



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUOLA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

Curso Académico:



AGRADECIMIENTOS

Quiero aprovechar la ocasión para agradecer el apoyo de mis familiares, que han estado siempre ahí para darme mucho ánimo durante mi transcurso por la universidad.

También debo agradecer mucho el apoyo de mi tutora, Carmen Ibáñez Usach, ya que sin ella este TFM no habría sido posible. Me ha proporcionado todo el material necesario para que pudiera llevarlo a cabo satisfactoriamente y siempre ha estado ahí para resolverme cualquier duda.



RESUMEN

El presente trabajo final de máster trata sobre el diseño y cálculo de una estructura metálica para una nave industrial de uso logístico. La nave se ubicará en el polígono de Cabanillas del Campo en Guadalajara. La estructura constará de dos naves adosadas a base de pórticos a dos aguas y total tendrá una superficie de 6272 m². Asimismo, se realizará el proyecto de protección contra incendios de la misma. Para el modelo estructural y cálculo de la nave se recurrirá al programa comercial de cálculo de estructuras CYPE Ingenieros, concretamente los módulos Generador de Pórticos y CYPE3D. Para la elaboración del presupuesto se tomará como referencia la base de datos del Generador de Precios para consulta y finalmente, para la edición de los planos se hará uso del programa de dibujo AutoCAD.

Palabras Clave: Estructura metálica; centro logístico; distribución en planta; protección contra incendios; iluminación natural; cálculo estructural.



RESUM

El present treball final de màster tracta sobre el disseny i càlcul d'una estructura metàl·lica per a una nau industrial d'ús logístic. La nau s'ubicarà al polígon de "Cabanillas del Campo" a Guadalajara. L'estructura constarà de dos naus adossades formades per pòrtics a dos aigües i, en total, tindrà una superfície de 6272 m². Així mateix, es realitzarà el projecte de protecció contra incendis de la nau industrial. Per a elaborar el model estructural i resoldre el càlcul de l'estructura s'utilitzarà el programa comercial de càlcul d'estructures "CYPE Ingenieros", concretament els mòduls "Generador de Pòrtics" i "CYPE3D". Per a l'elaboració del pressupost es prendrà com a referència la base de dades del "Generador de Precios" per a consulta i finalment, per a l'edició dels plànols es farà ús del programa de dibuix AutoCAD.

Paraules clau: Estructura metàl·lica; centre logístic; distribució en planta; protecció contra incendis; il·luminació natural; càlcul estructural.



ABSTRACT

The present final master project deals with the design and calculation of a steel structure for a building meant to be a logistics warehouse. The building will be located in the industrial area of “Cabanillas del Campo” in Guadalajara. The structure will consist of two semi-detached buildings based on portal frames and will have a total surface of 6272 m². Also, the fire safety report will be accomplished. For the structural model and calculation of the warehouse, the commercial software for building design “CYPE Ingenieros” will be used, specifically the modules “Generador de Pórticos” and “CYPE3D”. For the elaboration of the budget, the database of the “Generador de Precios” will be taken as a reference for consultation, and finally, for the edition of the plans, the AutoCAD drawing program will be used.

Keywords: Steel structure; logistic centre; layout; fire safety; natural lighting; structural modelling.



DOCUMENTOS CONTENIDOS

1. MEMORIA
2. ANEXO DE CÁLCULO
3. PRESUPUESTO
4. PLANOS

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFM

- Memoria
- Presupuesto
- Anejo de Cálculos
- Planos

ÍNDICE DE LA MEMORIA

0. Objeto, contenido y alcance.....	pág. 9
1. Antecedentes, Emplazamiento y Normativa.....	págs. 10 – 16
2. Distribución en Planta de la Nave.....	págs. 17 – 27
3. Modelo de Cálculo Estructural.....	págs. 28 – 47
4. Descripción de la solución final para la estructura.....	págs. 48 – 51
5. Sistema de Protección Contra Incendios.....	págs. 52 – 78
6. Sistema de Iluminación Natural.....	págs. 79 – 81
7. Resumen de presupuesto.....	pág. 82
8. Bibliografía.....	pág. 83

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

Presupuesto.....	págs. 176 - 202
------------------	-----------------

1 MEMORIA

0. Objeto, contenido y alcance

El presente Trabajo Fin de Máster trata sobre el cálculo estructural de una nave industrial y del dimensionamiento de los dispositivos e instalaciones de protección contra incendios (PCI). Para ello, se hará uso de la herramienta informática *CYPE* en el primer caso y *Epanet* en el segundo. También, se mostrará el *Layout* o *Distribución en Planta* elaborada para la actividad industrial para la que está pensada la nave (almacenamiento temporal de productos alimentarios para su posterior distribución a distintos comercios) ya que como se explicará más adelante, se hace necesario su conocimiento para poder dimensionar correctamente el sistema principal de PCI.

Así pues, el contenido del presente TFM se puede estructurar en los siguientes puntos:

1. Definición de la nave industrial en cuestión: ubicación geográfica, actividad a desarrollar, dimensiones, definición de la edificación acorde a la legalidad local y nacional vigente,...
2. Layout o Distribución en Planta de la nave: organización espacial interna de los elementos y equipos necesarios, para llevar a cabo satisfactoriamente la actividad económica que se desarrollaría en su interior. Para ello, se empleará un método basado en Teoría de Grafos y conocimiento aplicado sobre la tipología de actividad industrial.
3. Cálculo estructural de la nave mediante el programa comercial *CYPE*:
 - Dimensionamiento de los perfiles que configurarán el sistema estructural: pilares, jácenas, arriostramientos, sistemas contraviento...
 - Dimensionamiento de las uniones que permitirán el ensamblaje de estos perfiles entre sí y con la cimentación.
 - Dimensionamiento de las cimentaciones sobre las que descansa el sistema estructural.
4. Sistema de PCI de la nave industrial: dimensionamiento de la instalación de rociadores automáticos de extinción contra incendios, dimensionamiento de las conducciones necesarias para el suministro de agua a las BIE y a los hidrantes exteriores a la nave, determinación de las medidas necesarias para el aumento de la seguridad frente a incendios (salidas de emergencia, alarmas, resistencia al fuego de los elementos estructurales,...)
5. Elaboración de un presupuesto que contemple los costes de las instalaciones dimensionadas en el presente TFM.
6. Elaboración de planos referidos a las instalaciones y construcciones dimensionadas en este TFM.

Queda fuera de este TFM:

- El dimensionamiento de la instalación eléctrica de la edificación.
- El dimensionamiento de las instalaciones hidráulicas de agua fría, ACS y saneamiento.
- El dimensionamiento de otras instalaciones adicionales: climatización, conducciones de gas, ventilación,...
- Determinación de los pliegos de condiciones necesarios para llevar a cabo correctamente la ejecución de las instalaciones y construcciones de esta edificación.

Así pues, en los apartados siguientes del TFM, se desarrollarán los puntos mencionados de los que consta este TFM.

1. Antecedentes, Emplazamiento y Normativa

1.1 Definición de la Actividad Económica a Desarrollar

Como primer paso para el desarrollo de este TFM, al tratarse sobre una nave industrial, es decir, un área de actividad económica, es necesario definir para qué actividad/es se va a emplear ésta.

Así pues, se ha elegido una actividad económica con mucha presencia actualmente en la actividad industrial: la logística. Es decir, se ha escogido como negocio, que la nave de este TFM esté preparada para el desarrollo de actividades logísticas y de almacenamiento. En concreto, se ha pensado que se trate de un almacén que reciba y distribuya productos alimentarios a pequeños y grandes comercios de los alrededores del polígono industrial en que se ubique. Luego, ésta será la actividad económica que se desarrollará en la nave industrial de este TFM.

1.2 Definición de la Ubicación Geográfica

Una vez se conoce la actividad industrial que se quiere desarrollar, es necesario definir la ubicación geográfica más adecuada para este tipo de actividad. Por facilidad en la obtención de datos urbanísticos para llevar a cabo correctamente el dimensionamiento del tamaño de la nave, se ha procurado buscar polígonos industriales cuyo *PGOU* (Proyecto General de Ordenación Urbanística) fuera fácilmente accesible vía internet, y que además, estuviera redactado informáticamente (es decir, no estuviera elaborado a máquina y escaneado) para una rápida localización de la información de interés.

Así pues, se investigaron polígonos que cumplieran estos requisitos además de que desarrollaran actividades de tipo logístico, lo cual es indicativo indirectamente, de que tienen buenas conexiones con autovías, puertos, ferrocarriles, etc.

Los polígonos encontrados que cumplieran estas condiciones en España (entre otros que habrá) eran: el más cercano, el polígono industrial de Elche (Alicante), con cercanía a la AP-7; el polígono industrial de Zaragoza, con importante actividad logística y cercano a la A-2; y el polígono industrial de Cabanillas del Campo (Guadalajara) con importante actividad logística, cercanía a la A-2 y otras autovías, además de cercanía a la capital del país, Madrid.

Finalmente, en base a criterios logísticos, de facilidad de acceso y modernidad del respectivo *PGOU*, se eligió el polígono industrial de Cabanillas del Campo como localización para la nave industrial del presente TFM.

1.3 Selección de la Parcela

Una vez seleccionado el polígono industrial, el siguiente paso es la selección de una parcela adecuada para este tipo de edificación.

Teniendo en cuenta que las naves dedicadas al almacenamiento de mercancías suelen tener un tamaño más bien grande, y que existe un grado de ocupación máximo (superficie edificada con respecto a la disponible en la parcela, en %) a respetar, se decide buscar parcelas con superficie

de en torno a 10000 m², con formas poligonales lo menos irregulares posible, preferiblemente rectangular, ya que la nave va a estar configurada a base de pórticos a dos aguas.

Para la búsqueda de parcelas, se puede hacer uso de un mapa cartográfico virtual propiedad del Ministerio de Hacienda, denominado Catastro o Registro Catastral (www1.sedecatastro.gob.es). Este mapa permite conocer el perímetro de las parcelas, su denominación, características y datos, además de ofrecer la posibilidad de la descarga de un fichero .dxf con el trazado de la parcela, lo que facilita muchísimo el trazado de su contenido interior (la nave industrial principalmente) a la hora de determinar su viabilidad dimensional y a la hora de realizar de planos asociados.

Mediante esta herramienta y basándose en los criterios anteriormente citados, de entre varias parcelas pre-seleccionadas, se escoge la Parcela 1049703VK8914N, ubicada en la Avenida La Veguilla 39, con coordenadas geográficas ETRS89: 40.603113, -3.224915.



Imagen 1: Parcela Seleccionada. Fuente: Sede Electrónica del Catastro (www1.sedecatastro.gob.es)

Se escoge esta parcela ya que, como se puede observar en la imagen, es prácticamente rectangular y de un tamaño en torno al buscado (13537 m² de superficie). Destacable que se encuentra junto a una línea de ferrocarril, y que enfrente de la misma, hay situado un gran almacén de Zara. También es destacable que los accesos a esta zona concreta del polígono son bastante buenos.

1.4 Definición de los Espacios de la Parcela

Una vez escogida la parcela, se puede definir el tamaño de la nave y su distribución en el espacio disponible. Para ello, se deben tener en cuenta las restricciones urbanísticas que impone el PGOU del Polígono de Cabanillas del Campo (*USOS INDUSTRIALES*):

CONDICIONES DE EDIFICABILIDAD Y FORMA	
Edificabilidad neta en m2/m2	1,00
Fondo edificable máximo en planta baja en ml	--
Fondo edificable en planta de pisos en ml	--
Dimensión mínima de fachada para nuevas parcelaciones	25
Máximo nº de plantas, incluida la baja.	3
Altura máxima a alero de cubierta en ml.	12,00
Altura máxima de planta baja en ml.	-
Altura mínima de pisos en ml.	-
Ocupación máxima	70%
Parcela mínima para nuevas parcelaciones en m ²	2.500
Vuelos y salientes en ml	-
Retranqueo a fachada de la edificación en ml	10
Retranqueo a linderos laterales	5
Retranqueo a fondo de la edificación	5
Tipología de cubierta	
Cámara de cubierta	-

Tabla 1: Parámetros Urbanísticos del polígono industrial de Cabanillas del Campo. Fuente: <http://www.aytocabanillasdelcampo.com>

Luego, conociendo estas restricciones, se puede ir trazando la nave de tal forma que no se incumpla ninguno de los parámetros edificatorios que impone el PGOU de Cabanillas del Campo. Una forma fácil de cumplir los distintos retranqueos, es trazar rectas paralelas a los lindes de parcela, con distancia igual al valor del retranqueo en cuestión, tal y como muestra la siguiente imagen:

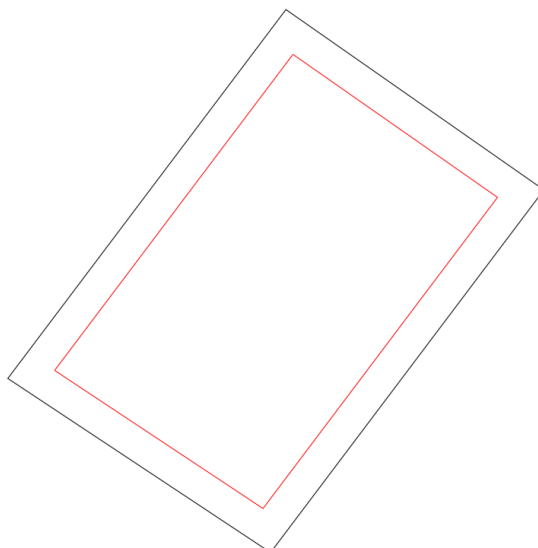


Figura 1: Parcela con perímetro de retranqueos. Fuente: Elaboración propia

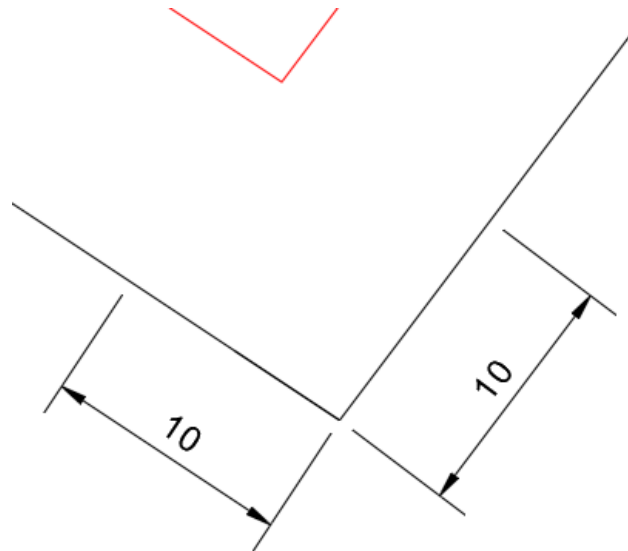


Figura 2: Detalle del valor de los retranqueos en una esquina (las demás son análogas). Fuente: Elaboración propia

Nota: Aunque el valor de retranqueo a linderos laterales y a fondo de la edificación según la normativa de Cabanillas del Campo es de 5 m, se han dejado 10 m, para poder aprovechar una ventaja normativa que indica el RSCIEI, como en el apartado de PCI se detallará.

Una vez hecho esto, se puede trazar la nave dentro de este perímetro, teniendo en cuenta, que hay un porcentaje de ocupación máximo, que es necesario dejar espacio para la zona de aparcamiento de vehículos ligeros de los trabajadores (1 plaza por cada 100 m² construidos, y el 2% de estas plazas serán para minusválidos (PGOU de Cabanillas del Campo), y que, dadas las dimensiones del vial colindante a la nave, para que los remolques y semirremolques puedan maniobrar con facilidad para situarse sobre los muelles de carga de la nave, se ha de dejar bastante espacio libre en el interior de la parcela.

Teniendo en cuenta estos criterios, se configura una nave de 56x112 m² (6272 m²) cuya superficie implica una ocupación del 46,33% (<70%), considerando una distribución del espacio de la parcela, como se muestra en la siguiente figura (podrían ser otras muchas):

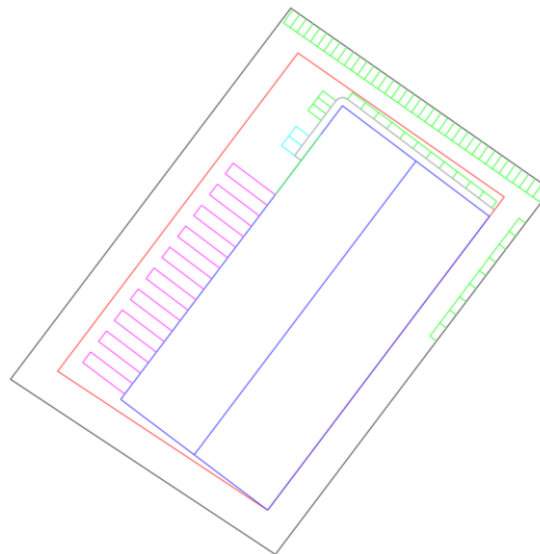


Figura 3: Distribución del espacio en la parcela. Fuente: Elaboración propia

Leyenda:

- El recinto de color azul oscuro, se corresponde con la nave industrial (nótese que la nave está dividida en dos partes: esto es para denotar que la nave se compondrá de dos naves a dos aguas adosadas).
- Las retículas de color verde, se corresponden con las plazas de aparcamiento obligatorias a disponer para los trabajadores, de 2,5x5 m² cada una (a excepción de las de color azul claro, que son de 3,7x5 m² para vehículos de discapacitados). Hay dispuestas 63 plazas, ya que al ser la superficie construida de 6272 m² y debe disponerse una cada 100 m², al aproximar a las unidades, se obtiene este valor. Como un 2% de las mismas deben ser para vehículos de discapacitados, aproximando al alza, se obtiene que de las 63, 2 deben ser para estos vehículos y las otras 61 para vehículos ligeros normales. Los carriles de maniobra tienen amplitud ≥ 5 m.
- El número de muelles de carga dispuestos, se ha determinado de forma intuitiva en base al tamaño de la nave y a su finalidad. Nótese que se han trazado rectángulos de 4x16 m² unidos a estos, para ilustrar que los semirremolques de mayor longitud esperables dentro de la nave (los típicos tráileres de 2,5 m de ancho por 16 m de largo) caben sin problemas y tienen suficiente espacio para maniobrar en el interior de la nave (30 m más o menos, desde el linde de parcela que da al viario hasta la fachada de la nave) y entre ellos una vez estén situados frente al muelle de carga que les corresponda. Estas líneas no estarían grafiadas en el suelo en el proyecto real, simplemente se han trazado en el dibujo para demostrar al lector que estos vehículos de transporte pueden circular con facilidad por el interior de la parcela.
- La línea de color grisáceo, representa una acera perimetral de 2,5 m de ancho para que los trabajadores puedan acceder al edificio de forma segura.
- Por último, la línea verde turquesa, representa el acceso peatonal de trabajadores, clientes y proveedores a la nave.

1.5 Diseño de los Muelles de Carga

Una vez definida la posición de los muelles de carga de la nave, es posible determinar las características que éstos deben tener para satisfacer las exigencias reglamentarias que deben cumplir (fundamentalmente, que su altitud sea tal, que en función de los equipos empleados para la extracción e introducción de las mercancías, se respeten las pendientes de rampa máximas que establece la normativa, (en caso de emplearse rampas como sistema de carga y descarga de mercancías)) y los modelos comerciales a disponer.

Así pues, el primer paso es definir qué equipos se van a emplear para la carga y descarga de las mercancías en los muelles de carga. Dado que no va a ser una instalación industrial en la que se almacenen productos con características especiales (productos especialmente frágiles, volátiles,...) se pueden emplear equipos de carga y descarga convencionales, es decir, equipos más comúnmente utilizados en este tipo de instalaciones.

Un sistema habitualmente empleado, son las rampas. Para cargas elevadas en particular, se utilizan rampas electrohidráulicas. De tal forma que escogiendo este sistema de carga y descarga de mercancías, la primera limitación legal que se tiene en este tipo de equipos, es la longitud de

rampa máxima que se puede tener (para evitar deflexiones excesivas). La normativa establece que este valor será igual o inferior a 4 metros.

Por otro lado, es necesario conocer los equipos de transporte discreto de mercancías habitualmente empleados en este tipo de instalaciones. Es sabido que estos equipos son: las transpaletas manuales, las eléctricas y las carretillas elevadoras. Usualmente, cada tipo de transporte se emplea en función del volumen de mercancías a cargar/descargar: las transpaletas manuales (propulsadas por fuerza humana) se emplean para la carga/descarga de pequeñas cantidades de mercancías o de bajo peso. Las transpaletas eléctricas (accionadas por un motor eléctrico) se emplean para el transporte de mayor cantidad de mercancías o de mercancías de mayor peso. Por último, las carretillas elevadoras se emplean para la carga/descarga de grandes cantidades de mercancías o de mercancías de mayor peso a las que puede transportar una transpaleta eléctrica. Así pues, la normativa tiene en cuenta estas condiciones de funcionamiento, limitando la pendiente máxima en que se pueden usar estos equipos:

- Transpaletas manuales: 3%
- Transpaletas eléctricas: 6%
- Carretillas elevadoras: 10%

En donde se puede observar, que la menor pendiente corresponde a las transpaletas manuales, debido a que son traccionadas por seres humanos y la normativa busca fatigar lo mínimo posible a los operarios encargados de manejar estos equipos.

También es necesario tener en cuenta que, cuanto más grande es un vehículo de transporte, usualmente, mayor cantidad de mercancías se cargan/descargan en el mismo, y que éstas suelen ser de mayor peso que en otros vehículos más pequeños. Luego es fácil suponer, que los sistemas de transporte discreto de mercancías que mayor carga soportan (carretillas elevadoras), se emplearán más en la carga/descarga de mercancías de vehículos de este tipo. Por el contrario, los sistemas de carga/descarga de mercancías más ligeras (transpaletas manuales), se usarán fundamentalmente para mercancías provenientes de vehículos de menor tamaño. Análogamente, las transpaletas eléctricas se utilizarán en situaciones intermedias.

Esto último es importante, puesto que cada tipo de vehículo de transporte tiene un determinado rango de altitudes de suelo en el compartimento en el que almacenan las mercancías, y este hecho, junto con las pendientes máximas que establece la normativa para cada sistema de transporte discreto de mercancías, condicionan la altura del muelle de carga.

Luego, el siguiente paso consiste en averiguar la altitud media del suelo de estos vehículos de transporte. Tomando como referencia una de las prácticas informáticas de la asignatura “Diseño y Aplicación de Equipos Industriales” del máster, se pueden considerar las siguientes altitudes medias para cada tipo de vehículo de transporte:

- Altura media del suelo en camionetas: 65 cm.
- Altura media del suelo en vehículos rígidos: 85 cm.
- Altura media del suelo en semirremolques: 115 cm.

Nótese que a mayor tamaño de vehículo, mayor altitud media, lo cual es completamente razonable. Usualmente los vehículos de mayor tamaño tienen sistemas neumático-hidráulicos para la variación del nivel del suelo del recinto donde almacenan las mercancías. Sin embargo, a efectos de cálculo de la altura de los muelles de carga, esto no se tendrá en cuenta.

Así pues, seleccionando una rampa de 4 m de longitud, y con los datos aportados anteriormente, se obtiene el siguiente rango de altitudes de muelle de carga que permite la carga/descarga de mercancías acorde a la normativa vigente:

$$h_{m\acute{a}x} = h_{camioneta} + L_{rampa} \cdot \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{p(\%)}{100}\right)\right) = 65 + 400 \cdot \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{3}{100}\right)\right) = 76,99 \text{ cm}$$

$$h_{m\acute{i}n} = h_{semirremolque} - L_{rampa} \cdot \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{p(\%)}{100}\right)\right) = 115 - 400 \cdot \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{10}{100}\right)\right) = 75,20 \text{ cm}$$

Rango: $h_{muelle} \in [75'20, 76'99] \text{ cm}$

Dado que en una construcción urbanística no se puede trabajar con décimas de centímetro, se escoge una altura de muelle de carga de 76 cm. Luego, todos los muelles de carga tendrán esta altura con respecto al suelo exterior a la nave.

1.5 Normativa

Con respecto a la normativa, se han tenido en cuenta para la elaboración de este TFM las siguientes:

Para el cálculo estructural:

- CTE-Código Técnico de la Edificación, Real Decreto 314/2006 del 17 de marzo.
- EHE-08-Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE-08), Real Decreto 1247/2008 del 18 de julio.

Para el diseño de la protección contra incendios:

- Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales, Real Decreto 2267/2004 del 3 de diciembre.
- Norma UNE – EN 12845: *Sistemas fijos de lucha contra incendio. Sistemas de rociadores automáticos. Diseño, instalación y mantenimiento.*

Normativa urbanística:

- Plan General de Ordenación Urbana de Cabanillas del Campo.

2. Distribución en Planta de la Nave

Una vez definido el tamaño de la nave, se puede proceder a la organización del espacio interno en la nave o Layout.

Un primer paso para determinar la Distribución en Planta de la nave, es definir más específicamente cómo podría ser el proceso productivo que se podría desarrollar en el interior de la misma.

El autor ha pensado, basándose en conocimientos adquiridos en base a su experiencia personal y en base sobre todo a trabajos académicos sobre casos reales llevados a cabo durante el Máster, que el proceso productivo de la nave en cuestión, podría ser el siguiente:

- i. Las mercancías provenientes de los fabricantes de los productos alimentarios a almacenar, se reciben a última hora de la tarde.
- ii. Estas mercancías, son descargadas de los muelles de carga, clasificadas, paletizadas (si no lo están ya) y almacenadas en las estanterías que correspondan.
- iii. En horario nocturno, de madrugada, vienen los vehículos de transporte para cargar y distribuir estos productos a los comercios implicados.

Así pues, bajo estas premisas, se puede comenzar con el proceso de elaboración del Layout del caso en cuestión.

2.1 Diagrama de Recorrido Sencillo

El siguiente paso para la elaboración del Layout, es la determinación/estimación de los recorridos más habituales que pueden darse en el interior de la nave.

Para el caso propuesto, al tenerse un solo tipo de productos (productos de alimentación) basta con la elaboración de un “Diagrama de Recorrido Sencillo”, no requiriéndose el uso de técnicas de análisis de recorridos más complejas, como un “Diagrama Multiproducto” o una “Tabla Matricial”.

Éste. consiste en la ordenación esquemática de las actividades/procesos a realizar sobre el único producto existente en el proceso productivo. Ya que la actividad a desarrollar en la nave industrial, no es de tipo fabricación o manipulación de un determinado producto, si no, simplemente su almacenaje y posterior distribución, se ha elaborado un esquema más bien de carácter cronológico, es decir, se describe el proceso industrial, como un conjunto de operaciones ordenadas en el tiempo, que da idea de qué áreas físicas del interior de la nave industrial se van a ver implicadas en cada momento.

Así pues, el proceso productivo de la nave en cuestión, se puede expresar pormenorizadamente mediante el siguiente esquema:

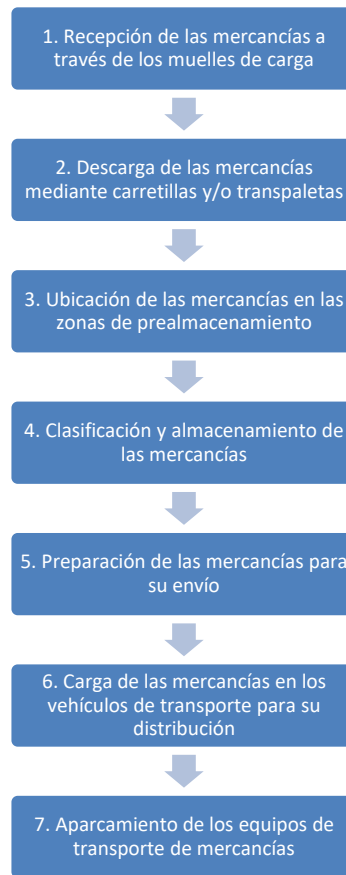


Figura 4: Diagrama de Recorrido Sencillo. Fuente: Elaboración propia

Luego, mediante este Diagrama de Recorrido Sencillo, se pueden extraer ya cuáles van a ser las actividades fundamentales que se van a llevar a cabo en la nave en cuestión, y elaborar una Tabla Relacional de Actividades.

3.2 Tabla Relacional de Actividades

Para tener en cuenta la importancia de la cercanía física entre las diferentes actividades para optimizar el proceso productivo que se desarrollará en la nave, se hará uso de una “Tabla Relacional de Actividades” (TRA).

En esta tabla se intenta valorar de una forma lo más objetiva posible, inicialmente mediante letras, y posteriormente mediante valores numéricos, la importancia que tiene que dos actividades estén cercanas físicamente.

Así pues, del diagrama anterior, se puede deducir, que las actividades que se llevarán a cabo en la nave son, fundamentalmente:

- i. Administración: comprende todas las actividades de gestión de inventario, negociaciones con los clientes, gestión económico-financiera del negocio, mantenimiento y protección de las instalaciones, en definición, lo que es la gestión administrativa del negocio. Estas actividades se llevarán a cabo en gran parte, en una zona de oficinas dentro de la nave, de ahí que pueda clasificarse como una zona de trabajo a tener en cuenta para la realización del Layout.

- ii. Carga/descarga: corresponde, como su propio nombre indica, a la realización de las actividades de cargar y descargar mercancías de los vehículos de transporte en los muelles de carga: luego se desarrollarán siempre concretamente en una zona determinada de la nave.
- iii. Prealmacenamiento: consiste en la extracción de las mercancías de los muelles de carga y su deposición en una zona cercana, para que no obstaculicen el proceso de carga/descarga que se está desarrollando en ese momento en dichos muelles de carga. Aquí es también dónde se clasifican las mercancías para su posterior almacenamiento. Se trata pues, de una zona a considerar, ya que debe regularse espacialmente para evitar problemas de desorden y confusión.
- iv. Almacenamiento: es la zona de la nave que contiene estanterías donde se almacenan las mercancías.
- v. Aparcamiento: es la zona donde se aparcan los sistemas de transporte discreto de mercancías (transpaletas, carretillas elevadoras, etc.) cuando no se desarrollan actividades en la nave (en horario no laboral del negocio).

Considerando estas actividades y ponderando las relaciones entre las mismas mediante las letras A, E, I, O, U y X (cuyo significado se adjunta en la leyenda de la tabla mostrada) se construye la siguiente tabla o matriz:

	Administración	Carga/Descarga	Prealmacenamiento	Almacenamiento	Aparcamiento
Administración		O		O	O
Carga/Descarga			A	I	
Prealmacenamiento				A	
Almacenamiento					
Aparcamiento					

Tabla 2: Tabla matricial para relacionar las actividades entre sí

Leyenda:

- A: Absolutamente Importante
- E: Especialmente Importante
- I: Importante
- O: Ordinario
- U: No Importante (se omite en la tabla)
- X: No Asumible

Nótese que la diagonal principal se deja en blanco, porque son casillas correspondientes a una misma actividad, y que por debajo de ésta, no hay ninguna casilla rellena, ya que la matriz es simétrica.

Justificación de las ponderaciones adoptadas en la tabla/matriz:

- i. Las actividades Carga/Descarga – Prealmacenamiento y Prealmacenamiento – Almacenamiento, se han considerado de suma importancia por lo ya explicado

- anteriormente: las zonas de prealmacenamiento deben situarse próximas a las de carga y descarga para disminuir el tiempo de desplazamiento de las mercancías a este punto, lo suficiente para no obstaculizar las actividades de carga y descarga, mientras que las zonas de prealmacenamiento y almacenamiento se ha considerado que deben estar cerca por la misma razón, es decir, disminuir los tiempos y obstáculos en el transporte entre ambas zonas.
- ii. Las actividades de Carga/Descarga – Almacenamiento se han considerado importantes por razones análogas: ya que las mercancías no suelen estar grandes periodos almacenadas, conviene que estén cerca de los puntos de carga y descarga.
 - iii. Las actividades de Administración – Carga/Descarga, Administración – Almacenamiento y Administración – Aparcamiento, se ha considerado que tienen una importancia ordinaria, porque son actividades que en ciertos periodos del día están relacionadas pero no continuamente: Carga/Descarga conviene que esté cerca de las oficinas de Administración, por si existe algún problema con alguna mercancía, Almacenamiento y Administración conviene que estén cerca para que ésta última tenga registradas informáticamente las mercancías almacenadas, y Aparcamiento y Administración, conviene que estén cerca para una rápida revisión de que todos los equipos de transporte discreto de mercancías se encuentran en la nave y en correcto estado.
 - iv. Las casillas en blanco, simbolizan que las actividades a las que hacen referencia tienen poca o nula importancia en que se encuentren cerca físicamente.

Ponderando la anterior escala numéricamente de 0 a 100 en importancia, cada letra representa los siguientes valores:

$$\rightarrow A=100$$

$$\rightarrow E=100-1/4 \cdot A=75$$

$$\rightarrow I=100-1/2 \cdot A=50$$

$$\rightarrow O=100-3/4 \cdot A=25$$

$$\rightarrow U=100-4/4 \cdot A=0$$

$$\rightarrow X=-A=-100$$

Resultando la siguiente TRA:

	Administración	Carga/Descarga	Prealmacenamiento	Almacenamiento	Aparcamiento
Administración		25		25	25
Carga/Descarga			100	50	
Prealmacenamiento				100	
Almacenamiento					
Aparcamiento					

Tabla 3: Tabla matricial numérica para relacionar las actividades entre sí

Nótese que las casillas en blanco, se entiende que el valor de las relaciones entre las actividades que implican es nulo, y por eso se omite esta cifra.

Dado que no se ha requerido del uso de una Tabla Matricial, la TRA adjunta es directamente la denominada “Tabla Relacional Combinada Bilateral” (TRCB). Así pues, mediante esta tabla, ya se puede construir el “Diagrama Relacional de Recorridos y Actividades” (DRRA).

3.3 Diagrama Relacional de Recorridos y Actividades (DRRA)

El Diagrama Relacional de Recorridos y Actividades se trata de la representación gráfica simbólica de las actividades a desarrollar en la nave, interconectadas mediante conexiones lineales entre aquellas actividades que es importante que se encuentren cerca espacialmente. Luego, se trazan primero las conexiones en aquellas actividades en las que es más importante que se encuentren cerca, y posteriormente, las que este hecho tiene menor importancia, no uniéndose actividades que no se considera importante que se encuentren juntas. Importante que las interconexiones no pueden cruzarse entre sí.

Así pues, en base a los resultados obtenidos en la Tabla Relacional Combinada Bilateral (TRCB), se tiene el siguiente grafo:

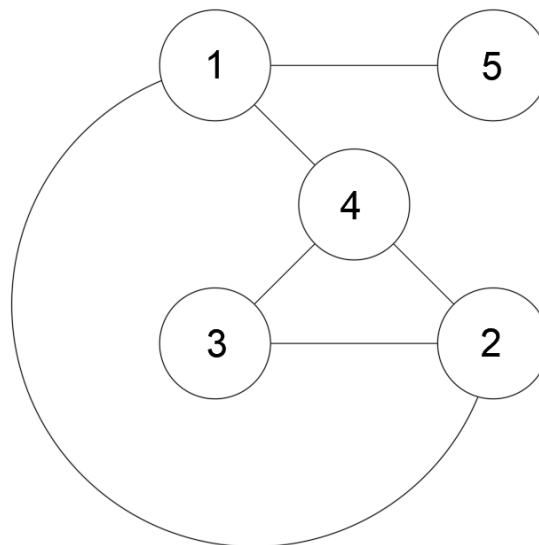


Figura 5: DRRA. Fuente: Elaboración propia

Donde cada número corresponde a las siguientes actividades:

1. Administración – Oficinas
2. Zona de Carga/Descarga de mercancías
3. Zona de Prealmacenamiento
4. Zona de Almacenamiento
5. Zona de Aparcamiento de vehículos de transporte discreto de mercancías

3.4 Grafo Planar Ponderado Maximal (GPPM)

El método a seguir para la determinación del Layout, será el trazado de un Grafo Planar Ponderado Maximal (GPPM) y el posterior Grafo Dual (GD). El primero, consiste básicamente en determinar el número de aristas que debe tener, comprobar cuántas se tienen en el DRRA, y

añadir las que sean necesarias (sin cruzarse entre ellas). La fórmula que indica cuántas relaciones pueden tener n actividades entre sí, es la siguiente:

$$n^{\circ} \text{ aristas} = 3 \cdot n - 6$$

Luego, para el caso en análisis, al tenerse 5 actividades, el número de aristas que debe tener el GPPM debe ser de 9. Dado que se tienen 6, es necesario añadir 3 al DRRA para configurar el GPPM:

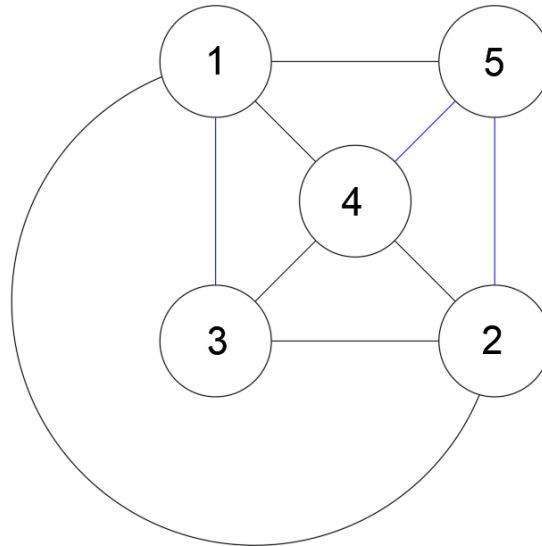


Figura 6: GPPM. Fuente: Elaboración propia

A partir de este grafo, es posible pasar al siguiente paso, que es el trazado del Grafo Dual (GD).

3.5 Grafo Dual (GD)

El Grafo Dual (GD) consiste en la obtención de un grafo que dé idea ya gráficamente, de forma simbólica, sobre qué actividades deben estar en contacto/cercanas para satisfacer los requisitos del proceso productivo.

Para ello, el primer paso es trazar una actividad ficticia en el exterior del GPPM, denominada por ejemplo, "Exterior", y unirla con las tres actividades más exteriores, de tal forma que no se cruce con ninguna arista. En efecto, el número total de aristas ahora será:

$$n^{\circ} \text{ aristas} = 3 \cdot n - 6 = 3 \cdot 6 - 6 = 12 \text{ aristas}$$

Una vez trazadas estas conexiones, se debe situar un punto en el interior de cada región triangular formada mediante estas conexiones y las anteriores, y otro punto en el exterior (por motivos de aseo, conviene situarlo en el punto simétrico con respecto a donde se ha puesto la actividad ficticia "Exterior"):

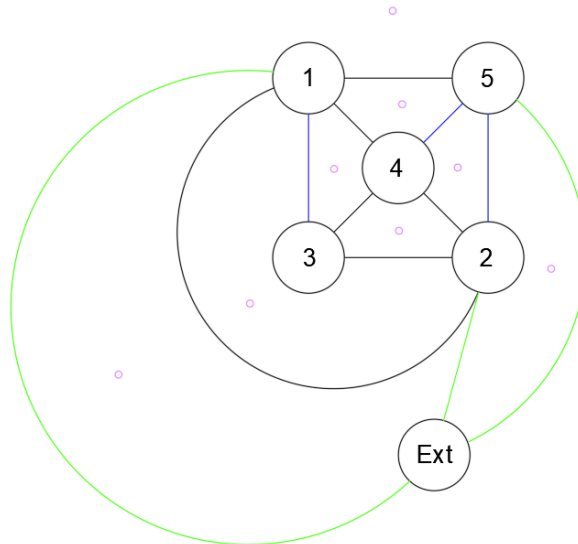


Figura 7: Proceso de elaboración del GD (1). Fuente: Elaboración propia

Por último, se debe proceder a la interconexión de estos puntos, con la premisa de que cada conexión no debe cruzar con más de una arista:

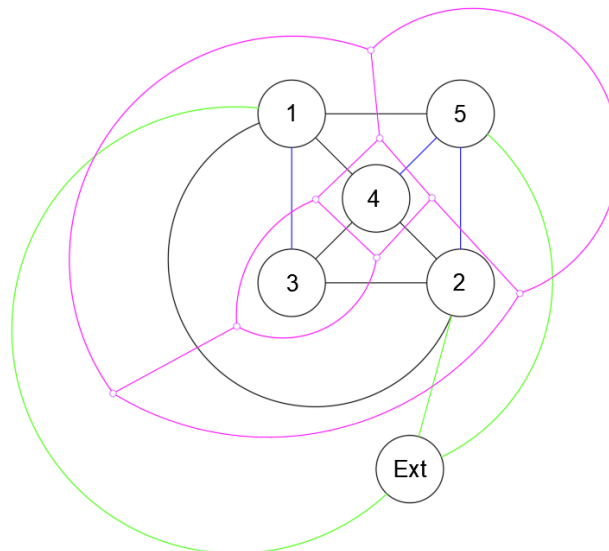


Figura 8: Proceso de elaboración del GD (2). Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la imagen, cada actividad queda rodeada por líneas y anexionada a una o más actividades. Una forma de saber si faltan o sobran líneas, es comprobar si de cada punto, parten tres líneas.

Borrando las líneas del DRRA, del GPPM y la actividad ficticia denominada "Exterior" y sus conexiones, se obtiene de forma simbólica, la distribución en planta que optimiza el proceso productivo, en base a las actividades definidas, y las valoraciones de proximidad establecidas entre las mismas:

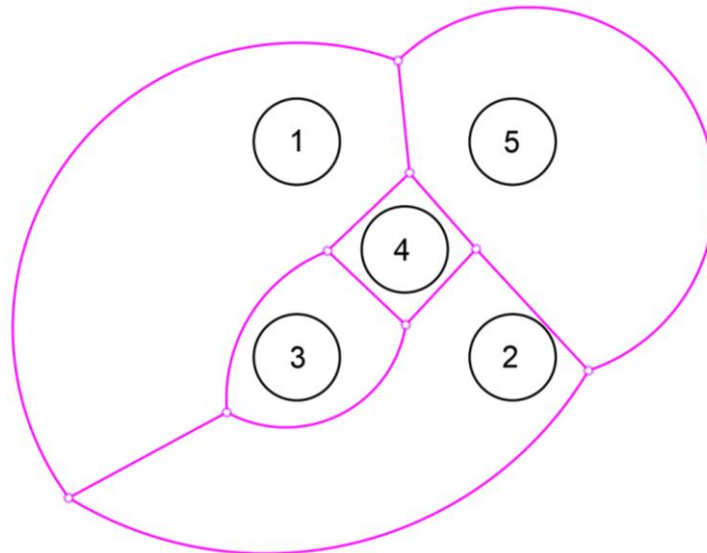


Figura 9: GD. Fuente: Elaboración propia

Ahora queda la traducción de este grafo en una distribución geométrica realista: la Distribución en Planta (DP).

3.6 Distribución en Planta (DP)

Existen muchos métodos para, a partir de un Grafo Dual, obtener una Distribución en Planta (DP). Estos métodos son variables en complejidad y aplicabilidad, pero ninguno de ellos tiene por qué obtener la distribución en planta óptima. En este TFM, dado que no se dispone de software específico que contenga este tipo de métodos, se va a realizar la Distribución en Planta a partir del Grafo Dual de forma intuitiva.

Para ello, se ha tenido en cuenta que, usualmente los recintos o zonas suelen estar organizadas mediante polígonos regulares (principalmente, rectángulos) y sabiendo que el tamaño habitual de las zonas consideradas (o más bien su proporción de espacio ocupado con respecto al total de la nave) en naves industriales dedicadas al mismo tipo de actividad que ésta o similar, suele ser el mismo.

Así pues, teniendo en cuenta estos criterios, una posible distribución en planta, es la que se indica a continuación:

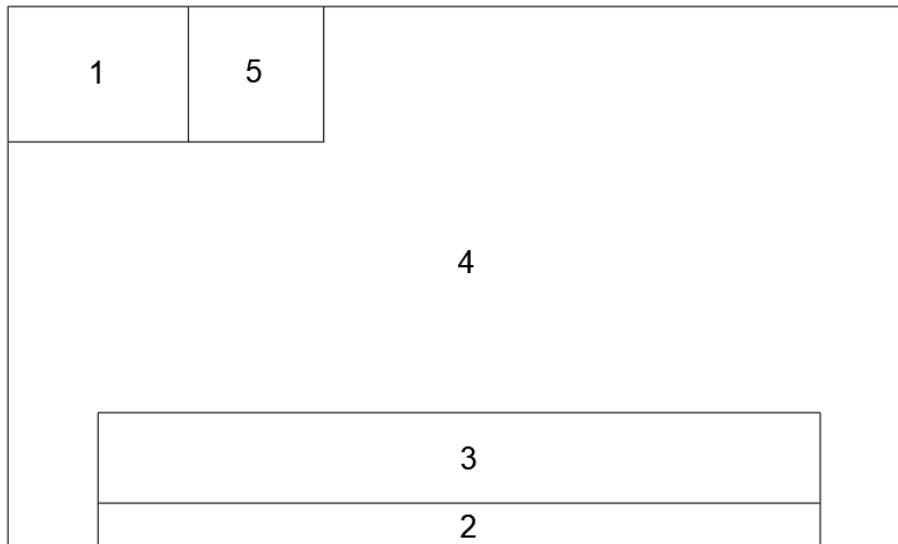


Figura 10: DP. Fuente: Elaboración propia

Donde se puede comprobar, que las actividades fuertemente relacionadas se encuentran contiguas. Esta organización es coherente con respecto a una nave industrial dedicada al almacenamiento de mercancías, puesto que los muelles de carga/descarga deben ser instalados en una o varias fachadas de la nave, ya que deben conectar el exterior con el interior de la nave: esto obviamente condiciona dónde debe estar la zona de prealmacenamiento, ya que existe una fuerte relación entre ambas (deben estar muy cerca físicamente). Es cierto que las zonas de las actividades 1 y 2 no se encuentran contiguas a pesar de que en la TRCB se ha establecido que debe haber cierta cercanía entre ellas. Pero dado que la importancia en que éstas estén cerca es Ordinaria, y que, aunque no estén contiguas, el acceso entre ambas y por tanto, su comunicación, es fácil, esto cubre el nivel Ordinario (O) de relación entre ambas.

Por tanto, ésta es la distribución en planta realizada del presente TFM. Se explicará en el punto 4 la importancia de conocer esta distribución para la ubicación adecuada del sistema principal de lucha contra incendios: los rociadores automáticos.

3.7 Distribución en Planta Detallada

El anterior apartado es sólo un esbozo de cómo distribuir las distintas actividades a llevar a cabo en la nave industrial para optimizar el proceso productivo. Luego, se hace necesario, sobre todo para llevar a cabo correctamente el dimensionado del sistema de rociadores automáticos de agua, definir más específicamente las partes y elementos de los que constaría una nave dedicada a esta actividad.

Empezando por la zona de la nave dedicada a actividades de administración, hay que tener en cuenta que ésta no requiere de un gran espacio, ya que en su interior constará, básicamente, de algunos archivadores, escritores, mesas, sillas, ordenadores y equipos similares. Aparte de este hecho, hay que tener en cuenta que en un almacén, debe dedicarse la mayor cantidad de espacio posible al mismo. Así pues, se han establecido unas oficinas de área rectangular, de 18x10 m² (180 m²).

Por otra parte, se ha configurado otro recinto rectangular, de 6x8 m² (48 m²) para albergar las distintas instalaciones que requeriría la nave industrial: estación de bombeo, estación de bombeo contra incendios, cuadros eléctricos, y los correspondientes elementos de conexión con estos elementos: montantes, contadores, acometidas, etc.

