1.500		0.900				
74	1.350	0.800	0.800	1.350	1.500		0.900				
75	0.800	1.350	0.800	1.350	1.500		0.900				
76	1.350	1.350	0.800	1.350	1.500		0.900				
77	0.800	0.800	1.350	1.350	1.500		0.900				
78	1.350	0.800	1.350	1.350	1.500		0.900				
79	0.800	1.350	1.350	1.350	1.500		0.900				
80	1.350	1.350	1.350	1.350	1.500		0.900				
81	0.800	0.800	0.800	0.800				1.500			
82	1.350	0.800	0.800	0.800				1.500			
83	0.800	1.350	0.800	0.800				1.500			
84	1.350	1.350	0.800	0.800				1.500			
85	0.800	0.800	1.350	0.800				1.500			
86	1.350	0.800	1.350	0.800				1.500			
87	0.800	1.350	1.350	0.800				1.500			
88	1.350	1.350	1.350	0.800				1.500			
89	0.800	0.800	0.800	1.350				1.500			
90	1.350	0.800	0.800	1.350				1.500			
91	0.800	1.350	0.800	1.350				1.500			
92	1.350	1.350	0.800	1.350				1.500			
93	0.800	0.800	1.350	1.350				1.500			
94	1.350	0.800	1.350	1.350				1.500			
95	0.800	1.350	1.350	1.350				1.500			
96	1.350	1.350	1.350	1.350				1.500			

Com b.	PP	CM 1 carga muerta	CM 2 carga de cerramientos	CM 3 peso propio de forjados	Q 1 (B)	Q 1 (G1)	V 1	V 2	N 1	SX	SY
97	0.800	0.800	0.800	0.800	1.050			1.500			
98	1.350	0.800	0.800	0.800	1.050			1.500			
99	0.800	1.350	0.800	0.800	1.050			1.500			
100	1.350	1.350	0.800	0.800	1.050			1.500			
101	0.800	0.800	1.350	0.800	1.050			1.500			
102	1.350	0.800	1.350	0.800	1.050			1.500			
103	0.800	1.350	1.350	0.800	1.050			1.500			
104	1.350	1.350	1.350	0.800	1.050			1.500			
105	0.800	0.800	0.800	1.350	1.050			1.500			
106	1.350	0.800	0.800	1.350	1.050			1.500			
107	0.800	1.350	0.800	1.350	1.050			1.500			
108	1.350	1.350	0.800	1.350	1.050			1.500			
109	0.800	0.800	1.350	1.350	1.050			1.500			
110	1.350	0.800	1.350	1.350	1.050			1.500			
111	0.800	1.350	1.350	1.350	1.050			1.500			
112	1.350	1.350	1.350	1.350	1.050			1.500			
113	0.800	0.800	0.800	0.800	1.500			0.900			
114	1.350	0.800	0.800	0.800	1.500			0.900			
115	0.800	1.350	0.800	0.800	1.500			0.900			
116	1.350	1.350	0.800	0.800	1.500			0.900			
117	0.800	0.800	1.350	0.800	1.500			0.900			
118	1.350	0.800	1.350	0.800	1.500			0.900			
119	0.800	1.350	1.350	0.800	1.500			0.900			
120	1.350	1.350	1.350	0.800	1.500			0.900			
121	0.800	0.800	0.800	1.350	1.500			0.900			
122	1.350	0.800	0.800	1.350	1.500			0.900			
123	0.800	1.350	0.800	1.350	1.500			0.900			

Com b.	PP	CM 1 carga muerta	CM 2 carga de cerramientos	CM 3 peso propio de forjados	Q 1 (B)	Q 1 (G1)	V 1	V 2	N 1	SX	SY
124	1.350	1.350	0.800	1.350	1.500			0.900			
125	0.800	0.800	1.350	1.350	1.500			0.900			
126	1.350	0.800	1.350	1.350	1.500			0.900			
127	0.800	1.350	1.350	1.350	1.500			0.900			
128	1.350	1.350	1.350	1.350	1.500			0.900			
129	0.800	1.350	0.800	0.800					1.500		
130	1.350	1.350	0.800	0.800					1.500		
131	0.800	0.800	1.350	0.800					1.500		
132	1.350	0.800	1.350	0.800					1.500		
133	0.800	1.350	1.350	0.800					1.500		
134	1.350	1.350	1.350	0.800					1.500		
135	0.800	0.800	0.800	1.350					1.500		
136	1.350	0.800	0.800	1.350					1.500		
137	0.800	1.350	0.800	1.350					1.500		
138	1.350	1.350	0.800	1.350					1.500		
139	0.800	0.800	1.350	1.350					1.500		
140	1.350	0.800	1.350	1.350					1.500		
141	0.800	1.350	1.350	1.350					1.500		
142	1.350	1.350	1.350	1.350					1.500		
143	0.800	0.800	0.800	0.800	1.050				1.500		
144	1.350	0.800	0.800	0.800	1.050				1.500		
145	0.800	1.350	0.800	0.800	1.050				1.500		
146	1.350	1.350	0.800	0.800	1.050				1.500		
147	0.800	0.800	1.350	0.800	1.050				1.500		
148	1.350	0.800	1.350	0.800	1.050				1.500		
149	0.800	1.350	1.350	0.800	1.050				1.500		
150	1.350	1.350	1.350	0.800	1.050				1.500		

Com b.	PP	CM 1 carga muerta	CM 2 carga de cerramientos	CM 3 peso propio de forjados	Q 1 (B)	Q 1 (G1)	V 1	V 2	N 1	SX	SY
151	0.800	0.800	0.800	1.350	1.050				1.500		
152	1.350	0.800	0.800	1.350	1.050				1.500		
153	0.800	1.350	0.800	1.350	1.050				1.500		
154	1.350	1.350	0.800	1.350	1.050				1.500		
155	0.800	0.800	1.350	1.350	1.050				1.500		
156	1.350	0.800	1.350	1.350	1.050				1.500		
157	0.800	1.350	1.350	1.350	1.050				1.500		
158	1.350	1.350	1.350	1.350	1.050				1.500		
159	0.800	0.800	0.800	0.800			0.900		1.500		
160	1.350	0.800	0.800	0.800			0.900		1.500		
161	0.800	1.350	0.800	0.800			0.900		1.500		
162	1.350	1.350	0.800	0.800			0.900		1.500		
163	0.800	0.800	1.350	0.800			0.900		1.500		
164	1.350	0.800	1.350	0.800			0.900		1.500		
165	0.800	1.350	1.350	0.800			0.900		1.500		
166	1.350	1.350	1.350	0.800			0.900		1.500		
167	0.800	0.800	0.800	1.350			0.900		1.500		
168	1.350	0.800	0.800	1.350			0.900		1.500		
169	0.800	1.350	0.800	1.350			0.900		1.500		
170	1.350	1.350	0.800	1.350			0.900		1.500		
171	0.800	0.800	1.350	1.350			0.900		1.500		
172	1.350	0.800	1.350	1.350			0.900		1.500		
173	0.800	1.350	1.350	1.350			0.900		1.500		
174	1.350	1.350	1.350	1.350			0.900		1.500		
175	0.800	0.800	0.800	0.800	1.050		0.900		1.500		
176	1.350	0.800	0.800	0.800	1.050		0.900		1.500		
177	0.800	1.350	0.800	0.800	1.050		0.900		1.500		

Com b.	PP	CM 1 carga muerta	CM 2 carga de cerramientos	CM 3 peso propio de forjados	Q 1 (B)	Q 1 (G1)	V 1	V 2	N 1	SX	SY
178	1.350	1.350	0.800	0.800	1.050		0.900		1.500		
179	0.800	0.800	1.350	0.800	1.050		0.900		1.500		
180	1.350	0.800	1.350	0.800	1.050		0.900		1.500		
181	0.800	1.350	1.350	0.800	1.050		0.900		1.500		
182	1.350	1.350	1.350	0.800	1.050		0.900		1.500		
183	0.800	0.800	0.800	1.350	1.050		0.900		1.500		
184	1.350	0.800	0.800	1.350	1.050		0.900		1.500		
185	0.800	1.350	0.800	1.350	1.050		0.900		1.500		
186	1.350	1.350	0.800	1.350	1.050		0.900		1.500		
187	0.800	0.800	1.350	1.350	1.050		0.900		1.500		
188	1.350	0.800	1.350	1.350	1.050		0.900		1.500		
189	0.800	1.350	1.350	1.350	1.050		0.900		1.500		
190	1.350	1.350	1.350	1.350	1.050		0.900		1.500		
191	0.800	0.800	0.800	0.800	1.500				0.750		
192	1.350	0.800	0.800	0.800	1.500				0.750		
193	0.800	1.350	0.800	0.800	1.500				0.750		
194	1.350	1.350	0.800	0.800	1.500				0.750		
195	0.800	0.800	1.350	0.800	1.500				0.750		
196	1.350	0.800	1.350	0.800	1.500				0.750		
197	0.800	1.350	1.350	0.800	1.500				0.750		
198	1.350	1.350	1.350	0.800	1.500				0.750		
199	0.800	0.800	0.800	1.350	1.500				0.750		
200	1.350	0.800	0.800	1.350	1.500				0.750		
201	0.800	1.350	0.800	1.350	1.500				0.750		
202	1.350	1.350	0.800	1.350	1.500				0.750		
203	0.800	0.800	1.350	1.350	1.500				0.750		
204	1.350	0.800	1.350	1.350	1.500				0.750		

Com b.	PP	CM 1 carga muerta	CM 2 carga de cerramientos	CM 3 peso propio de forjados	Q 1 (B)	Q 1 (G1)	V 1	V 2	N 1	SX	SY
205	0.800	1.350	1.350	1.350	1.500				0.750		
206	1.350	1.350	1.350	1.350	1.500				0.750		
207	0.800	0.800	0.800	0.800			1.500		0.750		
208	1.350	0.800	0.800	0.800			1.500		0.750		
209	0.800	1.350	0.800	0.800			1.500		0.750		
210	1.350	1.350	0.800	0.800			1.500		0.750		
211	0.800	0.800	1.350	0.800			1.500		0.750		
212	1.350	0.800	1.350	0.800			1.500		0.750		
213	0.800	1.350	1.350	0.800			1.500		0.750		
214	1.350	1.350	1.350	0.800			1.500		0.750		
215	0.800	0.800	0.800	1.350			1.500		0.750		
216	1.350	0.800	0.800	1.350			1.500		0.750		
217	0.800	1.350	0.800	1.350			1.500		0.750		
218	1.350	1.350	0.800	1.350			1.500		0.750		
219	0.800	0.800	1.350	1.350			1.500		0.750		
220	1.350	0.800	1.350	1.350			1.500		0.750		
221	0.800	1.350	1.350	1.350			1.500		0.750		
222	1.350	1.350	1.350	1.350			1.500		0.750		
223	0.800	0.800	0.800	0.800	1.050		1.500		0.750		
224	1.350	0.800	0.800	0.800	1.050		1.500		0.750		
225	0.800	1.350	0.800	0.800	1.050		1.500		0.750		
226	1.350	1.350	0.800	0.800	1.050		1.500		0.750		
227	0.800	0.800	1.350	0.800	1.050		1.500		0.750		
228	1.350	0.800	1.350	0.800	1.050		1.500		0.750		
229	0.800	1.350	1.350	0.800	1.050		1.500		0.750		
230	1.350	1.350	1.350	0.800	1.050		1.500		0.750		
231	0.800	0.800	0.800	1.350	1.050		1.500		0.750		

Com b.	PP	CM 1 carga muerta	CM 2 carga de cerramientos	CM 3 peso propio de forjados	Q 1 (B)	Q 1 (G1)	V 1	V 2	N 1	SX	SY
232	1.350	0.800	0.800	1.350	1.050		1.500		0.750		
233	0.800	1.350	0.800	1.350	1.050		1.500		0.750		
234	1.350	1.350	0.800	1.350	1.050		1.500		0.750		
235	0.800	0.800	1.350	1.350	1.050		1.500		0.750		
236	1.350	0.800	1.350	1.350	1.050		1.500		0.750		
237	0.800	1.350	1.350	1.350	1.050		1.500		0.750		
238	1.350	1.350	1.350	1.350	1.050		1.500		0.750		
239	0.800	0.800	0.800	0.800	1.500		0.900		0.750		
240	1.350	0.800	0.800	0.800	1.500		0.900		0.750		
241	0.800	1.350	0.800	0.800	1.500		0.900		0.750		
242	1.350	1.350	0.800	0.800	1.500		0.900		0.750		
243	0.800	0.800	1.350	0.800	1.500		0.900		0.750		
244	1.350	0.800	1.350	0.800	1.500		0.900		0.750		
245	0.800	1.350	1.350	0.800	1.500		0.900		0.750		
246	1.350	1.350	1.350	0.800	1.500		0.900		0.750		
247	0.800	0.800	0.800	1.350	1.500		0.900		0.750		
248	1.350	0.800	0.800	1.350	1.500		0.900		0.750		
249	0.800	1.350	0.800	1.350	1.500		0.900		0.750		
250	1.350	1.350	0.800	1.350	1.500		0.900		0.750		
251	0.800	0.800	1.350	1.350	1.500		0.900		0.750		
252	1.350	0.800	1.350	1.350	1.500		0.900		0.750		
253	0.800	1.350	1.350	1.350	1.500		0.900		0.750		
254	1.350	1.350	1.350	1.350	1.500		0.900		0.750		
255	0.800	0.800	0.800	0.800				1.500	0.750		
256	1.350	0.800	0.800	0.800				1.500	0.750		
257	0.800	1.350	0.800	0.800				1.500	0.750		
258	1.350	1.350	0.800	0.800				1.500	0.750		