Una vez definidos estos espacios triviales, se puede proceder a la definición del almacén en sí. Así pues, en primer lugar, se debe tener en cuenta que, en los muelles de carga, debe haber cierto espacio en el interior de la nave para que se puedan introducir las mercancías sin que haya obstaculizaciones (por ejemplo, debido a una posible instalación de la zona de prealmacenamiento demasiado cercana a éstos). De tal modo que, junto a cada muelle de carga, se han definido retículas rectangulares de 2x3 m² para delimitar la zona donde los operarios pueden dejar las mercancías, tras descargarlas de los vehículos de transporte. Este perímetro (y los que se definirán a continuación) no simbolizan tabiques: simplemente, podrían estar delimitados por franjas pintadas o unidas mediante adhesivo al suelo de la nave.

A continuación, se ha procedido a la definición de las zonas de prealmacenamiento. Se han dispuesto a 5 m de las zonas de carga y descarga de mercancías para no obstaculizar con éstas. Cada una tiene un tamaño de 2,4x4,8 m², el cual ha sido determinado, suponiendo una capacidad de deposición de 12 palés (los cuales tienen 0,8 m de ancho por 1,2 de largo (en el caso de europalés)).

Posteriormente, a una distancia de en torno a 9,3 m, se ha dispuesto la primera hilera de estanterías. Se considera necesario dejar esta distancia para que los equipos de manutención empleados en la nave industrial, tengan suficiente espacio para moverse, evitando así situaciones de atasco, que ralentizaran el proceso productivo.

Se ha decidido que la mayoría de las estanterías empleadas, tengan capacidad para albergar 36 palés por nivel, con cada nivel de 2 m de altura, y una altura de almacenamiento de 12 m (luego, habrá 6 niveles en total). Así pues, cada estantería de este tipo, podrá albergar 216 palés. Teniendo en cuenta que la profundidad de un europalé es de 0,8 m, su anchura de 1,2 m y su altura de 1,5 m, las dimensiones de estas estanterías, son 2,8x18x12 m³. El valor de 2,8 m, se obtiene de considerar que se pueden almacenar 3 palés en la dimensión de la profundidad de la estantería: como cada palé tiene una profundidad de 0,8 m, tres palés implican un espacio necesario de 2,4 m; sin embargo, hay que tener en cuenta los espesores de la estructura de acero de las estanterías, lo que conlleva a aumentar este espacio de 2,4 m a 2,8 m. El valor de 18 m, se obtiene de considerar que se pueden almacenar 12 palés en el sentido longitudinal de la estantería: dado que la anchura de un palé es de 1,2 m, dos palés ocupan 2,4 m. Sin embargo, conviene dejar un espacio entre palés (se ha pensado que 30 cm es un buen valor) para que sean fácilmente introducibles y extraíbles. De tal modo, que 12 palés x 1,2 m/palé + 12 espacios x 0,30 m/espacio, hacen un total de 18 m. En el caso de la dimensión vertical, los palés tendrán espacio suficiente, puesto que su altura es de 1,5 m, y entre pisos de estantería habrá 2 m, que aun descontando espesores de la estructura de la estantería, este espacio disponible será suficiente.

Dado que de este tipo de estanterías se han dispuesto 24 unidades, se tendrá una capacidad para albergar 5184 palés.

Por otro lado, se ha definido también otro tipo de estantería, que más bien, es la asociación continua de muchas, para aprovechar el espacio sobrante en la nave. Ésta, se encuentra

dispuesta en un lado de la misma (el de 112 m) y tiene por dimensiones las siguientes: 1,95x102x8 m³. El valor de 1,95 m, se obtiene de considerar, que se pueden almacenar dos palés en la dirección transversal de la estantería, luego, si cada palé tiene una profundidad de 0,8 m, se requerirá una profundidad mínima de 1,6 m, que, sumándole el espesor de la estructura de la estantería, se queda en 1,95 m. Los 102 m, se obtienen de aprovechar al máximo posible el espacio disponible en uno de los lados de 112 m de la nave (en el otro, están los muelles de carga, cuarto de contadores, oficinas, etc.) manteniendo una disposición de estanterías topológicamente regular. Para esta estantería, se ha escogido una altura de 8 m, debido a que posee mayor esbeltez que el otro modelo, ya que su ancho es menor, y en caso de mantener los 12 m de altura, habría mayor riesgo de vuelco. Esta configuración, permite el almacenamiento de 272 palés más, con lo que la cantidad total de palés que se pueden almacenar en esta nave industrial, es de 5456 palés.

Comentar que, como tipología de estanterías, se han elegido unas denominadas “dinámicas” cuyas particularidades, son que contienen rodillos, una ligera inclinación, y unos topes, de forma que, la mercancía entrante siempre se deposita por el lado de mayor altura, y ésta va deslizando a través de los rodillos hasta el tope del lado opuesto de la estantería o hasta que se topa con un palé ubicado delante de ella. Este tipo de estantería facilita la aplicación del método FIFO (First In First Out) que consiste en que las mercancías que entran primero, son las que deben salir primero. El autor considera que tiene lógica suponer que se va a seguir este método de gestión de stocks, puesto que generalmente, los productos alimentarios que llegan primero, son los que caducan en fechas más tempranas, luego, conviene repartirlos lo antes posible. Entonces, este tipo de estanterías facilitan bastante esta labor.

Otro factor importante relacionado con las estanterías, es establecer el tamaño de los pasillos que hay entre las mismas. Se ha considerado, que para que los equipos de transporte y manutención tengan espacio suficiente para maniobrar y colocar con facilidad las mercancías, estos pasillos deben tener un ancho no inferior a 3 m. Para el caso de la primera hilera de estanterías, vista desde los muelles de carga, se ha dejado con la segunda hilera un ancho de 6,50 m, debido a que, entre medias, se encuentran los pilares interiores de los pórticos interiores. Luego, para cada lado de cada hilera de estanterías, se dispone de un ancho útil de 3 m. Comentar también, que la estantería perimetral no se ha dispuesto estrictamente contigua a la fachada, porque se ha tenido en cuenta también, el espacio ocupado por los pilares exteriores de los pórticos interiores.

Luego, una vez explicitado narrativamente cómo es la distribución real del espacio interior de la nave, sólo queda consultar el plano esquemático adjunto a este TFM, para comprender del todo la distribución realizada.

3. Modelo de Cálculo Estructural

Para la realización del cálculo estructural de la nave (esto es, la selección de los perfiles comerciales más económicos (de menor tamaño) que cumplen los denominados “Estados Límite” para las combinaciones de acciones más desfavorables, y el correcto dimensionamiento de las uniones y cimentaciones para dichos Estados Límite) se empleará la herramienta informática CYPE, que permite el cálculo de las acciones acorde con los datos de entrada y la reglamentación vigente (Código Técnico de la Edificación, principalmente) y el dimensionamiento de los perfiles para la combinación de acciones más desfavorable.

CYPE, es una herramienta que se compone de varios programas de cálculo, como se puede apreciar en la imagen adjunta:

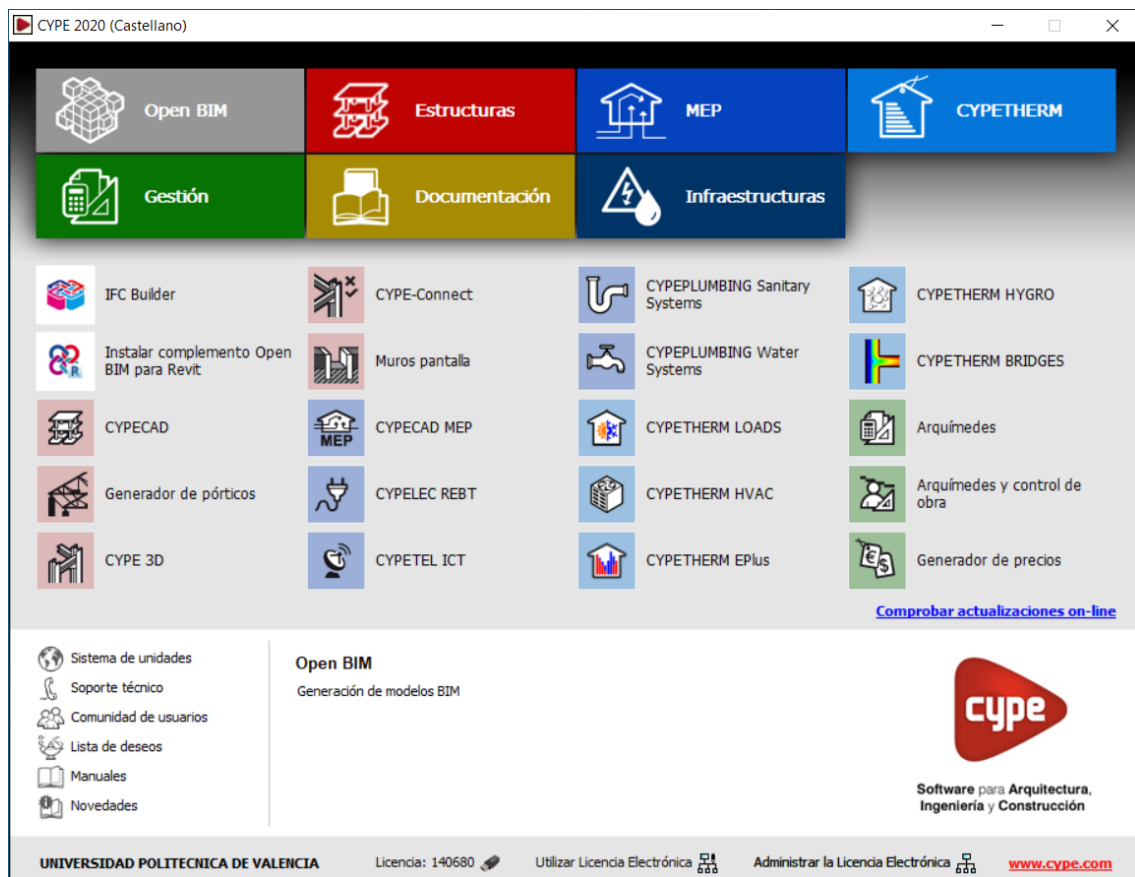


Imagen 2: Pantalla de inicio de CYPE. Fuente: CYPE

Para llevar a cabo el cálculo estructural, en este TFM se usarán los programas “Generador de Pórticos” y “CYPE 3D”.

El programa Generador de Pórticos, es una herramienta que permite definir el tipo de pórticos a emplear, sus dimensiones, las acciones a las que se considera según la normativa que van a estar sometidos (en función de su localización geográfica y otros factores), el dimensionado de las correas laterales y de cubierta, etc. A partir de lo definido aquí, se exporta el fichero generado al programa CYPE 3D, para continuar y finalizar el cálculo estructural de la nave.

Así pues, a continuación, se van a exponer los pasos seguidos para llevar a cabo correctamente el cálculo estructural de la nave mediante CYPE.

3.1 Cálculo Mediante el Generador de Pórticos de CYPE

3.1.1 Parámetros y dimensiones básicas

Nada más abrir el Generador de Pórticos, el programa pregunta el tipo de nave a introducir (una o dos aguas). Se selecciona un pórtico a dos aguas, ya que es la tipología estructural que ha estudiado el alumno autor de este TFM.

A continuación, se deben introducir las dimensiones de los pórticos. Dado que son todos iguales, las medidas introducidas en el pórtico tipo que muestra el programa, se aplicarán al resto de pórticos cuando éstos se generen. Ya que la actividad industrial que se va a desarrollar se corresponde con el almacenamiento de mercancías, basándose en casos reales similares, se debe buscar la mayor altitud posible de pilar y de cumbrera, para almacenar la mayor cantidad de productos posible. Esta altura, debe ser coherente con las tecnologías de almacenamiento disponibles, un coste económico razonable, pero sobre todo, con una tipología estructural que pueda soportar estas esbelteces, ya que la cantidad en la variedad de modelos de perfiles estructurales en el mercado es limitada, y no se pueden tener altitudes indefinidas (también hasta cierto punto, deja de ser interesante económicamente tener una altitud de nave elevada a costa de un sistema estructural de gran complejidad).

Así pues, teniendo en cuenta que como perfiles en las barras estructurales se seleccionarán perfiles IPE, que van desde el modelo 80 hasta el 600, se considera que una altura de pilar de 14 m, es compatible con este rango de perfiles y que además ofrece una disponibilidad de almacenamiento bastante interesante.

Por otro lado, la altura de cumbrera, deberá ser algo más elevada, para por lo menos, poder desaguar de la cubierta por gravedad las aguas provenientes de las precipitaciones. Suponiendo una pendiente con un ángulo de 6° en ambos faldones, resulta una altitud de cumbrera de:

$$h_{cumbrera} = h_{pilar} + \frac{l}{2} \cdot \tan \alpha = 14 + \frac{28}{2} \cdot \tan 6^\circ \approx 15,417 \text{ m}$$

Donde l es la luz de uno de los dos pórticos de fachada que componen la nave (en el apartado 1, se definió que la nave iba a estar compuesta por dos naves adosadas, debido a la elevada luz que se tendría si sólo estuviese compuesta por una sola).

Una vez introducidas las dimensiones de los pórticos, se introduce otro pórtico idéntico adosado, sin más que hacer clic sobre el fondo del dibujo, y accionando en la ventana emergente la opción “Generar pórticos iguales” → “Número de pórticos a generar” → 1.

Una vez hecho esto, es importante antes de continuar, indicarle al programa que realice los cálculos con la normativa apropiada y con las unidades apropiadas. Estas normativas son para el acero conformado y laminado, la “CTE DB SE-A (España)” y para el hormigón, la “EHE-08 (España)”. Las unidades apropiadas, son las empleadas en el mundo no anglosajón, es decir, las del Sistema Internacional (J).

Continuando con el modelo de estructura de la nave, a continuación, se deben definir las cargas de viento y nieve a las que va a estar sometida la nave. Para ello, el programa demanda en primer lugar, haciendo clic en los comandos pertinentes, el número de vanos, la separación entre pórticos, pesos de distintos cerramientos, etc.

El número de vanos, se corresponde con la cantidad de pórticos que va a tener la nave (contando sólo, los de un lado de la nave, es decir, no se cuentan los adosados también). Para ello, primero es necesario conocer cuál va a ser el valor de la crujía (distancia entre dos pórticos consecutivos) que determinará, junto con la profundidad de la nave, el número de vanos.

En primera instancia, basándose el alumno en los valores adoptados usualmente en la asignatura del Máster relacionada con esta materia, se escogió un valor cercano a los 5 m (5,09 m concretamente) lo que suponía la disposición de 22 vanos. Pero, una vez realizado todo el cálculo estructural de las barras, debido a la gran cantidad de las mismas que había que disponer, se pensó que quizás, se podía aumentar el tamaño de la crujía, en aras de obtener una tipología estructural más simple (menos arriostramientos en fachada lateral) pero sobretodo, el empleo de una menor cantidad de acero (menor coste económico), aunque eso supusiera un aumento de las cargas a soportar por las jácenas, pilares y demás elementos estructurales, con el consiguiente aumento del tamaño de estos perfiles o incluso, su no posible utilización. Así pues, mediante una crujía de 8 m, se consiguió una estructura más simple, ligera y económica, siendo posible el empleo de perfiles comerciales disponibles en el mercado. Luego, finalmente, el valor de crujía seleccionado fue de 8 m, con la consiguiente disposición de 14 vanos.

Por otro lado, como pesos de cerramiento a suponer, para el dimensionado de la estructura, se van a considerar los siguientes valores recomendados:

- i. Peso del cerramiento de cubierta: 0,15 kN/m²
- ii. Sobrecarga del cerramiento de cubierta: 0,40 kN/m²
- iii. Peso de los cerramientos laterales: 0,15 kN/m²

De donde los valores de 0,15 kN/m² y 0,40 kN/m², son aproximados, teniéndose en cuenta, que el peso de los cerramientos suele tener un valor cercano a 0,15 kN/m² (aunque esto obviamente dependerá del tipo de cerramiento seleccionado finalmente, sin embargo, es necesario considerar algún valor) y que el peso de la estructura de este tipo de naves, suele estar en 0,25 kN/m², que con los 0,15 kN/m² de cerramiento, se queda en un total de 0,40 kN/m².

A continuación, se introducen los parámetros necesarios para calcular las acciones del viento. Estos son:

- i. Normativa a aplicar: CTE DB SE-AE.
- ii. Zona eólica: dado que la nave se encuentra en el polígono industrial de Cabanillas del Campo (Guadalajara), según el mapa eólico adjunto, se tiene Zona Eólica A, que indica, que se considera para el cálculo de las cargas de viento, una velocidad del viento de 26 m/s.

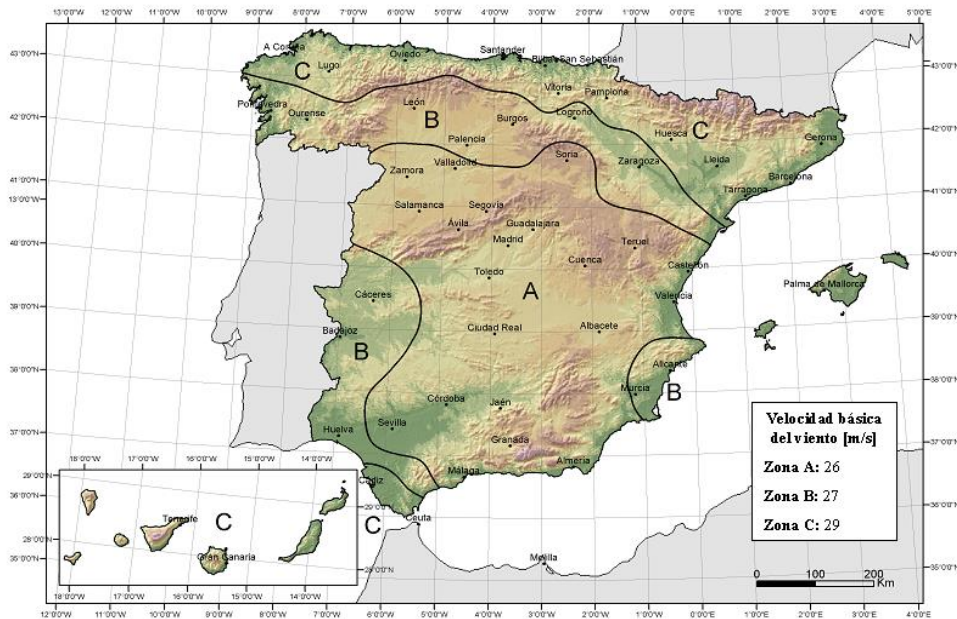


Imagen 3: Mapa eólico del CTE. Fuente: CTE

- iii. Grado de aspereza: Única y IV: no se consideran distintos grados de aspereza en función de la dirección del viento, y es sabido que se trata de una “Zona urbana, industrial o forestal” (IV).
- iv. No se considera la existencia de huecos que permitiesen la entrada de aire en el interior de la nave, ya que como en la nave industrial no se prevé la instalación de ventanales que se puedan abrir, no es necesario considerar hipótesis de vientos interiores de presión o succión.

Para la introducción de las cargas de nieve, basta con indicarle al programa el municipio en el cual está ubicado la nave, para que, con la base de datos que tiene implementada el programa, proporcione los parámetros que permiten calcular las distintas configuraciones que pueden adoptar las sobrecargas de nieve sobre la nave.

Así pues, mediante estos sencillos pasos, quedan definidas las zonas de viento y nieve en el emplazamiento donde se encuentra la nave industrial.

3.1.2 Dimensionado de las correas

Antes del dimensionamiento de los principales elementos estructurales, es posible calcular los elementos encargados de la transmisión de las cargas de cubierta y laterales a estos elementos estructurales: las correas.

Para llevarlo a cabo, es necesario tener en cuenta algunos detalles. El primero de ellos, es decidir cuántos vanos abarcará cada correa: esto es, para el caso de las de cubierta, sobre cuántas jácenas estará apoyada cada correa. Esto es importante, para reducir el número de uniones y barras (y por tanto, de costes) en esta parte de la edificación, ya que, cuantos menos vanos abarquen las correas, más uniones se deberán realizar, y mayor número de correas se deberá emplear. Usualmente, a falta de conocimiento de la pericia de los

constructores, se opta porque cada correa sólo abarque un vano (es decir, dos apoyos por vano). Esta explicación se entiende mejor con el ejemplo que se adjunta:

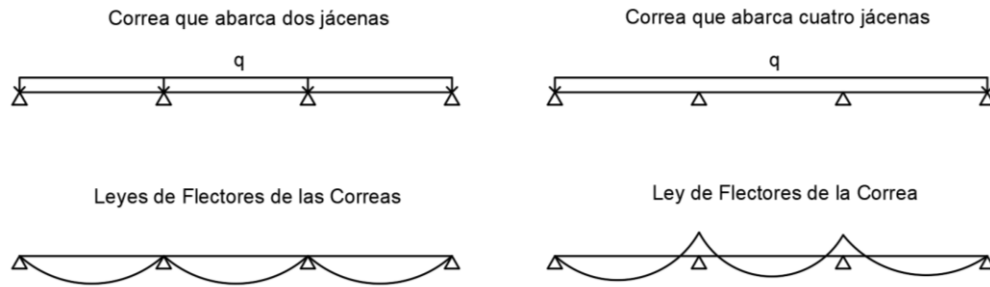


Figura 11: Diagramas de Fletores en cada tipo de montaje. Fuente: Elaboración propia

En donde se observa que al someter a la correa a una carga uniformemente distribuida, en el caso de la correa que abarca tres vanos, los momentos en las jácenas intermedias no se anulan pero tampoco resultan excesivos, lo cual, es otra ventaja frente al otro montaje.

Sin embargo, dado que se trata de un trabajo académico y no un proyecto real, en el que no se tiene conocimiento sobre qué constructores ejecutarán la edificación, se opta por disponer una correa que abarque un solo vano.

La explicación para las correas laterales, es análoga.

Otro detalle a tener en cuenta, es conocer el límite de flecha. Según el CTE DB-SE, apartado 4.3.3.1, para estos elementos estructurales, la flecha máxima debe ser inferior a $L/300$, donde L obviamente, es la longitud de la correa en cuestión.

También es necesario conocer el tipo de fijación que van a tener las correas, esto es, el tipo de unión entre éstas y el elemento al que transmiten las cargas (jácenas, pilares). Se selecciona la fijación de tipo rígida, ya que es un tipo de fijación, que impide que las correas se torsionen.

Por último, se debe seleccionar qué tipo de perfil se quiere como correa (tubulares, en Z,...). Habitualmente, se emplean perfiles con forma de "C" por sus buenas características resistencia – peso, luego, para este TFM, tanto para las correas de cubierta como laterales, se emplearán perfiles conformados en frío CF. Será necesario indicar también, que su resistencia es de 235 MPa (S235) en lugar de la habitualmente empleada (S275) ya que se trata de perfiles conformados en frío.

Antes del dimensionado de las correas mediante el programa, conviene determinar qué separación entre correas resulta factible constructivamente en un caso real. Para el caso de las correas de cubierta, suponiendo que en las limahoyas hay que dejar 30 cm de espacio para ubicar los canalones de recogida de aguas pluviales, se tiene una anchura libre por faldón:

$$L_{faldón} = \frac{Luz}{2 \cdot \cos \alpha} = \frac{28}{2 \cdot \cos 6^\circ} \approx 14,077 \text{ m}$$

$$L_{disponible} = L_{faldón} - 2 \cdot e_{canalón} = 14,077 - 2 \cdot 0,30 = 13,477 \text{ m}$$

Limitando la separación máxima admisible entre correas a 2 m (valor empleado habitualmente en la práctica) se tendrá el siguiente número de huecos:

$$n^{\circ} \text{ huecos} = \frac{L_{\text{disponible}}}{L_{\text{máx}}} = \frac{13,477}{2} = 6,74 \text{ huecos}$$

Dado que el número de huecos debe ser un número entero, se tendrían 7 huecos (entero inmediato superior, para tener separación inferior a 2 m) lo que supone tener 8 correas/faldón separadas una distancia aproximada de:

$$s_c = \frac{L_{\text{disponible}}}{n^{\circ} \text{ huecos}} = \frac{13,477}{7} \approx 1,925 \text{ m}$$

Empleando este valor de separación entre correas y fijando las características anteriormente detalladas, se le indica al programa que seleccione el modelo de correas tipo "C" que cumplan con los Estados Límite en la combinación de cálculo más desfavorable.

Sin embargo, para el caso en análisis, resulta que ninguna correa del tipo "C" cumple estos Estados Límite. Esto es lógico, pues hay que recordar que habitualmente las crujías son de en torno a 5 m, y la dispuesta en esta nave de 8 m. Luego, al tenerse mayores longitudes de barra, es más difícil cumplir los requisitos normativos de flexión. Ante esta situación, lo más conveniente es fijar un tipo de perfil determinado, y pedirle al programa que determine la separación entre correas óptima. Probando con diversos perfiles de la familia, se obtiene que el modelo más resistente de la familia (el CF-300x4.0) con una separación de 1,75 m (la mínima recomendada) cumple con todos los Estados Límite. Se escoge esta configuración porque, a pesar de ser el último modelo de la familia, es la configuración que menos material emplea (tipología estructural más económica).

Para el caso de las correas laterales, se procede de forma análoga. Teniendo en cuenta que conviene dejar una determinada distancia entre la correa más baja y la base por cuestiones de facilidad en la construcción, considerando este valor de 30 cm, se tiene una longitud disponible de:

$$L_{\text{disponible}} = L_{\text{pilar}} - e_{\text{libre}} = 14 - 0,30 = 13,7 \text{ m}$$

Lo que conlleva un número de huecos de:

$$n^{\circ} \text{ huecos} = \frac{L_{\text{disponible}}}{L_{\text{máx}}} = \frac{13,7}{2} = 6,85 \text{ huecos}$$

Es decir, 7 huecos, que implica tener 8 correas en cada lateral, separadas una distancia:

$$s_c = \frac{L_{\text{disponible}}}{n^{\circ} \text{ huecos}} = \frac{13,7}{7} \approx 1,957 \text{ m}$$

Dado que habitualmente, se dispone el mismo modelo de correas tanto en la cubierta como en los laterales, se decide fijar el perfil CF-300x4.0 y que el programa determine la separación óptima entre las correas. Procediendo de este modo, el programa indica que la separación óptima es de 2 m. Dado que es superior a la calculada, se fija la separación calculada, comprobándose que cumple con los Estados Límite.

3.1.3 Exportación del Trabajo a CYPE 3D

Una vez determinados los perfiles concretos a disponer como correas, ya no es posible realizar más cálculos estructurales mediante el Generador de Pórticos. Es necesario exportar el proyecto al programa CYPE 3D. Para ello, es necesario configurar ciertos parámetros (tipo de apoyos, tipo de pandeo,...).

Una vez exportado a CYPE 3D, se deben definir ciertos datos de obra (dimensiones de los distintos tipos de cimentaciones, módulos, características de las uniones, tipos de aceros de éstas, normativas a emplear) pero lo fundamental aquí es definir las combinaciones de cálculo que debe emplear el programa para el cálculo de los desplazamientos, pues los Estados Límite de Servicio (correspondientes a deformaciones y desplazamientos) que incorpora el programa por defecto, no son exactamente los que exige el *CTE DB SE-Acciones*.

Una vez hecho esto, ya se puede emplear el programa para llevar a cabo el cálculo estructural de la nave.

3.2 Cálculo Estructural Mediante CYPE 3D

Para trabajar más cómodamente con este programa, conviene definir una rejilla (red reticular adaptada a la separación entre pórticos, luz y profundidad, que permite una mejor apreciación de la estructura y de sus distancias) y de unos niveles, que facilitan mucho el trazado de las barras y elementos a falta de definir (arriostramientos laterales, de cubierta, uniones, cimentaciones,...).

También, es interesante definirse varias vistas, aparte de la tridimensional que muestra el programa por defecto, para una fácil manipulación de la estructura.

Antes de realizar el cálculo estructural, obviamente, es necesario definir el resto de elementos estructurales de los que constará la nave. Así pues, el primer paso en este apartado, será describir los detalles a tener en cuenta en el trazado de los elementos estructurales que faltan.

3.2.1 Definición del Sistema Contraviento Frontal

El sistema contraviento frontal, no es más que, los pilares interiores de los pórticos de fachada de la nave. Dado que las luces de cada nave adosada no son muy grandes, bastará con introducir tres pilares en el interior de cada pórtico de fachada (4 en total, pues al ser dos naves adosadas, hay dos pórticos de fachada por nave). Luego, cada pilar estará separado uno del otro, 7 m.

Dado que las longitudes de los pilares son elevadas (de 14 a 15,4 metros) será necesario disponer arriostramientos (tanto en fachada como en los laterales), si se quiere evitar el uso de perfiles excesivamente grandes para los pilares o incluso que no sea factible la edificación (puede no haber perfiles IPE que tengan la rigidez suficiente).

Relacionado con este hecho, el CTE impone en los elementos estructurales tanto principales como secundarios, unas esbelteces reducidas ($\bar{\lambda}$) máximas, a saber:

- En elementos principales:
 - Sometidos a compresión: $\bar{\lambda} \leq 2$
 - Sometidos a tracción: $\bar{\lambda} \leq 3$
- En elementos secundarios:
 - Sometidos a compresión: $\bar{\lambda} \leq 3$
 - Sometidos a tracción: $\bar{\lambda} \leq 4$

Las esbelteces reducidas máximas impuestas por el CTE no previenen el fallo de las barras por pandeo, simplemente se imponen para que sea poco apreciable la flexión de las barras ante los distintos estados de carga.

Por tanto, los arriostramientos se disponen para disminuir la longitud efectiva de pandeo de los pilares, y por tanto así, poder llevar a cabo edificaciones de mayor altura con perfiles comerciales convencionales.

Para esta nave en concreto, en primera instancia, se intentó realizar la estructura de la nave con un arriostramiento de fachada (división del pilar en dos tramos) ya que, dada la gran longitud de los pilares, se daba por hecho que sin arriostramiento no habría perfiles comerciales IPE que cumplieran con los distintos estados límite.

Efectivamente, con un solo arriostramiento, ningún perfil IPE cumplía los estados límite del ELU de Pandeo (luego sin arriostramiento, menos todavía). Entonces, posteriormente, se probó con dos y tres arriostramientos. El resultado fue, que para dos y tres arriostramientos, se obtenían los mismos perfiles para los pilares del pórtico interior, IPE 550. El resultado se analiza en los pilares de los pórticos interiores, puesto que, en esta tipología estructural de nave, son los más desfavorables (los pilares que más cargados están).

Esto era debido, a que a partir de dos arriostramientos (tres tramos de pilar) el estado límite condicionante ya no era el de pandeo si no el de flecha. Luego, no se justificaba el uso de tres arriostramientos, y el modelo estructural final presentado en este TFM, consta de dos arriostramientos.

Para determinar la longitud correspondiente de cada tramo de pilar, para que todos los tramos tengan la misma longitud efectiva de pandeo, se deben conocer las nuevas condiciones de contorno o apoyos de cada barra. En efecto, al dividirse una barra en tres tramos, se está produciendo la configuración mostrada en la figura:



Figura 12: Modelo de barras de un pilar con dos arriostramientos. Fuente: Elaboración propia

Es decir, una barra empotrada – apoyada y dos barras biapoyadas. Luego, conociendo estos apoyos y sabiendo que se quiere la misma longitud efectiva en cada tramo, se debe plantear el siguiente sistema de ecuaciones lineal:

$$\begin{cases} h = h_1 + h_2 + h_3 \\ \beta_1 \cdot h_1 = \beta_2 \cdot h_2 = \beta_3 \cdot h_3 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 15,471 = h_1 + h_2 + h_3 \\ 0,7 \cdot h_1 = 1 \cdot h_2 = 1 \cdot h_3 \end{cases}$$

De donde se obtiene: $h_1 = 6,45 \text{ m}$; $h_2 = 4,50 \text{ m}$; $h_3 = 4,50 \text{ m}$.

Evidentemente, estos valores son sólo para el pilar central. Para los pilares de 14 m los valores serían: $h_1 = 6,42 \text{ m}$; $h_2 = 4,50 \text{ m}$; $h_3 = 3,08 \text{ m}$.

Una vez determinados estos valores, pueden trazarse los pilares que configuran el arriostramiento de la fachada frontal. Sólo falta por determinar los perfiles necesarios por criterio de esbeltez reducida. Este paso podría omitirse, ya que, de todas formas, CYPE comprueba todos los perfiles de la familia al realizar el cálculo. Pero, si se da la circunstancia de que el criterio más restrictivo para los pilares, es el de la esbeltez reducida, tras realizar el cálculo, si los perfiles preseleccionados cumplen, se evita realizar el paso de sustituir los perfiles que no cumplan y reiniciar el cálculo, proceso que, lleva su tiempo.

Entonces, aplicando la ecuación del radio de giro mínimo, para cada barra de fachada según este criterio, se requieren los siguientes perfiles:

Barra de Fachada	Plano	Radio de giro mínimo (mm)	Perfil que cumple	Radio de giro del perfil (mm)
Pilares	XY	26,00	IPE 240	26,95
	XZ	89,10		99,77
Jácnas	XY	10,08	IPE 100	12,40
	XZ	40,32		40,70

Tabla 4: Selección de barras por criterio de esbeltez reducida

Nota: estos cálculos están todos desarrollados en el Anejo de Cálculos del TFM.

Donde en cada caso, el eje condicionante puede no ser el mismo (para el caso de los pilares, era el eje débil, pero para el de la jácena, el eje fuerte, puesto que el eje débil de la misma, está arriostrado por las correas de cubierta (lo que disminuye significativamente su longitud de pandeo en ese eje)).

Una vez introducidos los pilares, el siguiente paso es la introducción de los arriostramientos: montantes y diagonales. Análogamente al caso de los pilares, conviene preseleccionar los perfiles por criterio de esbeltez, teniendo en cuenta que los montantes de fachada son elementos que normalmente trabajan a compresión y las diagonales, a tracción (esto influye en los valores de las esbelteces reducidas máximas que impone el CTE). Luego, para cada tipo de barra, se han obtenido los siguientes perfiles:

Barra de Fachada	Plano	Radio de giro mínimo (mm)	Perfil que cumple	Radio de giro del perfil (mm)
Montantes	XY	40,32	SHS 120x3.0	47,55
	XZ			
Diagonales	XY	18,28	L 100x100x6	19,70
	XZ			

Tabla 5: Selección de arriostramientos por criterio de esbeltez reducida

Como se puede observar, para estos elementos, no se han escogido perfiles IPE, puesto que, para el caso de los montantes, es habitual escoger perfiles tubulares huecos, ya sean cilíndricos o tetraédricos (cuyos momentos de inercia son idénticos en ambos ejes de trabajo, luego sus radios de giro, también lo son) y para el caso de las diagonales, tirantes en forma de "L" (en los que también se tiene el mismo radio de giro en cada eje de trabajo).

Nota: para el caso de las diagonales, las longitudes de pandeo se dividen a la mitad, ya que estas barras están atornilladas en su cruce.

Luego, una vez introducidos todos estos elementos, el pórtico de fachada queda definido como se muestra en la siguiente captura de pantalla:

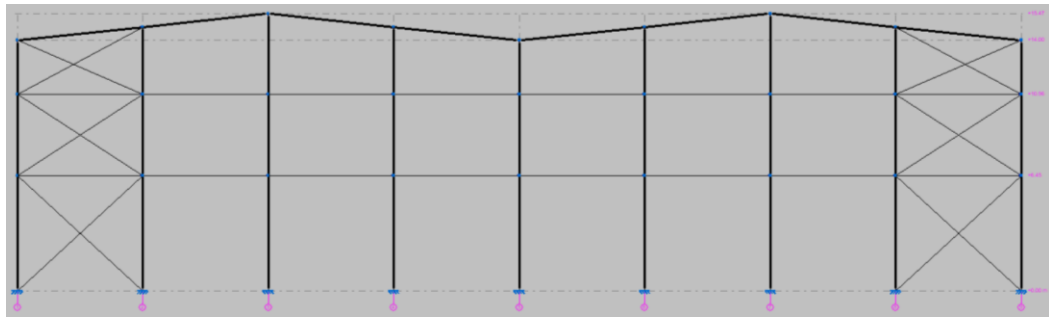


Imagen 4: Pórtico de Fachada. Fuente: CYPE

Sólo queda por definir algunos apoyos de las distintas barras de este pórtico. Para ello, se articularán y empotrarán los extremos que sean necesarios en aras de simular estos apoyos. Así pues, las condiciones de los apoyos de cada tipo de barra, son las siguientes:

- i. Las jácenas trabajan como vigas continuas apoyadas sobre las cabezas de los pilares de los pórticos de fachada: luego, se deben articular las cabezas de los pilares.
- ii. Los pilares son barras empotradas – apoyadas. En los pilares “exteriores” (los dos exteriores más el interior que separa los dos pórticos de fachada) ya quedó definida su base como empotrada al configurar esta disposición durante la exportación del proyecto a CYPE 3D, pero los nuevos pilares de fachada dibujados no. Por otro lado, el extremo apoyado ya se ha indicado que se debe articular en el punto anterior.
- iii. Las montantes y diagonales son elementos biarticulados, luego se deben poner articulaciones en ambos extremos de la barra.

Una vez establecidas estas condiciones de apoyo, se le debe indicar a CYPE que las diagonales no se verán sometidas a cargas frontales, ya que son elementos que trabajan sólo a tracción en el plano paralelo al pórtico, luego, las cargas frontales que reciban las transmitirán íntegramente a los pilares de fachada.

Con este último detalle, quedan definidos los pórticos de fachada o sistemas contraviento frontal.

3.2.2 Definición de los Pórticos Interiores

Los pórticos interiores, en verdad, ya fueron generados al introducir en el Generador de Pórticos el número de vanos y el valor de crujía, luego en este caso, no hay que introducir nuevas barras, sólo definir los perfiles a disponer en este pórtico, para que cumplan los requisitos establecidos por el CTE de esbelteces reducidas máximas.

Luego, empleando las mismas expresiones que en el apartado anterior, se tiene:

Barra de Pórtico Interior	Plano	Radio de giro mínimo (mm)	Perfil que cumple	Radio de giro del perfil (mm)
Pilares	XY	26,00	IPE 240	26,95
	XZ	89,10		99,77
Jácnas	XY	10,08	IPE 400	39,49
	XZ	161,26		165,45

Tabla 6: Selección de barras por criterio de esbeltez reducida

Como se puede observar, los pilares del pórtico interior requieren el mismo perfil que los de fachada. Esto es lógico puesto que, como se ha comentado anteriormente, el arriostramiento dispuesto en fachada, se debe disponer también sobre las fachadas laterales, luego se tienen, las mismas longitudes de pandeo que en los pilares exteriores del pórtico de fachada.

Por otro lado, se observa que el perfil requerido en las jácnas es mucho más grande que el requerido en las jácnas de fachada. Esto es debido, a que en el plano XY, las jácnas están apoyadas sobre los pilares interiores del pórtico de fachada, mientras que, en los pórticos interiores, estos pilares no están, de ahí que aumente tanto el radio de giro, ya que aumenta la longitud de pandeo.

Luego, disponiendo los perfiles obtenidos mediante este criterio, quedan definidos los pórticos interiores de esta nave industrial. La vista en CYPE3D de cualquiera de los pórticos interiores, sería la siguiente:

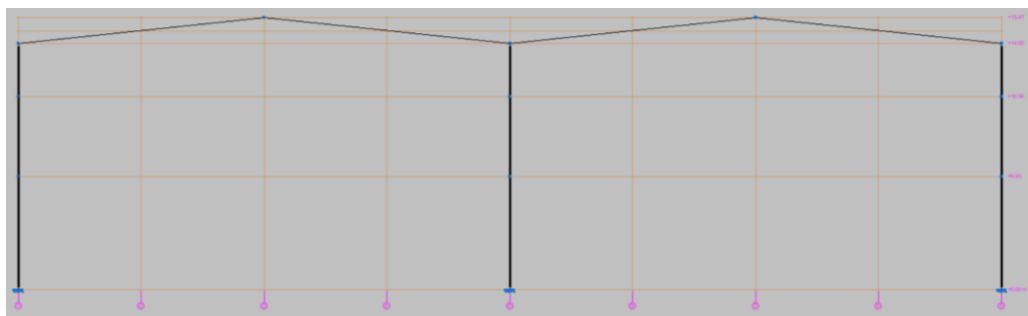


Imagen 5: Pórtico Interior. Fuente: CYPE

3.2.3 Definición del Sistema de Arriostramiento en las Fachadas Laterales

El sistema de arriostramiento en las fachadas laterales, es básicamente el mismo que el empleado en la fachada frontal, salvo que, en este caso, todos los pilares tienen una altura de 14 m y se ha de disponer un arriostramiento en las cabezas de los pilares y en los tramos en que están arriostrados, un elemento denominado “viga perimetral”. Los únicos tramos donde no se pone este elemento, son en el tramo de los pórticos de fachada al primer pórtico interior, y entre algunos pórticos interiores, donde en estos casos se ponen montantes tipo SHS junto con las diagonales.

Así pues, el arriostramiento a trazar, es el que se observa en la siguiente imagen:

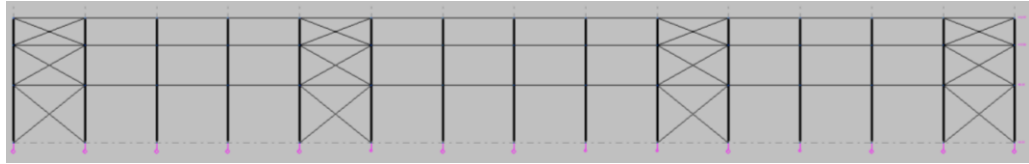


Imagen 6: Fachada Lateral. Fuente: CYPE

Para la determinación de los perfiles necesarios por criterio de esbeltez reducida, se procede de forma análoga a los casos anteriores, teniéndose en cuenta que, la viga perimetral se trata de un elemento que trabaja sólo a tracción, que es un elemento estructural secundario y que se suelen emplear perfiles IPE en este arriostramiento. Así pues, procediendo igual que en apartados anteriores, los perfiles necesarios por criterio de esbeltez reducida, son:

Barra de Fachada Lateral	Plano	Radio de giro mínimo (mm)	Perfil que cumple	Radio de giro del perfil (mm)
Viga Perimetral	XY	23,04	IPE 220	24,77
Montantes	XY	46,08	SHS 120x3.0	47,55
	XZ			
Diagonales	XY	19,73	L 110x110x6	21,77
	XZ			

Tabla 7: Selección de barras por criterio de esbeltez reducida

En donde nuevamente, para los montantes y las diagonales, se vuelven a usar las mismas familias de perfiles.

Una vez definidos estos perfiles, sólo queda articular sus extremos, para que trabajen de la forma que les corresponde.

Queda así por tanto definido el sistema de arriostramiento de las fachadas laterales. Comentar que para la “fachada lateral interna” que posee la nave, se ha escogido el mismo subsistema estructural que el empleado en las fachadas laterales exteriores, con la salvedad de que no se introducen las diagonales, para interferir lo mínimo posible con la actividad industrial que se desarrolla en el interior de la misma. Así pues, toma la forma siguiente:

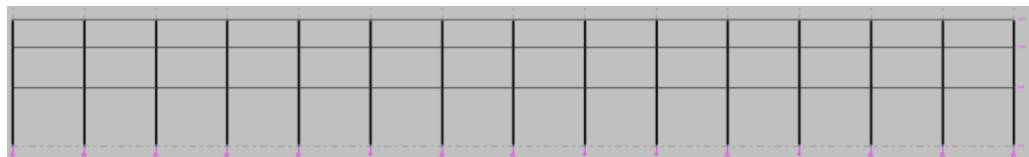


Imagen 7: “Fachada lateral interior” de la nave. Fuente: CYPE

3.2.4 Definición del Sistema de Arriostramiento de la Cubierta

El sistema de arriostramiento de cubierta consiste en la instalación de una viga tipo “Warren” o “Pratt” que abarca una crujía que, generalmente, va desde la jácena de fachada hasta la del primer pórtico interior. Sirve para amortiguar la acción del viento frontal sobre la nave. Para el caso de este TFM, se ha decidido disponer una Viga tipo Pratt como sistema contraviento de la cubierta, como se puede apreciar en la siguiente imagen:

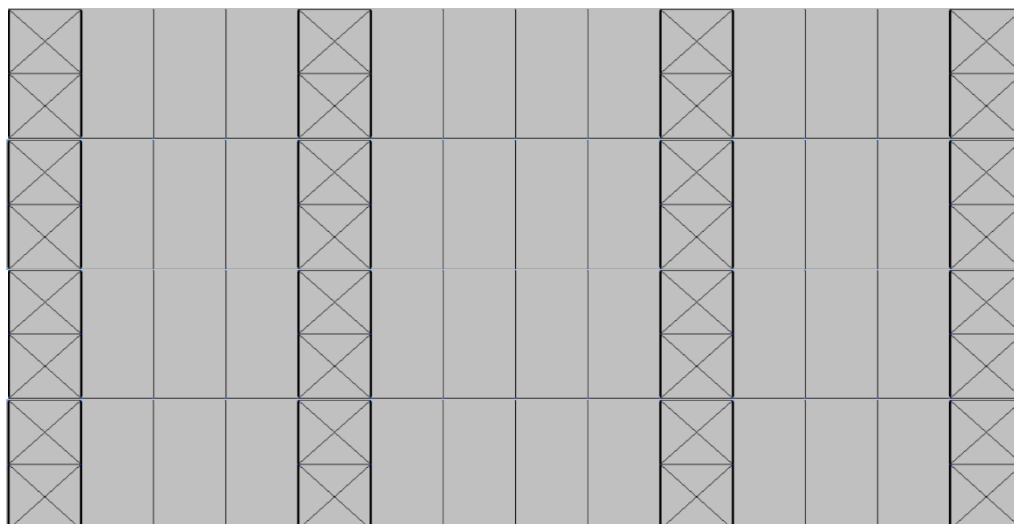


Imagen 8: Cubierta de la nave. Fuente: CYPE

Nótese que se repite la viga tipo Pratt dos veces en la zona central: esta repetición coincide con la repetición realizada de las diagonales en las fachadas laterales.

Así pues, se deberán trazar las barras por las que está compuesta esta viga: montantes y diagonales.

Como en los anteriores apartados, conviene seleccionar los perfiles que componen estas barras por el criterio de esbeltez reducida máxima, fijado por el CTE. Así pues, procediendo de forma análoga a los casos anteriores, se obtienen los siguientes perfiles:

Barra de SCV Cubierta	Plano	Radio de giro mínimo (mm)	Perfil que cumple	Radio de giro del perfil (mm)
Montantes	XY	46,08	SHS 120x3.0	47,55
	XZ			
Diagonales	XY	20,41	L 110x110x6	21,77
	XZ			

Tabla 8: Selección de barras por criterio de esbeltez reducida

Siendo válidos los mismos perfiles que los empleados para el sistema de arriostramiento de las fachadas laterales. Recordar que una vez más, se debe dividir la longitud de las diagonales a la mitad, y que en esta viga, las montantes pueden trabajar a tracción o a compresión, y que las diagonales siempre trabajan a tracción.

Como en casos anteriores, es necesario articular ambos extremos de estas barras.

Queda por tanto así pues definido el sistema contraviento de cubierta de la nave industrial.