Com b.	PP	CM 1 carga muerta	CM 2 carga de cerramientos	CM 3 peso propio de forjados	Q 1 (B)	Q 1 (G1)	V 1	V 2	N 1	SX	SY
259	0.800	0.800	1.350	0.800				1.500	0.750		
260	1.350	0.800	1.350	0.800				1.500	0.750		
261	0.800	1.350	1.350	0.800				1.500	0.750		
262	1.350	1.350	1.350	0.800				1.500	0.750		
263	0.800	0.800	0.800	1.350				1.500	0.750		
264	1.350	0.800	0.800	1.350				1.500	0.750		
265	0.800	1.350	0.800	1.350				1.500	0.750		
266	1.350	1.350	0.800	1.350				1.500	0.750		
267	0.800	0.800	1.350	1.350				1.500	0.750		
268	1.350	0.800	1.350	1.350				1.500	0.750		
269	0.800	1.350	1.350	1.350				1.500	0.750		
270	1.350	1.350	1.350	1.350				1.500	0.750		
271	0.800	0.800	0.800	0.800	1.050			1.500	0.750		
272	1.350	0.800	0.800	0.800	1.050			1.500	0.750		
273	0.800	1.350	0.800	0.800	1.050			1.500	0.750		
274	1.350	1.350	0.800	0.800	1.050			1.500	0.750		
275	0.800	0.800	1.350	0.800	1.050			1.500	0.750		
276	1.350	0.800	1.350	0.800	1.050			1.500	0.750		
277	0.800	1.350	1.350	0.800	1.050			1.500	0.750		
278	1.350	1.350	1.350	0.800	1.050			1.500	0.750		
279	0.800	0.800	0.800	1.350	1.050			1.500	0.750		
280	1.350	0.800	0.800	1.350	1.050			1.500	0.750		
281	0.800	1.350	0.800	1.350	1.050			1.500	0.750		
282	1.350	1.350	0.800	1.350	1.050			1.500	0.750		
283	0.800	0.800	1.350	1.350	1.050			1.500	0.750		
284	1.350	0.800	1.350	1.350	1.050			1.500	0.750		
285	0.800	1.350	1.350	1.350	1.050			1.500	0.750		

Com b.	PP	CM 1 carga muerta	CM 2 carga de cerramientos	CM 3 peso propio de forjados	Q 1 (B)	Q 1 (G1)	V 1	V 2	N 1	SX	SY
286	1.350	1.350	1.350	1.350	1.050			1.500	0.750		
287	0.800	0.800	0.800	0.800	1.500			0.900	0.750		
288	1.350	0.800	0.800	0.800	1.500			0.900	0.750		
289	0.800	1.350	0.800	0.800	1.500			0.900	0.750		
290	1.350	1.350	0.800	0.800	1.500			0.900	0.750		
291	0.800	0.800	1.350	0.800	1.500			0.900	0.750		
292	1.350	0.800	1.350	0.800	1.500			0.900	0.750		
293	0.800	1.350	1.350	0.800	1.500			0.900	0.750		
294	1.350	1.350	1.350	0.800	1.500			0.900	0.750		
295	0.800	0.800	0.800	1.350	1.500			0.900	0.750		
296	1.350	0.800	0.800	1.350	1.500			0.900	0.750		
297	0.800	1.350	0.800	1.350	1.500			0.900	0.750		
298	1.350	1.350	0.800	1.350	1.500			0.900	0.750		
299	0.800	0.800	1.350	1.350	1.500			0.900	0.750		
300	1.350	0.800	1.350	1.350	1.500			0.900	0.750		
301	0.800	1.350	1.350	1.350	1.500			0.900	0.750		
302	1.350	1.350	1.350	1.350	1.500			0.900	0.750		
303	0.800	0.800	0.800	0.800		1.500					
304	1.350	0.800	0.800	0.800		1.500					
305	0.800	1.350	0.800	0.800		1.500					
306	1.350	1.350	0.800	0.800		1.500					
307	0.800	0.800	1.350	0.800		1.500					
308	1.350	0.800	1.350	0.800		1.500					
309	0.800	1.350	1.350	0.800		1.500					
310	1.350	1.350	1.350	0.800		1.500					
311	0.800	0.800	0.800	1.350		1.500					
312	1.350	0.800	0.800	1.350		1.500					

Com b.	PP	CM 1 carga muerta	CM 2 carga de cerramientos	CM 3 peso propio de forjados	Q 1 (B)	Q 1 (G1)	V 1	V 2	N 1	SX	SY
313	0.800	1.350	0.800	1.350		1.500					
314	1.350	1.350	0.800	1.350		1.500					
315	0.800	0.800	1.350	1.350		1.500					
316	1.350	0.800	1.350	1.350		1.500					
317	0.800	1.350	1.350	1.350		1.500					
318	1.350	1.350	1.350	1.350		1.500					
319	1.000	1.000	1.000	1.000						-0.300	-1.000
320	1.000	1.000	1.000	1.000	0.300					-0.300	-1.000
321	1.000	1.000	1.000	1.000						0.300	-1.000
322	1.000	1.000	1.000	1.000	0.300					0.300	-1.000
323	1.000	1.000	1.000	1.000						-1.000	0.300
324	1.000	1.000	1.000	1.000	0.300					-1.000	0.300
325	1.000	1.000	1.000	1.000						-1.000	0.300
326	1.000	1.000	1.000	1.000	0.300					-1.000	0.300
327	1.000	1.000	1.000	1.000						0.300	1.000
328	1.000	1.000	1.000	1.000	0.300					0.300	1.000
329	1.000	1.000	1.000	1.000						-0.300	1.000
330	1.000	1.000	1.000	1.000	0.300					-0.300	1.000
331	1.000	1.000	1.000	1.000						1.000	0.300
332	1.000	1.000	1.000	1.000	0.300					1.000	0.300
333	1.000	1.000	1.000	1.000						1.000	-0.300

Com b.	PP	CM 1 carga muerta	CM 2 carga de cerramientos	CM 3 peso propio de forjados	Q 1 (B)	Q 1 (G1)	V 1	V 2	N 1	SX	SY
334	1.000	1.000	1.000	1.000	0.300					1.000	-0.300

■ Desplazamientos

Com b.	PP	CM 1 carga muerta	CM 2 carga de cerramientos	CM 3 peso propio de forjados	Q 1 (B)	Q 1 (G1)	V 1	V 2	N 1	SX	SY
1	1.000	1.000	1.000	1.000							
2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000						
3	1.000	1.000	1.000	1.000			1.000				
4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000				
5	1.000	1.000	1.000	1.000				1.000			
6	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			1.000			
7	1.000	1.000	1.000	1.000					1.000		
8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000				1.000		
9	1.000	1.000	1.000	1.000			1.000		1.000		
10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000		1.000		
11	1.000	1.000	1.000	1.000				1.000	1.000		
12	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			1.000	1.000		
13	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000					
14	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000	1.000				
15	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000		1.000			
16	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000			1.000		
17	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000	1.000		1.000		
18	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000		1.000	1.000		
19	1.000	1.000	1.000	1.000						-1.000	
20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000					-1.000	
21	1.000	1.000	1.000	1.000						1.000	

Com b.	PP	CM 1 carga muerta	CM 2 carga de cerramientos	CM 3 peso propio de forjados	Q 1 (B)	Q 1 (G1)	V 1	V 2	N 1	SX	SY
22	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000					1.000	
23	1.000	1.000	1.000	1.000							-1.000
24	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000						-1.000
25	1.000	1.000	1.000	1.000							1.000
26	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000						1.000

1.3.- Sismo

Norma utilizada: NCSE-02

Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02

Método de cálculo: Análisis mediante espectros de respuesta (NCSE-02, 3.6.2)

1.3.1.- Datos generales de sismo

Caracterización del emplazamiento

a_b: Aceleración básica (NCSE-02, 2.1 y Anejo 1)

a_b: 0.060 g

K: Coeficiente de contribución (NCSE-02, 2.1 y Anejo 1)

K: 1.20

Tipo de suelo (NCSE-02, 2.4): Tipo III

Sistema estructural

Ductilidad (NCSE-02, Tabla 3.1): Ductilidad muy alta

W: Amortiguamiento (NCSE-02, Tabla 3.1)

W: 5.00 %

Tipo de construcción (NCSE-02, 2.2): Construcciones de importancia especial

Parámetros de cálculo

Número de modos de vibración que intervienen en el análisis: Según norma

Fracción de sobrecarga de uso

: 0.50

Fracción de sobrecarga de nieve

: 0.50

Se realiza análisis de los efectos de 2º orden

Nudos										
Referencia	Coordenadas			Vinculación exterior						Vinculación interior
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δ_x	Δ_y	Δ_z	θ_x	θ_y	θ_z	
N25	0.000	0.000	29.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N26	5.000	0.000	29.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N27	5.000	5.000	29.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N28	0.000	5.000	29.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N29	0.000	0.000	32.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N30	5.000	0.000	32.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N31	5.000	5.000	32.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N32	0.000	5.000	32.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N33	0.000	-1.500	25.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N34	5.000	-1.500	25.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N35	5.000	-1.500	29.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N36	0.000	-1.500	29.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N37	6.500	0.000	25.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N38	6.500	5.000	25.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N39	5.000	6.500	25.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N40	0.000	6.500	25.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N41	-1.500	5.000	25.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N42	-1.500	0.000	25.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N43	-1.500	-1.500	25.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N44	6.500	-1.500	25.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N45	6.500	6.500	25.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N46	-1.500	6.500	25.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N47	-1.500	0.000	29.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N48	-1.500	5.000	29.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N49	0.000	6.500	29.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N50	5.000	6.500	29.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N51	6.500	5.000	29.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N52	6.500	0.000	29.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N53	6.500	6.500	29.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N54	6.500	-1.500	29.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N55	-1.500	-1.500	29.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N56	-1.500	6.500	29.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado

2.1.2.- Barras

2.1.2.1.- Materiales utilizados

Materiales utilizados							
Material		E	ν	G	f_y	α_t	γ
Tipo	Designación	(MPa)		(MPa)	(MPa)	(m/m°C)	(kN/m ³)
Acero laminado	S275	210000.00	0.300	81000.00	275.00	0.000012	77.01
Notación: <i>E</i> : Módulo de elasticidad <i>ν</i> : Módulo de Poisson <i>G</i> : Módulo de cortadura <i>f_y</i> : Límite elástico <i>α_t</i> : Coeficiente de dilatación <i>γ</i> : Peso específico							

2.1.2.2.- Descripción

Descripción									
Material		Barra (Ni/Nf)	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{Sup.} (m)	Lb _{Inf.} (m)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275	N1/N2	N1/N2	HE 700 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N3/N4	N3/N4	HE 700 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N5/N6	N5/N6	HE 700 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N7/N8	N7/N8	HE 700 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N6/N9	N6/N9	HE 450 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N9/N10	N9/N10	HE 340 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N10/N11	N10/N11	HE 320 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N11/N12	N11/N12	HE 320 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N8/N13	N8/N13	HE 450 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N13/N14	N13/N14	HE 340 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N14/N15	N14/N15	HE 320 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N15/N16	N15/N16	HE 320 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N2/N17	N2/N17	HE 450 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N17/N18	N17/N18	HE 340 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N18/N19	N18/N19	HE 320 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N19/N20	N19/N20	HE 320 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N4/N21	N4/N21	HE 450 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N21/N22	N21/N22	HE 340 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N22/N23	N22/N23	HE 320 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N2/N6	N2/N6	IPE 550 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N2/N4	N2/N4	IPE 550 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N4/N8	N4/N8	IPE 550 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N6/N8	N6/N8	IPE 550 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N17/N9	N17/N9	IPE 550 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N9/N13	N9/N13	IPE 550 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N21/N13	N21/N13	IPE 550 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N17/N21	N17/N21	IPE 550 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N18/N10	N18/N10	IPE 550 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N10/N14	N10/N14	IPE 550 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N22/N14	N22/N14	IPE 550 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N18/N22	N18/N22	IPE 550 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N19/N11	N19/N11	IPE 550 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
N11/N15	N11/N15	IPE 550 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-		

Descripción									
Material		Barra (Ni/Nf)	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{Sup.} (m)	Lb _{Inf.} (m)
Tipo	Designación								
		N23/N15	N23/N15	IPE 550 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N19/N23	N19/N23	IPE 550 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N20/N12	N20/N12	IPE 300 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N12/N16	N12/N16	IPE 300 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N23/N24	N23/N24	HE 320 B (HEB)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N24/N16	N24/N16	IPE 300 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N20/N24	N20/N24	IPE 300 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N20/N25	N20/N25	HE 300 B (HEB)	4.000	1.00	1.00	-	-
		N12/N26	N12/N26	HE 300 B (HEB)	4.000	1.00	1.00	-	-
		N16/N27	N16/N27	HE 300 B (HEB)	4.000	1.00	1.00	-	-
		N24/N28	N24/N28	HE 300 B (HEB)	4.000	1.00	1.00	-	-
		N25/N29	N25/N29	HE 240 B (HEB)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N26/N30	N26/N30	HE 240 B (HEB)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N27/N31	N27/N31	HE 240 B (HEB)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N28/N32	N28/N32	HE 240 B (HEB)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N25/N26	N25/N26	IPE 300 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N26/N27	N26/N27	IPE 300 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N28/N27	N28/N27	IPE 300 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N25/N28	N25/N28	IPE 300 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N29/N30	N29/N30	IPE 360 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N30/N31	N30/N31	IPE 360 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N32/N31	N32/N31	IPE 360 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N29/N32	N29/N32	IPE 360 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N33/N20	N33/N20	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N33/N34	N33/N34	IPE 360 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N34/N12	N34/N12	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N35/N26	N35/N26	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N36/N35	N36/N35	IPE 360 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N36/N25	N36/N25	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N12/N37	N12/N37	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N37/N38	N37/N38	IPE 360 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N16/N38	N16/N38	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N16/N39	N16/N39	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-

Descripción									
Material		Barra (Ni/Nf)	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{Sup.} (m)	Lb _{Inf.} (m)
Tipo	Designación								
		N40/N39	N40/N39	IPE 360 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N24/N40	N24/N40	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N41/N24	N41/N24	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N42/N41	N42/N41	IPE 360 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N42/N20	N42/N20	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N43/N33	N43/N33	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N43/N42	N43/N42	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N34/N44	N34/N44	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N44/N37	N44/N37	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N38/N45	N38/N45	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N39/N45	N39/N45	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N41/N46	N41/N46	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N46/N40	N46/N40	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N47/N25	N47/N25	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N47/N48	N47/N48	IPE 360 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N48/N28	N48/N28	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N28/N49	N28/N49	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N49/N50	N49/N50	IPE 360 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N27/N50	N27/N50	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N27/N51	N27/N51	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N52/N51	N52/N51	IPE 360 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N26/N52	N26/N52	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N50/N53	N50/N53	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N51/N53	N51/N53	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N54/N52	N54/N52	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N35/N54	N35/N54	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N55/N36	N55/N36	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N55/N47	N55/N47	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N48/N56	N48/N56	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N56/N49	N56/N49	IPE 360 (IPE)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N5/N2	N5/N2	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N1/N6	N1/N6	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N7/N6	N7/N6	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-