3.2.5 Modelo de Barras de la Nave

Este apartado simplemente es para adjuntar la vista 3D de la nave, una vez se han introducido todas las barras necesarias que conforman su sistema estructural:

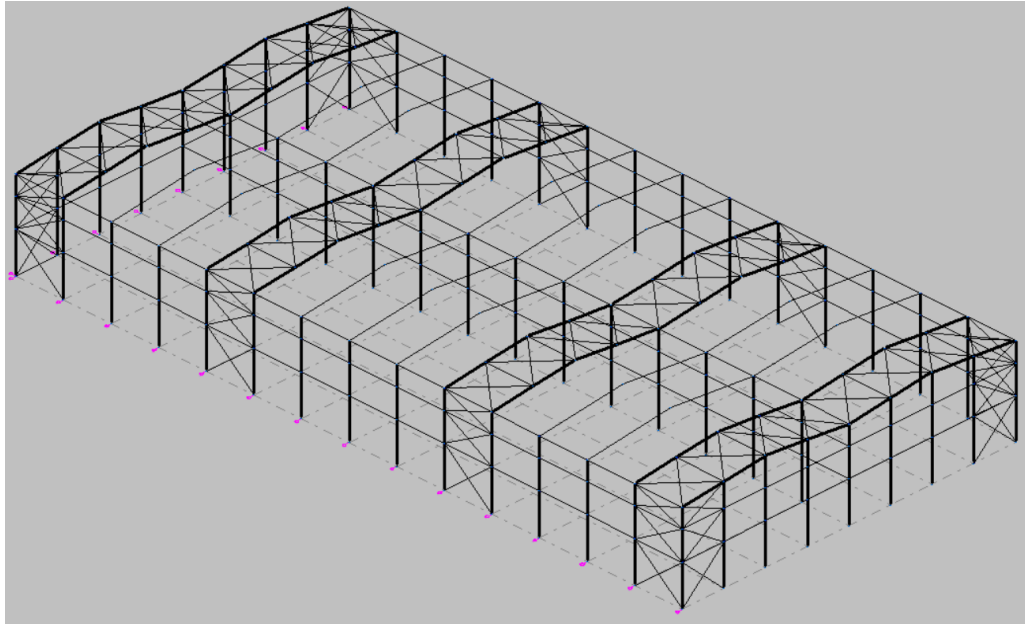


Imagen 9: Vista 3D de la nave. Fuente: CYPE

3.2.6 Repetición de los Sistemas de Arriostramiento de Fachada Lateral y Cubierta

Este apartado está dedicado de forma exclusiva a justificar el motivo por el cual, el sistema de arriostramiento de las fachadas laterales en los tramos iniciales y de cubierta, se disponen en puntos intermedios de la profundidad de la nave, como se ha mostrado en anteriores imágenes.

La explicación se entiende mejor, entendiendo la justificación de por qué se ponen estos tramos en los primeros pórticos, y no en todos y cada uno de ellos. El arriostramiento mediante montantes y diagonales en la fachada lateral y cubierta, se dispone para mitigar las acciones del viento frontal sobre los pórticos de fachada. Evidentemente, la disposición de estos en todas las crujías, atenuaría estos efectos en todos los pórticos. Pero esto no es particularmente útil y económico, por eso, se asume que los pórticos más alejados de este arriostramiento se verán menos beneficiados de este efecto, mientras que los más cercanos más. Cuando se tienen profundidades de nave tan elevadas, conviene repetir estos arriostramientos, para “renovar” el efecto que suponen. Se suelen disponer cada 40 m de nave más o menos. De ahí que se hayan puesto dos en esta, para estar del lado de la seguridad.

También se disponen estos arriostramientos, cuando en la nave se disponen juntas de dilatación térmica, que son elementos que permiten que las barras se dilaten y contraigan libremente debido a las condiciones climáticas. Se disponen otra vez en este caso los arriostramientos, porque estas juntas “interrumpen” la propagación del efecto de estos

arriostramientos. Las juntas se disponen también para evitar considerar el efecto de las acciones térmicas sobre el cálculo del sistema estructural de la nave, ya que esto supone una complicación adicional. Se explica este elemento, porque en la nave de este TFM, también se ha decidido disponer estas juntas, con la particularidad que su disposición, coincide con la repetición de los arriostramientos hecha por el motivo anteriormente mencionado, luego, no es necesario disponer una vez más, estos arriostramientos intermedios debidos a este efecto.

3.2.7 Coeficientes de Pandeo y de Momento Equivalente a asignar a las Barras de la Nave

Para definir los coeficientes de pandeo de las barras, en primer lugar, es necesario conocer cuáles son los planos en las que éstas pueden pandear. Tomando como sistema de referencia, el sistema de ejes cartesianos local de cada barra (ver figura), se establecerán para cada plano de trabajo, los distintos valores de los coeficientes de pandeo y de momento equivalente.

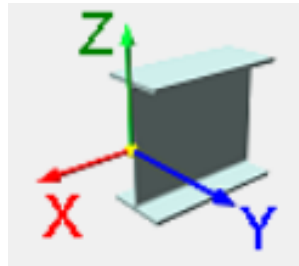


Imagen 10: Sistema de ejes coordenados locales de un perfil. Fuente: CYPE

Así pues, una vez establecidos los planos de pandeo, es posible inicializar la configuración de los coeficientes de pandeo de los distintos tipos de barras.

CYPE 3D, por defecto establece él mismo distintos coeficientes de pandeo para cada una de las barras. El problema es que muchos de los valores que asigna, no van acorde con el tipo de montaje estructural que realmente se tiene. Así pues, se hace necesario la modificación de estos valores en la mayoría de las barras.

Para saber qué valores se han de introducir en cada tipo de barra, se ha hecho un recordatorio en el Anejo de Cálculos sobre cómo obtener estos valores en función de la tipología estructural que se tenga.

Por otro lado, es necesario conocer la capacidad de transmisión de momentos que se tiene en cada interconexión entre barras, para afrontar el cálculo estructural adecuadamente. Para ello, como en el caso del coeficiente de pandeo, cuando se tienen configuraciones de apoyos distintas a las tradicionales (empotramientos simples, articulaciones, apoyos que permiten el movimiento en una o dos direcciones,...) es necesario recurrir a expresiones de cálculo disponibles en la normativa. CYPE3D por defecto asigna a todas las barras coeficientes unidad. Así pues, en el Anejo de Cálculos, se ha hecho otro recordatorio, sobre cómo obtener estos valores, y se han adjuntado los valores obtenidos para los elementos estructurales de la nave de este TFM.

3.2.8 Pandeo Lateral en las Barras

El pandeo lateral en barras sucede cuando existen esfuerzos que provocan la torsión de los pilares y demás elementos estructurales. Para el caso de las naves industriales, este efecto no se considera, pues no suele haber esfuerzos sobre la estructura que provoquen este tipo de fenómenos. Luego, se le debe indicar a CYPE 3D que no considere este fenómeno en todas las barras de la estructura.

3.2.9 Introducción de los Valores de Flechas Límite

Es necesario indicarle a CYPE 3D los valores de flechas relativas máximas admisibles en las distintas barras que componen la estructura. También es necesario indicarle el tipo de flecha a comprobar (vertical (flecha) u horizontal (desplome)).

Así pues, en los pilares, es necesario indicarle al programa que compruebe en estos los desplomes, a los que él denomina “Flecha tangente al nudo 1”, y que la flecha máxima relativa debe ser de $L/250$ en todos los planos.

Para las jácenas y demás elementos estructurales, no es necesario indicarle al programa que compruebe las flechas “Secantes” y que esta flecha máxima relativa debe ser inferior a $L/300$, porque ya incorpora esta configuración por defecto.

3.2.10 Cálculo de las Barras de la Nave Industrial

Una vez introducidas todas las barras junto con sus correspondientes condiciones de contorno, es posible indicarle a CYPE que indique cuáles de los perfiles seleccionados cumplen los Estados Límite y cuáles no.

Para ello, se debe acudir a la pestaña “Calcular” e inicializar el cálculo. El programa mostrará algunos mensajes de advertencia que pueden ser ignorados.

Si todo ha ido bien, tras finalizar el cálculo, el programa emitirá un informe denominado “Informe final de cálculo”, en el que sólo se mostrará el mensaje “No se ha activado la opción de comprobación de resistencia al fuego”. Esta opción de comprobación, se puede activar cuando se trazan o definen las barras de la nave. En este TFM no se ha activado, ya que el método que incorpora CYPE para realizar esta comprobación no es adecuado para el caso de naves industriales.

Una vez realizado el cálculo, mediante la opción “Comprobar elementos” se visualizan las barras coloreadas en dos colores: en verde, que son las barras que cumplen todas las exigencias y estados límite, y en rojo, las que no cumplen una o todas las exigencias y estados límite. En este TFM en concreto, la mayoría de las barras (a excepción de las diagonales y los montantes de fachada) no cumplían alguno o todos los estados límite. Esto es debido, a que hay que tener en cuenta, que una crujía de 8 m es un valor bastante elevado (suelen estar en torno a 5 m) e implica que las jácenas deben soportar mayores esfuerzos, lo que conlleva que los criterios impuestos por los Estados Límite de Servicio y Últimos son más restrictivos que los de esbeltez reducida. También hay que tener en cuenta, que la altura de la nave es más elevada de lo habitual (15,417 m en la cumbre).

Dado que se han agrupado las barras que eran del mismo tipo (esto es, por ejemplo, al agrupar las montantes, cuando se selecciona una, se seleccionan todas) cuando se cambia una con un perfil que no cumple a uno que sí cumple, se cambian todas. Esto no sólo se hace por cuestiones de comodidad, sino también porque en los proyectos reales, se suelen utilizar los mismos perfiles para un mismo tipo de elemento estructural (montantes, diagonales, pilares interiores de fachada, jácenas interiores,...).

Así pues, cambiando los perfiles que no cumplen los requisitos por otros que sí, y rehaciendo el cálculo las veces que sean necesarias, se obtienen finalmente los perfiles que cumplen todas las exigencias y Estados Límite marcados por el CTE. Estos se encuentran disponibles para su consulta en el Anejo de Cálculos. También se realiza aquí un recordatorio de cómo calcular los distintos estados límite de las barras.

3.2.11 Dimensionamiento de las Uniones de la Estructura

El cálculo de las uniones, básicamente consiste en definir las soldaduras de los elementos unidos rígidamente (pilares con jácenas y las propias jácenas) y el cálculo de las dimensiones de las placas de anclaje y de los pernos que éstas llevan, según distintos estados límite exigidos por la normativa.

Las placas de anclaje se definen en las bases de los pilares. En rigor, habría tantos tamaños de placas de anclaje como fueran necesarios. Sin embargo, constructivamente, resulta más sencillo definir unos pocos tipos de placas de anclaje adecuados para cada conjunto de pilares notablemente diferentes. Así pues, se han definido tres modelos de placas de anclaje:

- Modelo 1: este modelo lo llevan los pilares de los pórticos de fachada, ya que poseen un nivel de cargas similar y los mismos perfiles IPE.
- Modelo 2: este modelo lo llevan los pilares exteriores de los pórticos interiores, ya que poseen también niveles de carga similares y tienen los mismos perfiles IPE.
- Modelo 3: este modelo de placa de anclaje lo llevan los pilares interiores de los pórticos interiores, por razones idénticas a las expuestas para los otros dos modelos. Se ha distinguido de las usadas en los pilares exteriores, debido a que éstos últimos están sometidos a mayor carga.

Así pues, el programa dimensionará cada modelo de placa de anclaje mediante el caso más desfavorable, de modo que se cumplirán todos los estados límite en cada uno de los pilares pertenecientes al mismo grupo de placas de anclaje.

Como tipo de pernos de anclaje, se han seleccionado patillas a 90º por sus buenas propiedades de anclaje.

Por último, resaltar que en todas las placas de anclaje se ha requerido el uso de cartelas para aumentar la rigidez y resistencia a flexión de la placa.

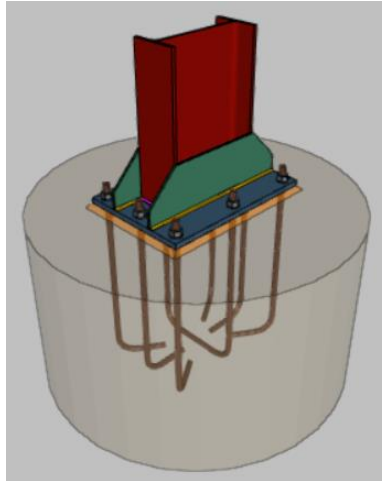


Imagen 11: Ejemplo de una de las placas de anclaje. Fuente: CYPE

Como en el caso de las barras, en el Anejo de Cálculos se hace un recordatorio de como calcular teóricamente todos los estados límite.

Sin embargo, el cálculo de las uniones soldadas entre distintos elementos estructurales (la formación de las jácenas a través de la unión por soldadura de dos perfiles IPE, la unión rígida entre los pilares de los pórticos interiores y sus jácenas) no se ha realizado debido a que CYPE no tiene desarrollado completamente este módulo de cálculo y el alumno autor de este TFM no dispone de conocimiento sobre cálculo de uniones, ya que no ha cursado la especialidad del máster de “Construcciones e Instalaciones Industriales”.

3.2.12 Dimensionamiento de las Cimentaciones

El dimensionamiento de las cimentaciones, como su propio nombre indica, consiste en determinar las dimensiones que deben tener para cumplir satisfactoriamente con todos los estados límite exigidos por la normativa.

Para la nave industrial de este TFM, se ha escogido como sistema de cimentación, zapatas aisladas.

El procedimiento seguido para su definición y dimensionamiento mediante CYPE ha consistido en definir todas las zapatas y, análogamente al procedimiento seguido con las placas de anclaje, asignar después ciertos tipos de zapata a un determinado conjunto de cimentaciones.

De tal forma, que se han escogido tres tipos de zapatas:

- Tipo 1: este tipo de zapata es cuadrada con el pilar en el centro y lo llevan los pilares interiores de los pórticos interiores.
- Tipo 2: este tipo de zapata es rectangular centrada y lo llevan los pilares de los pórticos de fachada. Se ha dispuesto una zapata rectangular, ya que son buenas frente a cargas de viento (situación habitualmente crítica en este tipo de pilares) y centradas para tener buen comportamiento tanto si esta fachada se encuentra a sotavento como a barlovento (en función del sentido del viento).

- Tipo 3: este tipo de zapata es rectangular excéntrica, y lo llevan los pilares exteriores de los pórticos interiores. Se han dispuesto excéntricas para cumplir mejor su función frente a cargas de viento frontales a la fachada lateral, situación habitualmente crítica en este plano. En este caso, CYPE suele sobredimensionar el canto de estas zapatas. Es por ello que se tiene que ir disminuyendo manualmente este canto e ir comprobando a partir de qué canto se deja de cumplir alguno de los estados límite.

Análogamente al caso de las uniones, se debe buscar qué zapatas tipo requieren mayores dimensiones, para utilizarlas como modelo a copiar en el resto de cimentaciones que se quiere que sean del mismo tipo. De esta forma, todas las zapatas respetarán los estados límite, la mayoría de ellas con mayor grado de cumplimiento al mínimo necesario.

Comentar que, en todas las zapatas, ha sido necesaria la disposición de emparrillados (armaduras) tanto inferiores como superiores. Las superiores ha sido necesario disponerlas porque no se cumplían los momentos de flexión negativos en las caras superiores de las zapatas.

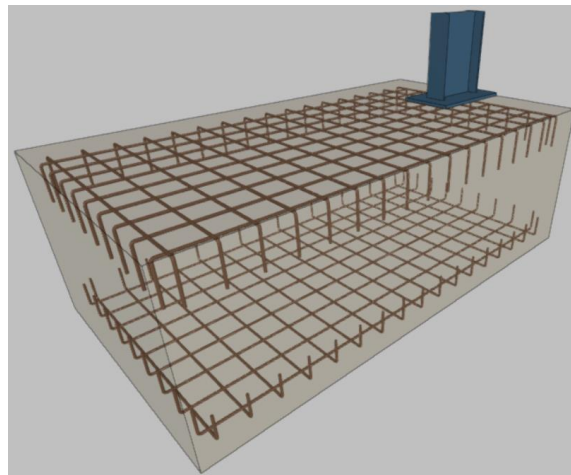


Imagen 12: Ejemplo de una de las zapatas. Fuente: CYPE

Como en el caso de las barras y de las uniones, en el Anejo de Cálculos se hace un recordatorio de como calcular teóricamente algunos de los estados límite de las cimentaciones.

4. Descripción de la solución final para la estructura

Este apartado está dedicado a mostrar qué perfiles comerciales IPE son los requeridos para que el sistema estructural cumpla con todos los Estados Límite de Servicio y Últimos, y las dimensiones de las placas de anclaje y cimentaciones.

Así pues, se detalla a continuación los resultados obtenidos:

4.1 Pórticos de Fachada

Cada uno de los 4 pórticos de fachada que posee la nave, consta de las siguientes barras y perfiles:

- i. 3 pilares intermedios, separados 7 m entre sí y formados por perfiles IPE400. El pilar central posee una longitud de 15,42 m.
- ii. 3 pilares exteriores, también formados por perfiles IPE400.
- iii. 4 jácenas de aproximadamente 28 m cada una, formadas por perfiles IPE200.
- iv. 8 montantes de 7 m cada una, formadas por perfiles SHS 120x3.0.
- v. 12 diagonales, de 3 longitudes diferentes, formadas por perfiles L 100x100x6.

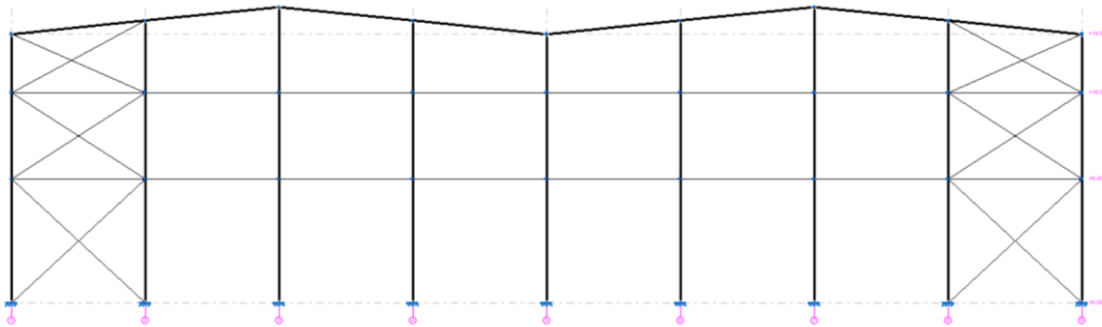


Imagen 13: Dos de los cuatro pórticos de fachada. Fuente: CYPE

4.2 Pórticos Interiores

Cada uno de los 24 pórticos interiores que posee la nave, consta de las siguientes barras y perfiles:

- i. 2 pilares de 14 m, separados la luz del pórtico, 28 m, formados por perfiles IPE600.
- ii. Una jácena, de aproximadamente 28 m de longitud, formada por perfiles IPE600.

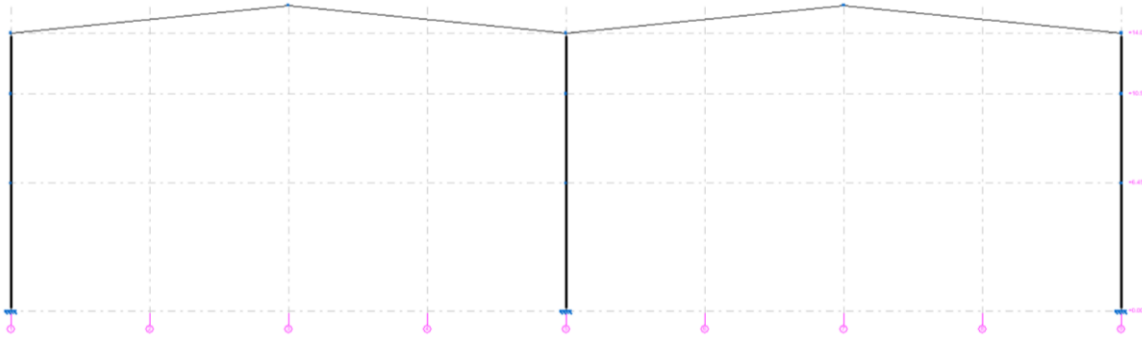


Imagen 14: Dos de los veinticuatro pórticos interiores. Fuente: CYPE

4.3 Fachadas Laterales

Cada una de las tres fachadas laterales que posee la nave, consta de las siguientes barras y perfiles:

- i. 12 montantes de 8 m cada una, formadas por perfiles SHS 150x16.0.
- ii. 30 perfiles IPE 220, de 8 m cada uno, que hacen de viga perimetral y dos arriostramientos.
- iii. A excepción de la fachada lateral interior, las otras dos cuentan con 24 diagonales de 3 longitudes distintas, formadas por perfiles L 110x110x6.

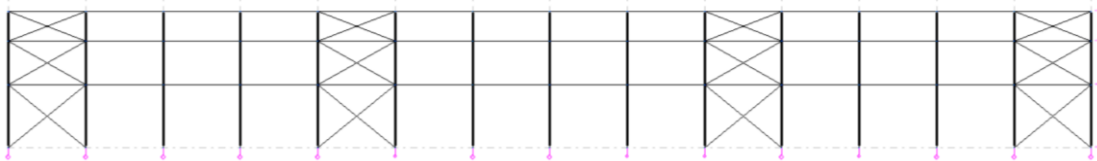


Imagen 15: Una de las dos fachadas laterales exteriores. Fuente: CYPE



Imagen 16: Fachada lateral interior. Fuente: CYPE

4.4 Cubierta

La cubierta que posee la nave, está compuesta por las siguientes barras y perfiles:

- i. 36 montantes de 8 m de longitud, formadas por perfiles SHS 150x16.0.
- ii. 64 diagonales de 10,63 m de longitud, formadas por perfiles L 110x110x6.

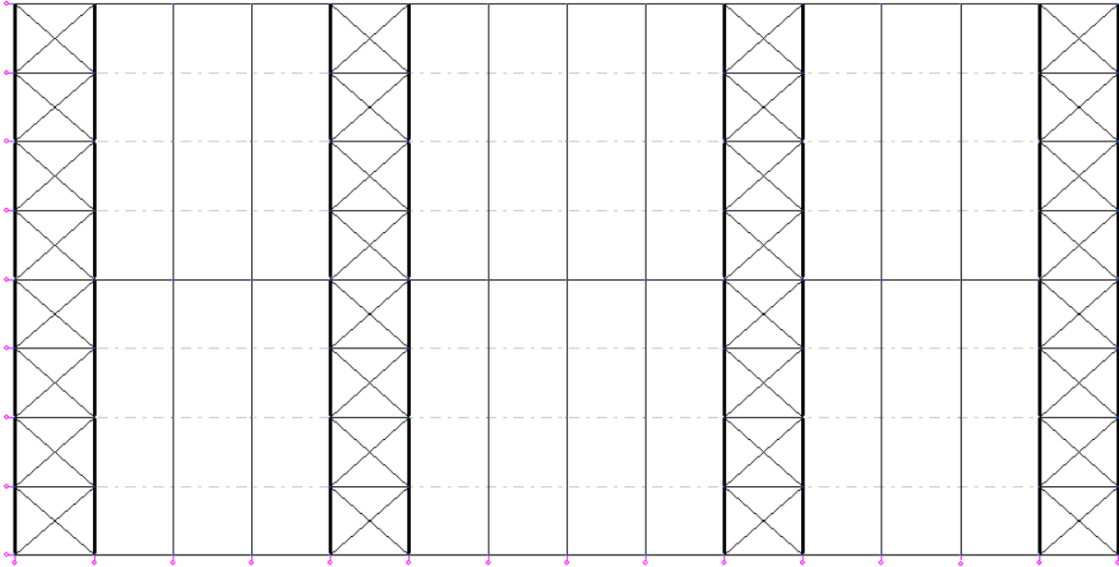


Imagen 17: Cubierta. Fuente: CYPE

4.5 Uniones (Placas de Anclaje)

La nave de este TFM consta de 3 tipos de placas de anclaje, que son las siguientes:

- i. Tipo 1: Placa base de 450x650x22 mm³, con cartelas de rigidez 2(200x70x9,0), y 8 pernos de 25 mm de diámetro y 55 cm de longitud con patillas a 90°.
- ii. Tipo 2: Placa base de 450x850x30 mm³, con cartelas de rigidez 2(200x80x9,0), y 8 pernos de 32 mm de diámetro y 65 cm de longitud con patillas a 90°.
- iii. Tipo 3: Placa base de 400x800x30 mm³, con cartelas de rigidez 2(150x55x7,0), y 8 pernos de 25 mm de diámetro y 45 cm de longitud con patillas a 90°.

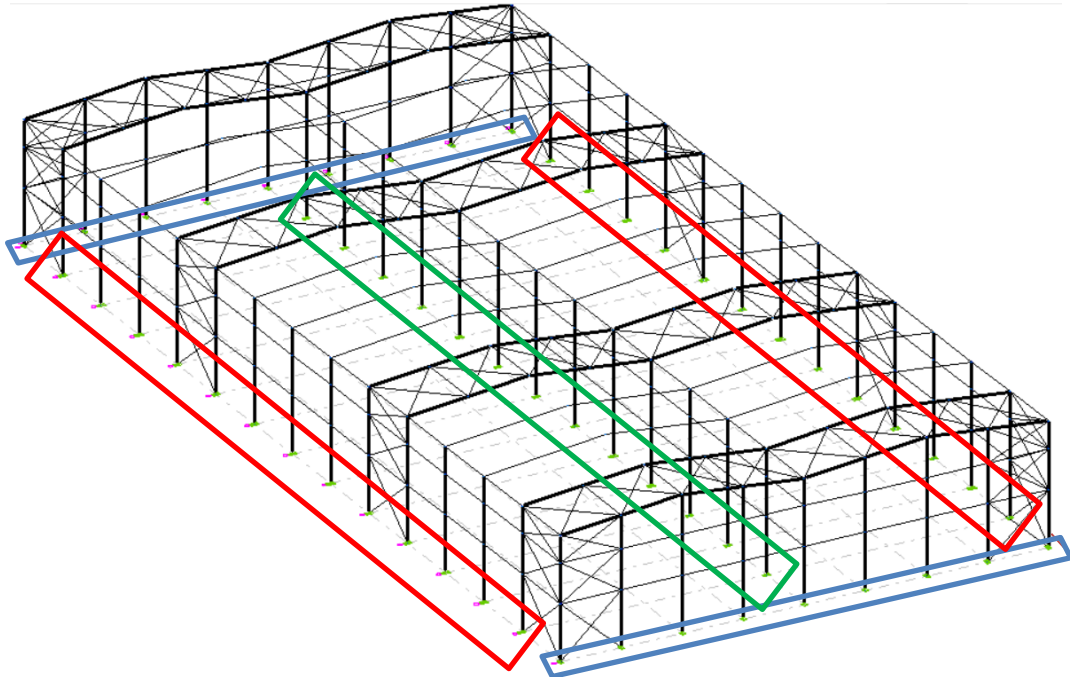


Imagen 18: Tipos de placas de anclaje empleadas. Azul: Tipo 1. Rojo: Tipo 2. Verde: Tipo 3. Fuente: CYPE

4.6 Cimentaciones

La nave de este TFM consta de 3 tipos de zapatas aisladas, que son las siguientes:

- i. Tipo 1: Zapata cuadrada de 350 cm de anchura y 85 cm de canto, con armado superior e inferior 14Ø16c/25.
- ii. Tipo 2: Zapata rectangular centrada de 275x395x80 cm³, con armado superior e inferior en la dirección de menor anchura de zapata, 29Ø12c/13 y en la dirección de mayor anchura, 20Ø12c/13.
- iii. Tipo 3: Zapata rectangular excéntrica de 215x390x155 cm³, con armado superior e inferior en la dirección de menor anchura de zapata, 19Ø20c/20 y en la dirección de mayor anchura, 10Ø20c/20.

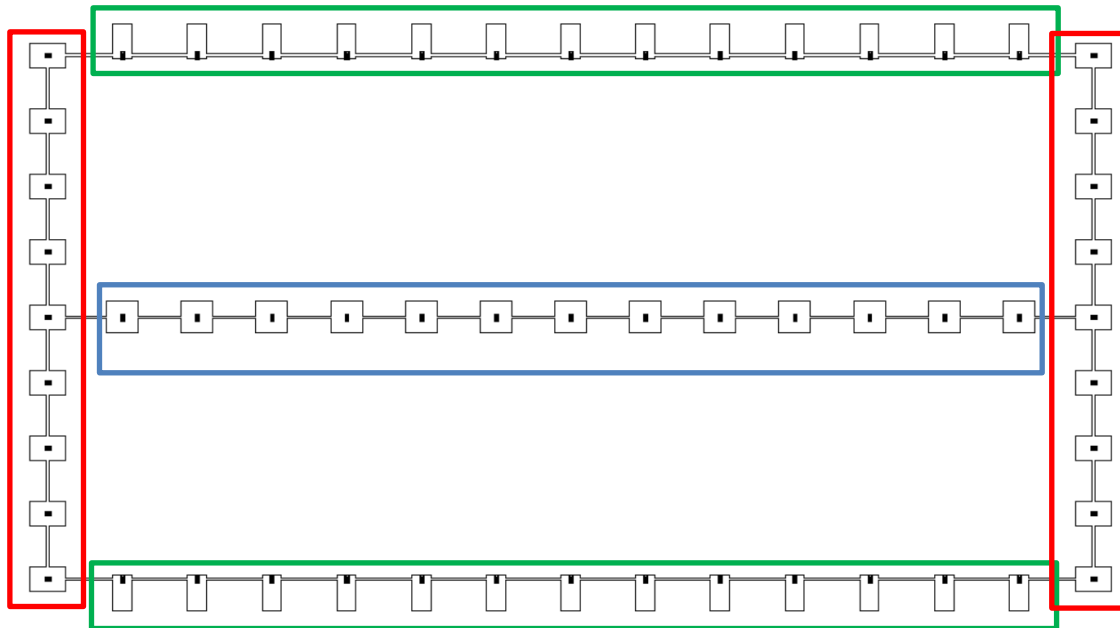


Imagen 19: Tipos de zapatas definidos. Azul: Tipo 1. Rojo: Tipo 2. Verde: Tipo 3. Fuente: CYPE.

5. Sistema de Protección Contra Incendios

Una vez se tiene definida la nave y la distribución en planta, se pueden definir ya los distintos sistemas de protección contra incendios (en adelante, PCI) con los que va a contar la nave. Así pues, los sistemas con los que debe contar esta nave exigidos por normativa son los siguientes: recorridos de evacuación, alarmas, extintores, hidrantes exteriores, Bocas de Incendio Equipadas (BIE) y rociadores automáticos de extinción contra incendios.

De tal forma que, a continuación, se expondrán las características que deberán tener estos sistemas y en su caso, se calcularán los elementos e instalaciones que requerirán para su correcto funcionamiento.

5.1 Determinación de la Carga de Fuego Ponderada y Corregida de la Nave Industrial

El primer paso para comenzar con el dimensionamiento/selección de equipos de una instalación de PCI, es determinar el riesgo de que se produzca un incendio en el establecimiento industrial. Para ello, en el caso de naves industriales dedicadas principalmente a dicha actividad, se hace uso del RSCIEI (Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales).

Este reglamento, en función de la combustibilidad de los productos del interior de la nave, facilidad de propagación del incendio (en función de los productos o incluso de la propia actividad),...establece un proceso para la determinación de los requisitos de PCI que debe tener una nave industrial. En concreto, clasifica los niveles de riesgo en bajo, medio y alto, lo que denomina *nivel de riesgo intrínseco del establecimiento industrial*.

Para poder clasificar una nave industrial, se hace necesario conocer el proceso productivo que ésta lleva a cabo, los productos almacenados en su interior, su superficie, etc. A partir de estos datos, establece expresiones de cálculo para determinar la denominada *carga de fuego ponderada y corregida* en cada sector de incendio del establecimiento industrial.

Para la determinación de la carga de fuego de un almacén, que es el caso de este TFM, la norma establece una expresión simplificada, basada en la siguiente expresión:

$$Q_S = \frac{\sum(q_{v,i} \cdot C_i \cdot A_i \cdot h_i)}{A_{total}} \cdot R_a$$

Donde:

- Q_S es la carga de fuego del sector ponderada y corregida (en MJ/m²).
- $q_{v,i}$ es la carga de fuego (en MJ/m³) del producto i . Es un valor que se puede obtener por ejemplo, de tablas proporcionadas por la misma normativa.
- C_i es un coeficiente que tiene en cuenta la facilidad de expansión que tiene el fuego en el producto i , cuyo valor se obtiene de la tabla siguiente, según la familia del producto:

TABLA 1.1
GRADO DE PELIGROSIDAD DE LOS COMBUSTIBLES

VALORES DEL COEFICIENTE DE PELIGROSIDAD POR COMBUSTIBILIDAD, C _i		
ALTA	MEDIA	BAJA
- Líquidos clasificados como clase A en la ITC MIE-APQ1 - Líquidos clasificados como subclase B ₁ , en la ITC MIE-APQ1. - Sólidos capaces de iniciar su combustión a una temperatura inferior a 100 °C. - Productos que pueden formar mezclas explosivas con el aire a temperatura ambiente. - Productos que pueden iniciar combustión espontánea en el aire a temperatura ambiente.	- Líquidos clasificados como subclase B ₂ en la ITC MIE-APQ1. - Líquidos clasificados como clase C en la ITC MIE-APQ1. - Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura comprendida entre 100 °C y 200 °C. - Sólidos que emiten gases inflamables.	- Líquidos clasificados como clase D en la ITC MIE-APQ1. - Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura superior a 200 °C.
C _i = 1,60	C _i = 1,30	C _i = 1,00

Tabla 9: Valor de C_i. Fuente: RSCIEI

- A_i es el área de almacenamiento que ocupa el producto *i*.
- h_i es la altitud de almacenamiento del producto *i*.
- R_a es el riesgo de activación del producto/s con mayor riesgo de activación, siempre que el espacio ocupado por éste/éstos supere el 10% del espacio de almacenaje total. Para cada producto, se obtiene de tablas proporcionadas por la normativa, al igual que q_{v,i}.
- A_{total} es el área del sector de incendio.

De tal modo, que se debe hacer un listado con todos los productos que va a albergar el almacén, extraer su carga de fuego, riesgo de activación y de expansión de las tablas de la normativa, y aplicar la expresión anteriormente definida, para, en función del valor obtenido, clasificar la nave industrial en función de su nivel de riesgo intrínseco.

Dado que se trata de un trabajo académico, lo cual significa que es ficticio, el alumno ha decidido escoger arbitrariamente los productos a almacenar, y ha supuesto que se almacena el mismo volumen de cada uno de ellos.

Es decir, aprovechando el listado de productos con sus respectivas cargas de fuego y demás parámetros disponibles en el propio RSCIEI, el alumno ha seleccionado la mayoría de productos alimentarios que figuran en estas tablas, para el cálculo de la carga de fuego ponderada y corregida de la nave industrial.

Así pues, los productos seleccionados con sus respectivas cargas de fuego y demás valores de cálculo, son los mostrados a continuación:

Producto	q_v (MJ/m ³)	R_a	C_i
Aceites comestibles	18900	2,0	1,3
Alimentación, materias primas	3400	2,0	1,0
Azúcar	8400	2,0	1,3
Azúcar, productos de	800	1,5	1,3
Bebidas alcohólicas, venta	800	1,5	1,6
Bebidas bajas o sin de alcohol	125	1,0	1,6
Bebidas sin alcohol, zumos de fruta	300	1,0	1,0
Cacao, productos de	5800	2,0	1,3
Café crudo, sin refinar	2900	2,0	1,3
Café, extracto	4500	2,0	1,3
Café, tostadero	4500	2,0	1,3
Cajas de madera	600	1,5	1,3
Caramelos	1500	2,0	1,0
Chocolate	3400	1,5	1,0
Confiterías	1700	2,0	1,0
Conservas	372	1,0	1,0
Espicias	200	1,5	1,0
Granos	800	1,5	1,0
Harina en sacos	8400	2,0	1,0
Leche condensada	9000	1,0	1,0
Legumbres secas	400	1,5	1,0
Melaza	5000	2,0	1,0
Pastas alimenticias	1700	1,5	1,0
Quesos	2500	2,0	1,0
Vinagre	100	1,0	1,0

Tabla 10: Valores de q_v , R_a y C_i para cada producto. Fuente: RSCIEI

La capacidad de almacenamiento vendrá definida por el tamaño y cantidad de estanterías existentes en el interior de la nave. Dado que se ha supuesto que se emplearán 24 estanterías de 2,4 m de ancho efectivo por 14,4 m de largo efectivo, con altura de almacenamiento efectiva de 12 m, y una estantería de 1,6 m de ancho efectivo por 81,6 m de largo efectivo con altura de almacenamiento efectiva de 8 m, es posible almacenar un volumen de productos de 10997,76 m³.

Dado que no se conoce en qué distribución estarán almacenados los productos (en qué tipo de estantería estará almacenado cada producto) para los cálculos se empleará una altitud de almacenamiento ficticia, calculada como la media ponderada con la superficie ocupada por cada tipo de estantería entre las estanterías de 12 m de alto y la estantería de 8 m de alto. Es decir:

$$h_{almacen\ fict} = \frac{h_1 \cdot S_1 + h_2 \cdot S_2}{S_{almacen\ total}} = \frac{12 \cdot 2,4 \cdot 14,4 \cdot 24 + 8 \cdot 1,6 \cdot 81,6}{2,4 \cdot 14,4 \cdot 24 + 1,6 \cdot 81,6} \approx 11,6\ m$$

Por otro lado, se ha de tener en cuenta el volumen ocupado por envases, embalajes y palés, ya que las cargas de fuego de cada producto no tienen en cuenta las cargas de fuego propias de estos elementos. Como aproximación razonable, se va a suponer que estos elementos

ocupan el 1% del volumen en el caso de los embalajes y el 10% en el caso de los palés. Como embalajes, se ha supuesto que se usará la misma cantidad de cada tipo de los siguientes:

Producto	q_v (MJ/m ³)	R_a	C_i
Alimentación, embalaje	800	1,5	1,3
Cartón	4200	1,5	1,3
Cartón embreado	2500	2,0	1,3
Cartón ondulado	1300	2,0	1,3
Cartón piedra	2500	1,5	1,3
Cartonaje	2500	1,5	1,3
Sacos de papel	12600	2,0	1,3
Sacos de plástico	25200	2,0	1,3

Tabla 11: Valores de q_v , R_a y C_i para cada tipo embalaje. Fuente: RSCIEI

Para el caso de los palés, la normativa establece los siguientes valores:

Producto	q_v (MJ/m ³)	R_a	C_i
Palés	1300	2,0	1,3

Tabla 12: Valores de q_v , R_a y C_i para los palés. Fuente: RSCIEI

Por último, se ha considerado por separado la zona de oficinas (180 m² de superficie) con el correspondiente tipo de material que suelen almacenar. Según el RSCIEI, para este tipo de zonas se pueden considerar los siguientes valores:

Producto	q_v (MJ/m ³)	R_a	C_i
Material de oficina	1300	2,0	1,3

Tabla 13: Valores de q_v , R_a y C_i para el material de oficina. Fuente: RSCIEI

De tal forma, que la expresión para el cálculo de Q_S desarrollada, sería la siguiente:

$$Q_S = \frac{(\sum(q_{v,i} \cdot C_i) \cdot A_n + \sum(q_{v,i} \cdot C_i) \cdot A_e + q_{v,p} \cdot C_{i,p} \cdot A_p) \cdot h_{af} + q_{v,mo} \cdot C_{i,mo} \cdot A_{mo} \cdot h_{mo}}{A_{total}} \cdot R_a$$

$$Q_S = 13722,9 \text{ MJ/m}^2$$

Donde:

- A_n es el área neta: el área ocupada por los productos alimentarios, es decir, no teniendo en cuenta el área ocupada por embalajes y palés:

$$A_n = S_{almacen\ total} \cdot (1 - 0,1 - 0,01) = 0,89 \cdot S_{almacen\ total}$$

- A_e es el área ocupada por los embalajes: $A_e = 0,01 \cdot S_{almacen\ total}$.
- A_p es el área ocupada por los palés: $A_p = 0,1 \cdot S_{almacen\ total}$.
- h_{af} es la altura de almacenamiento ficticia, ya anteriormente definida.
- A_{mo} es el área de las oficinas (180 m²).
- h_{mo} es la altitud de almacenaje de los productos de las oficinas. Dado que en las oficinas, no todos los productos se almacenan (ordenadores, impresoras, mesas, etc.) se ha supuesto una altitud de almacenamiento ficticia de 10 cm que abarcaría toda la superficie de estas oficinas.
- R_a ya definido anteriormente, toma por valor 2,0, puesto que más del 10% de los productos almacenados poseen este valor.

Así pues, teniendo en cuenta el valor de carga de fuego ponderada y corregida obtenido, y que el establecimiento industrial de este TFM es de tipo C (establecimientos industriales que ocupan una edificación en su totalidad y que se encuentran a una distancia de más de 3 m de otros establecimientos industriales) según la tabla adjunta extraída del RSCIEI, la nave industrial tiene un nivel de riesgo intrínseco ALTO (8).

TABLA 1.3

Nivel de riesgo intrínseco	Densidad de carga de fuego ponderada y corregida		
	Mcal/m ²	MJ/m ²	
BAJO	1	$Q_s \leq 100$	$Q_s \leq 425$
	2	$100 < Q_s \leq 200$	$425 < Q_s \leq 850$
MEDIO	3	$200 < Q_s \leq 300$	$850 < Q_s \leq 1275$
	4	$300 < Q_s \leq 400$	$1275 < Q_s \leq 1700$
	5	$400 < Q_s \leq 800$	$1700 < Q_s \leq 3400$
ALTO	6	$800 < Q_s \leq 1600$	$3400 < Q_s \leq 6800$
	7	$1600 < Q_s \leq 3200$	$6800 < Q_s \leq 13600$
	8	$3200 < Q_s$	$13600 < Q_s$

Tabla 14: Nivel de riesgo intrínseco del establecimiento industrial en función del tipo de establecimiento y Q_s . Fuente: RSCIEI

Antes de proceder con el dimensionamiento de las instalaciones de PCI, es necesario corroborar si este nivel de riesgo intrínseco es compatible con un establecimiento industrial de más de 6000 m². En efecto, el RSCIEI impone los siguientes límites de superficie máxima por cada sector de incendio, en función del nivel de riesgo intrínseco y el tipo de establecimiento industrial:

Tabla 2.1
MÁXIMA SUPERFICIE CONSTRUIDA ADMISIBLE DE CADA SECTOR DE INCENDIO

Riesgo intrínseco del sector de incendio	Configuración del establecimiento		
	TIPO A (m ²)	TIPO B (m ²)	TIPO C (m ²)
BAJO	(1)-(2)-(3)	(2) (3) (5)	(3) (4)
	1 2000 2 1000	6000 4000	SIN LÍMITE 6000
MEDIO	(2)-(3)	(2) (3)	(3) (4)
	3 500 4 400 5 300	3500 3000 2500	5000 4000 3500
	ALTO	(3)	(3)(4)
6 7 8	NO ADMITIDO 2000 1500 NO ADMITIDO	3000 2500 2000	

Tabla 15: Superficie máxima ocupable en función del Nivel de riesgo intrínseco del establecimiento industrial y del Tipo de establecimiento industrial. Fuente: RSCIEI

Dado que en el caso de este TFM, no existen compartimentaciones físicas que permitiesen considerar varios sectores de incendio, sólo se tiene un sector de incendio, cuya superficie es la de la nave industrial (6272 m²). Así que, en principio, no se podrían almacenar tantos productos. Sin embargo, al pie de esta tabla existe una nota que indica que “en configuraciones tipo C, si la actividad lo requiere, el sector de incendio puede tener cualquier superficie, siempre que todo el sector cuente con una instalación fija automática de extinción y la distancia a límites de parcelas con posibilidad de edificar en ellas sea superior a 10 m”. Esto significa que si se deja un retranqueo con las parcelas colindantes igual o superior a 10 m (lo cual se ha hecho, como se comentó en el apartado 1) y se instala un sistema automático de protección contra incendios (rociadores automáticos, en este

caso) esta limitación de superficies máximas de sector de incendio se puede obviar. Por tanto, dado que se ha dejado un retranqueo en todos los lindes de 10 m y se van a instalar rociadores automáticos de incendio, esta limitación es indiferente, y se pueden almacenar los productos en la cantidad anteriormente mencionada.

Una vez determinado el nivel de riesgo intrínseco del establecimiento industrial, ya se puede proceder al dimensionamiento o selección de equipos de las instalaciones de PCI.

5.2 Determinación de la Resistencia al Fuego de los Elementos Portantes

Este apartado consiste en la determinación de la resistencia al fuego de los elementos estructurales que contiene la nave. Para ello, se hará uso de las tablas disponibles en el RSCIEI que, en función del nivel de riesgo intrínseco del establecimiento y el tipo de establecimiento, establece la resistencia al fuego en minutos que deben tener los elementos estructurales.

Así pues, para el caso de la nave de este TFM, se requiere una resistencia frente al fuego en los elementos estructurales R90, como se deduce de la siguiente tabla:

Tabla 2.2

ESTABILIDAD AL FUEGO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PORTANTES

NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO	TIPO A		TIPO B		TIPO C	
	Planta sótano	Planta sobre rasante	Planta sótano	Planta sobre rasante	Planta sótano	Planta sobre rasante
BAJO	R 120 (EF - 120)	R 90 (EF - 90)	R 90 (EF - 90)	R 60 (EF - 60)	R 60 (EF - 60)	R 30 (EF - 30)
MEDIO	NO ADMITIDO	R 120 (EF - 120)	R 120 (EF - 120)	R 90 (EF - 90)	R 90 (EF - 90)	R 60 (EF - 60)
ALTO	NO ADMITIDO	NO ADMITIDO	R 180 (EF - 180)	R 120 (EF - 120)	R 120 (EF - 120)	R 90 (EF - 90)

Tabla 16: Resistencia al fuego de los elementos estructurales en función del Nivel de riesgo intrínseco del establecimiento industrial y del Tipo de establecimiento industrial. Fuente: RSCIEI

Para la cubierta, al tratarse de una cubierta de tipo ligera, según la siguiente tabla, ésta debe tener una resistencia al fuego R30:

Tabla 2.3

NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO	Tipo B	Tipo C
	Sobre rasante	Sobre rasante
Riesgo bajo	R 15 (EF-15)	NO SE EXIGE
Riesgo medio	R 30 (EF-30)	R 15 (EF-15)
Riesgo alto	R 60 (EF-60)	R 30 (EF-30)

Tabla 17: Resistencia al fuego de las cubiertas ligeras en función del Nivel de riesgo intrínseco del establecimiento industrial y del Tipo de establecimiento industrial. Fuente: RSCIEI

5.3 Sistemas de Alarma

Según el RSCIEI, se deben instalar sistemas automáticos de detección de incendio en actividades de almacenamiento, entre otros casos, si el edificio es de Tipo C, el nivel de riesgo intrínseco del establecimiento industrial es alto y la superficie total construida es de 800 m² o superior.

La norma establece además que, cuando este sistema de alarma sea exigible y las condiciones de diseño den lugar al uso de detectores térmicos, el propio sistema de alarma puede sustituirse por una instalación de rociadores automáticos de agua. Luego para el caso de la nave de este TFM, al tenerse como sistema de PCI un sistema de rociadores automáticos de agua, se cumple esta restricción normativa.

5.4 Recorridos de Evacuación

En el RSCIEI, también se exige que los establecimientos industriales cuenten con salidas de emergencia para que en caso de incendio, se tengan salidas alternativas a las principales del recinto.

Más concretamente, establece la máxima longitud del recorrido de evacuación que debe haber en función del nivel de riesgo intrínseco del establecimiento:

Longitud del recorrido de evacuación según el número de salidas		
Riesgo	1 salida recorrido único	2 salidas alternativas
Bajo(*)	35m(**)	50 m
Medio	25 m(***)	50 m
Alto	-----	25 m

Tabla 18: Máximos recorridos de evacuación admisibles. Fuente: RSCIEI

Para el caso de establecimientos diáfanos, es decir, no compuestos por recintos de pequeña superficie, estas distancias implican que desde cualquier punto de la nave a una salida de emergencia, no debe haber una distancia superior a 25 m. Luego, habrá que disponer en la nave las salidas de emergencia necesarias para cumplir esta restricción. Para el caso de la nave de este TFM, ha sido necesaria la instalación de 9 salidas de emergencia.