Descripción									
Material		Barra (Ni/Nf)	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{Sup.} (m)	Lb _{Inf.} (m)
Tipo	Designación								
		N5/N8	N5/N8	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N1/N4	N1/N4	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N3/N2	N3/N2	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N7/N4	N7/N4	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N3/N8	N3/N8	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N2/N9	N2/N9	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N6/N17	N6/N17	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N8/N9	N8/N9	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N6/N13	N6/N13	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N17/N10	N17/N10	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N9/N18	N9/N18	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N13/N10	N13/N10	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N9/N14	N9/N14	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N10/N19	N10/N19	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N18/N11	N18/N11	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N14/N11	N14/N11	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N10/N15	N10/N15	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N11/N20	N11/N20	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N19/N12	N19/N12	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N15/N12	N15/N12	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N11/N16	N11/N16	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N23/N16	N23/N16	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N15/N24	N15/N24	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N19/N24	N19/N24	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N23/N20	N23/N20	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N22/N15	N22/N15	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N14/N23	N14/N23	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N18/N23	N18/N23	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N22/N19	N22/N19	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N21/N14	N21/N14	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N13/N22	N13/N22	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N17/N22	N17/N22	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N21/N18	N21/N18	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-

Descripción									
Material		Barra (Ni/Nf)	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{Sup.} (m)	Lb _{Inf.} (m)
Tipo	Designación								
		N4/N13	N4/N13	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N8/N21	N8/N21	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N2/N21	N2/N21	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-
		N4/N17	N4/N17	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.00	0.00	-	-

Notación:
Ni: Nudo inicial
Nf: Nudo final
 β_{xy} : Coeficiente de pandeo en el plano 'XY'
 β_{xz} : Coeficiente de pandeo en el plano 'XZ'
Lb_{Sup.}: Separación entre arriostramientos del ala superior
Lb_{Inf.}: Separación entre arriostramientos del ala inferior

2.1.2.3.- Características mecánicas

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
1	N1/N2, N3/N4, N5/N6 y N7/N8
2	N6/N9, N8/N13, N2/N17 y N4/N21
3	N9/N10, N13/N14, N17/N18 y N21/N22
4	N10/N11, N11/N12, N14/N15, N15/N16, N18/N19, N19/N20, N22/N23 y N23/N24
5	N2/N6, N2/N4, N4/N8, N6/N8, N17/N9, N9/N13, N21/N13, N17/N21, N18/N10, N10/N14, N22/N14, N18/N22, N19/N11, N11/N15, N23/N15 y N19/N23
6	N20/N12, N12/N16, N24/N16, N20/N24, N25/N26, N26/N27, N28/N27 y N25/N28
7	N20/N25, N12/N26, N16/N27 y N24/N28
8	N25/N29, N26/N30, N27/N31 y N28/N32
9	N29/N30, N30/N31, N32/N31, N29/N32, N33/N20, N33/N34, N34/N12, N35/N26, N36/N35, N36/N25, N12/N37, N37/N38, N16/N38, N16/N39, N40/N39, N24/N40, N41/N24, N42/N41, N42/N20, N43/N33, N43/N42, N34/N44, N44/N37, N38/N45, N39/N45, N41/N46, N46/N40, N47/N25, N47/N48, N48/N28, N28/N49, N49/N50, N27/N50, N27/N51, N52/N51, N26/N52, N50/N53, N51/N53, N54/N52, N35/N54, N55/N36, N55/N47, N48/N56 y N56/N49
10	N5/N2, N1/N6, N7/N6, N5/N8, N1/N4, N3/N2, N7/N4, N3/N8, N2/N9, N6/N17, N8/N9, N6/N13, N17/N10, N9/N18, N13/N10, N9/N14, N10/N19, N18/N11, N14/N11, N10/N15, N11/N20, N19/N12, N15/N12, N11/N16, N23/N16, N15/N24, N19/N24, N23/N20, N22/N15, N14/N23, N18/N23, N22/N19, N21/N14, N13/N22, N17/N22, N21/N18, N4/N13, N8/N21, N2/N21 y N4/N17

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm ²)	Avy (cm ²)	Avz (cm ²)	Iyy (cm ⁴)	Izz (cm ⁴)	It (cm ⁴)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275	1	HE 700 B, (HEB)	306.40	144.00	97.31	256900.00	14440.00	830.90
		2	HE 450 B, (HEB)	218.00	117.00	50.15	79890.00	11720.00	440.50
		3	HE 340 B, (HEB)	170.90	96.75	32.08	36660.00	9690.00	257.20
		4	HE 320 B, (HEB)	161.30	92.25	28.88	30820.00	9239.00	225.10
		5	IPE 550, (IPE)	134.00	54.18	51.51	67120.00	2668.00	123.00
		6	IPE 300, (IPE)	53.80	24.07	17.80	8356.00	604.00	20.10
		7	HE 300 B, (HEB)	149.10	85.50	25.94	25170.00	8563.00	185.00
		8	HE 240 B, (HEB)	106.00	61.20	18.54	11260.00	3923.00	102.70

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm ²)	Avy (cm ²)	Avz (cm ²)	Iyy (cm ⁴)	Izz (cm ⁴)	It (cm ⁴)
Tipo	Designación								
		9	IPE 360, (IPE)	72.70	32.38	24.09	16270.00	1043.00	37.30
		10	L 100 x 100 x 9, (L)	17.30	8.19	8.19	161.00	161.00	4.64
<p><i>Notación:</i> <i>Ref.: Referencia</i> <i>A: Área de la sección transversal</i> <i>Avy: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'</i> <i>Avz: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'</i> <i>Iyy: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'</i> <i>Izz: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'</i> <i>It: Inercia a torsión</i> <i>Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.</i></p>									