5.5 Sistema de Hidrantes Exteriores

Según el RSCIEI, se debe instalar un sistema de hidrantes exteriores, entre otras condiciones, cuando se superen las superficies del sector o área de incendio mostradas en la tabla siguiente:

TABLA 3.1
HIDRANTES EXTERIORES EN FUNCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE LA ZONA, SU SUPERFICIE CONSTRUIDA Y SU NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO

Configuración de la zona de incendio	Superficie del sector o área de incendio (m ²)	Riesgo Intrínseco		
		Bajo	Medio	Alto
A	≥300	NO	SÍ	--
	≥1000	SÍ*	SÍ	--
B	≥1000	NO	NO	SÍ
	≥2500	NO	SÍ	SÍ
	≥3500	SÍ	SÍ	SÍ
C	≥2000	NO	NO	SÍ
	≥3500	NO	SÍ	SÍ
D o E	≥5000	--	SÍ	SÍ
	≥15000	SÍ	SÍ	SÍ

Tabla 19. Hidrantes necesarios. Fuente: RSCIEI

Luego, para la nave industrial de este TFM, en configuración Tipo C y con un área de incendio de 6272 m², será necesaria la instalación de un sistema de hidrantes exteriores.

La norma indica qué parámetros técnicos deben reunir. Así pues, las condiciones a cumplir por este sistema de PCI, son las siguientes:

- i. Caudal que deben suministrar en caso de incendio. Una vez más, en función del nivel de riesgo intrínseco del establecimiento industrial y del tipo de establecimiento industrial, la normativa exige distintos valores:

NECESIDADES DE AGUA PARA HIDRANTES EXTERIORES

CONFIGURACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL	NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO					
	BAJO		MEDIO		ALTO	
TIPO	CAUDAL (L/MIN)	AUTON (MIN)	CAUDAL (L/MIN)	AUTON. (MIN)	CAUDAL (L/MIN)	AUTON. (MIN)
A	500	30	1000	60		
B	500	30	1000	60	1000	90
C	500	30	1500	60	2000	90
D y E	1000	30	2000	60	3000	90

Tabla 20. Caudales y Autonomía mínima requeridos. Fuente: RSCIEI

Luego, para el caso de la nave industrial de este TFM, en principio, el hidrante más desfavorable deberá proporcionar como mínimo, un caudal de 2000 L/min.

- ii. Este método de protección, asegura por unidad, un radio de cobertura de 40 m: luego, se deberán disponer en el exterior de la edificación a proteger, tantos

- hidrantes como sean necesarios de forma que no quede ninguna zona del exterior de la nave que no esté a menos de 40 m de un hidrante.
- iii. Las presiones de funcionamiento de estos hidrantes deben ser, como mínimo, de 5 bar (51 mca).
 - iv. Al menos, uno de los hidrantes, debe disponer de una toma de 100 mm.

Dado que el propio RSCIEI establece que cuando se tiene más de un sistema de PCI, se deben combinar los requisitos hidráulicos a satisfacer por el conjunto de sistemas, se detallará el diseño de la red hidráulica, una vez se hayan definido todos los sistemas de PCI con los que cuenta la nave industrial del presente TFM.

5.6 Extintores

Según el RSCIEI, se debe instalar este sistema de PCI en todos los sectores de incendio de los establecimientos industriales. La cantidad de éstos, y el tipo de agentes extintores a emplear, viene definido por la siguiente tabla del reglamento:

TABLA 3.1

DETERMINACIÓN DE LA DOTACIÓN DE EXTINTORES PORTÁTILES EN SECTORES DE INCENDIO CON CARGA DE FUEGO APORTADA POR COMBUSTIBLES DE CLASE A

GRADO DE RIESGO INTRÍNSECO DEL SECTOR DE INCENDIO	EFICACIA MÍNIMA DEL EXTINTOR	ÁREA MÁXIMA PROTEGIDA DEL SECTOR DE INCENDIO
BAJO	21 A	Hasta 600 m ² (un extintor más por cada 200 m ² , o fracción, en exceso)
MEDIO	21 A	Hasta 400 m ² (un extintor más por cada 200 m ² , o fracción, en exceso)
ALTO	34 A	Hasta 300 m ² (un extintor más por cada 200 m ² , o fracción, en exceso)

Tabla 21. Eficacia y nº de extintores a disponer Fuente: RSCIEI

Dado que el riesgo de nivel intrínseco de la nave de este TFM es ALTO, y que tiene una superficie de 6272 m², se deberán instalar 31 extintores de eficacia 34 A como mínimo.

Los extintores deben estar ubicados en zonas fácilmente visibles y accesibles, en puntos donde la probabilidad del inicio de un incendio sea más alta, no debiendo ocurrir en cualquier caso, que la distancia de cualquier punto del sector de incendio hasta uno de ellos, sea superior a 15 m. Así pues, mediante esta restricción normativa, se obtiene una disposición en planta de los extintores (entre otras muchas posibles) como la mostrada simbólicamente en uno de los planos anexos a este TFM.

5.7 Sistemas de Columna Seca

Dado que la altura de evacuación del establecimiento industrial de este TFM es inferior a 15 m, no se hace necesaria la instalación de este tipo de sistema de PCI.

5.8 Bocas de Incendio Equipadas (BIE)

Toda edificación que cumpla unas determinadas condiciones debe contar con un sistema de bocas de incendio equipadas (BIE) para que en caso de incendio, personal capacitado pueda disponer fácilmente de un sistema eficaz para la lucha contra un incendio.

Según el RSCIEI, para edificaciones Tipo C, con nivel de riesgo intrínseco ALTO y superficie total construida igual o superior a 500 m², se debe disponer este tipo de sistema de PCI. Luego, es aplicable a la nave industrial de este TFM y en consecuencia, se dimensionarán las instalaciones hidráulicas necesarias, para que este sistema pueda operar satisfactoriamente.

El primer paso, es determinar cuántas BIE será necesario disponer en el interior de la nave. Para ello, se debe volver a recurrir al RSCIEI en donde se indica que *“La distancia desde cualquier punto a una BIE no excederá de 25 m y al menos habrá una boca en la proximidad de cada salida”*. Con que al menos habrá una boca en la proximidad de cada salida, la norma establece más concretamente, que la distancia máxima entre una salida y una BIE, debe ser de 5 m. Por otro lado, la distancia de 25 m, tiene en cuenta que la longitud de la manguera de una BIE es de 20 m, mientras que el alcance que tiene el agua que emite a través de la boquilla, de 5 m, de ahí los 25 m. Así pues, si cada BIE cubre un radio de 25 m, la distancia máxima entre dos BIE podrá ser de hasta 50 m.

De tal modo, que para determinar el número de BIE necesarias en la nave en cuestión, uno de los posibles métodos a seguir es el siguiente: en primer lugar, disponer BIE a las salidas y cada 50 m, y trazar sobre el plano de la nave el radio de acción de éstas (25 m). Si toda la superficie de la nave queda encerrada por las áreas descritas por el rango de acción de estas BIE, el proceso ha terminado. Si quedan áreas sin cubrir, será necesario añadir las BIE necesarias que permitan cubrir estas áreas, aunque las áreas de acción de éstas nuevas BIE se superpongan con algunas áreas ya cubiertas: esto no supone un problema, puesto que el RSCIEI exige requisitos mínimos, y este hecho supone un mayor cumplimiento de estas exigencias (recinto más protegido). Aplicando este método a la nave industrial de este TFM, se obtiene que se hace necesaria la instalación de 10 BIE en el interior de la nave. Nota: este método se ha empleado también para distribuir las salidas de emergencia, la situación de los hidrantes exteriores y de los extintores.

Por otro lado, el RSCIEI, en función del “Nivel de Riesgo Intrínseco del establecimiento industrial” indica cuántas BIE deben permanecer en funcionamiento simultáneo en caso de un incendio. Es decir, el RSCIEI no obliga a que deban funcionar simultáneamente todas las BIE que hay en el edificio, pues no es habitual que en un incendio, inmediatamente, el edificio entero quede envuelto en llamas. Las BIE se disponen para intentar extinguir el incendio lo antes posible nada más se ha iniciado: luego, se exige, en función del nivel de riesgo intrínseco del establecimiento industrial, las BIE necesarias para extinguir el fuego

en un determinado sector de la edificación. Para el caso de naves industriales con nivel de riesgo intrínseco ALTO, el RSCIEI, exige el funcionamiento simultáneo de las 3 BIE más desfavorables (más lejanas, a igualdad de diámetros en las tuberías):

NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO DEL ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL	TIPO DE BIE	SIMULTANEIDAD	TIEMPO DE AUTONOMÍA
BAJO	DN 25 mm	2	60 min
MEDIO	DN 45 mm*	2	60 min
ALTO	DN 45 mm*	3	90 min

Tabla 22. Diámetro de boquilla, simultaneidad y autonomía de instalaciones de BIE. Fuente: RSCIEI

También mediante esta clasificación, se obtiene según el RSCIEI, que el diámetro nominal de la conducción de la BIE debe ser de 45 mm. Esto implica, un diámetro de cálculo de 13 mm, al que, según la siguiente tabla extraída de la asignatura “Instalaciones de Fluidos”, le corresponde un valor del coeficiente de descarga de 85 L/(min·m^{1/2}):

	BIE 45 mm
Diám. Boquilla (mm)	Coef K BIE (mínimo)
9	46
10	55
11	68
12	72
13	85

Tabla 23. Diámetro de boquilla y factor K asociado de la BIE. Fuente: Poliforma-T

A partir de este valor de coeficiente de descarga, se puede obtener el caudal mínimo a garantizar, en cada una de las BIE:

$$Q_{BIE \text{ mín}} = K \cdot \sqrt{\Delta p}$$

Donde:

- $Q_{BIE \text{ mín}}$ es el caudal de agua mínimo que debe suministrar la BIE en L/min.
- K es el coeficiente de descarga de la BIE en L/(min·bar^{1/2}).
- Δp es la variación de presión entre la entrada de la boquilla y el exterior en bar. Según el RSCIEI, se debe considerar un valor de 4 bar.

Aplicando esta expresión, se obtiene que cada BIE, debe suministrar como mínimo un caudal de 2,83 L/s en la hipótesis de funcionamiento definida por la normativa (los tres hidrantes más alejados, deberán suministrar como mínimo un caudal de 8,5 L/s en total, a una presión de, al menos, 2 bar (20,39 mca), mientras que en los más alejados, no se debe dar una presión de más de 5 bar (51 mca) en ninguno de ellos).

Como se ha comentado anteriormente, en un apartado posterior, se detallará el cálculo hidráulico de todos los sistemas de PCI, una vez se hayan definido todos éstos.

5.9 Sistema de Rociadores Automáticos de Agua

Los sistemas de detección fija contra incendios, se pueden emplear en multitud de edificaciones, siendo de obligada instalación, en aquellas de elevada superficie y/o riesgo de incendio. Para el caso de naves industriales, el RSCIEI exige su instalación, entre otros muchos casos, para naves industriales clasificables como Tipo C, de riesgo intrínseco ALTO, si su superficie construida es igual o superior a 500 m². Luego, para la nave industrial de este TFM, se debe instalar un sistema de rociadores automáticos de lucha contra incendio.

Sin embargo, así como en otros tipos de instalaciones de PCI, el RSCIEI define claramente qué condiciones y requisitos deben cumplir éstas, para el caso de instalaciones de rociadores automáticos, no se definen criterios. Luego, se debe recurrir a la norma UNE que especifica las condiciones y requisitos que deben satisfacer estas instalaciones. Esta es la norma **UNE-EN 12845: Sistemas fijos de lucha contra incendio. Sistemas de rociadores automáticos. Diseño, instalación y mantenimiento**.

5.9.1 Clase de riesgo del establecimiento

Análogamente al RSCIEI, en primer lugar, se debe clasificar el establecimiento industrial en función del nivel de riesgo de que se produzca un incendio. Esto condicionará diversos requisitos: caudales de los rociadores, distancias entre los mismos y entre ellos y diferentes elementos constructivos, etc. Luego, esta norma establece su propio sistema de clasificación del riesgo de incendio, a lo que denomina “*Clases de riesgo*”, que son las siguientes:

- Para actividades de producción:
 - Riesgo Ligero (RL).
 - Riesgo Ordinario (RO). A su vez, divisible en los siguientes tipos:
 - i. Riesgo Ordinario Grupo 1 (RO1).
 - ii. Riesgo Ordinario Grupo 2 (RO2).
 - iii. Riesgo Ordinario Grupo 3 (RO3).
 - iv. Riesgo Ordinario Grupo 4 (RO4).
 - Riesgo Extra Proceso, divisible también en distintos tipos:
 - i. Riesgo Extra Proceso Grupo 1 (REP1).
 - ii. Riesgo Extra Proceso Grupo 2 (REP2).
 - iii. Riesgo Extra Proceso Grupo 3 (REP3).
 - iv. Riesgo Extra Proceso Grupo 4 (REP4).
- Para actividades de almacenamiento:
 - Riesgo Extra Almacenamiento Categoría I (REA1).
 - Riesgo Extra Almacenamiento Categoría II (REA2).
 - Riesgo Extra Almacenamiento Categoría III (REA3).
 - Riesgo Extra Almacenamiento Categoría IV (REA4).

Dado que la actividad económica de la nave industrial de este TFM, es el almacenamiento temporal de mercancías, se debe clasificar la nave mediante su nivel de Riesgo Extra de Almacenamiento.

Para establecer la categoría de REA del recinto, se debe acudir a los Anexos B o C de esta norma UNE. Para casos en que no están muy definidas las características de los productos a almacenar (como el de este TFM) conviene utilizar el Anexo C en lugar del B, ya que éste último establece la Categoría de REA, en función de características muy específicas de materiales de embalaje empleados, volumen de estos embalajes, configuraciones de almacenamiento, etc. El Anexo C por el contrario, establece una metodología simplificada para la determinación de la Categoría de REA a considerar, ya que suministra ejemplos de productos almacenados, y la Categoría que le corresponde a la edificación que almacene dichos productos.

Así pues, se ha procedido a analizar esta lista de productos (Tabla C.1 del Anexo C), seleccionando aquellos que se tiene previsto almacenar, y estableciendo la Categoría de REA, del producto con mayor nivel de dicha Categoría. Luego, de esta tabla, se tienen almacenados (entre otros que no figuran en ésta) los siguientes productos:

Producto	Categoría
Alcohol, de baja graduación	I
Alimentos enlatados	I
Alimentos en sacos	II
Azúcar	II
Cerveza	II
Grano	I
Harina	II
Pastelería	II

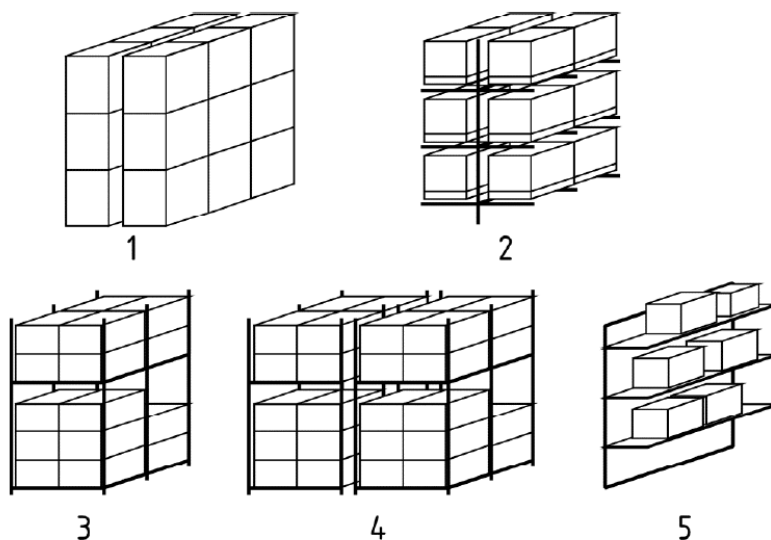
Tabla 24. Categoría de REA en función del tipo de producto almacenado. Fuente: UNE-EN 12845

Luego, los productos con mayor Categoría (II) son los que condicionan la clase de riesgo del establecimiento industrial. Así pues, se tiene Riesgo Extra Almacenamiento Categoría II (REA2).

5.9.2 Tipología del Sistema de Almacenamiento

Una vez se ha clasificado el establecimiento en función de su clase de riesgo, para el caso de actividades de almacenamiento, se debe conocer la tipología de estanterías utilizadas para el almacenamiento de las mercancías, ya que esto condiciona la mínima anchura que deben tener los pasillos que separan dichas estanterías, la cantidad de productos que se pueden almacenar en éstas, etc.

De tal modo, que la norma reduce todas las configuraciones posibles de almacenamiento de productos a 6 tipos:



Leyenda

- | | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | Almacenamiento libre (ST1) | 4 | Almacenamiento en palé autoportante (ST3) |
| 2 | Estanteria paletizada (ST4) | 5 | Estantes sólidos o abiertos (ST 5/6) |
| 3 | Almacenamiento en palé autoportante (ST2) | | |

Figura 3 – Configuración de almacenamiento

Figura 13: Configuraciones de almacenamiento según la norma UNE-EN 12845. Fuente: UNE-EN 12845

Dado que el tipo de estanterías seleccionadas en el presente TFM se corresponde con estanterías preparadas para el almacenamiento de productos paletizados, esta configuración es asemejable a la ST4: Estantería paletizada.

Esta clasificación impone las siguientes características a cumplir por el sistema de almacenamiento:

Tabla 2 – Requisitos de protección y limitaciones para configuraciones de almacenamiento ST1 a ST6

Configuración de almacenamiento	Riesgo	Condiciones aplicables	Área máxima de almacenamiento en bloque	Anchura de pasillos separando filas de almacenamiento	Separación libre mínima alrededor de área de almacenamiento en bloque
			m ²	m	m
ST1	RO		50	^a	2,4
	RE		150	^a	2,4
ST2	RO		50	2,4 o mayor	2,4
	RE		No limitada	2,4 o mayor	^a
ST3	RO		50	^a	2,4
	RE		150	^a	2,4
ST4	RO		50	1,2 o mayor	2,4
	RE	sin protección de rociador en estantería en nivel intermedio ^{b, c}	No limitada	1,2 o mayor	^a
		con protección de rociador en estantería en nivel intermedio ^d		Menos de 1,2	^a
		con protección de rociador en estantería en nivel intermedio ^e		Mayor que 1,2 pero menos que 2,4	^a
		con protección de rociador en estantería en nivel intermedio ^f		2,4 o mayor	^a
ST5	RO		50	1,2 o mayor	2,4
	RE	sin protección de rociador en estantería en nivel intermedio ^{b, c}	150	Menos de 1,2	2,4
		con protección de rociador en estantería en nivel intermedio ^d	150	Menos de 1,2	2,4
		con protección de rociador en estantería en nivel intermedio ^g	No limitada	1,2 o mayor	^a
ST6	RO	Se usa protección RE			
	RE	con protección de rociador en estantería en nivel intermedio ^{c, h}			
			150	1,2	2,4

^a No aplicable
^b Se recomienda protección de rociador en estantería en nivel intermedio.
^c Método de protección limitado a riesgos donde los rociadores de techo están menos de 4 m por encima del nivel más alto de artículos almacenados. Donde los rociadores de techo están más de 4 m por encima del nivel más alto de artículos almacenados, se deben usar rociadores en estantería en nivel intermedio.
^d Se supone que la protección de rociador en estantería en nivel intermedio en tres estanterías está hidráulicamente implicada, véase el apartado 7.2.3.3.
^e Se supone que la protección de rociador en estantería en nivel intermedio en dos estanterías está hidráulicamente implicada, véase el apartado 7.2.3.3.
^f Se supone que la protección de rociador en estantería en nivel intermedio en una estantería está hidráulicamente implicada, véase el apartado 7.2.3.3.
^g Se supone que la protección de rociador en estantería en nivel intermedio en una o dos estanterías está hidráulicamente implicada, véase el apartado 7.2.3.3.
^h Si no es posible instalar rociadores intermedios en almacenamiento ST6, se deben instalar mamparas longitudinales y transversales en toda la altura, longitudinalmente dentro de cada estante. Toda la altura de la mampara debe construirse según la Norma EN 13501-1, Euroclase A1, A2 o equivalente nacional.

Tabla 25. Limitaciones de almacenamiento para las distintas tipologías de almacenamiento. Fuente: UNE-EN 12845

De donde se deduce que, dado que hay que emplear maquinaria para el almacenamiento de las mercancías a gran altura, se requerirá cierto espacio para la adecuada operación de éstas: luego, como se indicó en el apartado 3 de este TFM, los pasillos son de entre y 3 y 6,5 m de anchura, entonces, como indica la Tabla 2, se deberán disponer rociadores intermedios en las estanterías.

5.9.3 Criterios para el dimensionamiento hidráulico de la instalación

Una vez se conoce la Categoría de REA y la tipología de almacenamiento utilizada, se pueden determinar los requisitos que exige la normativa para el cálculo hidráulico. Así pues, se

puede extraer la máxima altitud de almacenaje en cada nivel de rociadores intermedios, la *densidad de diseño* y el *área de operación* de la Tabla 5 de la normativa:

Tabla 5 – Criterios de diseño para rociadores de cubierta o techo con rociadores en estantería

Configuración de almacenamiento	Altura máxima permitida de almacenamiento por encima del nivel superior de protección en estantería (véase NOTA 1)				Densidad de diseño	Área de operación [sistema mojado o de acción previa (véase la NOTA 2)]
	m					
	Categoría I	Categoría II	Categoría III	Categoría IV		
ST4 Estanterías paletizadas	3,5	3,4	2,2	1,6	7,5	260
			2,6	2,0	10,0	
			3,2	2,3	12,5	
			3,5	2,7	15,0	
ST5 y ST6 Estantes sólidos o abiertos	3,5	3,4	2,2	1,6	7,5	260
			2,6	2,0	10,0	
			3,2	2,3	12,5	
			2,7	15,0	15,0	

Tabla 26. Condiciones de diseño en función de Categoría de REA y Configuración de almacenamiento. Fuente: UNE-EN 12845

Como se puede observar, para el caso de productos almacenados según la tipología de almacenamiento ST4 y en un establecimiento con REA de Categoría 2, la altitud de almacenamiento máxima por cada nivel de rociadores intermedios, es de 3,4 m, y la densidad de diseño y el área de operación son respectivamente, de 7,5 mm/min y 260 m². A continuación, se va a proceder a definir estos dos últimos conceptos:

- i. La densidad de diseño, en mm/min, tiene una explicación análoga al concepto utilizado para cuantificar las precipitaciones atmosféricas: consiste en el volumen de agua que se vierte por unidad de superficie y tiempo: 1 mm/min equivale a 1 L/(m²·min), pues 1 L = 1 dm³ = 0,001 m³, que al dividirse por el m², queda como 0,001 m/min, que pasando los m a mm, se obtiene el 1 mm/min.
- ii. El área de operación, es el área que deben proteger los rociadores en caso de que haya un incendio: en efecto, análogamente a lo ya explicado para hidrantes y BIE, no es habitual que se produzca un incendio instantáneo en la totalidad de la edificación, suele comenzar en una determinada zona de la misma. Luego, esta normativa tampoco exige que la instalación sea capaz de suministrar agua, en las condiciones de presión requeridas, a la totalidad de rociadores de que disponga el establecimiento, sólo exige a una determinada cantidad de rociadores: luego, la instalación deberá ser capaz de suministrar el caudal y presión necesarios al conjunto de rociadores que permitan controlar un área de 260 m² de extensión.

Por otro lado, a la hora de proceder al dimensionamiento de la instalación hidráulica, se debe considerar la posible activación de rociadores intermedios ubicados en las estanterías. Así pues, la normativa establece que además de los rociadores del nivel principal a considerar en el cálculo, se debe considerar la activación de los tres rociadores más desfavorables de cada nivel intermedio, hasta la consideración de un máximo de tres niveles.

5.9.4 Fuente de Abastecimiento

Para cualquier proyecto de PCI, es necesario definir cuál/es va/n a ser el/los sistema/s de abastecimiento de agua con el/los que va a contar. Así pues, este reglamento establece que se puede emplear como abastecimiento de agua contra incendio la red pública de agua del municipio en que esta edificación se ubique, siempre y cuando éste pueda garantizar en el punto de conexión unos determinados valores de caudal y presión.

Sin embargo, dado que esta información es a menudo difícil de conocer (sobre todo en proyectos con finalidad académica) el autor ha optado por suponer que estos valores son inferiores a los valores mínimos que exige la normativa, y se requiere el uso de un sistema propio de abastecimiento: depósito de protección contra incendios.

De tal modo, que su volumen deberá permitir, suministrar el caudal de cálculo durante al menos 90 min (para establecimientos tipo REA).

Luego, en este TFM, no se considerará otra fuente de abastecimiento que no sea esta. Obviamente, este depósito deberá estar conectado a la red hidráulica pública, para que sea rellenado en caso de que se vacíe.

Esta norma UNE también exige, que la presión en los rociadores se debe encontrar comprendida entre 2 y 12 bar.

5.9.5 Tipología de la instalación hidráulica de los rociadores

En efecto, existen distintas tipologías de instalaciones hidráulicas de rociadores, al igual que en otras instalaciones de PCI: instalaciones de tubería mojada, seca, mixta, etc.

Para este TFM, dado que la nave está dedicada al almacenamiento de productos alimentarios, se presupone que la misma contará con una instalación de climatización, la cual será necesaria para que los productos se encuentren a una temperatura y humedad óptimas. Luego, en principio, la instalación hidráulica de rociadores, puede ser de tubería mojada, ya que no habría riesgo de heladas.

5.9.6 Disposición de los rociadores

Un paso determinante en el dimensionamiento de una instalación de rociadores automáticos, es determinar la disposición de éstos en el interior del establecimiento que van a proteger frente al fuego.

Para el caso de los rociadores ubicados en el nivel más alto (el principal y único, donde no hay estanterías de almacenamiento), se debe hacer uso de la Tabla 19, que indica en función de la clase de riesgo y de la configuración elegida para los rociadores, la superficie máxima por rociador y los valores de las distancias máximas entre los mismos:

Tabla 19 – Cobertura máxima y separación para rociadores diferentes de los de pared

Clase de riesgo	Superficie máxima por rociador m ²	Distancias máximas como se muestran en la figura 8 m		
		Distribución normal S y D	Distribución al tresbolillo S D	
RL	21,0	4,6	4,6	4,6
RO	12,0	4,0	4,6	4,0
REP y REA	9,0	3,7	3,7	3,7

Tabla 27. Condiciones para la determinación de distancias entre rociadores. Fuente: UNE-EN 12845

Además, se suministra un esquema, que permite determinar la distancia de éstos a los tabiques:

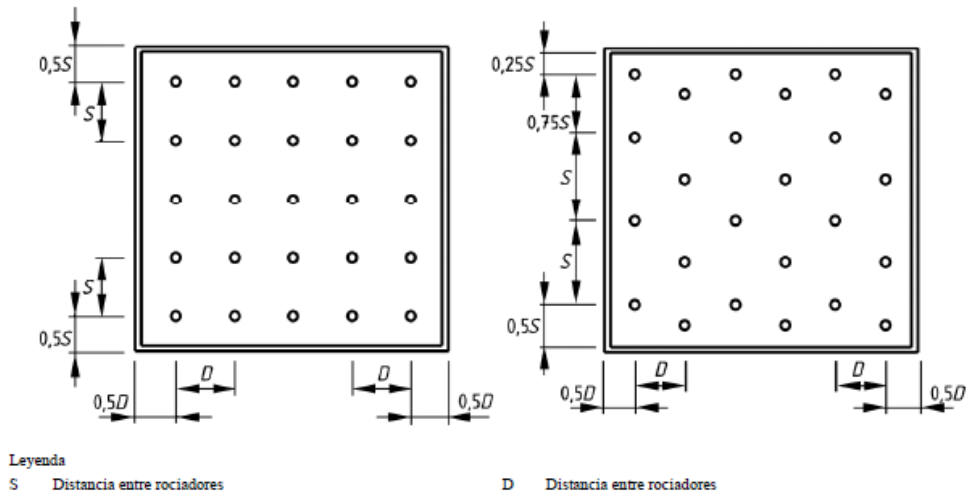


Figura 8 – Separación para rociadores de techo

Figura 14: Expresiones para determinar las distancias de rociadores para disposición normal y al tresbolillo. Fuente: UNE-EN 12845

Así pues, seleccionando la “Distribución Normal”, los rociadores deberán estar separados entre sí como máximo 3,7 m, y separados de las paredes 1,75 m como máximo, cubriendo cada uno de ellos cubre una superficie máxima de 9 m². Este último parámetro es muy importante, ya que determina el número de rociadores más desfavorable que deben considerarse en funcionamiento a la hora de realizar el dimensionamiento hidráulico. Es decir, dado que estos rociadores deben cubrir un área de 260 m², y cada uno de ellos se considera que puede cubrir un área de 9 m², el número de rociadores de cubierta a considerar en el dimensionamiento hidráulico, es:

$$n^{\circ} \text{ rociadores} = \frac{\text{Área de operación}}{\text{Superficie máxima por rociador}} = 28,9 \approx 29$$

Luego, en el nivel de cubierta, se deberá considerar que funcionan simultáneamente 29 rociadores automáticos.

Esta superficie máxima por rociador, también permite conocer el caudal necesario en cada rociador, a partir de la siguiente expresión:

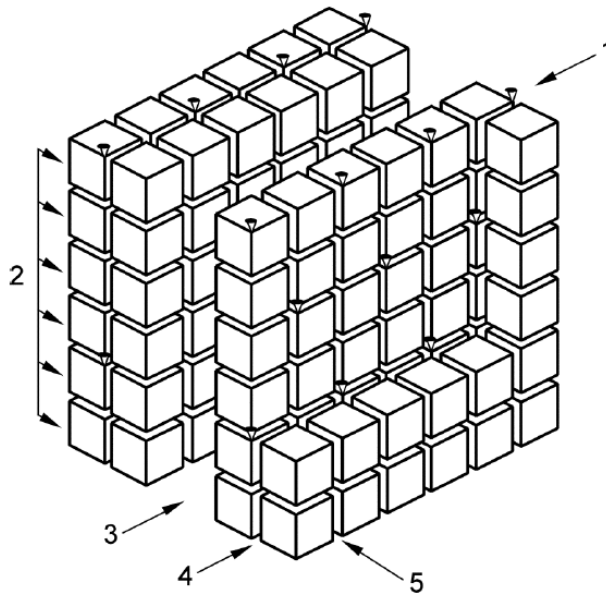
$$Q_{\text{rociador}} = \delta \cdot \text{Superficie máxima por rociador} = 1,125 \text{ L/s}$$

Con δ como la densidad de diseño.

Teniendo estos valores máximos en cuenta, se decide adoptar una separación entre rociadores de 3,7. Como separación de los rociadores frente a las paredes, se ha adoptado una distancia de 0,5 m a las paredes del lado de 56 m, (0,5 m que sobran a cada lado, si se disponen 31 filas de rociadores separados 3,7 m ($3,7 \times 30 = 111$ m) y 0,25 m a las paredes del lado de 112 m (0,25 m que sobran a cada lado, si se disponen 16 columnas de rociadores separados 3,7 m ($3,7 \times 15 = 55,5$ m)).

Para establecer las distancias de los rociadores situados a niveles intermedios, la normativa fija unos criterios de separación particulares. Estos son principalmente:

- i. La distancia del suelo al primer nivel de rociadores intermedios y entre niveles de rociadores intermedios debe ser inferior a 3,5 m.
- ii. Para el caso de un establecimiento con REA de Categoría I o II, los rociadores se deben instalar en la medida de lo posible en la intersección de la chimenea longitudinal con cada segunda chimenea transversal, y éstos deben estar dispuestos al tresbolillo con respecto al nivel superior o inferior adyacente de rociadores intermedios. Esta forma de disposición, se entiende mejor mediante la figura disponible en la normativa:



Leyenda

- 1 Fila de rociadores
- 2 Niveles
- 3 Pasillo

- 4 Chimenea longitudinal
- 5 Chimenea transversal

Figura 13 – Situación de rociadores de nivel intermedio en estantería – Categoría I o II

Figura 15: Forma de disponer los rociadores ubicados en los niveles intermedios. Fuente: UNE-EN 12845

A tener en cuenta que la distancia horizontal entre rociadores no debe ser mayor a 3,75 m.

- iii. El número de rociadores por nivel se debe determinar de acuerdo con la forma de la estantería, es decir, dependerá de los compartimentos que esta dispone transversalmente. Para el caso de las estanterías de este TFM, la mayoría tiene capacidad de almacenar 3 palés/nivel en sentido transversal. Luego, en cada zona de separación longitudinal que intersecte con la zona de separación transversal

(cada dos palés), se deberá disponer una hilera de rociadores automáticos en la dirección longitudinal de las estanterías: por tanto, al haber en cada estantería de este tipo, 2 huecos en sentido transversal (3 palés en sentido transversal), en cada estantería de este tipo se dispondrán dos hileras de rociadores automáticos. Para el caso, de la estantería con capacidad de almacenar transversalmente 2 palés/nivel, se tiene sólo un hueco de este tipo, y por tanto, una sola hilera de rociadores en sentido longitudinal por nivel.

Luego, teniendo en cuenta estos criterios, para las estanterías que son de 12 m de altura, se han dispuesto 3 niveles de rociadores intermedios, uno por cada 3 m de altura (uno a 3 m de altura sobre el suelo, otro a 6 m y otro a 9 m). Para el caso de la estantería de 8 m de altura, se han dispuesto tres niveles también, uno a 3 m sobre el nivel del suelo, otro a 6 m y el otro a 9 m, ya que la norma indica textualmente que cuando la distancia entre el nivel superior de almacenamiento y el nivel donde están ubicados los rociadores de cubierta es superior a 4 m, se debe añadir un nivel intermedio entre ambos. Como distancia longitudinal entre estos rociadores, se ha elegido una de 3 m, ya que coincide con las chimeneas transversales de cada subestantería de que se componen las estanterías de 2,8x18 m². Sin embargo, como distancia transversal, debido a que las intersecciones detalladas anteriormente se encuentran a una distancia inferior a ésta, éstos están separados entre sí 85 cm, debiendo tener instalados pantallas de 200 mm x 150 mm para evitar que se mojen entre sí, tal y como establece esta normativa cuando los rociadores tienen que estar separados una distancia inferior a 2 m.

Todas estas distancias entre rociadores se aprecian de forma mucho más fácil en los planos aportados en este TFM.

Como se ha comentado en el apartado 4.8.3, al tenerse tres niveles de rociadores, se deben considerar en el dimensionamiento de la instalación, además de los 29 rociadores de cubierta, 9 rociadores intermedios, lo que hace un total de 38 rociadores y un caudal a satisfacer de $38 \cdot 1,125 = 42,75$ L/s.

Por otra parte, la disposición seleccionada hace que, en total, se deban instalar en la nave 1587 rociadores.

5.10 Red Hidráulica a Dimensionar

5.10.1 Definición del problema

Como se mencionó en apartados anteriores, una vez definidos los sistemas de protección contra incendios, se puede proceder a detallar cómo va a ser la red hidráulica que permite el suministro de agua a todos estos sistemas de PCI.

Bien en primer lugar, decir que tanto la red de tuberías de las BIE, como de los hidrantes exteriores, y por supuesto, la de rociadores automáticos, tendrán una topología radial o en rejilla: esto es, una red de tuberías cerrada. En el caso de los rociadores automáticos, esto es imprescindible, pues, sería muy costoso económicamente la realización de una red ramificada, puesto que cada ramal tendría una longitud muy elevada y se requeriría

del uso de tuberías de elevado diámetro. Mediante una red en rejilla, se permite el suministro de agua por “más caminos” con la consiguiente disminución de las pérdidas de carga y la posibilidad del empleo de tuberías de menor diámetro.

En el caso de las BIE, al tenerse 10 en total, al ser la nave de elevadas dimensiones y en aras de que la instalación interfiera lo más mínimo con el proceso productivo (alturas de almacenamiento y por tanto, de trabajo muy altas) se decide interconectar éstas mediante una red radial o en rejilla, de forma que estas tuberías queden dispuestas en su mayoría en el interior de los tabiques de fachada (nula interferencia con el proceso productivo). Esto también permite el uso de tuberías de menor tamaño.

En el caso de los hidrantes, dado que rodean el perímetro de la nave, constructivamente resulta prácticamente igual de fácil realizar una red radial o en rejilla que ramificada, de ahí que también se realice una red radial o en rejilla.

Otro factor importante es conocer bajo qué hipótesis se deben dimensionar estas instalaciones. Como se comentó en apartados anteriores, el RSCIEI indica que cuando se tienen varios sistemas de PCI, se deben utilizar unas hipótesis de dimensionamiento diferentes a las que se utilizan cuando se tiene uno sólo de estos sistemas. Para cada combinación de sistemas, el RSCIEI indica los criterios a seguir resumidamente mediante la siguiente tabla:

CUADRO RESUMEN PARA EL CÁLCULO DEL CAUDAL (Q) Y RESERVA (R) DE AGUA CUANDO EN UNA INSTALACIÓN COEXISTEN VARIOS SISTEMAS DE EXTINCIÓN

TIPO DE INSTALACIÓN	BIE [1]	HIDRANTES [2]	ROCIADORES AUTOMÁTICOS [3]	AGUA PULVERIZADA [4]	ESPUMA [5]
[1] BIE	Q_B/R_B	(a) Q_H/R_H (b) $Q_B \cdot Q_H / (R_B + R_H)$	Q_{RA}/R_{RA}		
		$0,5 Q_H + Q_{RA}$	$0,5 R_H + R_{RA}$		
[2] HIDRANTES	(a) Q_H/R_H (b) $Q_B + Q_H / R_B + R_H$	$0,5 Q_H + Q_{RA}$ $0,5 R_H + R_{RA}$	Q mayor R mayor (una instal.)	$0,5 Q_H + Q_{AP} / 0,5 R_H + R_{AP}$	Q mayor, R mayor (una instal.)
				$Q_{AP} + Q_E$	$R_{AP} + R_E$
[3] ROCIADORES AUTOMÁTICOS	Q_{RA}/R_{RA}	Q mayor R mayor (una instal.)	Q_{RA}/R_{RA}	Q mayor R mayor (una instal.)	Q mayor R mayor (una instal.)
[4] AGUA PULVERIZADA		Q mayor R mayor (una instal.)	$Q_{AP} + Q_E$ $R_{AP} + R_E$	Q mayor R mayor (una instalación)	$Q_{AP} + Q_E$ $R_{AP} + R_E$
[5] ESPUMA		Q mayor R mayor (una instal.)		$Q_{AP} + Q_E$ $R_{AP} + R_E$	Q_E/R_E

Tabla 28. Caudal y Reserva a disponer cuando coexisten varias instalaciones de PCI. Fuente: RSCIEI

Anteriormente a esta tabla (si se usa la Guía Técnica del RSCIEI) se explica más detalladamente el significado de esta tabla para cada combinación de sistemas. Así pues, para edificaciones que cuenten con una red de BIE, hidrantes y rociadores automáticos de agua, como caudal de cálculo total, se debe considerar la suma del caudal de cálculo de la instalación de rociadores y la mitad del caudal de cálculo de la instalación de hidrantes. También indica que el criterio para determinar el volumen de reserva de agua (depósito contra incendios) será el resultante de la suma del necesario para el sistema de rociadores automáticos más la mitad del necesario para el sistema de hidrantes exteriores.

Por otra parte, para la realización de los cálculos hidráulicos, se va a hacer uso del software libre Epanet, ya que la resolución analítica de redes radiales o malladas no es posible, debiéndose recurrir a métodos iterativos, como el de Hardy – Cross, aparte de que, para el caso de la red de rociadores, difícilmente puede resolverse el cálculo sin la ayuda de computación (gran cantidad de nudos y mallas, y por tanto, de ecuaciones).

Volviendo al caso de la red de este TFM, en Epanet, para el dimensionamiento hidráulico, sólo se debe considerar el funcionamiento simultáneo de la red de rociadores con el sistema de hidrantes (los 38 rociadores más desfavorables y el hidrante más desfavorable). Esto permitirá el dimensionamiento de estos dos sistemas, sin embargo, para el sistema de BIE, habrá que hacer una simulación aparte, considerando únicamente el funcionamiento de esta sola instalación.

Situación análoga para la determinación del volumen de depósito requerido, en donde se deberá calcular bajo la hipótesis de funcionamiento de los rociadores e hidrante más favorables, no considerándose el volumen del depósito que requeriría la instalación de BIE, puesto que es muy inferior al que se obtendrá para el caso del funcionamiento de rociadores + hidrante.

Por otra parte, para el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías, la norma indica que el valor de éstas, no deben ser menores a las resultantes de aplicar la fórmula de pérdidas de Hazen – Williams:

$$\Delta p = \frac{6,05 \cdot 10^5 \cdot L \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot d^{4,87}}$$

Donde:

- Δp son las pérdidas de carga en mca.
- L es la longitud de la tubería en m.
- Q es el caudal circulante en L/min.
- C es una constante para el tipo y condición de tubería. Para el caso de tuberías de acero galvanizado, se puede tomar el valor 120.
- d es el diámetro interno de la tubería en mm.

Sin embargo, dado que se indica que las pérdidas no deben ser menores a las proporcionadas por dicha expresión y no que no se pueda utilizar otra expresión para realizar el cálculo de las pérdidas de carga, el alumno autor de este TFM, dado que está acostumbrado al empleo de la ecuación de Darcy – Weisbach para el cálculo de estas pérdidas, ha optado por emplear esta última para el cálculo de estas pérdidas en lugar de la de Hazen – Williams, sabiendo (como después se mostrará) que para la instalación hidráulica de este TFM, los valores obtenidos con la expresión de Darcy – Weisbach, son más desfavorables que los obtenidos mediante la expresión de Hazen – Williams.

La fórmula para el cálculo de las pérdidas de carga de Darcy – Weisbach es la siguiente:

$$\Delta p = \frac{8 \cdot f \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot d^5}$$

Donde:

- Δp son las pérdidas de carga en mca.
- L es la longitud de la tubería en m.
- f es el factor de fricción de la tubería, calculable mediante multitud de expresiones, siendo las más comúnmente utilizadas las de Colebrook y Swamee – Jain.
- Q es el caudal circulante en m³/s.
- g es la aceleración de la gravedad.
- d es el diámetro interno de la tubería en m.

Esta fórmula proporciona unos resultados más desfavorables que la de Hazen – Williams para esta red hidráulica en concreto, ya que si se tiene en cuenta, que se ha obtenido en todas las tuberías en el dimensionamiento, un diámetro de 100 mm, y que por ejemplo, el caudal circulante de un rociador es de 1,125 L/s, asumiendo un valor de C de 120 y un factor f, de 0,040 (bastante desfavorable) se obtienen unas pérdidas por unidad de longitud en cada expresión de:

$$\Delta p/L_{H-W} = 3,8 \cdot 10^{-5}$$

$$\Delta p/L_{D-W} = 4,2 \cdot 10^{-4}$$

Esta hipótesis se ha comprobado que se cumple para los caudales presentes en la instalación.

5.10.2 Resultados obtenidos

A continuación se adjuntan los valores de los diámetros obtenidos para las distintas tuberías de la instalación. Para mayor información, se debe acudir al Anejo de Cálculos (valores concretos de las presiones en los nudos más significativos).

- Resultados instalación de rociadores automáticos + hidrante:

Para el análisis hidráulico de las instalaciones de rociadores automáticos junto con la de los hidrantes, se ha trazado la siguiente red, con la ayuda de AutoCAD y el programa de exportación de ficheros de AutoCAD a Epanet, *EpaCAD*, desarrollado por el Instituto Tecnológico del Agua de la UPV:

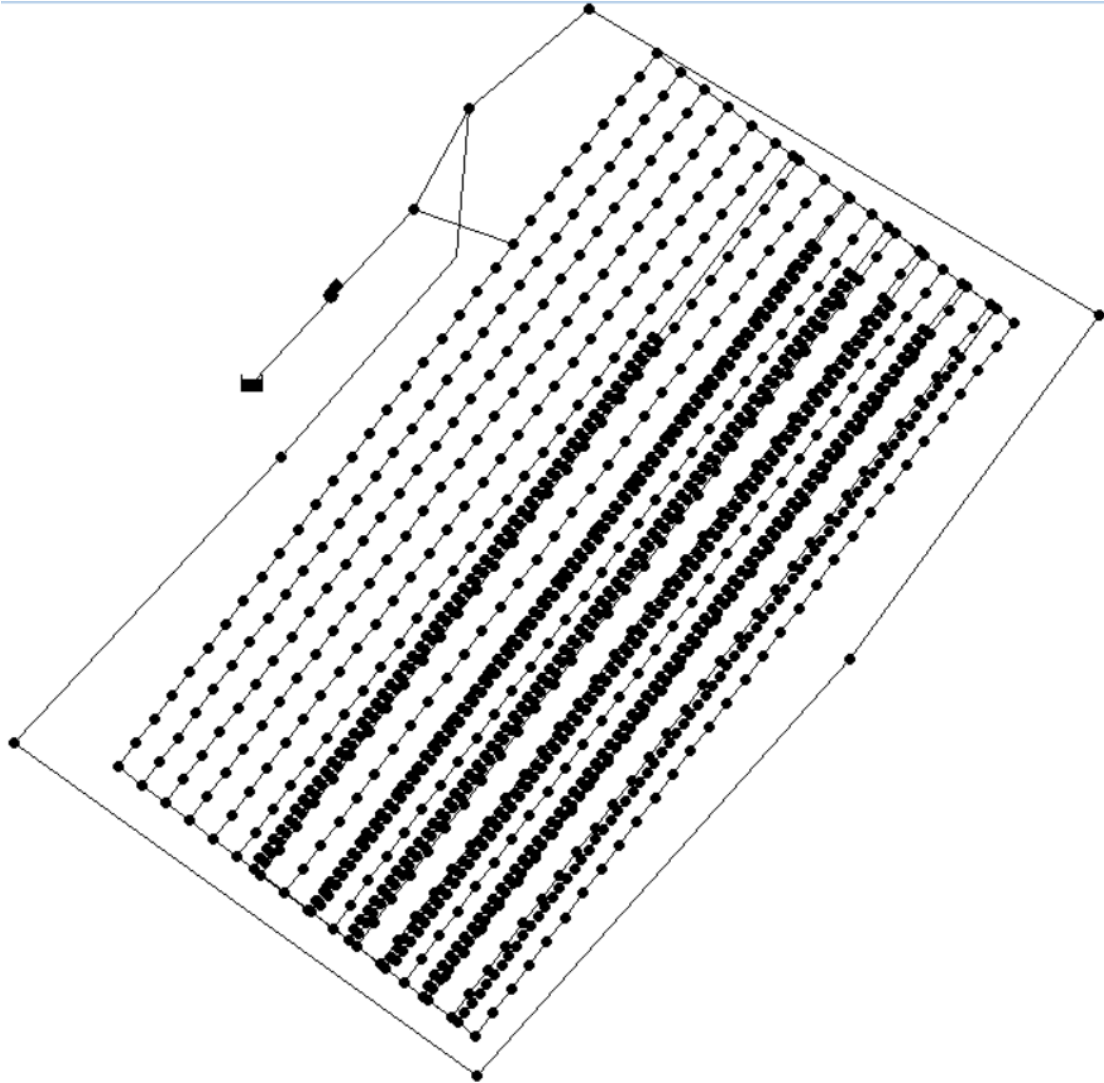


Imagen 21: Red de rociadores e hidrantes. Fuente: Epanet

La selección del hidrante más alejado de la red es fácil, puesto que se trata de localizar el hidrante situado simétricamente opuesto a donde se encuentra el grupo de bombeo PCI. Sin embargo, la determinación de los rociadores más desfavorables, ya es más complicada, puesto que la topología de la red es más extensa, contando con un gran número de mallas y nudos. De tal forma, que el alumno autor de este TFM, ha seleccionado el área de rociadores más desfavorable, de la mejor forma que ha podido:

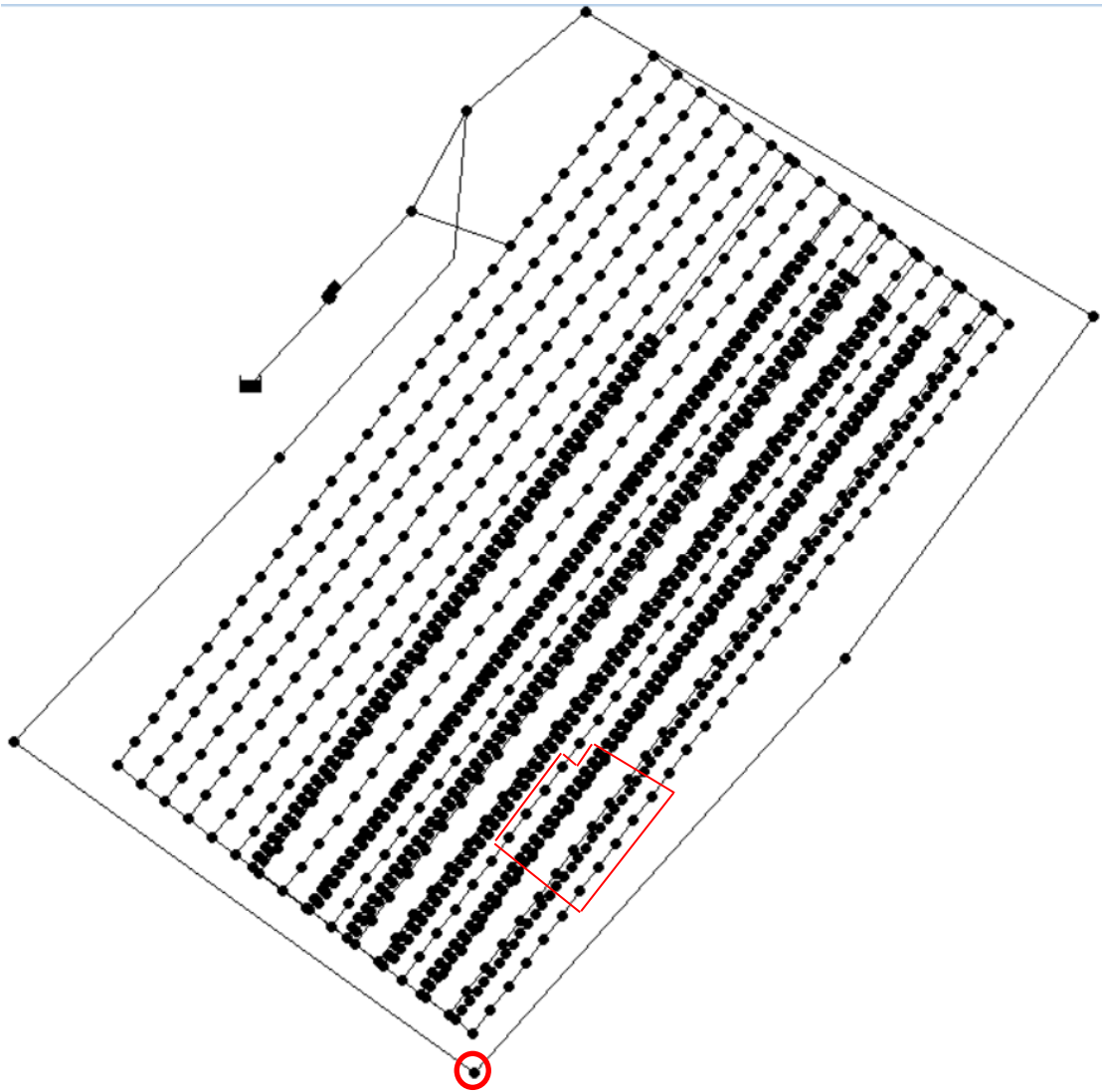


Imagen 22: Rociadores e hidrante más desfavorables. Fuente: Epanet

Seleccionando estos elementos, introduciéndoles los respectivos valores de caudales demandados, y ejecutando la simulación, se han obtenido las presiones resultantes en todos los nudos de la red, de los que interesa sobretodo conocer los valores obtenidos en los nudos correspondientes a los rociadores e hidrante abiertos.

Este proceso es iterativo, es decir, dado que no se conoce el modelo de bomba a emplear, se debe introducir una con una curva característica, tal que uno de sus puntos, se corresponda con el caudal de cálculo de la instalación, e ir variando la presión que da la bomba en dicho punto, hasta que se alcance una presión de como mínimo dos bares en todos los rociadores analizados y de 5 bares como mínimo en el hidrante considerado.

Siguiendo este proceso, mediante una bomba que para el caudal de diseño requerido ($42,75 \text{ L/s} + 1000/60 \text{ L/s} = 59,42 \text{ L/s}$) ofrece una altura de 70 mca, se consigue que el hidrante proporcione una presión superior a 5 bares, y que ningún hidrante proporcione una presión inferior a 2 bares. Esta solución ha sido obtenida considerando un diámetro en todas las tuberías de 100 mm.

Se podría pensar que con un diámetro de tubería inferior y una bomba que diera mayor presión en el punto de funcionamiento, se podrían ahorrar costes en la instalación. Pero hay que recordar, que según la fórmula de pérdidas de carga de Darcy – Weisbach, las mismas son inversamente proporcionales a la quinta potencia del diámetro, hecho que provoca que el autor haya experimentado, que al disminuir el diámetro de las conducciones, se den presiones en los nudos extremadamente negativas, hecho que implica, que haría falta una bomba de inmensa potencia para satisfacer las exigencias hidráulicas de la instalación, hecho que no se justifica económica ni energéticamente. También se podría considerar la posibilidad de que no todas las tuberías tuviesen el mismo diámetro, pero dado que la instalación cuenta con 1587 nudos, es humanamente bastante complicado y laborioso aplicar esta estrategia.

Luego todas las conducciones, tienen un diámetro de 100 mm, a excepción de la de impulsión, que cuenta con un diámetro de 200 mm.

Esta simulación condiciona el modelo comercial de grupo contraincendios a emplear, ya que la instalación de BIE, no exigirá unas condiciones tan exigentes. Acudiendo al fabricante EBARA, especializado en este tipo de maquinaria, se tiene que el modelo ENR 100-250/75 con diámetro de impulsión de 245 mm, puede proporcionar una presión ligeramente superior para el punto de diseño, como se puede observar en su curva característica:

CURVAS DE CARACTERÍSTICAS - ENR 100-250 (según ISO 9906 / 2)

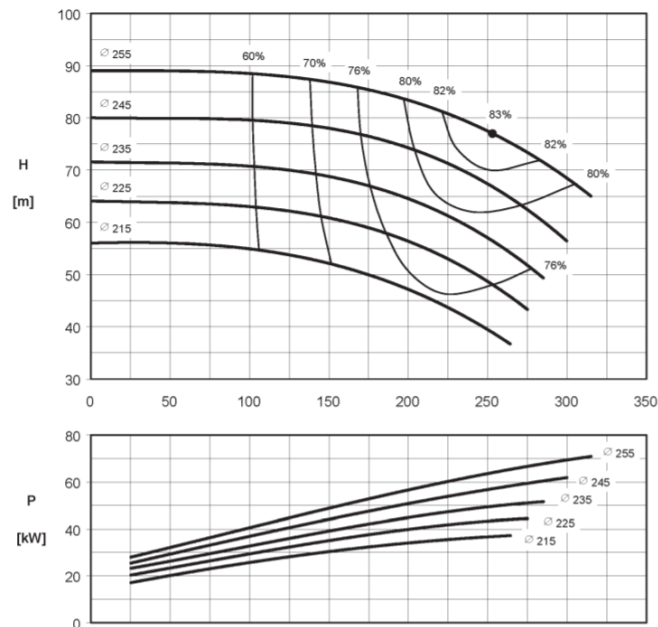


Imagen 23: Curva característica de la bomba seleccionada. Fuente: www.ebara.com

De donde se puede ver también, la potencia consumida por la misma en dichas condiciones de funcionamiento.

- Resultados instalación de BIE:

Para el análisis hidráulico de la instalación de BIE, se ha trazado en Epanet el siguiente esquema de red:

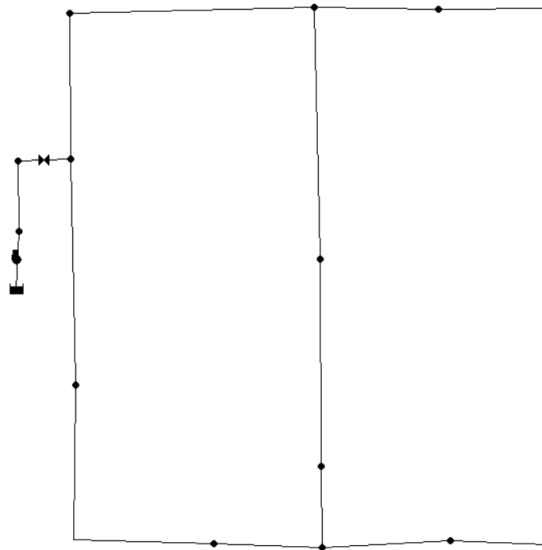


Imagen 21: Red de BIE. Fuente: CYPE

Cierto es que la red trazada por el autor de este TFM es bastante poco elegante, sin embargo, esto no influye en el cálculo hidráulico, ya que se le ha indicado a Epanet que no establezca longitudes automáticas en función de la longitud en el dibujo de las conducciones. Estas longitudes se han introducido numéricamente.

Basándose el autor en el catálogo de tuberías con sus respectivos precios, del *Generador de Precios* de CYPE, se han probado distintos diámetros (los mismos para todas las conducciones): 25, 50, 75, 100, etc.

El resultado ha sido que, para satisfacer una presión superior a 2 bar en la BIE más desfavorable, con el grupo de bombeo de PCI que se ha seleccionado en el apartado anterior, se requiere el uso de tuberías de 50 mm de diámetro, con la instalación de una válvula reductora de presión a la salida de impulsión de la bomba (se superaban los 5 bares en varias BIE). Se podría pensar, que disminuyendo el diámetro de las conducciones, se podría conseguir el ahorro de la instalación de esta válvula. Sin embargo, para un diámetro de tubería de 25 mm, las pérdidas se disparan, y se tienen presiones negativas en la mayoría de BIE, con lo cual, se hace necesaria la adquisición de esta válvula, tarándola a 50 mca.

5.10.3 Volumen de depósito de PCI necesario

Teniendo en cuenta las condiciones exigidas en el RSCIEI para el cálculo del volumen del depósito de PCI, se obtiene que el valor de éste debe ser de 320,85 m³, que pueden obtenerse, mediante un depósito de 7,5 m de diámetro y algo más de 7 m de altura (para tener un orden de magnitud de su tamaño).

6. Sistema de Iluminación Natural

Otro factor importante en el diseño de una nave industrial, es determinar los sistemas de iluminación natural que permiten llevar a cabo correctamente la actividad industrial que se desarrolla en su interior, de tal forma, que se recurra lo mínimo posible a sistemas de alumbrado artificial. Las razones son varias: fisiológicas (la luz natural fatiga menos la vista de los seres humanos), económicas (la luz natural es gratis, lo que implica menores costes en la factura eléctrica) y de otras índoles.

Así pues, distintas normativas vigentes (OGSHT y RD 486/1997), establecen como obligatoriedad el uso de sistemas de iluminación natural siempre que sea posible. Sin embargo, en estas normativas no se define cómo se deben dimensionar estos sistemas de iluminación natural. Luego para realizar el dimensionamiento de este sistema, se debe recurrir a otras normas. Usualmente se recurre a una formulación derivada de la norma alemana DIN 5034 para el diseño de este tipo de instalaciones. De tal modo, que en este TFM, se recurrirá a dicho método para el dimensionamiento del sistema de iluminación natural de la nave industrial.

Por otro lado, conviene conocer qué sistemas de iluminación natural son empleados habitualmente en las naves industriales. Estos son, fundamentalmente, los siguientes:

- Disposición de lucernarios tanto laterales como cenitales.
- Disposición de claraboyas.

Cada tipo de sistema tiene sus particularidades de cálculo, luego, en función del sistema que se elija, se utilizarán unas u otras expresiones (también se pueden combinar ambos sistemas en un mismo recinto).

Para la nave de este TFM, dado que la actividad a desarrollar (almacenaje de productos) no requiere una gran cantidad de iluminación, se ha decidido disponer únicamente un sistema de iluminación por claraboyas, ya que a diferencia de los lucernarios laterales, generalmente, la iluminación aportada, no se ve afectada en caso de que se construyan edificios adyacentes a la nave cuya altitud impida el paso de esta iluminación al interior de la nave.

Luego, una vez definido el sistema de iluminación natural a emplear, es necesario conocer las expresiones de cálculo que permiten su dimensionamiento. Así pues, la normativa alemana DIN 5034 establece la siguiente expresión para sistemas de iluminación natural basados en claraboyas:

$$E_{int} = E_a \cdot \eta \cdot \frac{S_v}{S_s}$$

Donde:

- E_{int} es la iluminancia natural (en lux) que llega al suelo de la nave industrial.
- E_a es la iluminancia natural (en lux) disponible en el exterior de la nave industrial.
- η es el rendimiento de la claraboya: fracción de iluminancia que atraviesa la claraboya y que no se absorbe o refleja en la misma.
- S_v es la superficie de ventanales: suma de las superficies de todas las claraboyas (en m²).
- S_s es la superficie del suelo de la nave (en m²).

Generalmente en esta expresión, los valores conocidos son E_{int} , E_a , η y S_s y el valor a determinar, la superficie de los ventanales (S_v).

Cada proceso productivo en general, requiere una iluminancia mínima determinada para que visualmente pueda realizarse con facilidad por parte de los trabajadores. Sin embargo, este es un valor relativo, ya que no todas las personas tienen las mismas capacidades ni las mismas preferencias a la hora de tener una iluminación concreta para llevar a cabo una determinada tarea. Así pues, distintas normativas dan recomendaciones sobre estos valores en función de las actividades que se desarrollen en el interior de los recintos. Para el caso de actividades de almacenaje, la norma DIN 5035 recomienda una iluminancia natural de entre 250 y 500 lux. Tomando el caso más desfavorable, se decide exigir que haya una iluminancia de 500 lux en el interior de la nave.

Como se ha comentado anteriormente, E_a es la iluminancia natural (en lux) disponible en el exterior de la nave industrial. Generalmente, ésta puede obtenerse de bases de datos que, en función de la localización geográfica, proporcionan el valor medio de ésta para la realización de este tipo de cálculos. También hay softwares específicos para realizar el diseño del sistema de iluminación natural, que emplean modelos para simular distintas situaciones de iluminación natural. Como el propósito de este TFM no está focalizado al análisis de los sistemas de iluminación natural que puede tener esta nave, no se van a emplear técnicas tan complejas para la determinación de este parámetro. En su lugar, se va a adoptar un valor de 3000 lux, que está del lado de la seguridad.

El valor de η depende de cada modelo de claraboya concreto. Lo más lógico es emplear claraboyas que tengan este valor lo más elevado posible para minimizar el número de claraboyas a disponer, siempre que sea posible. También conviene que las claraboyas sean lo más grande posible para disminuir los costes y el tiempo en su montaje. Teniendo en mente estos criterios, a partir de los apuntes suministrados en la asignatura "Construcción, Arquitectura y Urbanismo Industrial", se escoge un modelo de claraboya rectangular de 160x250 cm² con un rendimiento del 83%. Nótese que el ancho de las claraboyas (160 cm) es menor que la separación entre correas de cubierta establecida (175 cm), con lo cual, estas claraboyas se dispondrán en la cubierta de tal forma que ninguna correa interfiera con las mismas, evitando así, que no llegue toda la iluminación natural posible al interior de la nave.

De tal forma, que teniendo en cuenta todos estos valores, y que la superficie del suelo de la nave es de 6272 m², la superficie de claraboyas a disponer en el interior de la nave, será:

$$S_v = \frac{S_s \cdot E_{int}}{E_a \cdot \eta} = 1259,4 \text{ m}^2$$

Luego, si cada claraboya tiene una superficie de 4 m², serán necesarias:

$$n^{\circ} \text{ claraboyas} = \frac{S_v}{S_c} = 315$$

Ahora bien, se debe compatibilizar este número de claraboyas con el espacio disponible: esto es, distribuir las claraboyas sobre la cubierta uniformemente. Para ello, basta con obtener el número de claraboyas que se tendría por jácena cuando se tienen 315 claraboyas en total:

$$n^{\circ} \frac{\text{claraboyas}}{\text{jácena}} = \frac{n^{\circ} \text{ claraboyas}}{n^{\circ} \text{ jácenas}} = \frac{n^{\circ} \text{ claraboyas}}{n^{\circ} \text{ pórticos} \cdot n^{\circ} \text{ naves} \cdot 2} = 5,6$$

Dado que no se trata de un número entero, se decide instalar 6 claraboyas/jácena, comprobando qué estas caben: si cada claraboya ocupa 4 m², por jácena se tendrá una superficie de claraboyas de 24 m²; si cada porción de faldón, formada por dos jácenas consecutivas tiene una superficie de $8 \cdot \frac{14}{\cos 6^\circ} = 112,6 \text{ m}^2 \rightarrow$ Luego esta disposición es adecuada.

Entonces, si se tienen 6 claraboyas/jácena, se tienen en total 336 claraboyas, lo que supone una iluminancia en el interior de la nave de:

$$E_{int} = E_a \cdot \eta \cdot \frac{S_v}{S_s} = 3000 \cdot 0,83 \cdot \frac{336 \cdot 4}{6272} = 533,6 \text{ lux}$$

Que es algo más de lo recomendado por la normativa seleccionada para la actividad concreta desarrollada en el interior de la nave. No obstante, como se trata de una recomendación y no de una exigencia de un valor concreto, se da por adecuado.

Por tanto, la nave industrial de este TFM cuenta con un sistema de iluminación natural formado por 336 claraboyas de 4 m² cada una, simétricamente distribuidas, que aportan una iluminancia total de 533,6 lux en el interior de la nave. Una vista en planta de esta distribución de claraboyas, se puede encontrar en el apartado de Planos de este TFM.

7. Resumen de presupuesto

En este apartado se recoge un resumen del presupuesto elaborado con Arquímedes, del proyecto sobre el que trata este TFM (evidentemente considerando los costes sólo de las instalaciones y construcciones dimensionadas).

Total Presupuesto parcial nº 1 Acondicionamiento del terreno: 195677,42 €

Total Presupuesto parcial nº 2 Cimentaciones: 92750,65 €

Total Presupuesto parcial nº 3 Estructuras: 745.882,03 €

Total Presupuesto parcial nº 4 Gestión de residuos: 1.542,43 €

Total Presupuesto parcial nº 5 Fachadas y particiones: 302.238,42 €

**Total Presupuesto parcial nº 6 Carpintería, cerrajería, vidrios y protecciones solares:
92.259,53 €**

Total Presupuesto parcial nº 7 Cubiertas: 384.842,60 €

Total Presupuesto parcial nº 8 Instalaciones: 538.086,52 €

Total: 2.353.279,60 €

8. Bibliografía

Para la elaboración del TFM ha sido necesario consultar distintas fuentes de información, las cuales se listan debajo:

- Código Técnico de la Edificación, Real Decreto 314/2006 del 17 de marzo.
- Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE-08), Real Decreto 1247/2008 del 18 de julio.
- Sede electrónica del catastro.
- Plan general de ordenación de Urbana de Cabanillas del Campo (www.aytocabanillasdelcampo.com).
- Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales (www.boe.es).
- Mecalux (www.mecalux.es)
- Apuntes de la asignatura *Construcción, Urbanismo y Arquitectura Industrial*.
- Apuntes de la asignatura *Tecnología de la Construcción para nivelación*.
- Apuntes de la asignatura *Máquinas Hidráulicas para nivelación*.
- Apuntes de la asignatura *Diseño y Aplicación de Equipos Industriales*.
- Apuntes de la asignatura *Instalaciones de Fluidos*.

2 ANEXO DE CÁLCULO

En este apartado del TFM, se adjuntarán los resultados más relevantes generados por el programa CYPE3D en el dimensionado del sistema estructural y los resultados generados por el programa Epanet en el dimensionado de las instalaciones de PCI de BIE, hidrantes y de rociadores automáticos.

También se presenta mediante qué expresiones matemáticas se realizaría la mayoría de los cálculos estructurales que CYPE3D ha realizado para el dimensionado estructural de la nave, y de las empleadas por Epanet para el dimensionado de las instalaciones hidráulicas.

A1. Anexo de cálculo: estructura

- A1.1 Cálculo teórico de las cargas de viento y nieve
- A1.1 Cálculo de acciones
- A1.2 Combinaciones de Cálculo en Ingeniería Estructural de Naves Industriales
- A1.2 Calculo de esbeltez reducida
- A1.3 Cálculo de la esbeltez reducida y selección de perfiles por dicho criterio
- A1.4 Cálculo de los Coeficientes de Pandeo y de Momento Equivalente de los elementos estructurales
- A1.5 Cálculo teórico de los Estados Límite de las Barras
- A1.6 Cálculo teórico de los Estados Límite de las Uniones
- A1.7 Cálculo teórico de los Estados Límite de las Cimentaciones
- A1.8 Resultados de cálculo

A2. Anexo de cálculo: Protección contra incendios

- A2.1 Funcionamiento simultáneo del hidrante más desfavorable con los rociadores automáticos de agua más desfavorables
- A2.2 Funcionamiento simultáneo del hidrante más favorable con los rociadores automáticos de agua más favorables
- A2.3 Funcionamiento de la instalación de BIE, cuando funcionan las tres más desfavorables

A1. Anexo de cálculo: Estructura

A1.1 Cálculo teórico de las cargas de viento y nieve

En este apartado, se hace un recordatorio de cómo se calcularían las cargas de viento y nieve que debiera soportar la nave industrial, acorde con la legislación vigente.

Para el cálculo de la acción del viento (*presión estática*), CYPE emplea la expresión indicada por el CTE:

$$q_e(z) = q_b \cdot c_e(z) \cdot c_p$$

Donde:

- q_b es la presión dinámica del viento, calculada mediante la expresión: $q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2$ donde δ es la densidad del aire, (que es función de la altitud, temperatura ambiental y humedad), y v_b es la velocidad de viento máxima esperable en el emplazamiento seleccionado.
- $c_e(z)$ es el *coeficiente de exposición*, que tiene en cuenta las posibles turbulencias que se pueden originar en función del emplazamiento concreto de la nave y de las características de su entorno. Su cálculo, se realiza mediante las siguientes expresiones:

$$c_e(g, z) = F(g, z) \cdot [F(g, z) + 7 \cdot k(g)]$$

$$F(g, z) = k(g) \cdot \ln\left(\frac{\max(z, Z(g))}{L(g)}\right)$$

Donde:

- $F(g, z)$ es el *coeficiente de rugosidad*
- $k(g)$ es un *factor de terreno*
- z es la altura sobre el terreno
- $Z(g)$ es la *altura mínima a considerar*
- $L(g)$ es el *tamaño del torbellino formado por la fricción del aire con la superficie del terreno*

$k(g)$, $Z(g)$ y $L(g)$ se pueden extraer de la siguiente tabla del CTE, en función del grado de aspereza:

Tabla D.2 Coeficientes para tipo de entorno

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,156	0,003	1,0
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

Tabla 29. Valores de k, L y Z en función del grado de aspereza del entorno. Fuente: CTE

- c_p es el coeficiente eólico. Es un coeficiente que tiene en cuenta la forma física de la edificación y la disposición de sus elementos frente al viento en determinadas hipótesis. Existen dos tipos:

- Coeficiente eólico exterior, que pondera la acción del viento exterior y se calcula mediante la expresión: $c_{pe} = c_p(h/d, \alpha, A, f, Zona)$, donde:

- h/d es la dirección relativa del viento
- α, f son valores que tienen en cuenta la forma física del edificio
- A es el área de influencia del elemento en el que se está calculando
- $Zona$ tiene en cuenta la posición del elemento considerado

- Coeficiente eólico interior, que pondera la acción del viento interior (si éste se puede dar) cuyo cálculo no se va a explicitar aquí, dado que su cálculo resulta de mayor complejidad que el exterior, y ya que no se ha considerado en la nave del presente TFM, por no disponer ésta de oberturas/canalizaciones significativas por las que pudiera entrar éste.

Para el cálculo de las cargas de nieve, CYPE realiza este cálculo mediante las expresiones proporcionadas por la reglamentación vigente (CTE):

$$q_n = \mu(\alpha) \cdot s_k(H, ZC)$$

Donde:

- $\mu(\alpha)$ es un coeficiente que tiene en cuenta la forma de la cubierta. En efecto, si la pendiente del faldón de cubierta es inferior a 30°, este coeficiente debe valer la unidad, pues se considera que no hay deslizamiento de la nieve (caso de la nave de este TFM). En casos de $\alpha \geq 60^\circ$ su valor es de 0, y en casos entre medias, se debe interpolar entre estas dos situaciones. Si existen impedimentos al corrimiento de la nieve, $\mu(\alpha) = 1$.
- $s_k(H, ZC)$ es el valor característico de la carga de nieve, función del emplazamiento geográfico. De tal forma, que para obtener su valor, se debe acudir al siguiente mapa y tabla:



Figura 16. Mapa de Zonas de Nieve según el CTE. Fuente: CTE

Tabla E.2 Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal (kN/m²)

Altitud (m)	Zona de clima invernal, (según figura E.2)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2
700	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2
800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2
900	1,4	1,3	0,6	1,0	0,8	0,9	0,2
1.000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0,2
1.200	2,3	2,0	1,1	1,9	1,3	2,0	0,2
1.400	3,2	2,6	1,7	3,0	1,8	3,3	0,2
1.600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	5,5	0,2
1.800	-	4,6	4,0	-	-	9,3	0,2
2.200	-	8,0	-	-	-	-	-

 Tabla 30. Valores de s_k en función de la altitud topográfica. Fuente: CTE

A tener en cuenta que se deben considerar tres casos de carga de nieve (uno con idéntica carga de nieve en ambos faldones y otros dos, con cargas asimétricas) y que para edificaciones ubicadas a altitudes superiores a los 1000 m, se debe considerar en los elementos volados además, una carga lineal de nieve debida a la formación de estalactitas de hielo en éstos, cuyo valor puede obtenerse mediante la siguiente expresión: $p_n = k \cdot \mu^2 \cdot s_k(H, ZC)$ (no aplicable a la nave de este TFM).

A1.2 Combinaciones de Cálculo en Ingeniería Estructural de Naves Industriales

En este apartado, se recuerda cuáles son los diferentes Estados Límite de Servicio que exige el CTE a las naves industriales:

- i. Integridad: se corresponde con estudiar el efecto de las acciones sobre los elementos constructivos, sin considerar las cargas permanentes, puesto que estos elementos no soportan nada más que su propio peso, el resto de cargas las transmiten a los elementos estructurales. En la nave de este TFM, sólo se tiene de este tipo de elementos, las correas laterales y de cubierta. Las acciones consideradas, irán acompañadas con su coeficiente de acompañamiento (ψ_0), y la expresión a aplicar para cada combinación, es la siguiente:

$$P + Q_I + \sum_{j \neq i} \psi_{0,j} \cdot Q_j$$

Donde:

- P : es la acción debida al pretensado (si existen elementos pretensados)
 - Q_I : es la sobrecarga de uso
 - Q_j : es la acción considerada en cada combinación (viento, nieve o sobrecarga)
- ii. Apariencia: se trata de la combinación cuasi-permanente de las acciones: se combinarán todas las acciones con su correspondiente coeficiente de acompañamiento (ψ_2). Básicamente, la única acción con este coeficiente no nulo, es la correspondiente a las sobrecargas, luego la expresión:

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

Adoptará la forma:

$$\sum_{j \geq i} G_{k,j} + P + 0,6 \cdot Q_{sobrecarga}$$

- iii. Confort: comprobación que se realiza considerando la combinación característica de acciones con su correspondiente coeficiente de acompañamiento (ψ_0). Luego, la expresión a aplicar para construir cada combinación será:

$$\sum_{j \geq i} G_{k,j} + P + Q_I + \sum_{j \neq i} \psi_{0,j} \cdot Q_j$$

Dado que es un criterio que se aplica sobre estructuras horizontales de pisos y cubiertas, para esta nave no se aplicará, puesto que la cubierta está configurada a dos aguas (estructuras no horizontales).

A1.3 Cálculo de la esbeltez reducida y selección de perfiles por dicho criterio

En este apartado, se recuerda cómo calcular la esbeltez reducida que requiere un determinado elemento estructural en base a sus propiedades mecánicas, geométricas y normativas. Así pues, el cálculo de la esbeltez reducida, $\bar{\lambda}$, se efectúa mediante la siguiente expresión:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_{barra}}{\lambda_{limite}}$$

Donde:

- λ_{barra} es la esbeltez de la barra considerada, que se calcula mediante la expresión: $\lambda_{barra} = \frac{\beta \cdot L}{i}$ donde β es el coeficiente de pand, L es la longitud de la barra e i es el rad de giro, que se puede calcular para un determinado perfil mediante la expresión $i = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$, donde I_x es la inercia en el eje considerado y A el área de la sección transversal del perfil. Luego, para cada eje, habrá un i determinado, y por tanto, una λ_{barra} determinada. En la mayoría de los elementos estructurales (menos los que son geoméricamente simétricos) existe un eje fuerte y un eje débil. El eje en el que es más esbelta la pieza (menor i), se corresponde con el eje débil. Esto quiere decir, que la pieza cuando está sometida a compresión, pandeará antes (con menor carga) en ese eje que en el eje fuerte. Luego, con el arriostramiento, se busca disminuir la longitud de pand en el eje débil, para poder evitar tener fallos estructurales debidos a pand, con perfiles del menor tamaño posible (más económicos). Evidentemente, hacer muchos arriostramientos para disminuir al máximo posible la posibilidad de pand, puede no ser particularmente útil, sobre todo si el fallo se produce por falta de resistencia (necesidad de perfil de mayor área, es decir, superior), o si pandea antes por el eje fuerte, o si se hace por no utilizar los perfiles más grandes de la serie (en los que, usualmente, el precio no guarda la proporción con el tamaño tanto como los modelos inferiores (son mucho más caros)) en aras de disminuir costes, ya que el sobrecoste de emplear tantos arriostramientos, puede ser superior al de escoger perfiles de los de mayor tamaño.

- $\lambda_{límite}$ es la esbeltez límite de la barra en cuestión. Representa la esbeltez teórica de la pieza, obtenida a partir de propiedades físicas de la misma. Se calcula mediante la expresión:
$$\lambda_{límite} = \pi \sqrt{\frac{E}{f_{yd}}}$$
, donde E es el módulo elástico del material de la barra (para el acero, su valor es aproximadamente 210 GPa) y f_{yk} es el límite elástico del material (para el acero S275, vale 275 MPa).

Combinando varias expresiones de las mencionadas, se puede despejar el rad de giro necesario para una determinada barra, en función de todos los parámetros de interés:

$$i \geq \frac{\beta \cdot L}{\bar{\lambda} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yd}}}}$$

Así pues, mediante esta expresión se puede proceder al cálculo de las esbelteces reducidas requeridas por las barras, para satisfacer los requerimientos de esbeltez reducida impuestos por el CTE:

A1.3.1 Pórtico de Fachada

→ Pilares:

$$i_z \geq \frac{\beta_z \cdot L}{\bar{\lambda} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}} = \frac{0,7 \cdot 6450}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{275}}} = 26,00 \text{ mm}$$

$$i_y \geq \frac{\beta_y \cdot L}{\bar{\lambda} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}} = \frac{0,7 \cdot 15470}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{275}}} = 62,37 \text{ mm}$$

IPE 240 cumple ($i_z = 26,95 \text{ mm}$; $i_y = 99,77 \text{ mm}$)

→ Jácenas:

$$i_z \geq \frac{\beta_z \cdot L}{\bar{\lambda} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}} = \frac{1,0 \cdot 1750}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{275}}} = 10,08 \text{ mm}$$

$$i_y \geq \frac{\beta_y \cdot L}{\bar{\lambda} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}} = \frac{1,0 \cdot \frac{7000}{\cos 6^\circ}}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{275}}} = 40,54 \text{ mm}$$

IPE 100 cumple ($i_z = 12,40 \text{ mm}$; $i_y = 40,70 \text{ mm}$)

→ Montantes:

$$i_{y\sim z} \geq \frac{\beta \cdot L}{\bar{\lambda} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}} = \frac{1,0 \cdot 7000}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{275}}} = 40,32 \text{ mm}$$

SHS 120x3.0 cumple ($i_{y\sim z} = 47,55 \text{ mm}$)

→ Diagonales:

$$i_{y\sim z} \geq \frac{\beta \cdot L}{\bar{\lambda} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}} = \frac{1,0 \cdot \frac{\sqrt{7000^2 + 6450^2}}{2}}{3 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{275}}} = 18,28 \text{ mm}$$

L 100x100x6 cumple ($i_{y\sim z} = 19,70 \text{ mm}$)

Nota: se han considerado las diagonales de mayor longitud (caso más desfavorable).

A1.3.2 Pórtico Interior

→ Pilares:

$$i_z \geq \frac{\beta_z \cdot L}{\bar{\lambda} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}} = \frac{0,7 \cdot 6450}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{275}}} = 26,00 \text{ mm}$$

$$i_y \geq \frac{\beta_y \cdot L}{\bar{\lambda} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}} = \frac{0,7 \cdot 14000}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{275}}} = 56,44 \text{ mm}$$

IPE 240 cumple ($i_z = 26,95 \text{ mm}$; $i_y = 99,77 \text{ mm}$)

→ Jácenas:

$$i_z \geq \frac{\beta_z \cdot L}{\bar{\lambda} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}} = \frac{1,0 \cdot 1,75}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{275}}} = 10,08 \text{ mm}$$

$$i_y \geq \frac{\beta_y \cdot L}{\bar{\lambda} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}} = \frac{1,0 \cdot \frac{14000}{\cos 6^\circ \cdot 2}}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{275}}} = 162,15 \text{ mm}$$

IPE 400 cumple ($i_z = 39,49 \text{ mm}$; $i_y = 165,45 \text{ mm}$)

A.3.3 Fachada Lateral

→ Vigas Perimetrales:

$$i_z = i_y \geq \frac{\beta_z \cdot L}{\bar{\lambda} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}} = \frac{1,0 \cdot 8000}{4 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{275}}} = 23,04 \text{ mm}$$

IPE 220 cumple ($i_z = 24,77 \text{ mm}$)

→ Montantes:

$$i_{y\sim z} \geq \frac{\beta \cdot L}{\bar{\lambda} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}} = \frac{1,0 \cdot 8000}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{275}}} = 46,08 \text{ mm}$$

SHS 120x3.0 cumple ($i_{y\sim z} = 47,55 \text{ mm}$)

→ Diagonales:

$$i_{y\sim z} \geq \frac{\beta \cdot L}{\bar{\lambda} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}} = \frac{1,0 \cdot \frac{\sqrt{8000^2 + 6450^2}}{2}}{3 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{275}}} = 19,73 \text{ mm}$$

L 110x110x6 cumple ($i_{y\sim z} = 21,77 \text{ mm}$)

A1.3.4 Cubierta

→ Montantes:

$$i_{y\sim z} \geq \frac{\beta \cdot L}{\bar{\lambda} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}} = \frac{1,0 \cdot 8000}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{275}}} = 46,08 \text{ mm}$$

SHS 120x3.0 cumple ($i_{y\sim z} = 47,55 \text{ mm}$)

→ Diagonales:

$$i_{y\sim z} \geq \frac{\beta \cdot L}{\bar{\lambda} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}} = \frac{1,0 \cdot \frac{\sqrt{7000^2 + 8000^2}}{2}}{3 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{275}}} = 20,41 \text{ mm}$$

L 110x110x6 cumple ($i_{y\sim z} = 21,77 \text{ mm}$)

A1.4 Cálculo de los Coeficientes de Pandeo y de Momento Equivalente de los elementos estructurales

En este apartado, se recuerda cómo se deben calcular los coeficientes de pandeo y de momento equivalente de los elementos estructurales.

A1.4.1 Introducción teórica

Para configuraciones de barras elementales, es posible determinar teóricamente el coeficiente de pandeo que le corresponde a cada una de ellas ($\beta = 1$ para una barra biapoyada, $\beta = 0,7$ para una barra empotrada-apoyada,...). Sin embargo, para configuraciones más complejas que estas, en las que una barra se une rígidamente en un extremo con otras, es necesario tener en cuenta las rigideces de ésta y las otras barras, para conocer el coeficiente de pandeo que esta configuración le otorga a la barra en análisis. Así pues, el coeficiente de pandeo, β , es función de las siguientes variables:

- η_1 : coeficiente de distribución del extremo 1 de la barra
- η_2 : coeficiente de distribución del extremo 2 de la barra
- GT: Grado de Traslacionalidad de la barra:
 - GT=0: barra intraslacional
 - GT=1: barra traslacional

Los coeficientes de distribución, se calculan mediante la siguiente expresión:

$$\eta_i = \frac{K_c + K_i}{K_c + K_i + K_{ii} + K_{ij}}$$

Donde:

- K_c es el coeficiente de rigidez del tramo de pilar analizado, calculado como: $K_c = \frac{E \cdot I}{L}$, donde E es el módulo elástico de la barra, I es el momento de inercia respecto al eje en el que se está analizando el pand, y L es la longitud del tramo de pilar considerado.
- K_i es el coeficiente de rigidez del siguiente tramo de pilar (en caso de que lo haya, si no, toma el valor 0). Se calcula de forma análoga a K_c .
- K_{ij} es el coeficiente de rigidez eficaz de la viga en el nudo i y lado j , que se calcula mediante la expresión: $K_{ij} = \psi \cdot \frac{E \cdot I_{ij}}{L_{ij}}$, donde ψ es un coeficiente que tiene en cuenta las condiciones de restricción al giro en la viga en el extremo contrario al considerado y cuyo valor se obtiene de la siguiente tabla, según del caso que se esté analizando:

Tabla 6.5 Coeficiente de rigidez eficaz para una viga en comportamiento elástico

Condiciones de coacción al giro en la viga en el extremo contrario al considerado.	Coeficiente de rigidez eficaz K de la viga	
	sin compresión relevante	con compresión ⁽¹⁾
empotrado	1,0 EI/L	1,0 EI/L (1-0,4 N/N _{cr})
articulado	0,75 EI/L	0,75 EI/L (1 - 1,0 N/N _{cr})
giro igual y de igual signo	1,5 EI/L	1,5 EI/L (1-0,2 N/N _{cr})
giro igual y de signo opuesto	0,5 EI/L	0,5 EI/L (1-1,0 N/N _{cr})
giro θ _a en el nudo considerado y giro θ _b en el otro	(1 + 0,5 θ _b / θ _a) EI/L	-

⁽¹⁾ N_{cr} se refiere al valor crítico a compresión de la viga considerada. El caso general (-) no está contemplado

Tabla 31. Coeficientes de rigidez eficaz en función de las condiciones de coacción al giro de la viga en el extremo contrario al considerado. Fuente: CTE

Una vez se tienen calculados los coeficientes de distribución, teniendo en cuenta el GT de la barra analizada, el coeficiente de pandeo, β , se calculará mediante una de las siguientes expresiones:

- Si GT=0:

$$\beta = \frac{L_k}{L} = \frac{1 + 0,145 \cdot (\eta_1 + \eta_2) - 0,265 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}{2 - 0,364 \cdot (\eta_1 + \eta_2) - 0,247 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2} \leq 1$$

- Si GT=1:

$$\beta = \frac{L_k}{L} = \sqrt{\frac{1 - 0,2 \cdot (\eta_1 + \eta_2) - 0,12 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}{1 - 0,8 \cdot (\eta_1 + \eta_2) + 0,6 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}} \geq 1$$

Una vez se conocen las expresiones a aplicar, ya se pueden calcular los distintos coeficientes de pandeo para cada barra, considerando siempre el modo de pandeo más desfavorable (traslacional o intraslacional) y el que soporte menor carga crítica.

Destacar que, para el caso de naves industriales a dos aguas, el problema se simplifica, puesto que no existen muchas interacciones en una misma barra en un mismo plano de pandeo (como mucho, se tiene una barra unida rígidamente a otra en un mismo plano de pandeo).

Por otro lado, para el cálculo de los coeficientes de momento equivalente, la normativa establece unas expresiones, en función de una serie de parámetros: eje de flexión, dirección en que están arriostrados los puntos y forma del diagrama de flectores. Para una mejor comprensión, se adjunta la Tabla 6.10 del DB SE-A:

Tabla 6.10 Coeficientes del momento equivalente

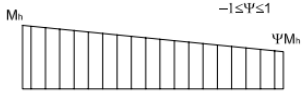
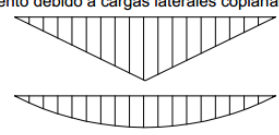
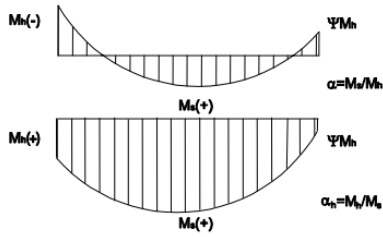
Factor de momento flector	Eje de flexión	Puntos arriostrados en dirección
$C_{m,y}$	y-y	z-z
$C_{m,z}$	z-z	y-y
$C_{m,LT}$	y-y	y-y
Diagrama de Flectores	Factor de momento uniforme equivalente	
	$C_{m,y} = C_{m,i} (i=y)$ $C_{m,z} = C_{m,i} (i=z)$ $C_{m,LT} = C_{m,i} (i=LT)$	
<p>Momentos de extremo $-1 \leq \psi \leq 1$</p>  <p style="text-align: right;">$C_{m,i} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$</p>		
<p>Momento debido a cargas laterales coplanarias</p>  <p style="text-align: right;">$C_{m,i} = 0,9$</p> <p style="text-align: right;">$C_{m,i} = 0,95$</p>		
<p>Momentos debidos a cargas laterales y momentos de extremos</p>  <p style="text-align: right;"> $C_{m,i} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4$ si $-1 \leq \alpha \leq 0$ $C_{m,i} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4$ si $0 \leq \alpha \leq 1$ </p> <p style="text-align: right;">$C_{m,i} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h$ con $-1 \leq \alpha_h \leq 1$</p>		

Tabla 32. Coeficientes del momento equivalente Fuente: CTE

A continuación, se detallará y explicará cómo se han obtenido los distintos coeficientes de pandeo y de momento equivalente para cada una de las tipologías de barras empleadas en la nave industrial de este TFM.

A1.4.2 Coeficientes de Pandeo y Momento Equivalente para las Barras del Pórtico Interior

A1.4.2.1.1 Pilares Externos (Tramo Inferior)

Para los pilares externos del pórtico interior, en el plano XZ, sólo se tiene la unión rígida de los pilares externos con la jácena. Luego, como se ha comentado anteriormente, el problema y el cálculo del coeficiente de pandeo se simplifica. Además, si se asume que se emplean los mismos perfiles en las jácenas y en los pilares (cosa que no tiene por qué ser verdad, pero, dado que todavía no se ha hecho el cálculo estructural, esta información no es conocida), el coeficiente de distribución de un extremo, se puede calcular mediante la siguiente expresión simplificada:

$$\eta_1 \approx \frac{L}{L + 1,5 \cdot h} = \frac{\frac{14}{\cos 6^\circ} \cdot 2}{\frac{14}{\cos 6^\circ} \cdot 2 + 1,5 \cdot 14} = 0,573$$

Donde L es la longitud de la jácena y h la altura del pórtico. El coeficiente de distribución para el otro extremo, η_2 , toma por valor 0, ya que los pilares se encuentran en su base empotrados.

El caso de pandeo más desfavorable, se obtiene considerando un pórtico traslacional. Para $GT=1$, la expresión para el cálculo de β es:

$$\beta = \frac{L_k}{L} = \sqrt{\frac{1 - 0,2 \cdot (\eta_1 + \eta_2) - 0,12 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}{1 - 0,8 \cdot (\eta_1 + \eta_2) + 0,6 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}} = \sqrt{\frac{1 - 0,2 \cdot \eta_1}{1 - 0,8 \cdot \eta_1}} = 1,278$$

Por otro lado, en el plano XY, la obtención de β es inmediata, puesto que el tramo inferior de este pilar se encuentra empotrado en su base y apoyado en el arriostramiento lateral, lo que implica $\beta = 0,7$.

Por lo que respecta a los coeficientes de momento equivalente en estas barras, en el plano XY, al absorber los arriostramientos los momentos contenidos en este plano, la ley de flectores es una constante de valor nulo. Luego, según la Tabla 6.10 del CTE, esta ley de flectores se corresponde con el primer caso, para el que se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{Como } M_h = 0 \text{ y constante, } M_h = \psi \cdot M_h \rightarrow \psi = 1,0 \\ \rightarrow c_{m,XY} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 1,0 \end{aligned}$$

En el plano XZ, al tratarse de un elemento perteneciente a un plano traslacional, tiene una ley de flectores similar a la que figura en el Tipo 2 de la Tabla 6.10 del CTE (el superior). Luego, su $c_{m,XZ} = 0,9$.

A1.4.2.1.2 Pilares Externos (Tramos Superiores)

Para el caso de los tramos superiores, la única diferencia es que en el plano XY, se debe introducir el valor $\beta = 1,0$ ya que estos tramos se encuentran biapoyados. En el plano XZ, se debe considerar la misma longitud de pandeo que en el tramo inferior, ya que no existe arriostramiento en esta dirección.

Los valores de los coeficientes de momento equivalente son los mismos a introducir que en el caso anterior.

A1.4.2.2.1 Pilares Internos (Tramo Inferior)

El proceso para la obtención de β en el plano XZ es análogo al anterior caso, con la salvedad de que en estos pilares concurren dos jácenas en lugar de una, lo que provoca un cambio en la obtención de η_1 :

$$\eta_1 \approx \frac{L}{L + 3 \cdot h} = \frac{\frac{14}{\cos 6^\circ} \cdot 2}{\frac{14}{\cos 6^\circ} \cdot 2 + 3 \cdot 14} = 0,401$$

Y $\eta_2 = 0$ ya que el extremo inferior del pilar se encuentra empotrado. β será:

$$\beta = \frac{L_k}{L} = \sqrt{\frac{1 - 0,2 \cdot (\eta_1 + \eta_2) - 0,12 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}{1 - 0,8 \cdot (\eta_1 + \eta_2) + 0,6 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}} = \sqrt{\frac{1 - 0,2 \cdot \eta_1}{1 - 0,8 \cdot \eta_1}} = 1,164$$

Por otro lado, en el plano XY, la obtención de β es inmediata, puesto que el tramo inferior de este pilar se encuentra empotrado en su base y apoyado en el arriostramiento lateral, lo que implica $\beta = 0,7$.

Por lo que respecta a los coeficientes de momento equivalente en estas barras, son idénticos a los del caso anterior, por las mismas razones.

A1.4.2.2.2 Pilares Internos (Tramos Superiores)

Para el caso de los tramos superiores, la única diferencia es que en el plano XY, se debe introducir el valor $\beta = 1,0$ ya que estos tramos se encuentran biapoyados. En el plano XZ, se debe considerar la misma longitud de pand que en el tramo inferior, ya que no existe arriostramiento en esta dirección.

Los valores de los coeficientes de momento equivalente son los mismos a introducir que en el caso anterior.

A1.4.2.3 Jácenas

Para el caso de las jácenas, se considerará impedido el pandeo en el plano perpendicular al pórtico (XY) debido a la poca longitud de pandeo que se tiene en este plano, por la acción de las correas de cubierta.