2.1.2.4.- Tabla de medición

Tabla de medición						
Material		Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Peso (kg)
Tipo	Designación					
Acero laminado	S275	N1/N2	HE 700 B (HEB)	5.000	0.153	1202.62
		N3/N4	HE 700 B (HEB)	5.000	0.153	1202.62
		N5/N6	HE 700 B (HEB)	5.000	0.153	1202.62
		N7/N8	HE 700 B (HEB)	5.000	0.153	1202.62
		N6/N9	HE 450 B (HEB)	5.000	0.109	855.65
		N9/N10	HE 340 B (HEB)	5.000	0.085	670.78
		N10/N11	HE 320 B (HEB)	5.000	0.081	633.10
		N11/N12	HE 320 B (HEB)	5.000	0.081	633.10
		N8/N13	HE 450 B (HEB)	5.000	0.109	855.65
		N13/N14	HE 340 B (HEB)	5.000	0.085	670.78
		N14/N15	HE 320 B (HEB)	5.000	0.081	633.10
		N15/N16	HE 320 B (HEB)	5.000	0.081	633.10
		N2/N17	HE 450 B (HEB)	5.000	0.109	855.65
		N17/N18	HE 340 B (HEB)	5.000	0.085	670.78
		N18/N19	HE 320 B (HEB)	5.000	0.081	633.10
		N19/N20	HE 320 B (HEB)	5.000	0.081	633.10
		N4/N21	HE 450 B (HEB)	5.000	0.109	855.65
		N21/N22	HE 340 B (HEB)	5.000	0.085	670.78
		N22/N23	HE 320 B (HEB)	5.000	0.081	633.10
		N2/N6	IPE 550 (IPE)	5.000	0.067	525.95
		N2/N4	IPE 550 (IPE)	5.000	0.067	525.95
		N4/N8	IPE 550 (IPE)	5.000	0.067	525.95
		N6/N8	IPE 550 (IPE)	5.000	0.067	525.95

Tabla de medición						
Material		Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Peso (kg)
Tipo	Designación					
		N17/N9	IPE 550 (IPE)	5.000	0.067	525.95
		N9/N13	IPE 550 (IPE)	5.000	0.067	525.95
		N21/N13	IPE 550 (IPE)	5.000	0.067	525.95
		N17/N21	IPE 550 (IPE)	5.000	0.067	525.95
		N18/N10	IPE 550 (IPE)	5.000	0.067	525.95
		N10/N14	IPE 550 (IPE)	5.000	0.067	525.95
		N22/N14	IPE 550 (IPE)	5.000	0.067	525.95
		N18/N22	IPE 550 (IPE)	5.000	0.067	525.95
		N19/N11	IPE 550 (IPE)	5.000	0.067	525.95
		N11/N15	IPE 550 (IPE)	5.000	0.067	525.95
		N23/N15	IPE 550 (IPE)	5.000	0.067	525.95
		N19/N23	IPE 550 (IPE)	5.000	0.067	525.95
		N20/N12	IPE 300 (IPE)	5.000	0.027	211.17
		N12/N16	IPE 300 (IPE)	5.000	0.027	211.17
		N23/N24	HE 320 B (HEB)	5.000	0.081	633.10
		N24/N16	IPE 300 (IPE)	5.000	0.027	211.17
		N20/N24	IPE 300 (IPE)	5.000	0.027	211.17
		N20/N25	HE 300 B (HEB)	4.000	0.060	468.17
		N12/N26	HE 300 B (HEB)	4.000	0.060	468.17
		N16/N27	HE 300 B (HEB)	4.000	0.060	468.17
		N24/N28	HE 300 B (HEB)	4.000	0.060	468.17
		N25/N29	HE 240 B (HEB)	3.000	0.032	249.63
		N26/N30	HE 240 B (HEB)	3.000	0.032	249.63
		N27/N31	HE 240 B (HEB)	3.000	0.032	249.63
		N28/N32	HE 240 B (HEB)	3.000	0.032	249.63
		N25/N26	IPE 300 (IPE)	5.000	0.027	211.17
		N26/N27	IPE 300 (IPE)	5.000	0.027	211.17
		N28/N27	IPE 300 (IPE)	5.000	0.027	211.17
		N25/N28	IPE 300 (IPE)	5.000	0.027	211.17
		N29/N30	IPE 360 (IPE)	5.000	0.036	285.35
		N30/N31	IPE 360 (IPE)	5.000	0.036	285.35
		N32/N31	IPE 360 (IPE)	5.000	0.036	285.35
		N29/N32	IPE 360 (IPE)	5.000	0.036	285.35

Tabla de medición						
Material		Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Peso (kg)
Tipo	Designación					
		N33/N20	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N33/N34	IPE 360 (IPE)	5.000	0.036	285.35
		N34/N12	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N35/N26	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N36/N35	IPE 360 (IPE)	5.000	0.036	285.35
		N36/N25	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N12/N37	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N37/N38	IPE 360 (IPE)	5.000	0.036	285.35
		N16/N38	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N16/N39	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N40/N39	IPE 360 (IPE)	5.000	0.036	285.35
		N24/N40	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N41/N24	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N42/N41	IPE 360 (IPE)	5.000	0.036	285.35
		N42/N20	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N43/N33	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N43/N42	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N34/N44	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N44/N37	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N38/N45	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N39/N45	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N41/N46	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N46/N40	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N47/N25	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N47/N48	IPE 360 (IPE)	5.000	0.036	285.35
		N48/N28	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N28/N49	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N49/N50	IPE 360 (IPE)	5.000	0.036	285.35
		N27/N50	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N27/N51	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N52/N51	IPE 360 (IPE)	5.000	0.036	285.35
		N26/N52	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N50/N53	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60

Tabla de medición						
Material		Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	Volumen (m³)	Peso (kg)
Tipo	Designación					
		N51/N53	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N54/N52	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N35/N54	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N55/N36	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N55/N47	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N48/N56	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N56/N49	IPE 360 (IPE)	1.500	0.011	85.60
		N5/N2	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N1/N6	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N7/N6	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N5/N8	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N1/N4	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N3/N2	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N7/N4	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N3/N8	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N2/N9	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N6/N17	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N8/N9	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N6/N13	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N17/N10	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N9/N18	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N13/N10	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N9/N14	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N10/N19	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N18/N11	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N14/N11	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N10/N15	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N11/N20	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N19/N12	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N15/N12	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N11/N16	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N23/N16	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N15/N24	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03

Tabla de medición						
Material		Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Peso (kg)
Tipo	Designación					
		N19/N24	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N23/N20	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N22/N15	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N14/N23	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N18/N23	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N22/N19	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N21/N14	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N13/N22	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N17/N22	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N21/N18	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N4/N13	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N8/N21	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N2/N21	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
		N4/N17	L 100 x 100 x 9 (L)	7.071	0.012	96.03
Notación: Ni: Nudo inicial Nf: Nudo final						

2.1.2.5.- Resumen de medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m ³)	Serie (m ³)	Material (m ³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
			HE 700 B	20.000			0.613			4810.48		
			HE 450 B	20.000			0.436			3422.60		
			HE 340 B	20.000			0.342			2683.13		
			HE 320 B	40.000			0.645			5064.82		
			HE 300 B	16.000			0.239			1872.70		
			HE 240 B	12.000			0.127			998.52		
		HEB			128.000			2.402			18852.25	
			IPE 550	80.000			1.072			8415.20		
			IPE 300	40.000			0.215			1689.32		
			IPE 360	108.000			0.785			6163.51		
		IPE			228.000			2.072			16268.03	
			L 100 x 100 x 9	282.843			0.489			3841.15		
	S275	L			282.843			0.489			3841.15	

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m ³)	Serie (m ³)	Material (m ³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado						638.843			4.963			38961.42

2.1.2.6.- Medición de superficies

Acero laminado: Medición de las superficies a pintar				
Serie	Perfil	Superficie unitaria (m ² /m)	Longitud (m)	Superficie (m ²)
HEB	HE 700 B	2.566	20.000	51.320
	HE 450 B	2.072	20.000	41.440
	HE 340 B	1.856	20.000	37.120
	HE 320 B	1.817	40.000	72.680
	HE 300 B	1.778	16.000	28.448
	HE 240 B	1.420	12.000	17.040
IPE	IPE 550	1.918	80.000	153.424
	IPE 300	1.186	40.000	47.432
	IPE 360	1.384	108.000	149.472
L	L 100 x 100 x 9	0.400	282.843	113.137
Total				711.513

2.2.- Cargas

2.2.1.- Barras

Referencias:

'P1', 'P2':

- Cargas puntuales, uniformes, en faja y momentos puntuales: 'P1' es el valor de la carga. 'P2' no se utiliza.
- Cargas trapezoidales: 'P1' es el valor de la carga en el punto donde comienza (L1) y 'P2' es el valor de la carga en el punto donde termina (L2).
- Cargas triangulares: 'P1' es el valor máximo de la carga. 'P2' no se utiliza.
- Incrementos de temperatura: 'P1' y 'P2' son los valores de la temperatura en las caras exteriores o paramentos de la pieza. La orientación de la variación del incremento de temperatura sobre la sección transversal dependerá de la dirección seleccionada.

'L1', 'L2':

- Cargas y momentos puntuales: 'L1' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde se aplica la carga. 'L2' no se utiliza.
- Cargas trapezoidales, en faja, y triangulares: 'L1' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde comienza la carga, 'L2' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde termina la carga.

Unidades:

- Cargas puntuales: kN
- Momentos puntuales: kN·m.
- Cargas uniformes, en faja, triangulares y trapezoidales: kN/m.
- Incrementos de temperatura: °C.

Cargas en barras										
Barra	Hipótesis	Tipo	Valores		Posición		Dirección			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Ejes	X	Y	Z
N1/N2	Peso propio	Uniforme	2.360	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N3/N4	Peso propio	Uniforme	2.360	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N5/N6	Peso propio	Uniforme	2.360	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N7/N8	Peso propio	Uniforme	2.360	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N6/N9	Peso propio	Uniforme	1.679	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N9/N10	Peso propio	Uniforme	1.316	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N10/N11	Peso propio	Uniforme	1.242	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N11/N12	Peso propio	Uniforme	1.242	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N8/N13	Peso propio	Uniforme	1.679	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N13/N14	Peso propio	Uniforme	1.316	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N14/N15	Peso propio	Uniforme	1.242	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N15/N16	Peso propio	Uniforme	1.242	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N2/N17	Peso propio	Uniforme	1.679	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N17/N18	Peso propio	Uniforme	1.316	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N18/N19	Peso propio	Uniforme	1.242	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N19/N20	Peso propio	Uniforme	1.242	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N4/N21	Peso propio	Uniforme	1.679	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N21/N22	Peso propio	Uniforme	1.316	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N22/N23	Peso propio	Uniforme	1.242	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N2/N6	Peso propio	Uniforme	1.032	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N2/N6	CM 1 carga muerta	Uniforme	5.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N2/N6	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N2/N6	Q 1 (Uso B)	Uniforme	2.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N2/N6	V 2	Uniforme	8.911	-	-	-	Globales	0.000	1.000	0.000
N2/N4	Peso propio	Uniforme	1.032	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N2/N4	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N2/N4	V 1	Uniforme	8.911	-	-	-	Globales	1.000	0.000	0.000
N4/N8	Peso propio	Uniforme	1.032	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N4/N8	CM 1 carga muerta	Uniforme	5.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N4/N8	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N4/N8	Q 1 (Uso B)	Uniforme	2.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N6/N8	Peso propio	Uniforme	1.032	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N6/N8	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N17/N9	Peso propio	Uniforme	1.032	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N17/N9	CM 1 carga muerta	Uniforme	5.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N17/N9	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N17/N9	Q 1 (Uso B)	Uniforme	2.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N17/N9	V 2	Uniforme	10.425	-	-	-	Globales	0.000	1.000	0.000
N9/N13	Peso propio	Uniforme	1.032	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N9/N13	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000

Cargas en barras										
Barra	Hipótesis	Tipo	Valores		Posición		Dirección			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Ejes	X	Y	Z
N21/N13	Peso propio	Uniforme	1.032	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N21/N13	CM 1 carga muerta	Uniforme	5.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N21/N13	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N21/N13	Q 1 (Uso B)	Uniforme	2.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N17/N21	Peso propio	Uniforme	1.032	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N17/N21	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N17/N21	V 1	Uniforme	10.425	-	-	-	Globales	1.000	0.000	0.000
N18/N10	Peso propio	Uniforme	1.032	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N18/N10	CM 1 carga muerta	Uniforme	5.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N18/N10	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N18/N10	Q 1 (Uso B)	Uniforme	2.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N18/N10	V 2	Uniforme	11.359	-	-	-	Globales	0.000	1.000	0.000
N10/N14	Peso propio	Uniforme	1.032	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N10/N14	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N22/N14	Peso propio	Uniforme	1.032	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N22/N14	CM 1 carga muerta	Uniforme	5.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N22/N14	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N22/N14	Q 1 (Uso B)	Uniforme	2.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N18/N22	Peso propio	Uniforme	1.032	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N18/N22	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N18/N22	V 1	Uniforme	11.359	-	-	-	Globales	1.000	0.000	0.000
N19/N11	Peso propio	Uniforme	1.032	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N19/N11	CM 1 carga muerta	Uniforme	5.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N19/N11	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N19/N11	Q 1 (Uso B)	Uniforme	2.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N19/N11	V 2	Uniforme	12.043	-	-	-	Globales	0.000	1.000	0.000
N11/N15	Peso propio	Uniforme	1.032	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N11/N15	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N23/N15	Peso propio	Uniforme	1.032	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N23/N15	CM 1 carga muerta	Uniforme	5.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N23/N15	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N23/N15	Q 1 (Uso B)	Uniforme	2.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N19/N23	Peso propio	Uniforme	1.032	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N19/N23	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N19/N23	V 1	Uniforme	12.043	-	-	-	Globales	1.000	0.000	0.000
N20/N12	Peso propio	Uniforme	0.414	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N20/N12	CM 1 carga muerta	Uniforme	6.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N20/N12	CM 3 peso propio de forjados	Uniforme	11.840	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N20/N12	Q 1 (Uso B)	Uniforme	16.250	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N12/N16	Peso propio	Uniforme	0.414	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N23/N24	Peso propio	Uniforme	1.242	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N24/N16	Peso propio	Uniforme	0.414	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N24/N16	CM 1 carga muerta	Uniforme	6.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N24/N16	CM 3 peso propio de forjados	Uniforme	11.840	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N24/N16	Q 1 (Uso B)	Uniforme	16.250	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N20/N24	Peso propio	Uniforme	0.414	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N20/N25	Peso propio	Uniforme	1.148	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000