Sin embargo, para el plano del pórtico (XZ), se considerará un valor de $\beta = 1$, pues la jácena se encuentra biapoyada en sus extremos. Sin embargo, en CYPE 3D, no se debe introducir este valor de β , si no, la longitud de pand ($L_k = \beta \cdot L = 1 \cdot 28 = 28 \text{ m}$) pues el programa no realiza la comprobación de pand teniendo en cuenta el conjunto de las dos jácenas, cuando se le introduce el valor de β .

Para el caso de las jácenas de los pórticos interiores, en el plano XY, debido al arriostramiento, la barra no tendría momentos en dicho plano, es decir, su ley de momentos es la constante 0. Luego, nuevamente, se vuelve a tener el primer caso de la Tabla 6.10: $c_{m,XY} = 1,0$.

En el plano XZ, sí que existen momentos flectores debidos a las acciones gravitatorias y de la acción del viento en cubierta, luego, la ley de flectores que se obtendría, sería similar al Tipo 4 de la Tabla 6.10 (son cargas uniformemente distribuidas, luego, la ley de flectores que originan en una barra, es de tipo parabólica). Dado que no se conoce el valor de M_h ni M_s , ya que no se ha realizado todavía el cálculo estructural de la nave, a priori, no se puede determinar el valor del coeficiente del momento equivalente. Sin embargo, sí que se puede deducir que el valor de M_h en valor absoluto es superior al de M_s (ya que $\alpha = \frac{M_s}{M_h}$ y necesariamente $-1 \leq \alpha \leq 1$). Luego, teniendo esto en cuenta, y sabiendo que la ley de flectores cambiará de signo, se estará en el intervalo $-1 \leq \alpha \leq 0$, y se deberá cumplir que $c_{m,i} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha \leq 0,9 \rightarrow c_{m,XZ} = 0,65$.

Así pues, los valores obtenidos para las barras de los pórticos interiores son:

Barra del Pórtico Interior	Plano	β	$c_{m,i}$	L_k
Pilares Externos (Tramo Inferior)	XY	0,7	1,00	-
	XZ	1,3	0,90	17,89
Pilares Externos (Tramos Superiores)	XY	1,0	1,00	-
	XZ	1,3	0,90	17,89
Pilares Internos (Tramo Inferior)	XY	0,7	1,00	-
	XZ	1,1	0,90	16,30
Pilares Internos (Tramos Superiores)	XY	1,0	1,00	-
	XZ	1,1	0,90	16,30
Jácenas	XY	1,0	1,00	-
	XZ	1,0	0,65	28,00

Tabla 33. Coeficientes de Pandeo y de Momento Equivalente en barras del pórtico interior. Fuente: Elaboración propia

A1.4.3 Coeficientes de Pandeo y Momento Equivalente para las Barras del Pórtico de Fachada

A.4.3.1.1 Pilares Internos (Tramo Inferior)

Dado que se trata de elementos empotrados en la base y apoyados mediante articulaciones, en ambos ejes: $\beta = 0,7$. Sin embargo, en cada plano, se tendrá una longitud de pandeo distinta, pues en el plano XY, la articulación es la del arriostramiento y en el plano XZ, la articulación a considerar es la de la jácena.

Por lo que respecta a los coeficientes de momento equivalente en estas barras, en el plano XY, al absorber los arriostramientos los momentos contenidos en este plano, la ley de flectores es una constante de valor nulo. Luego, según la Tabla 6.10 del CTE, se tiene $c_{m,XY} = 1,0$.

En el plano XZ, la acción que genera momentos en este plano, se corresponde con la del viento frontal. Dado que se trata de una carga distribuida, la ley de flectores adquiere forma parabólica, lo que es identificable como la ley de flectores de Tipo 4 según la Tabla 6.10 del CTE. Sabiendo que para este caso concreto, las expresiones para el cálculo de los momentos máximos relativos son las siguientes:

$$M_s = \frac{9}{128} \cdot q \cdot L^2$$

$$M_h = -\frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2$$

Dado que $\alpha = \frac{M_s}{M_h} = \frac{\frac{9}{128} \cdot q \cdot L^2}{-\frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2} = -0,5625 \in [-1,0]$, el coeficiente de momento equivalente en el plano XZ, será $c_{m,XZ} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha = 0,55$

A1.4.3.1.2 Pilares Internos (Tramos Superiores)

En el plano XY para los tramos superiores, debido al arriostramiento, pueden independizarse los efectos de pandeo en este plano, considerando sólo la longitud de los propios tramos y no la del pilar entero. Al encontrarse estos tramos biapoyados, su $\beta = 1,0$. Sin embargo, en el plano XZ, no se tiene arriostramiento, luego a efectos del cálculo del pandeo en este caso, se debe considerar toda la longitud del pilar, y al tratarse de un elemento empotrado – apoyado, su $\beta = 0,7$.

Con respecto al valor de los coeficientes de momento equivalente, su valor es el mismo que en el caso de los tramos inferiores, pues las condiciones de contorno en ambos planos, son las mismas (en plano XY, arriostramiento absorbe los momentos, y en plano XZ, al no haber arriostramiento, se vuelve a considerar toda la barra sometida a viento frontal, obteniéndose el mismo valor en el coeficiente de momento equivalente de dicho plano).

A1.4.3.2.1 Pilares Externos (Tramo Inferior)

En el plano XY, debido al arriostramiento de fachada, el tramo inferior del pilar se encuentra empotrado en la base y apoyado en el arriostramiento: luego, su $\beta = 0,7$. En el plano XZ, debido al arriostramiento lateral, el tramo inferior del pilar se encuentra empotrado en la base y apoyado en este arriostramiento: luego su $\beta = 0,7$ también. De tal forma, que en este caso no es necesario considerar en ningún plano la longitud total del pilar.

Con respecto a los coeficientes de momento equivalente, tanto en el plano XY como en el XZ, estos coeficientes tendrán el mismo valor ya que el pilar se encuentra doblemente arriostrado. Para una carga distribuida en cualquier plano, se tiene una ley de flectores como la siguiente:

Que se corresponde al Tipo 4 de la Tabla 6.10 del CTE. Así pues, para cada tramo, se tienen dos máximos relativos. Para el caso en cuestión (tramo inferior), se tienen los siguientes resultados:

$$\alpha = \frac{M_s}{M_h} = \frac{0,044 \cdot q \cdot L^2}{-0,088 \cdot q \cdot L^2} = -0,5 \in [-1,0]$$

$$c_{m,XY \sim XZ} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha = 0,5$$

A1.4.3.2.2 Pilares Externos (Tramos Superiores)

En el plano XY, debido al arriostramiento de fachada, las barras se encuentran biapoyadas, luego su $\beta = 1,0$. En el plano XZ, debido al arriostramiento lateral, las barras se encuentran también biapoyadas, luego su $\beta = 1,0$ también.

Como se ha comentado anteriormente, con respecto a los coeficientes de momento equivalente, tanto en el plano XY como en el XZ, estos coeficientes

tendrán el mismo valor ya que el pilar se encuentra doblemente arriostrado. Tomando los valores de la figura mostrada anteriormente, para los tramos superiores, se tienen los siguientes valores:

$$\alpha = \frac{M_s}{M_h} = \frac{0,031 \cdot q \cdot L^2}{-0,072 \cdot q \cdot L^2} = -0,43 \in [-1,0]$$

$$c_{m,XY \sim XZ} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha = 0,45$$

A.4.3.3.1 Jácenas (Tramos Externos)

En ambos planos, $\beta = 1,0$, puesto que en el plano XY, la jácena se encuentra arriostrada por las correas de cubierta y en el plano XZ, se encuentra biapoyada sobre un pilar externo y otro interno. En el plano XY, la longitud de pandeo será la correspondiente a la separación entre correas, 1,75 m.

Con respecto a los coeficientes de momento equivalente, en el plano XY, por el arriostramiento de las correas de cubierta, se tiene en dicho plano una ley de momentos lineal nula, que se corresponde con el Tipo 1 de la Tabla 6.10 del CTE. Luego, se tiene un $c_{m,XY} = 1,0$.

En el plano XZ, suponiendo que actúa sobre la jácena una carga uniformemente distribuida, se tienen varios máximos relativos (de ahí, que la jácena se divida en dos tramos, uno interno y otro externo) y una ley de flectores parabólica, luego, de Tipo 4 según la Tabla 6.10 del CTE. Para el caso de los tramos externos, los valores obtenidos son los siguientes:

$$\alpha = \frac{M_s}{M_h} = \frac{0,077 \cdot q \cdot L^2}{-0,107 \cdot q \cdot L^2} = -0,72 \in [-1,0]$$

$$c_{m,XZ} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha = 0,676$$

A1.4.3.3.2 Jácenas (Tramos Internos)

Como en el caso anterior, en ambos planos, $\beta = 1,0$, puesto que en el plano XY, la jácena se encuentra arriostrada por las correas de cubierta y en el plano XZ, se encuentra biapoyada sobre un pilar externo y otro interno. En el plano XY, la longitud de pandeo será la correspondiente a la separación entre correas, 1,75 m.

Con respecto a los coeficientes de momento equivalente, en el plano XY, por el arriostramiento de las correas de cubierta, se tiene en dicho plano una ley de momentos lineal nula, que se corresponde con el Tipo 1 de la Tabla 6.10 del CTE. Luego, se tiene un $c_{m,XY} = 1,0$.

En el plano XZ, se tiene, como se ha mencionado anteriormente, una ley de flectores parabólica, luego, de Tipo 4 según la Tabla 6.10 del CTE. Para el caso de los tramos internos de la jácena, los valores obtenidos son los siguientes:

$$\alpha = \frac{M_s}{M_h} = \frac{0,036 \cdot q \cdot L^2}{-0,107 \cdot q \cdot L^2} = -0,34 \in [-1,0]$$

$$c_{m,XZ} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha = 0,37 < 0,4 \rightarrow c_{m,XZ} = 0,4$$

A1.4.3.4 Montantes

Para el caso de las montantes de fachada, al tratarse de elementos biapoyados, en ambos planos, su $\beta = 1,0$.

Con respecto a los coeficientes de momento equivalente, en el plano XY, se tiene una ley de momentos flectores lineal y nula, pues la carga del viento frontal no actúa sobre ellos si no sobre los pilares de fachada. Así pues, en este plano, se tiene un $c_{m,XY} = 1,0$.

En el plano XZ, se tiene una ley de flectores parabólica debido al peso propio de la montante, luego, se corresponde con una ley como la del Tipo 3 de la Tabla 6.10 del CTE:

Que implica un valor de $c_{m,XZ} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,95$.

A1.4.3.5 Diagonales

Dado que las diagonales son elementos que trabajan a tracción, su coeficiente de pandeo en ambos planos es 0.

Con respecto a los coeficientes de momento equivalente, en el plano XY, dado que la carga del viento frontal no actúa sobre ellos si no sobre los pilares de fachada, se tiene una ley de momentos flectores lineal y nula, lo que implica $c_{m,XY} = 1,0$.

En el plano XZ, no se considera el peso propio de las diagonales, luego

$$c_{m,XZ} = 1,0.$$

Así pues, los valores obtenidos para las barras del pórtico de fachada son:

Barra del Pórtico de Fachada	Plano	β	$c_{m,i}$	L_k
Pilares Internos (Tramo Inferior)	XY	0,7	1,00	-
	XZ	0,7	0,55	10,83
Pilares Internos (Tramos Superiores)	XY	1,0	1,00	-
	XZ	0,7	0,55	10,83
Pilares Externos (Tramo Inferior)	XY	0,7	0,5	-
	XZ	0,7	0,5	-
Pilares Externos (Tramos Superiores)	XY	1,0	0,45	-
	XZ	1,0	0,45	-
Jácenas (Tramos Externos)	XY	1,0	1,00	1,75
	XZ	1,0	0,676	-
Jácenas (Tramos Internos)	XY	1,0	1,00	1,75
	XZ	1,0	0,4	-
Montantes	XY	1,0	1,00	-
	XZ	1,0	0,95	-
Diagonales	XY	0,0	1,00	-
	XZ	0,0	1,00	-

Tabla 34. Coeficientes de Pandeo y de Momento Equivalente en barras del pórtico de fachada. Fuente: Elaboración propia

A1.4.4 Coeficientes de Pandeo y Momento Equivalente para las Barras de la Fachada Lateral

A1.4.4.1 Vigas perimetrales

Dado que las vigas perimetrales son también elementos que trabajan sólo a tracción, su coeficiente de pandeo en ambos planos es 0.

Con respecto a los coeficientes de momento equivalente, en el plano XY, dado que la carga del viento lateral no actúa sobre ellos si no sobre los pilares de los pórticos interiores, se tiene una ley de momentos flectores lineal y nula, lo que implica $c_{m,XY} = 1,0$.

En el plano XZ, no se considera el peso propio de las diagonales, luego $c_{m,XZ} = 1,0$.

A1.4.4.2 Montantes

Para el caso de las montantes de la fachada lateral, al tratarse de elementos biapoyados, en ambos planos, su $\beta = 1,0$.

Con respecto a los coeficientes de momento equivalente, en el plano XY, se tiene una ley de momentos flectores lineal y nula, pues la carga del viento lateral no actúa sobre ellos si no sobre los pilares de los pórticos interiores. Así pues, en este plano, se tiene un $c_{m,XY} = 1,0$.

En el plano XZ, se tiene una ley de flectores parabólica debido al peso propio de la montante, luego, se corresponde con una ley como la del Tipo 3 de la Tabla 6.10 del CTE:

Que implica un valor de $c_{m,XZ} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,95$.

Los valores obtenidos para estas barras, son los siguientes:

Barra del Pórtico Lateral	Plano	β	$c_{m,i}$	L_k
Vigas Perimetrales	XY	0,0	1,00	-
	XZ	0,0	1,00	-
Montantes	XY	1,0	1,00	-
	XZ	1,0	0,95	-

Tabla 35. Coeficientes de Pandeo y de Momento Equivalente en barras del pórtico lateral. Fuente: Elaboración propia

De donde no se encuentran en la tabla las diagonales del arriostramiento, ya que al haberse introducido como barras tipo "Tirante" y no "Genérico", sus coeficientes de pandeo y momento equivalente que vienen por defecto, están correctamente definidos.

A.4.5 Coeficientes de Pandeo y Momento Equivalente para las Barras de la Cubierta

Dado que en las barras de cubierta los coeficientes de pandeo y momento equivalente están correctamente introducidos, no es necesario modificarlos. Tampoco se van a justificar sus valores en este TFM, puesto que son los mismos que los empleados en las otras fachadas (las VCV, se componen de montantes y diagonales, elementos ya analizados).

A1.5 Cálculo teórico de los Estados Límite de las Barras

A continuación, se va a hacer un pequeño recordatorio sobre cómo calcular los distintos Estados Límite:

A1.5.1 Estados Límite de Servicio: Deformación

Los Estados Límite de Servicio son los que, de ser superados, afectan al confort, al correcto funcionamiento del edificio o a la apariencia del mismo. Como se explicó en apartados anteriores, en principio, se deben realizar tres comprobaciones: integridad, confort y apariencia.

Es importante tener en cuenta que los ámbitos de comprobación son la pieza en cuestión o la estructura, y que estos estados se comprueban sin mayorar las cargas.

Para el caso de barras verticales, el parámetro a comprobar es el desplome (desplazamiento horizontal). En caso de que un perfil determinado no tenga un desplome inferior al máximo admisible, se debe recurrir a un perfil de mayor rigidez. Un procedimiento rápido para conocer qué perfil puede cumplir este estado límite, es estimar la inercia necesaria del mismo para satisfacer la flecha máxima admisible:

$$\text{Si } f_0 = \frac{F(\text{fuerzas, geometría, condiciones de apoyo})}{E \cdot I_0} \rightarrow$$

$$f_0 \cdot I_0 = \frac{F(\text{fuerzas, geometría, condiciones de apoyo})}{E} = \text{cte} \rightarrow$$

$$f_0 \cdot I_0 \leq f_{adm} \cdot I_{nec} \rightarrow I_{nec} \geq I_0 \cdot \frac{f_0}{f_{adm}}$$

Luego, conocidas la inercia y la flecha del perfil en cuestión, y la flecha límite que se quiere no superar, se puede estimar la inercia necesaria para cumplir dicha condición, y escoger así el perfil comercial con inercia inmediatamente superior.

Para el caso de barras horizontales, el parámetro a comprobar es la flecha (desplazamiento vertical). El análisis anteriormente realizado para la obtención de un perfil que cumpla el desplome, es válido también para las flechas. A tener en cuenta, que en el caso de flechas en las jácenas, se deben calcular tres flechas, ya que las flechas máximas no se producen en los nudos como en el caso de los pilares.

A1.5.2 Estado Límite Último: Resistencia

Este estado límite trata de determinar si el elemento estructural analizado resulta dañado debido a la combinación de esfuerzos de compresión/tracción (axiles), cizallamiento (cortantes) y flexión (momentos flectores).

Para secciones de clase 3 (las empleadas en este tipo de construcciones) la norma establece la siguiente fórmula de interacción:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,Rdz}} \leq 1$$

Donde:

- N_{Ed} es el axil de cálculo en la combinación más desfavorable
- $N_{pl,Rd}$ es el valor del axil que provoca el colapso del elemento por tracción/compresión. Se puede obtener mediante la siguiente expresión: $N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd}$
- $M_{y,Ed}$ y $M_{z,Ed}$ son los momentos flectores de cálculo con respecto a los ejes Y y Z respectivamente
- $M_{el,Rdy}$ y $M_{el,Rdz}$ son los momentos flectores límite que provocan el colapso del elemento en análisis. La expresión para su cálculo depende de si es necesario considerar la acción del cortante de cálculo (V_{Ed}):

→ Si $V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{c,Rd}$: se pueden emplear las fórmulas de interacción de flexión compuesta sin cortante:

$$M_{el,Rdy} = M_{u,Rdy} = W_{el,y} \cdot \left(f_{yd} - \frac{N_{Ed}}{A} \right)$$

→ Si $V_{Ed} > 0,5 \cdot V_{c,Rd}$: la resistencia de la sección para el conjunto de esfuerzos se determinará utilizando para el área de cortante un valor reducido del límite elástico conforme al factor $(1 - \rho)$:

$$M_{el,Rdy} = M_{u,Rdy} = W_{pl} \cdot (1 - \rho) \cdot f_{yd} = \left(W_{pl} - \frac{\rho \cdot A_v^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot f_{yd}$$

(para el caso concreto de perfiles IPE y HEB)

$$\text{Donde } \rho = \left(2 \cdot \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

$$\text{Con } V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_{vz} \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \text{ en ambos casos.}$$

Si el perfil seleccionado no cumple este estado límite, y el valor de cálculo más influyente en la expresión de interacción pertenece a un nudo superior, se puede instalar un refuerzo de módulo no superior a 2 m. No obstante en este TFM, no se ha considerado la posibilidad de disponer refuerzos.

A1.5.3 Estado Límite Último: Pandeo

Cuando la carga de compresión sobre un elemento vertical alcanza un determinado valor (carga crítica) su situación de equilibrio pasa a ser inestable de modo que cualquier perturbación, independientemente de su valor, provoca una curvatura creciente que ocasiona el colapso de la pieza: ésta pandea.

Existe una formulación teórica (Euler) que determina el valor de esta carga crítica. Sin embargo, esta formulación no tiene en cuenta posibles imperfecciones geométricas de la pieza, con lo cual, se hace necesario el uso de expresiones adicionales y de la utilización de una formulación de Euler modificada. Tampoco tiene en cuenta la influencia parcial de los momentos flectores sobre la pieza.

Así pues, el CTE establece la siguiente fórmula de interacción:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Donde:

- N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ y $M_{z,Ed}$ son el axil de compresión de cálculo y los momentos de cálculo respecto a los ejes Y y Z, respectivamente
- χ_y y χ_z son los coeficientes de reducción por pandeo en las direcciones Y y Z respectivamente, cuyo cálculo se realiza mediante la expresión:

$$\chi = \begin{cases} \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_k^2}} \geq 1 & \text{si } \bar{\lambda}_k \geq 0,2 \\ 1 & \text{si } \bar{\lambda}_k < 0,2 \end{cases}$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_k - 0,2) + \bar{\lambda}_k^2)$$

Donde $\bar{\lambda}_k$ es la esbeltez reducida y α es el coeficiente de imperfección elástica, que se puede extraer de la siguiente tabla:

Para conocer la curva de pandeo, se debe acudir a esta otra tabla, que, en función del eje considerado, el tipo de perfil, el tipo de acero y algunas características geométricas, indica la curva de pandeo que se ha de escoger:

- k_y y k_z son los coeficientes de interacción axil – momento. Para secciones de clase 3 y 4, se obtienen mediante las expresiones:

$$k_y = 1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{C,Rd}}$$

$$k_z = 1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{C,Rd}}$$

$$\text{Con } \bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z \leq 1 \text{ y } N_{C,Rd} = A^* \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}, \text{ con } \gamma_{M1} = 1,05$$

- $c_{m,y}$ y $c_{m,z}$ son los coeficientes de momento equivalente, cuyo cálculo se explicó en apartados anteriores.
- A^* , W_y , W_z , α_y , α_z , $e_{N,y}$ y $e_{N,z}$ son parámetros a extraer de la Tabla 6.8 del CTE:

Tabla 6.8 Términos de comprobación, según peor clase de sección en la pieza

Clase	A*	W _y	W _z	α _y	α _z	e _{N,y}	e _{N,z}
1	A	W _{pl,y}	W _{pl,z}	0,6	0,6	0	0
2	A	W _{pl,y}	W _{pl,z}	0,6	0,6	0	0
3	A	W _{el,y}	W _{el,z}	0,8	1	0	0
4	A _{eff}	W _{eff,y}	W _{eff,z}	0,8	1	Según pieza y tensiones	Según pieza y tensiones

Tabla 34. Términos de comprobación según la clase de la barra. Fuente: CTE

- χ_{LT} es el coeficiente de reducción por pandeo lateral. Cuando se trata de piezas que no son susceptibles de pandeo por torsión, su valor es la unidad.

Para el caso de la nave en cuestión, llevada a cabo con secciones de clase 3 ($e_{N,y} = e_{N,z} = 0$) y sabiendo que en naves industriales como la realizada en este TFM, no se originan esfuerzos de torsión que hagan que los perfiles pandeen lateralmente ($\chi_{LT} = 1$), la expresión matricial a aplicar para comprobar el ELU de Pandeo es la siguiente:

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{\chi_y} \\ \frac{1}{\chi_z} \end{pmatrix} \cdot \frac{N_{Ed}}{A \cdot f_{yd}} + \begin{pmatrix} 1 & \alpha_z \\ \alpha_y & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{k_y \cdot c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} \\ \frac{k_z \cdot c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \end{pmatrix} \leq \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

En los casos en los que sólo haya momentos flectores en uno de los ejes, la expresión se simplifica más:

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{\chi_y} \\ \frac{1}{\chi_z} \end{pmatrix} \cdot \frac{N_{Ed}}{A \cdot f_{yd}} + \begin{pmatrix} 1 \\ \alpha_y \end{pmatrix} \cdot \frac{k_y \cdot c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} \leq \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

De tal forma, que si esta desigualdad no se cumple, se requerirá del uso de perfiles de mayor rigidez (mayor área e inercia).

A1.6 Cálculo teórico de los Estados Límite de las Uniones

El cálculo de las uniones de la estructura fundamentalmente consiste en el dimensionamiento de las placas de anclaje y la determinación de si las soldaduras/uniones atornilladas (según sea el caso) pueden transmitir los esfuerzos entre los elementos conectados de esta forma (pilares con jácenas, las propias jácenas,...).

Dado que el alumno autor de este trabajo no dispone de conocimientos de uniones soldadas/atornilladas, sólo se va a hacer hincapié en el dimensionamiento de las placas de anclaje.

En primer lugar, conviene recordar qué son y cuáles son sus funciones. Las placas de anclaje son elementos de unión que conectan los pilares de la edificación con las cimentaciones, luego son las encargadas de transmitir los esfuerzos de los pilares a las cimentaciones.

Son chapas de acero de geometría generalmente rectangular, que pueden estar ancladas a las cimentaciones mediante pernos roscados o soldados. Éstos, deben ser del mismo tipo de acero que la chapa, para ser soldables.

En casos en que los esfuerzos de flexión son importantes, pueden llevar cartelas de rigidez, las cuales también deben ser del mismo tipo de acero para ser soldables.

De tal modo que los esfuerzos de cálculo que deben soportar, provienen de aquella combinación característica de acciones que genera los esfuerzos más desfavorables en las bases de los pilares.

Esto conlleva a definir los Estados Límite Últimos que deben soportar estos elementos:

- ELU de Agotamiento del Apoyo
- ELU de Agotamiento de la Placa a Flexión
- ELU de Agotamiento de los Pernos
- ELU de Anclaje de los Pernos al Hormigón

Por otro lado, es necesario conocer el modelo mecánico que define el comportamiento de la placa frente a los esfuerzos típicos en este tipo de aplicaciones: axiles, cortantes y flectores.

El primer paso es definir la “superficie portante” o “área eficaz”. Mediante placas de asiento de acero en las basas de los soportes, se pueden distribuir mejor los esfuerzos de compresión sobre la placa, ya que se aumenta el área efectiva sobre la que éstos actúan. Sin éstas, la superficie portante, sería la sección transversal del pilar empleado, hecho que, condicionaría mucho el diseño de la placa (debería ser demasiado gruesa para poder resistir estos esfuerzos).

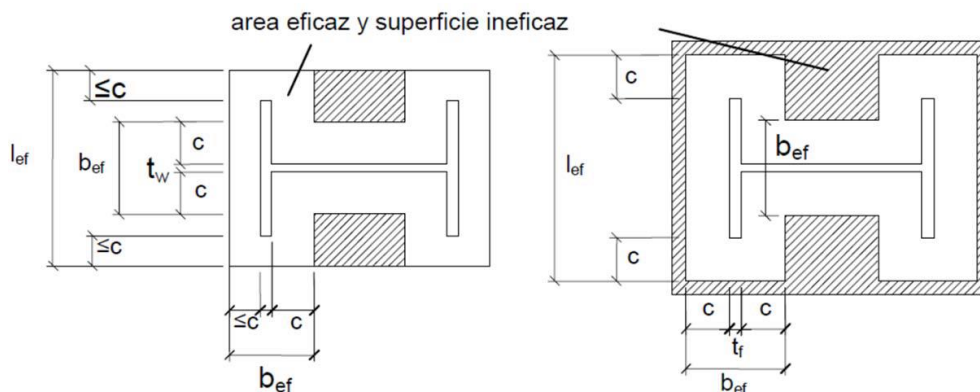


Figura 17. Superficie portante. Fuente: Poliforma-T

La normativa establece la siguiente expresión para determinar la anchura suplementaria de apoyo (c), que es el parámetro unidimensional que fundamentalmente determina esta nueva área:

$$c = e \cdot \left(\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}} \right)^{1/2}$$

Donde:

- e es el espesor de la placa de base
- f_{yd} es la resistencia de cálculo de la placa, obtenida mediante la expresión: $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}$, donde $\gamma_{M0} = 1,05$
- f_{jd} es la resistencia de cálculo de la unión, que, ante la posibilidad de excentricidad de la placa de anclaje con respecto a la zapata, se considera igual a f_{cd} . f_{cd} es la resistencia de cálculo del hormigón, obtenida mediante la expresión: $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$ con $\gamma_c = 1,5$

La anchura suplementaria de apoyo, representa el máximo voladizo de la placa que puede aguantar la resistencia de cálculo del apoyo.

En placas de anclaje rectangulares, se pueden dar dos casuísticas:

1. Resalto corto: cuando el vuelo de la placa es menor que c , la superficie portante es la siguiente:

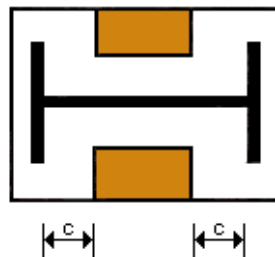


Figura 18. Superficie portante en resalto corto. Fuente: Poliforma-T

2. Resalto amplio: cuando el vuelo de la placa es mayor que c , se desprecia el tramo sobrante mayor que c :

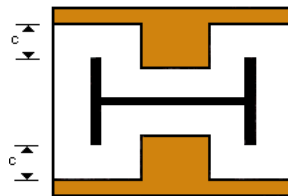


Figura 19. Superficie portante en resalto amplio. Fuente: Poliforma-T

Una vez definida la superficie portante, es necesario considerar los distintos estados de carga o modelos de cálculo que se pueden dar sobre la placa. Así pues, la normativa, considera los siguientes modelos:

1. Modelo 1: Compresión compuesta. En este modelo, la resultante de la acción combinada de flexiones y compresiones, se encuentra aplicada dentro del núcleo central de la superficie

portante de la base. En este modelo, no se considera la colaboración de los pernos bajo sollicitaciones normales.

2. Modelo 2: Flexión Compuesta. En este modelo se da en el caso contrario al anterior, es decir, la resultante de la acción combinada de flexiones y compresiones se encuentra aplicada fuera del núcleo central de la superficie portante de la base. De tal modo, que en este modelo, sí que se debe considerar que los pernos están solicitados, ya que evitan el despegue de la placa en el área simétricamente opuesta a la que está trabajando a flexo – compresión. También se ha de tener en cuenta que no toda el área de la base de la placa es activa, puesto que la resultante se encuentra fuera del núcleo de la superficie portante, como se ha mencionado anteriormente.

La condición que define si se está teniendo un modelo de cálculo 1 o 2, es la siguiente:

$$e_d = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \rightarrow \begin{cases} \text{Si } e_d \leq \frac{W_p}{A_p} \rightarrow \text{Compresión Compuesta} \\ \text{Si } e_d > \frac{W_p}{A_p} \rightarrow \text{Flexión Compuesta} \end{cases}$$

Donde:

- e_d es la excentricidad de las cargas
- M_{Ed} y N_{Ed} son el momento y el axil de cálculo, respectivamente
- W_p es el módulo resistente de la placa
- A_p es el área portante de la placa

Se hace necesario definir ambos modelos de cálculo, puesto que para cada ELU, será necesaria la consideración de uno u otro modelo. Así pues, ya se está en condiciones de definir el cálculo de los ELU de las placas de anclaje:

A1.6.1 ELU de Agotamiento del Apoyo

Este ELU consiste en la determinación de si el hormigón adyacente a la placa, por compresión, alcanza su deformación última.

En función de si la placa consta o no de cartelas de rigidez, el modelo de cálculo a aplicar será diferente. En ambos casos, se deben suponer un determinado espesor, ancho y largo, de placa.

1. Placa sin cartelas de rigidez: Compresión Simple o Compuesta:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A_p} + \frac{M_{Ed}}{W_p} \leq f_{jd}$$

Con $A_p = f(a', b', e)$, donde:

- $a' = a + a_p + a$ donde a es el canto de menor longitud del perfil unido a la placa de anclaje
- $b' = b + b_p + b$ donde b es el canto de mayor longitud del perfil unido a la placa de anclaje
- e es el espesor de la placa de anclaje

a_p y b_p se determinan geoméricamente una vez conocida la anchura suplementaria de apoyo (c).

2. Placa con cartelas de rigidez: Flexión Compuesta:

En este caso, el ELU de Agotamiento del Apoyo se alcanza, si la distancia y (distancia que representa la zona de actuación de la carga distribuida de compresión que ejerce la placa sobre el hormigón en la dirección paralela al alma del perfil) es superior a una cuarta parte de la longitud de la placa en el lado paralelo al alma del perfil, es decir:

$$y > \frac{a}{4}$$

Que es la denominada "condición de ductilidad". La distancia y se puede obtener aplicando la 2ª Ley de Newton para los momentos, en el punto donde se encuentra el perno simétricamente opuesto a la zona de la placa donde está esta distancia (ver figura):

$$\sum M_A = 0 \rightarrow M_{Ed} + N_{Ed} \cdot \left(\frac{a}{2} - d'\right) = b' \cdot y \cdot f_{jd} \cdot \left(a - d' - \frac{y}{2}\right)$$

Donde:

- d' es la distancia del perno al borde de la placa más cercano
- b' es el ancho portante de placa, calculado mediante la expresión:

$$b' = 2 \cdot e_c + \min(2 \cdot c, b_p) + \min(2 \cdot c, b - b_p - 2 \cdot e_c)$$

Donde:

- e_c es el espesor de la cartela
- b_p es la longitud de ala del perfil
- b es la longitud de la placa en la dirección perpendicular a la del alma del perfil

Así pues, si se cumple para las dimensiones de placa establecidas que $y \leq \frac{a}{4}$, la placa cumple el ELU de Agotamiento del Apoyo.

A1.6.2 ELU de Agotamiento de la Placa con Cartelas a Flexión

Este ELU se debe calcular cada vez que se instalen cartelas de rigidez (las cuales se disponen para aumentar la rigidez y resistencia a flexión de la placa base: se encargan de distribuir el axil en la base).

El primer paso para comprobar este estado límite, es determinar el nuevo centro de gravedad de la placa (y su correspondiente nuevo momento de inercia) para conocer el nuevo punto de aplicación de los esfuerzos sobre la misma.

Así pues, el nuevo centro de gravedad (cdg) se puede determinar mediante la expresión:

$$y_g = \frac{\sum(A_i \cdot y_i)}{\sum A_i} = \frac{2 \cdot A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{2 \cdot A_1 + A_2}$$

Y el nuevo momento de inercia, se puede obtener aplicando el Teorema de Steiner:

$$I_g = \sum I_i + \sum (A_i \cdot (y_i - y_G)^2)$$

El nuevo módulo resistente a considerar en los cálculos, será:

$$W_{el} = \min(W_s, W_i) = \min\left(\frac{I_g}{h - y_g}, \frac{I_g}{y_g}\right)$$

Así pues, la comprobación de agotamiento que se debe cumplir es la siguiente:

$$\frac{M}{W_{el} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Donde:

- $M = \max(M_{A,Ed}; M_{B,Ed})$ que se corresponden con los momentos que pueden haber, en función del punto considerado, a saber:

$$M_{A,Ed} = \begin{cases} y \leq v \rightarrow M_{A,Ed} = f_{jd} \cdot b' \cdot y \cdot \left(v - \frac{y}{2}\right) \\ y > v \rightarrow M_{A,Ed} = f_{jd} \cdot b' \cdot \frac{v^2}{2} \end{cases}$$

$$M_{B,Ed} = T_d \cdot (v - d')$$

Donde v es la distancia paralela al alma del perfil, que va del borde de la placa al ala del perfil y T_d es la tensión a tracción que está soportando el perno ubicado en la zona simétricamente opuesta a la zona donde está siendo comprimido el hormigón por la placa.

- f_{yd} es el límite elástico de cálculo del acero de las cartelas

En caso de que el ELU no se cumpla, algunas de las soluciones son: aumentar el grosor de las cartelas y/o de la placa de anclaje, colocar más cartelas horizontales, colocar cartelas diagonales, aumentar el tamaño tanto en grosor como en las otras dimensiones de las cartelas y/o placas de anclaje,...

A1.6.3 ELU de Agotamiento de los Pernos

Se deberán determinar los pernos de anclaje necesarios para que resistan los efectos de las cargas de cálculo: resistencia a tracción para soportar los esfuerzos de arrancamiento y los momentos flectores. En caso de no instalarse elementos especiales para resistir los esfuerzos cortantes, deberá estudiarse si son capaces de transmitir los esfuerzos cortantes.

Una vez más, dependiendo del modelo de cálculo que se tenga, la determinación del ELU se ve condicionada. Así pues, para cada caso, se tienen las siguientes exigencias:

1. Modelo 1: Placas a Compresión o Compresión Compuesta

En este caso, se deben disponer como mínimo, 4 pernos de 16 mm de diámetro.

2. Modelo 2: Placas a Flexión Compuesta

Para obtener la fuerza de tracción que éstos soportan, se puede aplicar la 2ª Ley de Newton en el diagrama de equilibrio anteriormente expuesto, para el ELU de agotamiento de las placas de anclaje:

$$\sum F_V = 0 \rightarrow T_d + N_{Ed} = b' \cdot y \cdot f_{jd}$$

Donde T_d es la tensión del perno solicitado. Sabiendo que $T_d = A_s \cdot \sigma_s$ y que $\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s$, se hace necesaria la determinación de ε_s para saber la deformación de los pernos en estas condiciones de carga.

Asumiendo una ley de deformaciones plana tanto en la placa como en el hormigón de la cimentación, se llega a la igualdad:

$$\frac{\varepsilon_s}{d-x} = \frac{\varepsilon_c}{x} \rightarrow \varepsilon_s = \frac{d-x}{x} \cdot \varepsilon_c$$

Donde:

- ε_s es la deformación que alcanza el acero de los pernos
- d es la distancia de un borde de la placa hasta el perno del lado contrario a dicho borde, en el lado de la placa paralelo al alma del perfil
- x es la distancia al punto de corte entre la línea que define la superficie superior de la placa de anclaje y la definida mediante la unión del punto más comprimido del hormigón y el más traccionado del perno. Puede estimarse mediante la relación $y = 0,8 \cdot x$
- ε_c es la deformación máxima admisible del hormigón (0,35%)

Una vez conocida la deformación, se debe calcular la tensión correspondiente a esta deformación:

$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s$$

Donde E_s es el módulo elástico del acero del perno.

Si esta tensión supera el límite elástico de cálculo del perno (f_{yd}), significa que será necesario disponer más. En tal caso, se deberá determinar el área necesaria en los pernos, mediante la expresión:

$$A_s = \frac{T_d}{\sigma_s}$$

Donde σ_s es el límite elástico de cálculo del acero de los pernos (según el tipo de acero, el coeficiente de minoración es distinto). El número de pernos a disponer será:

$$n_\phi = 1 + \text{int} \left(\frac{A_s}{A_{r\phi}} \right)$$

Donde $A_{r\phi}$ es el área de cálculo del perno: $A_{r\phi} = 0,8 \cdot A_\phi$ si el perno es roscado y $A_{r\phi} = A_\phi$ si es soldado.

En caso de ser necesaria la consideración del esfuerzo cortante, deben verificarse las siguientes condiciones:

- El esfuerzo de tracción en los pernos debe ser menor o igual a la resistencia a tracción de los pernos, es decir:

$$T_d \leq F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

- f_{ub}
- γ_{M2} es un coeficiente de seguridad de valor 1,25
- b) El esfuerzo cortante deberá ser menor o igual que la resistencia a cortadura de la unión:

$$V_d \leq F_{v,Rd} = F_{f,Rd} + n_t \cdot F_{vb,Rd}$$

Donde:

- $F_{f,Rd}$ es la fuerza de rozamiento entre el acero de la placa y el hormigón de la cimentación, calculable mediante la expresión: $F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{Ed}$, donde $C_{f,d}$ es el coeficiente de rozamiento entre la placa y el hormigón (0,2 en caso de acero y mortero de cemento y arena, y 0,3 en caso de acero y hormigón de mortero especial).
- n_t es el número total de pernos en la base
- $F_{vb,Rd}$ es la resistencia a tracción frente a un esfuerzo cortante, que se calcula mediante la expresión: $F_{vb,Rd} = \frac{\alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$, con $\alpha_b = 0,44 - 0,0003 \cdot f_{yb}$
- c) $\frac{V_d}{F_{v,Rd}} + \frac{T_d}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$

A1.6.3 ELU Anclaje de los Pernos

Este ELU trata de determinar la longitud embebida en el hormigón que necesitan los pernos para que no haya una pérdida de adherencia entre estos y el hormigón antes de que se alcance el esfuerzo máximo de tracción en los pernos.

Así pues, en primer lugar, la normativa define dos situaciones, en función de cómo se dispongan éstos en el interior del hormigón, es decir, define dos tipos de posicionamientos:

- Posición 1:
 - Los pernos durante el hormigonado deben formar un ángulo con respecto a la horizontal de entre 45 y 90°.
 - Si éstos forman un ángulo inferior a 45°, deben estar ubicados en la mitad inferior de la sección de las zapatas o a una distancia mayor de 30 cm de la cara superior del hormigonado.
- Posición 2:
 - Se corresponde con el resto de montajes que se pueden dar.

La norma establece una disposición tan concreta en el caso de la Posición 1, porque es un montaje que proporciona una buena adherencia de las armaduras. Luego, se empleará esta disposición en los pernos de anclaje de la nave de este TFM. Por ello, sólo se explicará cómo obtener los valores de los parámetros necesarios para el cálculo de este ELU, para una disposición como la definida en la Posición 1.

El siguiente paso, consiste en obtener la *longitud básica de anclaje*, l_{bl} , que es la longitud necesaria para que el perno falle por rotura antes de fallar por arrancamiento. Para su

cálculo, se pueden emplear las ecuaciones proporcionadas por la EHE, para montajes tipo Posición 1:

i. Para barras lisas:

$$l_{bl} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{\tau_{bm}}$$

Donde:

- ϕ es el diámetro del perno
- f_{yd} es el límite elástico de cálculo del acero del perno
- τ_{bm} es la tensión tangencial de rozamiento entre el perno y el hormigón, calculable mediante la siguiente expresión: $\tau_{bm} = \frac{0,36 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c}$, donde f_{ck} es el límite elástico del hormigón y γ_c es un coeficiente de seguridad, de valor 1,5.

ii. Para barras corrugadas:

$$l_{bl} = \text{máx} \left(m \cdot \phi^2, \frac{f_{yk}}{20} \cdot \phi \right)$$

Donde:

- m es un coeficiente dependiente del tipo de hormigón y de acero empleados, que puede ser extraído de la siguiente tabla:

f_{ck} (N/mm ²)	m	
	B 400 S (SD)	B 500 S (SD)
HA-25	1,2	1,5
HA-30	1,0	1,3
HA-35	0,9	1,2
HA-40	0,8	1,1

Tabla 35. Valor del coeficiente m en función del hormigón empleado. Fuente: Poliforma-T

- f_{yk} es el límite elástico del acero empleado en los pernos.

Una vez se tiene la longitud básica de anclaje, es posible la determinación de la longitud de anclaje, l_a . Su valor puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$l_a = \text{máx} \left(l_b \cdot \beta \cdot \frac{A_s}{A_{s,real}}, 10 \cdot \phi, 150 \text{ mm}, x \right)$$

Donde:

- β es un coeficiente que tiene en cuenta el dispositivo de anclaje (barra recta, patilla, gancho,...) que se está empleando. Su valor puede extraerse de la siguiente tabla:

Tipo de Anclaje	Tracción	Compresión
Prolongación recta	1,0	1,0
Patilla, gancho y gancho en U	0,7	1,0
Barra transversal soldada	0,7	0,7

Tabla 36. Valor de β en función del tipo de anclaje y de su modo de trabajo. Fuente: Poliforma-T

- A_s es el área de la caña de los pernos?
- $A_{s,real}$ es el área de la caña de los pernos. En el caso de los pernos roscados, es la de los redondos.
- x es un valor que es igual a $\frac{l_b}{3}$ cuando el perno está sometido a tracción, e igual a $\frac{2 \cdot l_b}{3}$ cuando éste está sometido a compresión.

Luego, para que los pernos no pierdan adherencia en el hormigón antes de su rotura, su longitud debe ser la resultante de aplicar las expresiones anteriores.

A1.7 Cálculo teórico de los Estados Límite de las Cimentaciones

Las cimentaciones son el último elemento en la cadena de la transmisión de esfuerzos desde los elementos constructivos al terreno. Es una parte muy importante en el diseño y construcción de una nave industrial (y cualquier edificación), ya que sobre las cimentaciones se sustenta toda la edificación: estructura, elementos constructivos, maquinaria, instalaciones y las personas que pudieran haber en su interior.

Es por ello que la normativa define una serie de ELS y ELU que no deben alcanzarse bajo unas condiciones definidas de servicio.

En primer lugar, se va a recordar cuáles son los Estados Límite de Servicio que deben satisfacer las cimentaciones y posteriormente se recordarán cuáles son los Estados Límite Últimos que éstas deben satisfacer.

A1.7.1 Estados Límite de Servicio de las Cimentaciones

Se hace necesaria la verificación del cumplimiento de diversos ELS, puesto que las tensiones transmitidas al terreno a través de las cimentaciones, pueden dar lugar a asentamientos, desplazamientos horizontales y giros de la estructura que, si bien no implican el colapso inmediato del sistema estructural, si resultan excesivos, a largo plazo, pueden dar lugar a fisuras, grietas o incluso una pérdida de funcionalidad. Luego, se debe comprobar que estos movimientos no deben superar ciertos valores máximos y tampoco afectar a edificaciones colindantes.

Estos valores límite se fijarán en cada caso en función del tipo de edificio y de los edificios próximos. En ausencia de que en el proyecto no se establezcan de forma específica estos valores, pueden tomarse como referencia los mostrados en las Tablas 2.2 y 2.3 del CTE:

Tabla 2.2. Valores límite basados en la distorsión angular

Tipo de estructura	Límite
Estructuras isostáticas y muros de contención	1/300
Estructuras reticuladas con tabiquería de separación	1/500
Estructuras de paneles prefabricados	1/700
Muros de carga sin armar con flexión cóncava hacia arriba	1/1000
Muros de carga sin armar con flexión cóncava hacia abajo	1/2000

Tabla 2.3. Valores límite basados en la distorsión horizontal

Tipo de estructura	Límite
Muros de carga	1/2000

Tabla 37. Valores límite de la distorsión angular en función del tipo de estructura. Fuente: CTE

Donde la distorsión angular es la medida del asiento diferencial (diferencia de asiento entre dos puntos cualesquiera de la cimentación) dividida por la longitud que separa dichos puntos. El asiento se define como el descenso de cualquier punto de la cimentación de un edificio.

Análogamente, la distorsión horizontal, se define como el desplazamiento horizontal diferencial de dos puntos dividido por la distancia que los separa.

Así pues, los Estados Límite de Servicio de las cimentaciones tienen como objeto verificar:

- i. Que no se produzcan movimientos excesivos en las cimentaciones que puedan provocar deformaciones excesivas que afecten a la apariencia de la obra, al confort de los usuarios o al correcto funcionamiento de equipos e instalaciones.
- ii. Que no se produzcan vibraciones que al transmitirse al sistema estructural puedan producir falta de confort en las personas o disminuir la eficacia funcional del mismo.
- iii. Que no se produzcan daños que puedan afectar negativamente a la apariencia, durabilidad o funcionalidad de la edificación.

Dado que el autor de este TFM no dispone de mayor conocimiento sobre el cálculo de estos ELS, no se detalla en este TFM, el proceso de cálculo y verificación de estos estados límite.

A1.7.2 Estados Límite Últimos de las Cimentaciones

Los Estados Límite Últimos en el caso de las cimentaciones, tienen la misma finalidad que en el caso del sistema estructural: evitar el colapso total y los fallos estructurales. Así pues en las cimentaciones, se tendrían los siguientes estados límite:

- i. Hundimiento.
- ii. Deslizamiento.
- iii. Vuelco.
- iv. Pérdida de estabilidad global.
- v. Capacidad estructural.
- vi. Durabilidad.
- vii. Fatiga.

Dado que el alumno autor de este TFM no conoce el cálculo y verificación de todos estos estados límite, sólo va a explicar aquellos de los que sí tiene conocimiento. Estos son: hundimiento, deslizamiento, vuelco, capacidad estructural y durabilidad.

Entrando ya en materia, el proceso de dimensionamiento de una cimentación es un proceso iterativo, pues requiere seguir un orden de comprobación de ELU determinado, que, en determinados casos, puede requerir la modificación de parámetros ya calculados/seleccionados que ocasionen la repetición de cálculos ya realizados. Así pues, el proceso iterativo sería el siguiente:

1. En primer lugar, se deben definir las condiciones constructivas de las cimentaciones para satisfacer el ELU de Durabilidad, esto es: seleccionar el tipo de cemento, la dosificación del hormigón y los recubrimientos de la armadura.
2. A continuación, mediante las comprobaciones de vuelco, deslizamiento y hundimiento, se obtiene la geometría provisional de la zapata.
3. Por último, mediante la comprobación de capacidad estructural se determina el armado y se valida la geometría.

De tal forma, que a continuación se explicarán estos estados límite, siguiendo el orden de este proceso iterativo:

A1.7.2.1 ELU de Durabilidad

El ELU de Durabilidad, más que un ELU en el que se realizan cálculos y comprobaciones, consiste en seguir unas pautas para definir correctamente la cimentación para intentar garantizar su durabilidad en el tiempo.

La durabilidad de una cimentación se define como su capacidad para resistir las condiciones físico-químicas a las que va a estar expuesta durante su vida útil.

Así pues, existe una estrategia de durabilidad a seguir, para maximizar la calidad de la cimentación durante su vida útil. Los ítems a tener en cuenta para mejorar esta durabilidad, son los siguientes:

- i. Seleccionar una forma estructural adecuada.
- ii. Seleccionar correctamente el hormigón a emplear: los materiales por los que está compuesto y su dosificación.
- iii. Seleccionar el espesor de los recubrimientos – separadores idóneo para proteger sus armaduras.
- iv. Realizar un mantenimiento de la cimentación adecuado (controlar el valor máximo de la abertura de fisura).
- v. Si va a estar expuesta a ambientes muy agresivos, disponer protecciones especiales.
- vi. Tomar medidas de protección para evitar/minimizar la corrosión de las armaduras.

A1.7.2.2 ELU de Deslizamiento

Este estado límite se producirá cuando los esfuerzos horizontales sobre la base de la cimentación superen la fuerza de rozamiento existente entre el terreno y la cimentación. Explicado de otra forma, se debe cumplir que:

$$E_d \leq R_d$$

Donde:

- E_d son las acciones horizontales sobre la cimentación en la combinación de cálculo más desfavorable.
- R_d son las reacciones que se oponen al deslizamiento del cimientto.

Más concretamente, la expresión anterior puede desglosarse en la siguiente:

$$V_T \leq \frac{1}{\gamma_R} \cdot (N_T \cdot \tan \phi_d + A_z \cdot C_d + E_P + \text{Dispositivo de anclaje})$$

Donde:

- V_T es la resultante de los esfuerzos cortantes sobre la cimentación en la hipótesis de cálculo considerada.
- γ_R es un coeficiente de seguridad (coeficiente parcial de resistencia), que para el caso del ELU de Deslizamiento, toma el valor 1,5 (CTE).
- N_T es el axil total sobre la base de la cimentación en la hipótesis considerada.

- ϕ_d es el ángulo de rozamiento interno de cálculo entre el cimiento y el terreno. La expresión para su cálculo es: $\phi_d = \frac{2}{3} \cdot \phi$ donde ϕ es el ángulo de rozamiento entre el cimiento y el terreno.
- A_z es el área de la zapata.
- C_d es la cohesión de cálculo del terreno. Su cálculo se realiza mediante la expresión: $C_d = \frac{C}{2}$ con C como la cohesión de cálculo.
- E_p es el empuje pasivo del terreno.
- *Dispositivo de anclaje* es la fuerza que soporta un dispositivo para tal fin, en caso de disponerse.

Usualmente, sólo se suele considerar el primer término del lado derecho de la desigualdad (el correspondiente a la fuerza de rozamiento entre el cimiento y el terreno). Es importante destacar, que no se debe considerar la hipótesis con mayores niveles de carga, ya que el hecho de que el cortante de cálculo sobre la base de la cimentación sea el máximo posible, no implica necesariamente mayor probabilidad de vuelco, ya que también el axil puede ser muy elevado. Luego, se deben buscar combinaciones de cálculo que favorezcan el vuelco (poco valor de axil), como por ejemplo, cargas de viento + peso propio, sin tener en cuenta sobrecargas de nieve (entre otras).

A1.7.2.2 ELU de Vuelco

Este estado límite se producirá cuando la cimentación se encuentre sometida a cargas horizontales y momentos flectores tales que su valor pueda provocar el giro de la cimentación. Como en el ELU anterior, se deberá cumplir una expresión análoga:

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

Donde:

- $E_{d,dst}$ son el conjunto de acciones desestabilizantes, es decir, las que contribuyen a producir el giro de la cimentación.
- $E_{d,stab}$ son el conjunto de acciones estabilizantes, es decir, aquellas que contribuyen a impedir el giro de la cimentación.

Dado que se trata de determinar si se produce un giro o no, es necesario realizar un balance mediante los momentos que estas fuerzas producen con respecto a un punto de giro, en lugar de hacer un balance de fuerzas como en el ELU anterior. Así pues, para el caso concreto de zapatas aisladas, considerando como única acción estabilizadora el peso propio de la zapata y como desestabilizadoras los momentos flectores, cortantes y axiles de compresión, se puede aplicar la siguiente expresión:

$$\gamma_{E,stab} \cdot \left(\frac{a^2}{2} \cdot b \cdot h \cdot \gamma_h \right) \geq \gamma_{E,dst} \cdot \left(M_d^h + h \cdot V_d^h - N_d^h \cdot \left(\frac{a}{2} + e_g \right) \right)$$

Donde:

- $\gamma_{E,stab}$ es un coeficiente de seguridad parcial para acciones estabilizadoras (de valor 0,9).

- a es el largo de la zapata.
- b es el ancho de la zapata.
- h es la altura de la zapata.
- γ_h es el peso específico del hormigón empleado en la zapata (en N/m³).
- $\gamma_{E,dst}$ es un coeficiente parcial de seguridad para las acciones desestabilizadoras (de valor 1,8).
- M_d^h , V_d^h y N_d^h son el momento flector, cortante y axil de compresión de cálculo para una hipótesis de carga determinada.
- e_g es la excentricidad del axil de cálculo (distancia horizontal del punto de aplicación de este axil con respecto a la línea de acción de la fuerza peso de la zapata).

Este ELU permite determinar una de las dimensiones de la zapata (fijando las otras dos) que permite cumplir con este estado límite.

A1.7.2.3 ELU de Hundimiento

Este estado límite se produce cuando sobre la cimentación actúa un esfuerzo vertical descendente que supera la fuerza normal que el terreno es capaz de hacer, y que provoca el hundimiento de la zapata. A fin de evitar llegar a este ELU, se deberá cumplir que:

$$E_d \leq R_d$$

Donde:

- E_d son las acciones que contribuyen al hundimiento de la zapata.
- R_d son las acciones que se oponen al hundimiento de la zapata.

Ahora bien, cuando se está analizando la hipótesis de hundimiento, se suele trabajar con presiones en lugar de con fuerzas. Así pues, la expresión anterior toma la forma:

$$q_b \leq q_s$$

Donde:

- q_b es la presión total bruta sobre el cimiento. Se define como el cociente entre la carga total actuante (acciones + peso propio del cimiento + sobrecargas constructivas) y el área equivalente del cimiento.
- q_s es la presión vertical admisible de servicio. Se define como la presión vertical admisible de una cimentación teniendo en cuenta además su tolerancia a los asentos.

Para el cálculo de la presión total bruta sobre el cimiento, se puede hacer uso de la siguiente expresión:

$$q_b = \frac{N_T}{(a - 2 \cdot |e|) \cdot b}$$

Donde:

- N_T es la suma de todos los axiles de compresión actuantes en la hipótesis de cálculo considerada.

- e es la excentricidad de la resultante. Ésta se puede calcular mediante la siguiente expresión (suponiendo que sólo actúen momentos flectores en un plano):

$$e = \frac{M_T}{N_T}$$

Fijando una de las dimensiones de la zapata, se puede determinar la otra que permite cumplir el ELU de Hundimiento.

Obsérvese que en las expresiones para el cálculo del ELU de Hundimiento no figuran coeficientes parciales de seguridad: esto es, porque según el CTE, para la hipótesis de hundimiento, sus valores son la unidad y por eso se omiten.

A1.7.2.4 ELU de Capacidad Estructural

El ELU de Capacidad Estructural tiene por objeto evaluar si, para la geometría de zapata seleccionada mediante los anteriores ELU, la misma no falla por flexión, cortante, punzonamiento, anclaje de armadura, fisuración excesiva o hundimiento por tracciones horizontales ante determinadas condiciones de carga, como en el resto de ELU.

Antes de explicar el cálculo de algunos de estos subestados límite, es útil recordar cómo identificar las fallas que producen cada uno de ellos:

- En el caso de fallo por flexión, se puede subdividir a su vez éste, en tres subcasos de fallo por flexión, a saber:
 - Fallo de la sección por flexión con rotura frágil sin fisuración de aviso: ocurre cuando la armadura no proporciona capacidad resistente suficiente a la sección.
 - Fallo a flexión por agotamiento de la armadura: ocasionado por fallo dúctil de la armadura que genera múltiples fisuraciones en la zapata no apreciables.
 - Fallo a flexión por agotamiento del hormigón comprimido: debido a elevados esfuerzos de flexión, parte de la zapata se quiebra. Este fallo es poco frecuente.
- Fallo por cortante: se produce cuando existe un gran esfuerzo cortante sobre la cimentación. Ocasiona fisuras de 45º de inclinación.
- Fallo por punzonamiento: se produce cuando las cargas verticales son excesivas, provocándose fisuras simétricas de 45º de inclinación.
- Fallo por anclaje de armadura: la fisura comienza en el extremo más externo de las armaduras como consecuencia de
- Fallo por fisuración excesiva: ocurre cuando se producen diversas fisuraciones que conllevan a la exposición de las armaduras a agentes corrosivos, que posteriormente, lleven a la cimentación a experimentar un fallo por flexión por rotura frágil o por agotamiento de la armadura.
- Hundimiento por tracciones horizontales: ocurre cuando la compresión sobre la cara superior de la zapata es excesiva. Se puede evitar dimensionando adecuadamente las placas de anclaje, en caso de emplearse pilares metálicos.

Una vez explicados cómo se pueden producir y cómo identificar en su caso, este tipo de fallos en cimentaciones, conviene recordar también, que este ELU requiere de unas combinaciones de cálculo particulares, ligeramente distintas a las vistas para el caso de

las barras: como cargas permanentes, se debe tener en cuenta la carga que supone el peso de las tierras ubicadas por encima de la cimentación, las concargas, etc.

A continuación se detallará, como se realizarían los cálculos de algunos de los ELU de Capacidad Estructural explicados anteriormente.

A1.7.2.4.1 ELU Capacidad Estructural: Flexión

Para el cálculo del fallo de las zapatas por flexión, es necesario tener en cuenta el tipo de pilares y de anclaje a los que éstas están conectadas: las expresiones de cálculo y ciertos parámetros característicos, son de diferente valor en función de si los pilares son de hormigón o si son metálicos con placas de anclaje. Dado que los pilares de este TFM son metálicos y están unidos a las cimentaciones mediante placas de anclaje, sólo se adjuntarán las expresiones para el cálculo de este tipo de fallo, correspondientes a este tipo de estructura.

Así pues, para el cálculo del fallo de la zapata por flexión, el primer paso es definir las secciones de referencia a flexión para la realización de los cálculos:

→ La primera sección a definir es la S_1 (ver figura): se trata de una sección plana, perpendicular a la base de la zapata y contiene la sección total de la zapata en ese plano. Es paralela a la cara del soporte y está situada por detrás de dicha cara a la mitad de la distancia existente entre la cara del soporte y el borde de la placa de acero (ver figura) para el caso concreto de pilares metálicos con placas de anclaje.

→ La sección S_2 , es paralela a la sección S_1 , y está ubicada a una distancia d de dicha sección.

→ La sección S_3 , es paralela a las anteriores secciones y se encuentra ubicada a una distancia de $0,5 \cdot h$ con respecto a la cara de la zapata más lejana de la cara del soporte.

Tomando como referencias estas secciones y las caras externas de las zapatas en este plano, se tienen los siguientes valores de distancias y momentos:

$$y = v - \frac{v_p}{2}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } y \leq (a - 2 \cdot e): M_d = \sigma_d \cdot \frac{b \cdot y^2}{2} - \gamma_{G,P} \cdot \sigma_z \cdot b \cdot \frac{y^2}{2} \\ \text{Si } y > (a - 2 \cdot e): M_d = \sigma_d \cdot b \cdot (a - 2e) \cdot \left(y - \frac{a - 2e}{2} \right) - \gamma_{G,P} \cdot \sigma_z \cdot b \cdot \frac{y^2}{2} \end{array} \right.$$

Donde:

- M_d es el momento generado por la tensión σ_d .
- $\gamma_{G,P}$ es un coeficiente parcial de seguridad.
- σ_z es la tensión generada por el propio peso de la zapata. Se calcula mediante la expresión: $\sigma_z = \gamma_h \cdot h$
- e vuelve a ser la excentricidad de las acciones, calculada mediante la expresión: $e = \frac{M_T}{N_T}$

Mediante este esquema de cargas, se configura un diagrama rectangular, de profundidad igual a $\lambda(x) \cdot h$ e intensidad $\eta(x) \cdot f_{cd}$, donde x es la profundidad del eje neutro y f_{cd} la resistencia de cálculo del hormigón. Los valores de λ y η se pueden extraer de las siguientes expresiones:

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta = 1 \text{ si } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 \\ \eta = 1 - \frac{(f_{ck} - 50)}{200} \text{ si } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda = 0,8 \text{ si } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 \\ \lambda = 0,8 - \frac{(f_{ck} - 50)}{400} \text{ si } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2 \end{array} \right.$$

Del diagrama rectangular anterior y equilibrio de la sección, se obtiene el valor de la armadura necesaria:

$$A_s = \omega \cdot \frac{b \cdot d \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$$

Donde:

- A_s es la sección de armadura mínima necesaria para evitar el fallo por rotura.
- ω es un parámetro que se calcula mediante la expresión: $\omega = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} \forall \mu \leq 0,295$ con $\mu = \frac{M_d}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$.
- d es la distancia desde la cara superior de la zapata hasta la armadura.
- f_{yd} es la resistencia de cálculo del material empleado en la armadura.

Sin embargo, existen unos valores mínimos en el valor de ω y A_s a cumplir:

→ Por cuestiones mecánicas (prevención de la rotura frágil):

$$\omega = \text{máx}(1 - \sqrt{1 - 2\mu}; 0,04)$$

→ Por cuestiones geométricas (prevención de fisuras por retracción):

$$A_s = \rho \cdot b \cdot h$$

Con $\rho = 0,001$ para aceros B400 y $\rho = 0,0009$ para aceros B500, cuando se trata de losas de cimentación y zapatas.

Una vez se han obtenido estos parámetros, se ha de decidir el *arreglo de armado*, esto es:

→ Seleccionar un diámetro de la barra de la serie normalizada: 12, 14, 16, 20 o 25 mm. Se comienza el diseño, eligiendo el diámetro máximo ya que al tener menor superficie específica, tiene un menor coste de fabricación y menor riesgo de corrosión.

→ Determinar el número de barras en cada dirección de armado (n), mediante la expresión:

$$n = 1 + \text{int} \left(\frac{A_s}{A_\phi} \right)$$

Con A_ϕ el área transversal de las barras.

→ Determinar la separación (s) de los ejes de las barras (entre 10 y 30 cm), mediante la expresión:

$$s = \frac{b - 2r_{lateral} - \phi}{n - 1}$$

Con $r_{lateral}$

→ Elegir el dispositivo de anclaje: prolongación recta, patilla normalizada o patilla normalizada con prolongación vertical.

Para el armado transversal, si se trata de zapatas flexibles o corridas trabajando en una sola dirección, o de elementos de cimentación cuadrados que trabajan en dos direcciones, la armadura se puede distribuir uniformemente en todo el ancho de la cimentación. Si se trata de zapatas rectangulares que trabajen en dos direcciones, la armadura paralela al lado mayor de la base de la zapata, de longitud a , se puede distribuir uniformemente en todo el ancho b de la base de la zapata. La armadura paralela al lado menor (b) se deberá colocar de tal forma que, la fracción $\frac{A_s \cdot 2b}{a+b}$ se distribuya uniformemente en una banda de ancho b coaxial con el soporte y el resto se repartirá uniformemente en las bandas extremas. Otra opción es, disponer la armadura uniformemente si se dispone en exceso una $A'_s = \frac{A_s \cdot 2a}{a+b}$.

A.7.2.4.2 ELU Capacidad Estructural: Anclaje

Para determinar la longitud de anclaje de las barras del armado, se deben utilizar las mismas expresiones que las empleadas en el cálculo de la longitud de anclaje de los pernos empleados en la placa de anclaje.

Una vez hecho esto, la armadura ha de anclarse según el más desfavorable de los dos criterios siguientes:

→ Una longitud $l_{b,net\alpha}$ desde una sección S_2 situada a un canto útil de la sección de referencia S_1 . El tipo de anclaje a emplear, dependerá de en qué intervalo se encuentre $l_{b,net\alpha}$:

- 1) Si $v_2 - recubrimiento > l_{b,net\alpha}(\beta = 1) \rightarrow PR - Prolongación Recta.$
- 2) Si $l_{b,net\alpha}(\beta = 1) > v_2 - recubrimiento > l_{b,net\alpha}(\beta = 0,7) \rightarrow PN - Patilla Normalizada.$
- 3) Si $l_{b,net\alpha}(\beta = 0,7) > v_2 - recubrimiento \rightarrow PN - L - Patilla normalizada y prolongación vertical.$ Con $L = l_{b,net\alpha}(\beta = 0,7) - (v_2 - r_{lateral}).$

→ Una longitud $l_{b,net\alpha}$ desde una sección S_3 situada a una distancia $0,5 \cdot h$ de la cara externa de la zapata, para una fuerza:

$$T_d = R_d \cdot \frac{y - 0,25 \cdot h}{0,85 \cdot h}$$

$$l_{b,meta} = l_b \cdot \beta \cdot \frac{T_d}{A_s \cdot f_{yd}}$$

El tipo de anclaje a emplear, dependerá una vez más de en qué intervalo se encuentre $l_{b,meta}$:

- 1) Si $0,5 \cdot h - \text{recubrimiento} > l_{b,meta} (\beta = 1) \rightarrow PR - \text{Prolongación Recta.}$
- 2) Si $l_{b,meta} (\beta = 1) > 0,5 \cdot h - \text{recubrimiento} > l_{b,meta} (\beta = 0,7) \rightarrow PN - \text{Patilla Normalizada.}$
- 3) Si $l_{b,meta} (\beta = 0,7) > 0,5 \cdot h - \text{recubrimiento} \rightarrow PN - L - \text{Patilla normalizada y prolongación vertical. Con } L = l_{b,meta} (\beta = 0,7) - (0,5 \cdot h - r_{lateral}).$

A1.7.2.4.3 ELU Capacidad Estructural: Cortante

En este caso, se hace uso de la sección de referencia S_2 , que se ubica un canto útil desde la mitad de la distancia entre la cara del soporte y el borde de la placa de acero, cuando se trata de pilares metálicos anclados a la cimentación mediante placas de anclaje.

Tomando como referencias estas secciones y las caras externas de las zapatas en este plano, se tienen los siguientes valores de distancias y cortantes:

$$\begin{cases} \text{Si } v_2 \leq (a - 2 \cdot e): V_d = \sigma_d \cdot b \cdot v_2 - \gamma_{G,P} \cdot \sigma_z \cdot b \cdot v_2 \\ \text{Si } v_2 > (a - 2 \cdot e): M_d = \sigma_d \cdot b \cdot (a - 2e) - \gamma_{G,P} \cdot \sigma_z \cdot b \cdot v_2 \end{cases}$$

La comprobación a cortante, se realiza debiéndose verificar para cualquiera de las hipótesis de carga consideradas en la sección de referencia S_2 :

$$V_d \leq V_{u2}$$

Donde:

$$V_{u2} = \max \left(\left(\frac{0,18}{\gamma_c} \cdot \xi \cdot (100 \rho_l \cdot f_{cv})^{1/3} + 0,15 \sigma'_{cd} \right) \cdot b \cdot d; \left(\frac{0,075}{\gamma_c} \cdot \xi^{3/2} \cdot f_{cv}^{1/2} + 0,15 \sigma'_{cd} \right) \cdot b \cdot d \right)$$

$$\text{Con } \gamma_c = 1,5, \xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d \text{ (mm)}}} \leq 2,0, \rho_l = \frac{A_s}{b \cdot d} \leq 0,02, f_{cv} = f_{ck} \text{ y } \sigma'_{cd} = 0.$$

A1.7.2.4.4 ELU Capacidad Estructural: Punzonamiento

Para el cálculo de este subestado límite, se deben realizar dos comprobaciones bien diferenciadas:

1º Comprobación: la resistencia frente a los efectos transversales producidos por cargas concentradas actuando en losas sin armadura transversal, se comprueba utilizando una tensión tangencial nominal en una superficie crítica concéntrica a la zona cargada. Para cualquier hipótesis de carga, se debe cumplir:

$$\tau_{sd} \leq \tau_{rd}$$

Donde:

- τ_{sd} es la tensión tangencial nominal de cálculo en el perímetro crítico, que se calcula mediante la expresión: $\tau_{sd} = \frac{F_{sd,ef}}{u_1 \cdot d}$ con $F_{sd,ef} = \beta \cdot F_{sd}$ y $u_1 \cdot d$ es el área crítica, que se define a una distancia igual a $2d$ desde el perímetro del área cargada o del soporte, siendo d el canto útil de la losa, calculado como la semisuma de los cantos útiles correspondientes a las armaduras en dos direcciones ortogonales.

β representa la excentricidad de la carga y su valor depende de si hay momentos transferidos o no. Así pues, en función de la situación, adopta los siguientes valores:

- a) Si no existen momentos transferidos: $\beta = 1$
- b) Si existen momentos transferidos:
 - b.1) En soporte interior: $\beta = 1,15$
 - b.2) En soporte de borde: $\beta = 1,40$
 - b.3) En soporte de esquina: $\beta = 1,50$

Por otro lado, el esfuerzo efectivo de punzonamiento, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F_{sd} = N_d - A_p \cdot \sigma_d$$

Donde:

- A_p es el área encerrada en un perímetro situado a una distancia de $h/2$ de la sección del soporte o área cargada, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$A_p = a_p \cdot b_p + a_p \cdot h + b_p \cdot h + \frac{\pi \cdot h^2}{4}$$

Siendo a_p y b_p dimensiones del pilar empotrado en la cimentación.

- σ_d la tensión sobre el terreno debida a los valores de cálculo de las acciones.
- τ_{rd} es la tensión máxima resistente en el perímetro crítico, cuyo valor se calcula mediante la misma expresión que V_{u2} , con la salvedad de que en este caso $\rho_l = \rho_x \cdot \rho_y \leq 0,02$

2º Comprobación: en la cara del soporte (superior) se debe cumplir la siguiente condición:

$$\frac{F_{sd,ef}}{u_0 \cdot d} \leq 0,3 \cdot f_{cd} \text{ para } f_{ck} \leq 60 \text{ N/mm}^2$$

Donde:

- $F_{sd,ef} = \beta \cdot (N_d - \sigma_d \cdot a_p \cdot b_p)$
- u_0 es el perímetro de comprobación. Su cálculo depende del tipo de soporte:
 - a) En soportes interiores, este perímetro es el de la sección del propio soporte.
 - b) En soportes de borde, se calcula mediante la expresión: $u_0 = c_1 + 3d \leq c_1 + 2c_2$.

- c) En soportes de esquina, se calcula mediante la expresión: $u_0 = 3d \leq c_1 + c_2$.

Para el caso particular de cimentaciones de tipo zapata, si no se cumplen estas condiciones de punzonamiento, se debe aumentar la altura del cimiento, h , siendo no recomendable la disposición de armado transversal en aras de cumplir estas comprobaciones.

A1.8 Resultados de cálculo

A1.8.1.-DATOS DE OBRA

A1.8.1.1.- Normas consideradas

Cimentación: EHE-08

Aceros laminados y armados: CTE DB SE-A

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

A1.8.1.2.- Estados límite

E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones	CTE
E.L.U. de rotura. Acero laminado	Cota de nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m
Tensiones sobre el terreno	Acciones características
Desplazamientos	ELS CTE 2 <1000m

Situaciones de proyecto

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

- **Con coeficientes de combinación**

- **Sin coeficientes de combinación**

- Donde:

G_k Acción permanente

P_k Acción de pretensado

Q_k Acción variable

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

$\psi_{p,1}$ 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. Hormigón en cimentaciones: 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)	0.000	1.500	0.000	0.000

Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (γ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (γ_p)	Acompañamiento (γ_a)
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 (γ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (γ_p)	Acompañamiento (γ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.350	-	-
Sobrecarga (Q)	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

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

Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (γ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (γ_p)	Acompañamiento (γ_a)
Carga permanente (G)	0.800	1.350	-	-
Sobrecarga (Q)	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 (γ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (γ_p)	Acompañamiento (γ_a)
Carga permanente (G)	0.800	1.350	-	-
Sobrecarga (Q)	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

Tensiones sobre el terreno

Característica				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (γ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (γ_p)	Acompañamiento (γ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q)	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)	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

Desplazamientos

Apariencia				
	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)				
Viento (Q)				
Nieve (Q)				

Integridad -G1				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	0.001	0.001	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000	0.000	0.000
Viento (Q)	0.000	1.000	1.000	0.600
Nieve (Q)	0.000	1.000	1.000	0.500

Integridad +G1				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	0.001	0.001	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000
Viento (Q)	0.000	1.000	1.000	0.000
Nieve (Q)	0.000	1.000	1.000	0.000

A1.8.2.- DIMENSIONADO DE LAS CORREAS DE CUBIERTA Y LATERALES

Datos de la obra

Separación entre pórticos: 8.00 m

Con cerramiento en cubierta

- Peso del cerramiento: 0.15 kN/m²

- Sobrecarga del cerramiento: 0.40 kN/m²

Con cerramiento en laterales

- Peso del cerramiento: 0.15 kN/m²

Normas y combinaciones

Perfiles conformados	CTE Cota de nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m
Perfiles laminados	CTE Cota de nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m
Desplazamientos	Acciones características

Datos de viento

Normativa: CTE DB SE-AE (España)

Zona eólica: A

Grado de aspereza: IV. Zona urbana, industrial o forestal

Periodo de servicio (años): 50

Profundidad nave industrial: 112.00

Sin huecos.

1 - V(0°) H1: Viento a 0°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior

2 - V(0°) H2: Viento a 0°, presión exterior tipo 2 sin acción en el interior

3 - V(90°) H1: Viento a 90°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior

4 - V(180°) H1: Viento a 180°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior

5 - V(180°) H2: Viento a 180°, presión exterior tipo 2 sin acción en el interior

6 - V(270°) H1: Viento a 270°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior

Datos de nieve

Normativa: CTE DB-SE AE (España)

Zona de clima invernal: 4

Altitud topográfica: 691.00 m

Cubierta sin resaltes

Exposición al viento: Normal

Hipótesis aplicadas:

- 1 - N(EI): Nieve (estado inicial)
- 2 - N(R) 1: Nieve (redistribución) 1
- 3 - N(R) 2: Nieve (redistribución) 2

Aceros en perfiles

Tipo acero	Acero	Lim. elástico MPa	Módulo de elasticidad GPa
Acero conformado	S235	235	210

Datos de pórticos			
Pórtico	Tipo exterior	Geometría	Tipo interior
1	Dos aguas	Luz izquierda: 14.00 m Luz derecha: 14.00 m Alero izquierdo: 14.00 m Alero derecho: 14.00 m Altura cumbre: 15.42 m	Pórtico rígido
2	Dos aguas	Luz izquierda: 14.00 m Luz derecha: 14.00 m Alero izquierdo: 14.00 m Alero derecho: 14.00 m Altura cumbre: 15.42 m	Pórtico rígido

Datos de correas de cubierta	
Descripción de correas	Parámetros de cálculo
Tipo de perfil: CF-300x4.0	Límite flecha: L / 300
Separación: 1.75 m	Número de vanos: Un vano
Tipo de Acero: S235	Tipo de fijación: Fijación rígida

Comprobación de resistencia

Comprobación de resistencia
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Aprovechamiento: 77.07 %

Barra pésima en cubierta

Perfil: CF-300x4.0										
Material: S235										
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas						
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)	
	0.871, 8.000, 14.088	0.871, 0.000, 14.088	8.000	19.16	2406.32	142.15	1.02	-19.83	0.00	
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme ⁽³⁾ Coordenadas del centro de gravedad										
	Pandeo			Pandeo lateral						
	Plano XY		Plano XZ	Ala sup.		Ala inf.				
	ϕ	0.00	1.00	0.00		0.00				
	L _k	0.000	8.000	0.000		0.000				
	C ₁	-		1.000						
Notación: ϕ: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico										

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	b / t	ϕ	N _t	N _c	M _y	M _z	M _y M _z	V _y	V _z	N _t M _y M _z	N _c M _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t NM _y M _z V _y V _z		
pésima en cubierta	b / t ϕ (b / t) _{Máx.} Cumple	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 4 m ϕ = 77.1	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	x: 8 m ϕ = 9.3	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	CUMPLE ϕ = 77.1	
Notación: b / t: Relación anchura / espesor ϕ: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión. Eje Y M _z : Resistencia a flexión. Eje Z M _y M _z : Resistencia a flexión biaxial V _y : Resistencia a corte Y V _z : Resistencia a corte Z N _t M _y M _z : Resistencia a tracción y flexión N _c M _y M _z : Resistencia a compresión y flexión NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a cortante, axil y flexión M _t NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante x: Distancia al origen de la barra ϕ: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽⁵⁾ La comprobación no procede, ya que no hay flexión biaxial para ninguna combinación. ⁽⁶⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁷⁾ No hay interacción entre axil de tracción y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁸⁾ No hay interacción entre axil de compresión y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁹⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽¹⁰⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.															

Relación anchura / espesor (CTE DB SE-A, Tabla 5.5 y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

$$h / t : \underline{69.8} \quad \checkmark$$

$$b / t : \underline{14.8} \quad \checkmark$$

$$c / t : \underline{3.6} \quad \checkmark$$

Los rigidizadores proporcionan suficiente rigidez, ya que se cumple:

$$c / b : \underline{0.246}$$

Donde:

h: Altura del alma.

$$h : \underline{279.00} \text{ mm}$$

b: Ancho de las alas.

$$b : \underline{59.00} \text{ mm}$$

c: Altura de los rigidizadores.

$$c : \underline{14.50} \text{ mm}$$

t: Espesor.

$$t : \underline{4.00} \text{ mm}$$

Nota: Las dimensiones no incluyen el acuerdo entre elementos.

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.2)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión. Eje Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.771} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.000 m del nudo 0.871, 8.000, 14.088, para la combinación de acciones $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(0^\circ) H1$.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{y,Ed}$: 27.67 kN·m

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$M_{c,Rd}$: 35.90 kN·m

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

W_{el} : 160.42 cm³

f_{yb} : Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_{yb} : 235.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión biaxial (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

La comprobación no procede, ya que no hay flexión biaxial para ninguna combinación.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

η : 0.093 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.871, 0.000, 14.088, para la combinación de acciones $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(0^\circ) H1$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 13.84 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{b,Rd}$ viene dado por:

$$V_{b,Rd} : \underline{148.50} \text{ kN}$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{291.02} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{4.00} \text{ mm}$$

α : Ángulo que forma el alma con la horizontal.

$$\alpha : \underline{90.0} \text{ grados}$$

f_{bv} : Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

$$f_{bv} : \underline{133.95} \text{ MPa}$$

Siendo:

λ_{w} : Esbeltez relativa del alma.

$$\lambda_{w} : \underline{0.84}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_{yb} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000.00} \text{ MPa}$$

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$

Resistencia a tracción y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.8 y 6.3)

No hay interacción entre axil de tracción y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a compresión y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

No hay interacción entre axil de compresión y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante, axil y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.10)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Comprobación de flecha

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Porcentajes de aprovechamiento:
- Flecha: 99.48 %

Coordenadas del nudo inicial: 27.129, 0.000, 14.088

Coordenadas del nudo final: 27.129, 8.000, 14.088

El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis $1.00 \cdot G1 + 1.00 \cdot G2 + 1.00 \cdot Q + 1.00 \cdot N(R) 1 + 1.00 \cdot V(180^\circ) H1$ a una distancia 4.000 m del origen en el primer vano de la correa.

(I_y = 2406 cm⁴) (I_z = 142 cm⁴)

Datos de correas laterales	
Descripción de correas	Parámetros de cálculo
Tipo de perfil: CF-300x4.0	Límite flecha: L / 300
Separación: 1.75 m	Número de vanos: Un vano
Tipo de Acero: S235	Tipo de fijación: Fijación rígida

Comprobación de resistencia

Comprobación de resistencia
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Aprovechamiento: 59.69 %

Barra pésima en lateral

Perfil: CF-300x4.0 Material: S235									
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)
	0.000, 112.000, 0.875	0.000, 104.000, 0.875	8.000	19.16	2406.32	142.15	1.02	-19.83	0.00
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme ⁽³⁾ Coordenadas del centro de gravedad								
	Pandeo			Pandeo lateral					
	Plano XY		Plano XZ	Ala sup.		Ala inf.			
0.00		1.00	0.00		0.00				
L _k		8.000	0.000		0.000				
C ₁		-	1.000						
Notación: ξ : Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico									

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)												Estado	
	b / t	ξ	N _t	N _c	M _y	M _z	M _y M _z	V _y	V _z	N _t M _y M _z	N _c M _y M _z	NM _y M _z V _y V _z		M _t NM _y M _z V _y V _z
pésima en lateral	b / t ξ (b / t) _{Máx.} Cumple	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 4 m ξ = 59.7	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	x: 0 m ξ = 7.3	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	CUMPLE η = 59.7
Notación: b / t: Relación anchura / espesor ξ : Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión. Eje Y M _z : Resistencia a flexión. Eje Z M _y M _z : Resistencia a flexión biaxial V _y : Resistencia a corte Y V _z : Resistencia a corte Z N _t M _y M _z : Resistencia a tracción y flexión N _c M _y M _z : Resistencia a compresión y flexión NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a cortante, axil y flexión M _t NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante x: Distancia al origen de la barra ξ : Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede														
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽⁵⁾ La comprobación no procede, ya que no hay flexión biaxial para ninguna combinación. ⁽⁶⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁷⁾ No hay interacción entre axil de tracción y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁸⁾ No hay interacción entre axil de compresión y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁹⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽¹⁰⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.														

Relación anchura / espesor (CTE DB SE-A, Tabla 5.5 y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

h / t : 69.8

$$b/t : \underline{14.8} \quad \checkmark$$

$$c/t : \underline{3.6} \quad \checkmark$$

Los rigidizadores proporcionan suficiente rigidez, ya que se cumple:

$$c/b : \underline{0.246}$$

Donde:

h: Altura del alma.

$$h : \underline{279.00} \text{ mm}$$

b: Ancho de las alas.

$$b : \underline{59.00} \text{ mm}$$

c: Altura de los rigidizadores.

$$c : \underline{14.50} \text{ mm}$$

t: Espesor.

$$t : \underline{4.00} \text{ mm}$$

Nota: Las dimensiones no incluyen el acuerdo entre elementos.

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.2)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión. Eje Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.597} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.000 m del nudo 0.000, 112.000, 0.875, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(90°) H1.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{y,Ed}$: 21.43 kN·m

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$M_{c,Rd}$: 35.90 kN·m

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

W_{el} : 160.42 cm³

f_{yb} : Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_{yb} : 235.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión biaxial (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

La comprobación no procede, ya que no hay flexión biaxial para ninguna combinación.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

η : 0.073 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.000, 112.000, 0.875, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(90°) H1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 10.91 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{b,Rd}$ viene dado por:

$$V_{b,Rd} : \underline{148.50} \text{ kN}$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{291.02} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{4.00} \text{ mm}$$

α : Ángulo que forma el alma con la horizontal.

$$\alpha : \underline{90.0} \text{ grados}$$

f_{bv} : Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

$$f_{bv} : \underline{133.95} \text{ MPa}$$

Siendo:

λ_w : Esbeltez relativa del alma.

$$\lambda_w : \underline{0.84}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_{yb} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a tracción y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.8 y 6.3)

No hay interacción entre axil de tracción y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a compresión y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

No hay interacción entre axil de compresión y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante, axil y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.10)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Comprobación de flecha

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Porcentajes de aprovechamiento: - Flecha: 70.28 %

Coordenadas del nudo inicial: 0.000, 112.000, 0.875

Coordenadas del nudo final: 0.000, 104.000, 0.875

El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis $1.00 \cdot G1 + 1.00 \cdot G2 + 1.00 \cdot V(90^\circ)$ H1 a una distancia 4.000 m del origen en el primer vano de la correa.(I_y = 2406 cm⁴) (I_z = 142 cm⁴)

Medición de correas			
Tipo de correas	Nº de correas	Peso lineal kg/m	Peso superficial kN/m ²
Correas de cubierta	36	541.53	0.09
Correas laterales	18	270.77	0.05

A1.8.3.- RESULTADOS PRINCIPALES BARRAS DEL PÓRTICO DE FACHADA

A1.8.3.1.- Barras

A1.8.3.1.1.- Resistencia

Referencias:

N: Esfuerzo axil (kN)

Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (kN)

Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (kN)

Mt: Momento torsor (kN·m)

My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (kN·m)

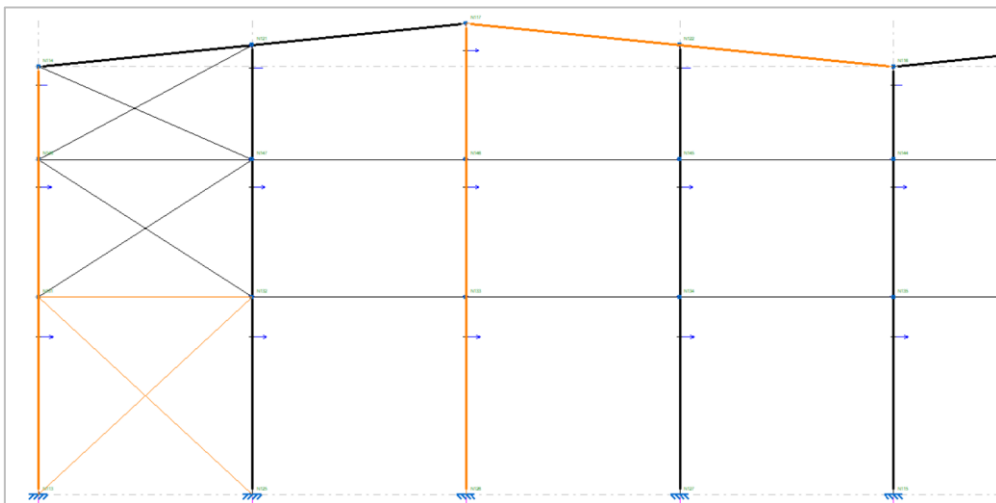
Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (kN·m)

Los esfuerzos indicados son los correspondientes a la combinación pésima, es decir, aquella que demanda la máxima resistencia de la sección.

Origen de los esfuerzos pésimos:

- G: Sólo gravitatorias
- GV: Gravitatorias + viento
- GS: Gravitatorias + sismo
- GVS: Gravitatorias + viento + sismo

η : Aprovechamiento de la resistencia. La barra cumple con las condiciones de resistencia de la norma si se cumple que $\eta \geq 100$ %.



Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (kN)	Vy (kN)	Vz (kN)	Mt (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)		
N113/N131	51.91	0.000	77.823	-21.234	14.170	0.00	28.13	-24.10	GV	Cumple
N131/N148	31.77	0.000	56.044	-16.217	6.470	0.00	4.10	-16.81	GV	Cumple
N148/N114	15.20	0.000	24.489	-11.803	7.509	0.00	7.86	-7.07	GV	Cumple
N116/N122	61.05	7.036	85.973	-0.208	21.137	0.01	-26.80	0.38	GV	Cumple
N122/N117	55.69	0.000	45.965	0.371	-21.399	0.01	-26.80	0.38	GV	Cumple
N126/N133	72.42	0.000	-65.267	0.266	-72.042	0.00	-231.55	1.10	GV	Cumple
N133/N146	37.92	3.101	-47.527	-0.183	-0.850	0.00	121.77	-0.12	GV	Cumple

Comprobación de resistencia										
Barra	ϕ (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (kN)	Vy (kN)	Vz (kN)	Mt (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)		
N146/N117	35.92	0.000	-42.163	0.032	9.583	0.00	115.62	0.14	GV	Cumple
N131/N132	48.67	3.500	-38.370	0.000	0.000	0.00	0.88	0.00	GV	Cumple
N113/N132	28.19	0.000	87.120	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	GV	Cumple
N125/N131	29.52	0.000	91.220	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	GV	Cumple

A1.8.3.1.2.- Flechas

Referencias:

Pos.: Valor de la coordenada sobre el eje 'X' local del grupo de flecha en el punto donde se produce el valor pésimo de la flecha.

L.: Distancia entre dos puntos de corte consecutivos de la deformada con la recta que une los nudos extremos del grupo de flecha.

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha activa absoluta xy Flecha activa relativa xy		Flecha activa absoluta xz Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N113/N114	3.628	8.83	4.031	0.56	3.628	14.11	4.031	0.81
	3.628	L/(>1000)	3.628	L/(>1000)	3.628	L/(>1000)	3.628	L/(>1000)
N116/N117	10.554	5.89	3.166	9.10	10.554	11.25	10.905	16.31
	10.554	L/(>1000)	3.166	L/800.8	10.554	L/(>1000)	3.166	L/800.8
N126/N117	7.578	1.00	8.987	30.16	7.296	1.94	8.987	56.27
	7.578	L/(>1000)	8.987	L/509.5	7.578	L/(>1000)	8.987	L/509.5
N131/N132	6.125	0.00	3.500	5.09	6.125	0.00	3.500	5.08
	-	L/(>1000)	3.500	L/(>1000)	-	L/(>1000)	3.500	L/(>1000)
N113/N132	5.949	0.00	6.544	0.00	6.544	0.00	6.544	0.00
	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N125/N131	8.329	0.00	8.924	0.00	8.329	0.00	8.329	0.00
	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)

A.3.1.3.- Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	ϕ _{Ed}	ϕ _{Ed}	N _{Ed}	N _{Ed}	M _{Ed}	M _{Ed}	V _{Ed}	V _{Ed}	M-V _{Ed}	M _{Ed} V _{Ed}	NM _{Ed} M _{Ed}	NM _{Ed} M _{Ed} V _{Ed}	M _{Ed}	M _{Ed} V _{Ed}	
N113/N131	2.0	2.0	x: 6.45 m ϕ = 4.1	x: 0 m ϕ = 24.1	x: 0 m ϕ = 8.2	x: 0 m ϕ = 40.4	x: 0 m ϕ = 3.1	x: 0 m ϕ = 2.7	ϕ < 0.1	ϕ < 0.1	x: 0 m ϕ = 51.9	ϕ < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾
	Cumple	Cumple													
N131/N148	2.0	2.0	x: 4.51 m ϕ = 2.9	x: 0 m ϕ = 12.7	x: 0 m ϕ = 3.5	x: 0 m ϕ = 28.0	x: 0 m ϕ = 2.0	x: 0 m ϕ = 2.0	ϕ < 0.1	ϕ < 0.1	x: 0 m ϕ = 31.8	ϕ < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾
	Cumple	Cumple													
N148/N114	2.0	2.0	x: 3.04 m ϕ = 1.4	x: 0 m ϕ = 3.8	x: 0 m ϕ = 3.0	x: 0 m ϕ = 11.9	x: 0 m ϕ = 1.8	x: 0 m ϕ = 1.5	ϕ < 0.1	ϕ < 0.1	x: 0 m ϕ = 15.2	ϕ < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾
	Cumple	Cumple													
N116/N122	2.0	2.0	x: 7.036 m ϕ = 15.9	x: 0 m ϕ = 17.0	x: 7.036 m ϕ = 46.3	x: 7.036 m ϕ = 8.9	x: 7.036 m ϕ = 10.0	x: 0 m ϕ = 0.3	ϕ < 0.1	ϕ < 0.1	x: 7.036 m ϕ = 61.0	ϕ < 0.1	ϕ = 2.0	x: 7.036 m ϕ = 10.0	x: 0 m ϕ = 0.3
	Cumple	Cumple													
N122/N117	2.0	2.0	x: 7.036 m ϕ = 12.4	x: 0 m ϕ = 16.2	x: 0 m ϕ = 46.3	x: 0 m ϕ = 8.9	x: 0 m ϕ = 10.1	x: 0 m ϕ = 0.4	ϕ < 0.1	ϕ < 0.1	x: 0 m ϕ = 55.7	ϕ < 0.1	ϕ = 2.0	x: 0 m ϕ = 10.1	x: 0 m ϕ = 0.4
	Cumple	Cumple													
N126/N133	2.0	2.0	x: 6.45 m ϕ = 1.1	x: 0 m ϕ = 10.6	x: 0 m ϕ = 68.2	x: 0 m ϕ = 2.2	x: 0 m ϕ = 11.2	ϕ < 0.1	ϕ < 0.1	ϕ < 0.1	x: 0 m ϕ = 72.4	ϕ < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾
	Cumple	Cumple													
N133/N146	2.0	2.0	x: 4.51 m ϕ = 1.5	x: 0 m ϕ = 8.4	x: 3.101 m ϕ = 35.6	x: 0 m ϕ = 1.2	x: 0 m ϕ = 3.8	ϕ < 0.1	ϕ < 0.1	ϕ < 0.1	x: 3.101 m ϕ = 37.9	ϕ < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾
	Cumple	Cumple													
N146/N117	2.0	2.0	x: 0 m ϕ = 1.9	x: 0 m ϕ = 6.6	x: 0 m ϕ = 33.8	x: 0 m ϕ = 0.4	x: 4.457 m ϕ = 6.2	ϕ < 0.1	ϕ < 0.1	ϕ < 0.1	x: 0 m ϕ = 35.9	ϕ < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾
	Cumple	Cumple													
N131/N132	2.0	2.0	x: 0.438 m ϕ = 2.9	ϕ = 43.0	x: 3.5 m ϕ = 6.5	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0 m ϕ = 0.5	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	ϕ < 0.1	ϕ < 0.1	N.P. ⁽⁵⁾	x: 3.5 m ϕ = 48.7	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾
	Cumple	Cumple													

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	ξ	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	M_yV_z	M_zV_y	NM_yM_z	$NM_yM_zV_yV_z$	M_t	M_tV_z	M_tV_y	
N113/N132	$\xi = 4.0$ Cumple	$\xi = 28.2$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁶⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE $\xi = 28.2$
N125/N131	$\xi = 4.0$ Cumple	$\xi = 29.5$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁶⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE $\xi = 29.5$

Notación:

- ξ : Limitación de esbeltez
- ξ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
- N_t : Resistencia a tracción
- N_c : Resistencia a compresión
- M_y : Resistencia a flexión eje Y
- M_z : Resistencia a flexión eje Z
- V_z : Resistencia a corte Z
- V_y : Resistencia a corte Y
- M_yV_z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
- M_zV_y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
- NM_yM_z : Resistencia a flexión y axil combinados
- $NM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
- M_t : Resistencia a torsión
- M_tV_z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
- M_tV_y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
- x : Distancia al origen de la barra
- ξ : Coeficiente de aprovechamiento (%)
- N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):

- ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
- ⁽²⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
- ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
- ⁽⁵⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- ⁽⁶⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.
- ⁽⁷⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- ⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

A1.8.4.- RESULTADOS PRINCIPALES BARRAS DEL PÓRTICO INTERIOR

Barras

A1.8.4.1.1.- Resistencia

Referencias:

N: Esfuerzo axil (kN)

Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (kN)

Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (kN)

Mt: Momento torsor (kN·m)

My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (kN·m)

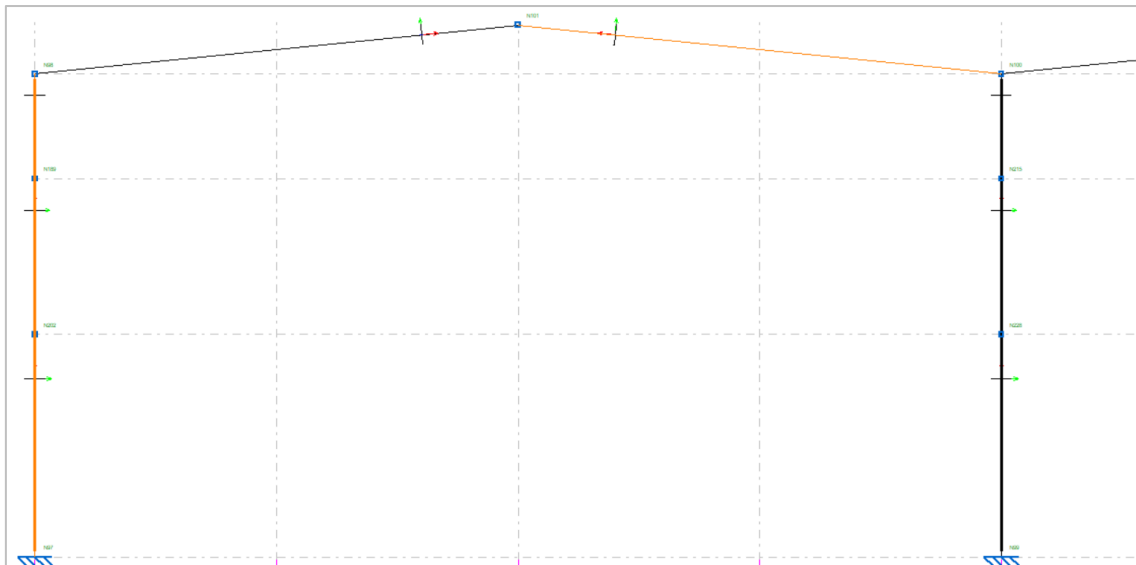
Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (kN·m)

Los esfuerzos indicados son los correspondientes a la combinación pésima, es decir, aquella que demanda la máxima resistencia de la sección.