Cargas en barras										
Barra	Hipótesis	Tipo	Valores		Posición		Dirección			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Ejes	X	Y	Z
N12/N26	Peso propio	Uniforme	1.148	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N16/N27	Peso propio	Uniforme	1.148	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N24/N28	Peso propio	Uniforme	1.148	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N25/N29	Peso propio	Uniforme	0.816	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N26/N30	Peso propio	Uniforme	0.816	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N27/N31	Peso propio	Uniforme	0.816	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N28/N32	Peso propio	Uniforme	0.816	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N25/N26	Peso propio	Uniforme	0.414	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N25/N26	CM 1 carga muerta	Uniforme	5.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N25/N26	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N25/N26	CM 3 peso propio de forjados	Uniforme	9.108	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N25/N26	Q 1 (Uso B)	Uniforme	12.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N25/N26	N 1	Uniforme	0.150	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N26/N27	Peso propio	Uniforme	0.414	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N26/N27	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N28/N27	Peso propio	Uniforme	0.414	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N28/N27	CM 1 carga muerta	Uniforme	5.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N28/N27	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N28/N27	CM 3 peso propio de forjados	Uniforme	9.108	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N28/N27	Q 1 (Uso B)	Uniforme	12.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N28/N27	N 1	Uniforme	0.150	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N25/N28	Peso propio	Uniforme	0.414	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N25/N28	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N29/N30	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N29/N30	CM 1 carga muerta	Uniforme	7.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N29/N30	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N29/N30	CM 3 peso propio de forjados	Uniforme	9.108	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N29/N30	Q 1 (Uso G1)	Uniforme	7.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N29/N30	V 2	Uniforme	6.335	-	-	-	Globales	0.000	1.000	0.000
N29/N30	N 1	Uniforme	0.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N30/N31	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N30/N31	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N32/N31	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N32/N31	CM 1 carga muerta	Uniforme	7.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N32/N31	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N32/N31	CM 3 peso propio de forjados	Uniforme	9.108	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N32/N31	Q 1 (Uso G1)	Uniforme	7.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N32/N31	N 1	Uniforme	0.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N29/N32	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N29/N32	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N29/N32	V 1	Uniforme	6.335	-	-	-	Globales	1.000	0.000	0.000
N33/N20	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N33/N34	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N33/N34	CM 1 carga muerta	Uniforme	1.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N33/N34	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N33/N34	CM 3 peso propio de forjados	Uniforme	2.732	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N33/N34	Q 1 (Uso B)	Uniforme	3.750	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000

Cargas en barras										
Barra	Hipótesis	Tipo	Valores		Posición		Dirección			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Ejes	X	Y	Z
N33/N34	V 2	Uniforme	4.534	-	-	-	Globales	0.000	1.000	0.000
N34/N12	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N35/N26	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N36/N35	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N36/N35	V 2	Uniforme	4.534	-	-	-	Globales	0.000	1.000	0.000
N36/N35	N 1	Uniforme	0.150	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N36/N25	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N12/N37	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N12/N37	CM 1 carga muerta	Uniforme	6.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N12/N37	CM 3 peso propio de forjados	Uniforme	11.840	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N12/N37	Q 1 (Uso B)	Uniforme	16.250	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N37/N38	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N37/N38	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N16/N38	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N16/N38	CM 1 carga muerta	Uniforme	6.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N16/N38	CM 3 peso propio de forjados	Uniforme	11.840	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N16/N38	Q 1 (Uso B)	Uniforme	16.250	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N16/N39	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N40/N39	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N40/N39	CM 1 carga muerta	Uniforme	1.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N40/N39	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N40/N39	CM 3 peso propio de forjados	Uniforme	2.732	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N40/N39	Q 1 (Uso B)	Uniforme	3.750	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N24/N40	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N41/N24	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N41/N24	CM 1 carga muerta	Uniforme	6.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N41/N24	CM 3 peso propio de forjados	Uniforme	11.840	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N41/N24	Q 1 (Uso B)	Uniforme	16.250	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N42/N41	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N42/N41	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N42/N41	V 1	Uniforme	4.534	-	-	-	Globales	1.000	0.000	0.000
N42/N20	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N42/N20	CM 1 carga muerta	Uniforme	6.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N42/N20	CM 3 peso propio de forjados	Uniforme	11.840	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N42/N20	Q 1 (Uso B)	Uniforme	16.250	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N43/N33	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N43/N33	CM 1 carga muerta	Uniforme	1.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N43/N33	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N43/N33	CM 3 peso propio de forjados	Uniforme	2.732	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N43/N33	Q 1 (Uso B)	Uniforme	3.750	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N43/N33	V 2	Uniforme	4.534	-	-	-	Globales	0.000	1.000	0.000
N43/N42	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N43/N42	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N43/N42	V 1	Uniforme	4.534	-	-	-	Globales	1.000	0.000	0.000
N34/N44	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N34/N44	CM 1 carga muerta	Uniforme	1.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N34/N44	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000

Cargas en barras										
Barra	Hipótesis	Tipo	Valores		Posición		Dirección			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Ejes	X	Y	Z
N34/N44	CM 3 peso propio de forjados	Uniforme	2.732	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N34/N44	Q 1 (Uso B)	Uniforme	3.750	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N34/N44	V 2	Uniforme	4.534	-	-	-	Globales	0.000	1.000	0.000
N44/N37	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N44/N37	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N38/N45	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N38/N45	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N39/N45	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N39/N45	CM 1 carga muerta	Uniforme	1.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N39/N45	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N39/N45	CM 3 peso propio de forjados	Uniforme	2.732	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N39/N45	Q 1 (Uso B)	Uniforme	3.750	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N41/N46	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N41/N46	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N41/N46	V 1	Uniforme	4.534	-	-	-	Globales	1.000	0.000	0.000
N46/N40	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N46/N40	CM 1 carga muerta	Uniforme	1.500	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N46/N40	CM 2 carga de cerramientos	Uniforme	10.000	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N46/N40	CM 3 peso propio de forjados	Uniforme	2.732	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N46/N40	Q 1 (Uso B)	Uniforme	3.750	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N47/N25	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N47/N25	N 1	Uniforme	0.650	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N47/N48	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N47/N48	V 1	Uniforme	4.534	-	-	-	Globales	1.000	0.000	0.000
N48/N28	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N48/N28	N 1	Uniforme	0.650	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N28/N49	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N49/N50	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N49/N50	N 1	Uniforme	0.150	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N27/N50	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N27/N51	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N27/N51	N 1	Uniforme	0.650	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N52/N51	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N26/N52	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N26/N52	N 1	Uniforme	0.650	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N50/N53	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N50/N53	N 1	Uniforme	0.150	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N51/N53	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N54/N52	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N35/N54	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N35/N54	V 2	Uniforme	4.534	-	-	-	Globales	0.000	1.000	0.000
N35/N54	N 1	Uniforme	0.150	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N55/N36	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N55/N36	V 2	Uniforme	4.534	-	-	-	Globales	0.000	1.000	0.000
N55/N36	N 1	Uniforme	0.150	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N55/N47	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N55/N47	V 1	Uniforme	4.534	-	-	-	Globales	1.000	0.000	0.000

Cargas en barras										
Barra	Hipótesis	Tipo	Valores		Posición		Dirección			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Ejes	X	Y	Z
N48/N56	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N48/N56	V 1	Uniforme	4.534	-	-	-	Globales	1.000	0.000	0.000
N56/N49	Peso propio	Uniforme	0.560	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N56/N49	N 1	Uniforme	0.150	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000