Origen de los esfuerzos pésimos:

- G: Sólo gravitatorias
- GV: Gravitatorias + viento
- GS: Gravitatorias + sismo
- GVS: Gravitatorias + viento + sismo

η : Aprovechamiento de la resistencia. La barra cumple con las condiciones de resistencia de la norma si se cumple que $\eta \leq 100\%$.



Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (kN)	Vy (kN)	Vz (kN)	Mt (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)		
N97/N202	55.19	0.000	-199.018	0.063	-82.574	0.00	-441.97	0.33	GV	Cumple
N202/N189	43.26	4.510	-150.853	-0.106	-59.550	0.00	346.55	0.40	GV	Cumple
N189/N98	62.49	3.040	-135.328	0.146	-55.326	0.00	523.33	-0.01	GV	Cumple
N100/N101	92.50	0.000	-75.147	0.007	-161.054	0.00	-788.01	0.18	G	Cumple

A1.8.4.1.2.- Flechas

Referencias:

Pos.: Valor de la coordenada sobre el eje 'X' local del grupo de flecha en el punto donde se produce el valor pésimo de la flecha.

L.: Distancia entre dos puntos de corte consecutivos de la deformada con la recta que une los nudos extremos del grupo de flecha.

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy		Flecha máxima absoluta xz		Flecha activa absoluta xy		Flecha activa absoluta xz	
	Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima relativa xz		Flecha activa relativa xy		Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N97/N98	2.822	0.52	14.000	41.30	2.822	0.89	14.000	76.53
	2.419	L/(>1000)	14.000	L/339.0	2.419	L/(>1000)	14.000	L/339.0
N100/N101	6.332	0.53	7.739	12.31	6.332	0.95	8.443	24.03
	6.332	L/(>1000)	2.814	L/997.5	6.332	L/(>1000)	2.814	L/997.9

A1.8.4.1.3.- Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	ξ	ξ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	M_yV_z	M_zV_y	NM_yM_z	$NM_yM_zV_yV_z$	M_t	M_tV_z		M_tV_y
N97/N202	$\xi \geq 2.0$ Cumple	$\xi_w \leq \xi_{w,max}$ Cumple	x: 6.45 m $\xi = 1.3$	x: 0 m $\xi = 10.4$	x: 0 m $\xi = 52.5$	x: 0 m $\xi = 1.8$	x: 0 m $\xi = 8.6$	$\xi < 0.1$	$\xi < 0.1$	$\xi < 0.1$	x: 0 m $\xi = 55.2$	$\xi < 0.1$	$\xi = 0.1$	x: 0 m $\xi = 8.6$	$\xi < 0.1$	CUMPLE $\xi = 55.2$
N202/N189	$\xi \geq 2.0$ Cumple	$\xi_w \leq \xi_{w,max}$ Cumple	x: 4.51 m $\xi = 1.6$	x: 0 m $\xi = 6.6$	x: 4.51 m $\xi = 39.1$	x: 0 m $\xi = 0.6$	x: 0 m $\xi = 5.7$	$\xi < 0.1$	$\xi < 0.1$	$\xi < 0.1$	x: 4.51 m $\xi = 43.3$	$\xi < 0.1$	$\xi = 0.1$	x: 0 m $\xi = 5.7$	$\xi < 0.1$	CUMPLE $\xi = 43.3$
N189/N98	$\xi \geq 2.0$ Cumple	$\xi_w \leq \xi_{w,max}$ Cumple	x: 3.04 m $\xi = 1.8$	x: 0 m $\xi = 5.6$	x: 3.04 m $\xi = 59.0$	x: 0 m $\xi = 0.4$	x: 3.04 m $\xi = 5.6$	$\xi < 0.1$	$\xi < 0.1$	$\xi < 0.1$	x: 3.04 m $\xi = 62.5$	$\xi < 0.1$	$\xi = 0.1$	x: 3.04 m $\xi = 5.6$	$\xi < 0.1$	CUMPLE $\xi = 62.5$
N100/N101	$\xi \geq 2.0$ Cumple	$\xi_w \leq \xi_{w,max}$ Cumple	x: 14.072 m $\xi = 2.0$	x: 0 m $\xi = 2.6$	x: 0 m $\xi = 88.9$	x: 0 m $\xi = 0.2$	x: 0 m $\xi = 13.4$	$\xi < 0.1$	$\xi < 0.1$	$\xi < 0.1$	x: 0 m $\xi = 92.5$	$\xi < 0.1$	$\xi = 0.1$	x: 0 m $\xi = 9.1$	$\xi < 0.1$	CUMPLE $\xi = 92.5$

Notación:
 ξ : Limitación de esbeltez
 ξ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
 N_t : Resistencia a tracción
 N_c : Resistencia a compresión
 M_y : Resistencia a flexión eje Y
 M_z : Resistencia a flexión eje Z
 V_y : Resistencia a corte Y
 M_yV_z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 M_zV_y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
 NM_yM_z : Resistencia a flexión y axial combinados
 $NM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a flexión, axial y cortante combinados
 M_t : Resistencia a torsión
 M_tV_z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 M_tV_y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
 x : Distancia al origen de la barra
 ξ : Coeficiente de aprovechamiento (%)

A1.8.5.- RESULTADOS PRINCIPALES BARRAS PÓRTICO LATERAL

A1.8.5.1.- Barras

A1.8.5.1.1.- Resistencia

Referencias:

N: Esfuerzo axil (kN)

Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (kN)

Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (kN)

Mt: Momento torsor (kN·m)

My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (kN·m)

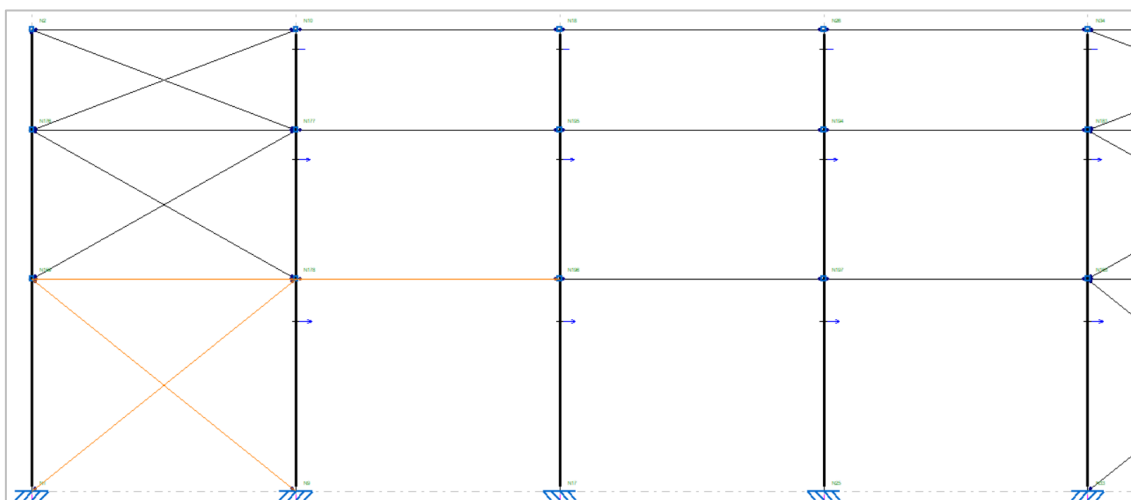
Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (kN·m)

Los esfuerzos indicados son los correspondientes a la combinación pésima, es decir, aquella que demanda la máxima resistencia de la sección.

Origen de los esfuerzos pésimos:

- G: Sólo gravitatorias
- GV: Gravitatorias + viento
- GS: Gravitatorias + sismo
- GVS: Gravitatorias + viento + sismo

: Aprovechamiento de la resistencia. La barra cumple con las condiciones de resistencia de la norma si se cumple que $\eta \geq 100\%$.



Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (kN)	Vy (kN)	Vz (kN)	Mt (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)		
N159/N178	22.22	4.000	-68.834	0.000	0.000	0.00	6.20	0.00	GV	Cumple
N1/N178	22.34	0.000	76.067	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	GV	Cumple
N9/N159	18.99	0.000	64.672	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	GV	Cumple
N178/N196	6.35	4.000	22.977	0.000	0.000	0.00	2.78	0.00	GV	Cumple

A1.8.5.1.2.- Flechas

Referencias:

Pos.: Valor de la coordenada sobre el eje 'X' local del grupo de flecha en el punto donde se produce el valor pésimo de la flecha.

L.: Distancia entre dos puntos de corte consecutivos de la deformada con la recta que une los nudos extremos del grupo de flecha.

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy		Flecha máxima absoluta xz		Flecha activa absoluta xy		Flecha activa absoluta xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N159/N178	0.000	0.00	4.000	7.44	0.000	0.00	4.000	7.43
	-	L/(>1000)	4.000	L/(>1000)	-	L/(>1000)	4.000	L/(>1000)
N1/N178	9.634	0.00	5.780	0.00	8.992	0.00	7.707	0.00
	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N9/N159	9.634	0.00	9.634	0.00	6.423	0.00	9.634	0.00
	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N178/N196	0.000	0.00	4.000	2.38	0.000	0.00	4.000	2.38
	-	L/(>1000)	4.000	L/(>1000)	-	L/(>1000)	4.000	L/(>1000)

A1.8.5.1.3.- Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	ξ	ξ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	M_yV_z	M_zV_y	NM_yM_z	$NM_yM_zV_yV_z$	M_t		M_tV_z	M_tV_y
N159/N178	ξ 2.0 Cumple	x: 0.5 m ξ_w 2.0 ξ_w máx Cumple	$\xi = 0.4$	$\xi = 15.3$	x: 4 m $\xi = 6.8$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\xi = 0.5$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0.5 m $\xi < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 4 m $\xi = 22.2$	x: 0.5 m $\xi < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\xi = 22.2$
N178/N196	ξ 2.0 Cumple	x: 0.5 m ξ_w 2.0 ξ_w máx Cumple	$\xi = 2.6$	$\xi = 1.2$	x: 4 m $\xi = 3.7$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\xi = 0.6$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0.5 m $\xi < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 4 m $\xi = 6.3$	x: 0.5 m $\xi < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\xi = 6.3$

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado	
	ξ	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	M_yV_z	M_zV_y	NM_yM_z	$NM_yM_zV_yV_z$	M_t	M_tV_z		M_tV_y
N1/N178	ξ 4.0 Cumple	$\xi = 22.3$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁶⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\xi = 22.3$
N9/N159	ξ 4.0 Cumple	$\xi = 19.0$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁶⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\xi = 19.0$

Notación:

- ξ : Limitación de esbeltez
- ξ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
- N_t : Resistencia a tracción
- N_c : Resistencia a compresión
- M_y : Resistencia a flexión eje Y
- M_z : Resistencia a flexión eje Z
- V_z : Resistencia a corte Z
- V_y : Resistencia a corte Y
- M_yV_z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
- M_zV_y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
- NM_yM_z : Resistencia a flexión y axil combinados
- $NM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
- M_t : Resistencia a torsión
- M_tV_z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
- M_tV_y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
- x: Distancia al origen de la barra
- ξ : Coeficiente de aprovechamiento (%)
- N.P.: No procede



Comprobaciones que no proceden (N.P.):

- ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.*
- ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.*
- ⁽³⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.*
- ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.*
- ⁽⁵⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.*
- ⁽⁶⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.*
- ⁽⁷⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.*
- ⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.*

A1.8.6.- RESULTADOS PRINCIPALES BARRAS PÓRTICO LATERAL INTERIOR

A1.8.6.1.- Barras

A1.8.6.1.1.- Resistencia

Referencias:

N: Esfuerzo axil (kN)

Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (kN)

Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (kN)

Mt: Momento torsor (kN·m)

My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (kN·m)

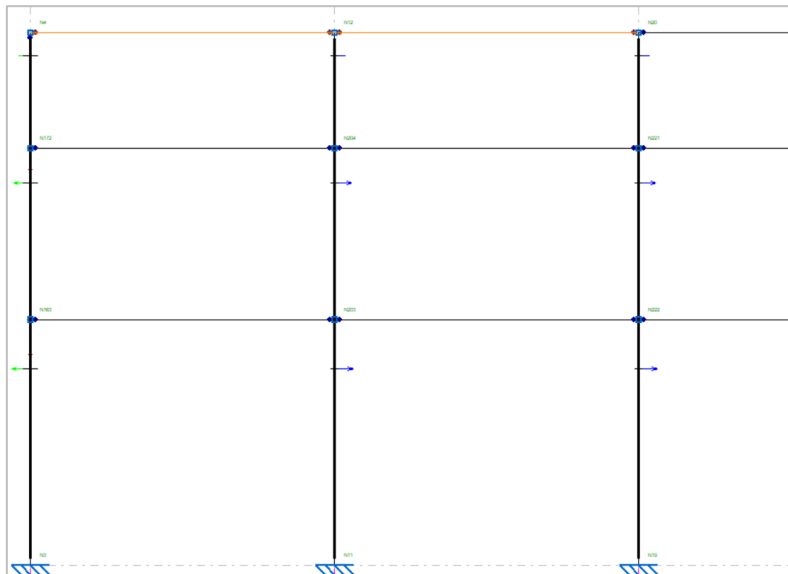
Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (kN·m)

Los esfuerzos indicados son los correspondientes a la combinación pésima, es decir, aquella que demanda la máxima resistencia de la sección.

Origen de los esfuerzos pésimos:

- G: Sólo gravitatorias
- GV: Gravitatorias + viento
- GS: Gravitatorias + sismo
- GVS: Gravitatorias + viento + sismo

☑: Aprovechamiento de la resistencia. La barra cumple con las condiciones de resistencia de la norma si se cumple que $\eta \geq 100\%$.



Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (kN)	Vy (kN)	Vz (kN)	Mt (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)		
N4/N12	34.06	4.000	-120.579	0.000	0.000	0.00	6.20	0.00	GV	Cumple
N12/N20	17.56	4.000	-121.055	0.000	0.000	0.00	2.78	0.00	GV	Cumple

A1.8.6.1.2.- Flechas

Referencias:

Pos.: Valor de la coordenada sobre el eje 'X' local del grupo de flecha en el punto donde se produce el valor pésimo de la flecha.

L.: Distancia entre dos puntos de corte consecutivos de la deformada con la recta que une los nudos extremos del grupo de flecha.

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy		Flecha máxima absoluta xz		Flecha activa absoluta xy		Flecha activa absoluta xz	
	Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima relativa xz		Flecha activa relativa xy		Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N4/N12	0.000	0.00	4.000	7.44	0.000	0.00	4.000	7.43
	-	L/(>1000)	4.000	L/(>1000)	-	L/(>1000)	4.000	L/(>1000)
N12/N20	0.000	0.00	4.000	2.38	0.000	0.00	4.000	2.38
	-	L/(>1000)	4.000	L/(>1000)	-	L/(>1000)	4.000	L/(>1000)

A1.8.6.1.3.- Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	ξ	ξ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N4/N12	ξ 2.0 Cumple	x: 0.5 m ξ_w ξ_w Cumple	ξ = 0.6	ξ = 26.2	x: 4 m ξ = 6.8	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m ξ = 0.5	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.5 m ξ < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 4 m ξ = 34.1	x: 0.5 m ξ < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE ξ = 34.1
N12/N20	ξ 2.0 Cumple	x: 0.5 m ξ_w ξ_w Cumple	ξ = 14.2	ξ = 13.8	x: 4 m ξ = 3.7	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m ξ = 0.6	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.5 m ξ < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 4 m ξ = 17.6	x: 0.5 m ξ < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE ξ = 17.6

Notación:
 ξ : Limitación de esbeltez
 ξ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
N: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
N_t: Resistencia a flexión eje Y
M_y: Resistencia a flexión eje Z
V_y: Resistencia a corte Z
V_z: Resistencia a corte Y
M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
NM_yM_z: Resistencia a flexión y axial combinados
NM_yM_zV_z: Resistencia a flexión, axial y cortante combinados
M_t: Resistencia a torsión
M_tV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_tV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
 ξ : Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
⁽³⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
⁽⁵⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

A1.8.7.- RESULTADOS PRINCIPALES BARRAS CUBIERTA

A1.8.7.1.- Barras

A1.8.7.1.1.- Resistencia

Referencias:

N: Esfuerzo axil (kN)

Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (kN)

Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (kN)

Mt: Momento torsor (kN·m)

My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (kN·m)

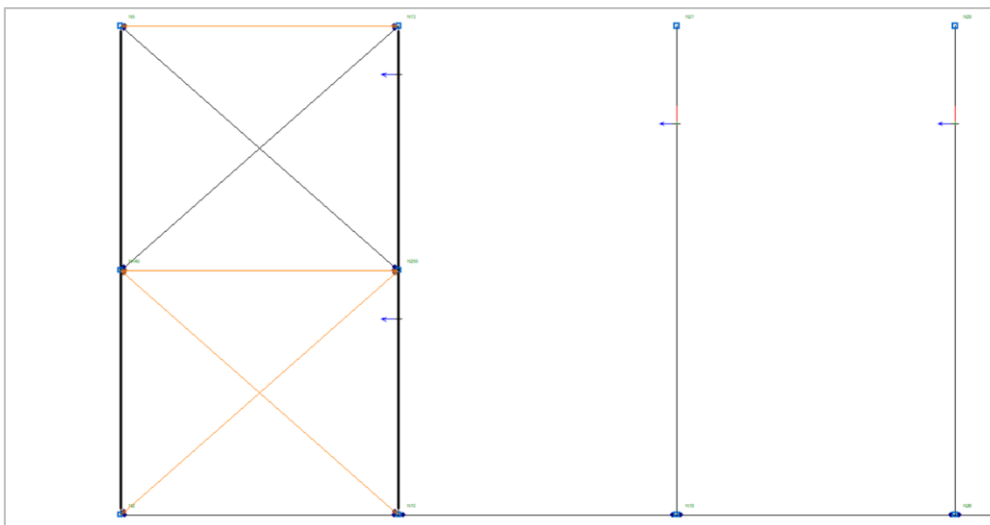
Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (kN·m)

Los esfuerzos indicados son los correspondientes a la combinación pésima, es decir, aquella que demanda la máxima resistencia de la sección.

Origen de los esfuerzos pésimos:

- G: Sólo gravitatorias
- GV: Gravitatorias + viento
- GS: Gravitatorias + sismo
- GVS: Gravitatorias + viento + sismo

: Aprovechamiento de la resistencia. La barra cumple con las condiciones de resistencia de la norma si se cumple que $\eta \geq 100\%$.



Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (kN)	Vy (kN)	Vz (kN)	Mt (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)		
N149/N255	25.88	4.000	-83.110	0.000	0.000	0.00	6.20	0.00	GV	Cumple
N5/N13	20.81	4.000	-60.994	0.000	0.000	0.00	6.20	0.00	G	Cumple
N2/N255	36.32	0.000	123.668	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	GV	Cumple
N10/N149	32.71	0.000	111.365	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	GV	Cumple

A1.8.7.1.2.- Flechas

Referencias:

Pos.: Valor de la coordenada sobre el eje 'X' local del grupo de flecha en el punto donde se produce el valor pésimo de la flecha.

L.: Distancia entre dos puntos de corte consecutivos de la deformada con la recta que une los nudos extremos del grupo de flecha.

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy		Flecha máxima absoluta xz		Flecha activa absoluta xy		Flecha activa absoluta xz	
	Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima relativa xz		Flecha activa relativa xy		Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N149/N255	0.000	0.00	4.000	7.44	0.000	0.00	4.000	7.43
	-	L/(>1000)	4.000	L/(>1000)	-	L/(>1000)	4.000	L/(>1000)
N5/N13	0.000	0.00	4.000	7.44	0.000	0.00	4.000	7.43
	-	L/(>1000)	4.000	L/(>1000)	-	L/(>1000)	4.000	L/(>1000)
N2/N255	8.656	0.00	9.322	0.00	9.322	0.00	9.322	0.00
	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N10/N149	8.656	0.00	9.988	0.00	8.656	0.00	8.656	0.00
	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)

A1.8.7.1.3.- Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	ξ	ξ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	M_yV_z	M_zV_y	NM_yM_z	$NM_yM_zV_yV_z$	M_t	M_tV_z		M_tV_y
N149/N255	$\xi = 2.0$ Cumple	$\xi_w = 2.0$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$\xi = 20.2$	$x: 4 \text{ m}$ $\xi = 6.8$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$x: 0 \text{ m}$ $\xi = 0.5$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$x: 0.5 \text{ m}$ $\xi < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	$x: 4 \text{ m}$ $\xi = 25.9$	$x: 0.5 \text{ m}$ $\xi < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\xi = 25.9$
N5/N13	$\xi = 2.0$ Cumple	$\xi_w = 2.0$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$\xi = 13.3$	$x: 4 \text{ m}$ $\xi = 6.8$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$x: 0 \text{ m}$ $\xi = 0.5$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$x: 0.5 \text{ m}$ $\xi < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	$x: 4 \text{ m}$ $\xi = 20.8$	$x: 0.5 \text{ m}$ $\xi < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\xi = 20.8$

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	ξ	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	M_yV_z	M_zV_y	NM_yM_z	$NM_yM_zV_yV_z$	M_t	M_tV_z	M_tV_y	
N2/N255	$\xi = 4.0$ Cumple	$\xi = 36.3$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁹⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\xi = 36.3$
N10/N149	$\xi = 4.0$ Cumple	$\xi = 32.7$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁹⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\xi = 32.7$

Notación:

- ξ : Limitación de esbeltez
- ξ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
- N_t : Resistencia a tracción
- N_c : Resistencia a compresión
- M_y : Resistencia a flexión eje Y
- M_z : Resistencia a flexión eje Z
- V_z : Resistencia a corte Z
- V_y : Resistencia a corte Y
- M_yV_z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
- M_zV_y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
- NM_yM_z : Resistencia a flexión y axil combinados
- $NM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
- M_t : Resistencia a torsión
- M_tV_z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
- M_tV_y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
- x : Distancia al origen de la barra
- ξ : Coeficiente de aprovechamiento (%)
- N.P.: No procede



Comprobaciones que no proceden (N.P.):

- ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.*
- ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.*
- ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.*
- ⁽⁴⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.*
- ⁽⁵⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.*
- ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.*
- ⁽⁷⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.*
- ⁽⁸⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.*
- ⁽⁹⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.*

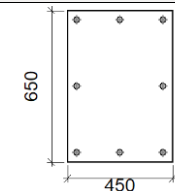
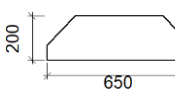
A1.8.8.- RESULTADOS UNIONES

A.8.1.- Uniones

A1.8.8.1.1.- Memoria de cálculo

A1.8.8.1.1.1.- Tipo 1

a) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f _y (MPa)	f _u (MPa)
Placa base		450	650	22	8	25	S275	275.0	410.0
Rigidizador		650	200	9	-	-	S275	275.0	410.0

b) Comprobación

1) Pilar IPE 400

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	6	1281	8.6	90.00	

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	ϕ _w
	ϕ _⊥ (N/mm ²)	ϕ _∥ (N/mm ²)	ϕ _{∥∥} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	ϕ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 75 mm Calculado: 185 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 37 mm Calculado: 86 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 37 mm Calculado: 40 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 45.4	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 28 cm Calculado: 55 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 152.79 kN Calculado: 130.55 kN Máximo: 106.95 kN Calculado: 10.23 kN Máximo: 152.79 kN Calculado: 145.17 kN	Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 156.15 kN Calculado: 131.53 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 476.19 MPa Calculado: 270.857 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 288.1 kN Calculado: 10.23 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 202.649 MPa Calculado: 202.649 MPa Calculado: 146.826 MPa Calculado: 146.826 MPa	Cumple Cumple Cumple Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i> - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Mínimo: 250 Calculado: 418.582 Calculado: 418.582 Calculado: 8209.99 Calculado: 8209.99	Cumple Cumple Cumple Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 249.297 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Rigidizador y-y (x = -95): Soldadura a la placa base	En ángulo	6	650	9.0	90.00
Rigidizador y-y (x = 95): Soldadura a la placa base	En ángulo	6	650	9.0	90.00

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia								
Ref.	Tensión de Von Mises				Tensión normal		f _u (N/mm ²)	σ _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	σ _∥ (N/mm ²)	σ _∥ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)		
Rigidizador y-y (x = -95): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						410.0	0.85
Rigidizador y-y (x = 95): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						410.0	0.85

c) Medición

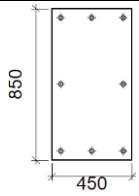
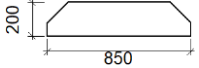
Soldaduras				
f _u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	6	2546
	En el lugar de montaje	En ángulo	6	1281

Elementos de tornillería no normalizados		
Tipo	Cantidad	Descripción
Tuercas	8	T25
Arandelas	8	A25

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	450x650x22	50.51
	Rigidizadores pasantes	2	650/400x200/70x9	16.07
	Total			66.59
B 500 S, Ys = 1.15 (corrugado)	Pernos de anclaje	8	∅ 25 - L = 617 + 243	26.51
	Total			26.51

A1.8.8.1.1.2.- Tipo 2

a) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f _y (MPa)	f _u (MPa)
Placa base		450	850	30	8	32	S275	275.0	410.0
Rigidizador		850	200	9	-	-	S275	275.0	410.0

b) Comprobación

1) Pilar IPE 600

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	8	1788	12.0	90.00	

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	ξ _w
	ξ _{II} (N/mm ²)	ξ _{III} (N/mm ²)	ξ _{IIII} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	ξ _{II} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 96 mm Calculado: 175 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 48 mm Calculado: 56 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 48 mm Calculado: 50 mm	Cumple

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 45.4	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 35 cm Calculado: 65 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 231.13 kN Calculado: 200.56 kN Máximo: 161.79 kN Calculado: 12.69 kN Máximo: 231.13 kN Calculado: 218.68 kN	Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 255.69 kN Calculado: 210.4 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 476.19 MPa Calculado: 263.562 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 502.86 kN Calculado: 13.09 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 81.4208 MPa Calculado: 81.4208 MPa Calculado: 192.428 MPa Calculado: 192.428 MPa	Cumple Cumple Cumple Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250 Calculado: 8003.11 Calculado: 8003.11 Calculado: 7239.02 Calculado: 7239.02	Cumple Cumple Cumple Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 195.413 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Rigidizador y-y (x = -114): Soldadura a la placa base	En ángulo	6	850	9.0	90.00
Rigidizador y-y (x = 114): Soldadura a la placa base	En ángulo	6	850	9.0	90.00
a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas					

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	σ _w
	σ _θ (N/mm ²)	σ _φ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _θ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Rigidizador y-y (x = -114): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Rigidizador y-y (x = 114): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85

c) Medición

Soldaduras				
f _u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	6	3324
	En el lugar de montaje	En ángulo	8	1788

Elementos de tornillería no normalizados		
Tipo	Cantidad	Descripción
Tuercas	8	T32
Arandelas	8	A32

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	450x850x30	90.08
	Rigidizadores pasantes	2	850/610x200/80x9	21.99
	Total			112.07
B 500 S, Ys = 1.15 (corrugado)	Pernos de anclaje	8	∅ 32 - L = 732 + 311	52.67
	Total			52.67

A1.8.8.1.1.3.- Tipo 3

a) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f _y (MPa)	f _u (MPa)
Placa base		400	800	30	8	25	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f _y (MPa)	f _u (MPa)
Rigidizador		800	150	7	-	-	S275	275.0	410.0

b) Comprobación

1) Pilar IPE 600

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	8	1788	12.0	90.00	

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	σ _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	σ _∥ (N/mm ²)	σ _{∥∥} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 75 mm Calculado: 160 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 37 mm Calculado: 43 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 37 mm Calculado: 40 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 44.6	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 28 cm Calculado: 45 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón:		

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
- Tracción:	Máximo: 125.01 kN Calculado: 117.17 kN	Cumple
- Cortante:	Máximo: 87.51 kN Calculado: 4.21 kN	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 125.01 kN Calculado: 123.18 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 156.15 kN Calculado: 119.85 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 476.19 MPa Calculado: 244.657 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Limite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 392.86 kN Calculado: 4.21 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 261.905 MPa	
- Derecha:	Calculado: 51.1382 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 51.1382 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 175.636 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 175.636 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 4645.4	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 4645.4	Cumple
- Arriba:	Calculado: 7767.8	Cumple
- Abajo:	Calculado: 7767.8	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 130.703 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas								
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)			
Rigidizador y-y (x = -114): Soldadura a la placa base	En ángulo	5	800	7.0	90.00			
Rigidizador y-y (x = 114): Soldadura a la placa base	En ángulo	5	800	7.0	90.00			
<i>a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas</i>								
Comprobación de resistencia								
Ref.	Tensión de Von Mises				Tensión normal		f _u (N/mm ²)	σ _w
	σ ₀ (N/mm ²)	σ ₉₀ (N/mm ²)	σ ₄₅ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ ₀ (N/mm ²)		
Rigidizador y-y (x = -114): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						410.0	0.85

Comprobación de resistencia								
Ref.	Tensión de Von Mises				Tensión normal		f _u (N/mm ²)	σ _w
	σ _{II} (N/mm ²)	σ _I (N/mm ²)	σ _{III} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _n (N/mm ²)		
Rigidizador y-y (x = 114): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						410.0	0.85

c) Medición

Soldaduras				
f _u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	5	3124
	En el lugar de montaje	En ángulo	8	1788

Elementos de tornillería no normalizados		
Tipo	Cantidad	Descripción
Tuercas	8	T25
Arandelas	8	A25

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	400x800x30	75.36
	Rigidizadores pasantes	2	800/600x150/55x7	12.14
	Total			87.50
B 500 S, Ys = 1.15 (corrugado)	Pernos de anclaje	8	Ø 25 - L = 525 + 243	23.67
	Total			23.67

A1.8.9.- CIMENTACIÓN

A1.8.9.1.- Elementos de cimentación aislados

A1.8.9.1.1.- Comprobación

Referencia: N14		
Dimensiones: 215 x 390 x 155		
Armados: Xi:Ø20c/20 Yi:Ø20c/20 Xs:Ø20c/20 Ys:Ø20c/20		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno:		
<i>Criterio de CYPE</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0597429 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0797553 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.110264 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata:		
<i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 250.9 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 38.3 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 42.87 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 391.86 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 0.00 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 154.80 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes:	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 89.8 kN/m ²	Cumple
<i>Criterio de CYPE</i>		
Canto mínimo:		
<i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>		
	Mínimo: 25 cm Calculado: 155 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N14:	Mínimo: 65 cm Calculado: 146 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima:		
<i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i>		
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión:		
<i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i>		
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.0011 Mínimo: 0.0001	Cumple



Referencia: N14		
Dimensiones: 215 x 390 x 155		
Armados: Xi:Ø20c/20 Yi:Ø20c/20 Xs:Ø20c/20 Ys:Ø20c/20		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0004	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0004	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 20 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 20 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 20 cm Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 20 cm Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 20 cm Calculado: 197 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 28 cm Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 28 cm Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 28 cm Calculado: 205 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 20 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 20 cm	Cumple

Referencia: N14		
Dimensiones: 215 x 390 x 155		
Armados: Xi:Ø20c/20 Yi:Ø20c/20 Xs:Ø20c/20 Ys:Ø20c/20		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 28 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Referencia: N6		
Dimensiones: 275 x 395 x 85		
Armados: Xi:Ø12c/13 Yi:Ø12c/13 Xs:Ø12c/13 Ys:Ø12c/13		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0391419 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0349236 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0475785 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 128.9 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 235.1 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 79.78 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 84.14 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 48.56 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 53.17 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata: <i>Criterio de CYPE</i>		
- Situaciones persistentes:	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 147.9 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 85 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N6:	Mínimo: 54 cm Calculado: 78 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 0.0009	

Referencia: N14		
Dimensiones: 215 x 390 x 155		
Armados: Xi:Ø20c/20 Yi:Ø20c/20 Xs:Ø20c/20 Ys:Ø20c/20		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i>	Calculado: 0.0011	
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0002	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 12 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 13 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 13 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 13 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 13 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 13 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 13 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 13 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 13 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>	Mínimo: 15 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 45 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 45 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 94 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 94 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 45 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 45 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 94 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 94 cm	Cumple
Referencia: N11		
Dimensiones: 350 x 350 x 80		



Referencia: N14		
Dimensiones: 215 x 390 x 155		
Armados: Xi:Ø20c/20 Yi:Ø20c/20 Xs:Ø20c/20 Ys:Ø20c/20		
Comprobación	Valores	Estado
Armados: Xi:Ø16c/25 Yi:Ø16c/25 Xs:Ø16c/25 Ys:Ø16c/25		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0507177 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0537588 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.059841 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 1931.5 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 223.6 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 146.01 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 130.85 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 98.88 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 91.92 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata: <i>Criterio de CYPE</i>		
- Situaciones persistentes:	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 262 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 80 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N11:	Mínimo: 44 cm Calculado: 72 cm	Cumple
Cuántía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 0.0009	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
Cuántía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i>	Calculado: 0.0011	
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0003	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0003	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0001	Cumple

Referencia: N14 Dimensiones: 215 x 390 x 155 Armados: Xi:Ø20c/20 Yi:Ø20c/20 Xs:Ø20c/20 Ys:Ø20c/20		
Comprobación	Valores	Estado
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i> - Parrilla inferior: - Parrilla superior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 16 mm Calculado: 16 mm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i> - Armado inf. dirección X hacia der: - Armado inf. dirección X hacia izq: - Armado inf. dirección Y hacia arriba: - Armado inf. dirección Y hacia abajo: - Armado sup. dirección X hacia der: - Armado sup. dirección X hacia izq: - Armado sup. dirección Y hacia arriba: - Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 16 cm Calculado: 86 cm Mínimo: 16 cm Calculado: 86 cm Mínimo: 16 cm Calculado: 67 cm Mínimo: 16 cm Calculado: 67 cm Mínimo: 19 cm Calculado: 86 cm Mínimo: 19 cm Calculado: 86 cm Mínimo: 19 cm Calculado: 67 cm Mínimo: 19 cm Calculado: 67 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

A1.8.9.2.- Vigas

A1.8.9.2.1.- Comprobación

Referencia: C.1 [N6-N14] (Viga de atado) -Dimensiones: 40.0 cm x 40.0 cm -Armadura superior: 2Ø12 -Armadura inferior: 2Ø12 -Estribos: 1xØ8c/30		
Comprobación	Valores	Estado
Diámetro mínimo estribos:	Mínimo: 6 mm Calculado: 8 mm	Cumple
Separación mínima entre estribos: <i>Artículo 69.4.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 3.7 cm Calculado: 29.2 cm	Cumple
Separación mínima armadura longitudinal: <i>Artículo 69.4.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 3.7 cm	
- Armadura superior:	Calculado: 26 cm	Cumple
- Armadura inferior:	Calculado: 26 cm	Cumple
Separación máxima estribos: - Sin cortantes: <i>Artículo 44.2.3.4.1 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm Calculado: 30 cm	Cumple
Separación máxima armadura longitudinal: <i>Artículo 42.3.1 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm	
- Armadura superior:	Calculado: 26 cm	Cumple
- Armadura inferior:	Calculado: 26 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

A2. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES HIDRÁULICAS CON EPANET

A2.1 FUNCIONAMIENTO SIMULTÁNEO DEL HIDRANTE MÁS DESFAVORABLE CON LOS ROCIADORES AUTOMÁTICOS DE AGUA MÁS DESFAVORABLES

A2.1.1 RESULTADOS ROCIADORES AUTOMÁTICOS DE LA RED DE CUBIERTA:

ID Nudo	Demanda LPS	Presión m
Nudo n328	1,13	44,40
Nudo n418	1,13	44,25
Nudo n417	1,13	44,26
Nudo n419	1,13	44,24
Nudo n421	1,13	44,25
Nudo n420	1,13	44,24
Nudo n327	1,13	44,40
Nudo n447	1,13	44,25
Nudo n448	1,13	44,24
Nudo n449	1,13	44,24
Nudo n326	1,13	44,40
Nudo n450	1,13	44,24
Nudo n451	1,13	44,24
Nudo n389	1,13	44,28
Nudo n390	1,13	44,28
Nudo n388	1,13	44,28
Nudo n387	1,13	44,29
Nudo n391	1,13	44,28
Nudo n479	1,13	44,23
Nudo n480	1,13	44,23
Nudo n478	1,13	44,23
Nudo n481	1,13	44,23
Nudo n477	1,13	44,24
Nudo n359	1,13	44,31
Nudo n358	1,13	44,31
Nudo n360	1,13	44,31
Nudo n329	1,13	44,40
Nudo n361	1,13	44,31
Nudo n357	1,13	44,32

A2.1.2 RESULTADOS ROCIADORES AUTOMÁTICOS DE LA RED INTERMEDIA UBICADA A 9 M SOBRE EL NIVEL DEL SUELO:

ID Nudo	Demanda LPS	Presión m
Nudo n886	1,13	48,35
Nudo n884	1,13	48,35
Nudo n885	1,13	48,35

A2.1.3 RESULTADOS ROCIADORES AUTOMÁTICOS DE LA RED INTERMEDIA UBICADA A 6 M SOBRE EL NIVEL DEL SUELO:

ID Nudo	Demanda LPS	Presión m
Nudo n922	1,13	51,36
Nudo n924	1,13	51,36
Nudo n923	1,13	51,36

A2.1.4 RESULTADOS ROCIADORES AUTOMÁTICOS DE LA RED INTERMEDIA UBICADA A 3 M SOBRE EL NIVEL DEL SUELO:

ID Nudo	Demanda LPS	Presión m
Nudo n1676	1,13	54,36
Nudo n1678	1,13	54,36
Nudo n1677	1,13	54,36

A2.1.5 RESULTADOS HIDRANTE:

ID Nudo	Demanda LPS	Presión m
Nudo 7	16,67	54,63

A2.2 FUNCIONAMIENTO SIMULTÁNEO DEL HIDRANTE MÁS FAVORABLE CON LOS ROCIADORES AUTOMÁTICOS DE AGUA MÁS FAVORABLES

A2.2.1 RESULTADOS ROCIADORES AUTOMÁTICOS DE LA RED DE CUBIERTA:

ID Nudo	Demanda LPS	Presión m
Nudo n1	0,00	54,23
Nudo n2	1,13	54,21
Nudo n3	0,00	54,24
Nudo n4	1,13	54,21
Nudo n5	1,13	54,21
Nudo n6	1,13	54,21
Nudo n7	1,13	54,21
Nudo n8	1,13	54,22
Nudo n9	1,13	54,25
Nudo n10	1,13	54,29
Nudo n11	1,13	54,35
Nudo n12	1,13	54,43
Nudo n13	1,13	54,55
Nudo n14	1,13	54,69
Nudo n15	1,13	54,88
Nudo n16	1,13	55,10
Nudo n17	1,13	55,37
Nudo n18	1,13	55,68
Nudo n19	1,13	56,05
Nudo n20	1,13	56,48
Nudo n21	1,13	56,96
Nudo n22	1,13	57,52
Nudo n23	1,13	58,14
Nudo n24	1,13	58,83
Nudo n25	1,13	58,11
Nudo n26	1,13	57,47
Nudo n27	1,13	56,89
Nudo n28	1,13	56,38
Nudo n29	1,13	55,94
Nudo n30	1,13	55,55
Nudo n31	1,13	55,21

A2.2.2 RESULTADOS ROCIADORES AUTOMÁTICOS DE LA RED INTERMEDIA UBICADA A 9 M SOBRE EL NIVEL DEL SUELO:

ID Nudo	Demanda LPS	Presión m
Nudo n542	1,13	58,11
Nudo n543	1,13	58,11
Nudo n544	1,13	58,11

A2.2.3 RESULTADOS ROCIADORES AUTOMÁTICOS DE LA RED INTERMEDIA UBICADA A 6 M SOBRE EL NIVEL DEL SUELO:

ID Nudo	Demanda LPS	Presión m
Nudo n979	1,13	61,10
Nudo n980	1,13	61,10
Nudo n981	1,13	61,10

A2.2.4 RESULTADOS ROCIADORES AUTOMÁTICOS DE LA RED INTERMEDIA UBICADA A 3 M SOBRE EL NIVEL DEL SUELO:

ID Nudo	Demanda LPS	Presión m
Nudo n1337	1,13	64,10
Nudo n1338	1,13	64,10
Nudo n1339	1,13	64,10

A2.2.5 RESULTADOS HIDRANTE:

ID Nudo	Demanda LPS	Presión m
Nudo 3	16,67	57,55

A2.3 FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN DE BIE, CUANDO FUNCIONAN LAS TRES MÁS DESFAVORABLES

ID Nudo	Demanda LPS	Presión m
Nudo 1	0,00	47,30
Nudo 2	0,00	50,00
Nudo 3	0,00	45,86
Nudo 4	0,00	41,13
Nudo 5	2,83	37,44
Nudo 6	2,83	35,96
Nudo 7	2,83	36,33
Nudo 8	0,00	39,70
Nudo 9	0,00	40,73
Nudo 10	0,00	40,40
Nudo 11	0,00	41,28
Nudo 12	0,00	39,84
Nudo 15	0,00	78,53
Nudo 16	0,00	70,38

3 PRESUPUESTO

Presupuesto

Presupuesto parcial nº 1 Acondicionamiento del terreno

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
1.1 Movimiento de tierras en edificación						
1.1.1	ADL005	m ²	<p>Desbroce y limpieza del terreno, con medios mecánicos. Comprende los trabajos necesarios para retirar de las zonas previstas para la edificación o urbanización: pequeñas plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basuras o cualquier otro material existente, hasta una profundidad no menor que el espesor de la capa de tierra vegetal, considerando como mínima 25 cm; y carga a camión.</p> <p>Incluye: Replanteo en el terreno. Remoción mecánica de los materiales de desbroce. Retirada y disposición mecánica de los materiales objeto de desbroce. Carga a camión.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Superficie medida en proyección horizontal, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá, en proyección horizontal, la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye la tala de árboles ni el transporte de los materiales retirados.</p>	13.537,000	1,18	15.973,66

Presupuesto parcial nº 1 Acondicionamiento del terreno

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
1.1.2	ADE010	m ³	<p>Excavación de zanjas para cimentaciones hasta una profundidad de 2 m, en suelo de arcilla semidura, con medios mecánicos, y carga a camión.</p> <p>Incluye: Replanteo general y fijación de los puntos y niveles de referencia. Colocación de las camillas en las esquinas y extremos de las alineaciones. Excavación en sucesivas franjas horizontales y extracción de tierras. Refinado de fondos y laterales a mano, con extracción de las tierras. Carga a camión de los materiales excavados.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Volumen medido sobre las secciones teóricas de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto, sin duplicar esquinas ni encuentros.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el volumen teórico ejecutado según especificaciones de Proyecto, sin duplicar esquinas ni encuentros y sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados, ni el relleno necesario para reconstruir la sección teórica por defectos imputables al Contratista. Se medirá la excavación una vez realizada y antes de que sobre ella se efectúe ningún tipo de relleno. Si el Contratista cerrase la excavación antes de conformada la medición, se entenderá que se aviene a lo que unilateralmente determine el director de la ejecución de la obra.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye el transporte de los materiales excavados.</p>	632,142	27,60	17.447,12

1.2 Nivelación

Presupuesto parcial nº 1 Acondicionamiento del terreno

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
1.2.1	ANS010	m ²	<p>Solera de hormigón armado de 15 cm de espesor, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido desde camión, y malla electrosoldada ME 20x20 Ø 5-5 B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080 como armadura de reparto, colocada sobre separadores homologados, extendido y vibrado manual mediante regla vibrante, con acabado superficial mediante fratasadora mecánica con juntas de retracción de 5 mm de espesor, mediante corte con disco de diamante. Incluso panel de poliestireno expandido de 3 cm de espesor, para la ejecución de juntas de dilatación.</p> <p>Incluye: Preparación de la superficie de apoyo del hormigón. Replanteo de las juntas de construcción y de dilatación. Tendido de niveles mediante toques, maestras de hormigón o reglas. Riego de la superficie base. Formación de juntas de construcción y de juntas perimetrales de dilatación. Colocación de la malla electrosoldada con separadores homologados. Vertido, extendido y vibrado del hormigón. Conexión de los elementos exteriores. Curado del hormigón. Fratasado mecánico de la superficie. Replanteo de las juntas de retracción. Corte del hormigón. Limpieza final de las juntas de retracción.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Superficie medida según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto, sin deducir la superficie ocupada por los pilares situados dentro de su perímetro.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye la base de la solera.</p>	6.272,000	25,87	162.256,64
Total presupuesto parcial nº 1 Acondicionamiento del terreno :						195.677,42

Presupuesto parcial nº 2 Cimentaciones

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
2.1 Regularización						
2.1.1	CRL030	m ²	Capa de hormigón de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, de 10 cm de espesor, de hormigón HL-150/B/20, fabricado en central y vertido desde camión, en el fondo de la excavación previamente realizada.	730,980	7,14	5.219,20
2.2 Superficiales						
2.2.1	CSZ030	m ³	Zapata de cimentación de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/Ila fabricado en central y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 35,4 kg/m ³ . Incluso armaduras de espera del pilar, alambre de atar y separadores.	632,142	127,44	80.560,18
2.3 Arriostramientos						
2.3.1	CAV030	m ³	Viga de atado de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/Ila fabricado en central y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 51,8 kg/m ³ . Incluso alambre de atar y separadores.	49,090	142,01	6.971,27
Total presupuesto parcial nº 2 Cimentaciones :						92.750,65

Presupuesto parcial nº 3 Estructuras

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
3.1 Acero						
3.1.1	EAM040	kg	Acero UNE-EN 10025 S275JR, en estructura metálica con piezas simples de perfiles laminados en caliente de la serie Cold Formed SHS, colocado con uniones soldadas en obra.	30.504,200	2,01	61.313,44
3.1.2	EAM040b	kg	Acero UNE-EN 10025 S275JR, en estructura metálica con piezas simples de perfiles laminados en caliente de la serie IPE, colocado con uniones soldadas en obra.	199.354,970	2,01	400.703,49
3.1.3	EAM040c	kg	Acero UNE-EN 10025 S275JR, en estructura metálica con piezas simples de perfiles laminados en caliente de la serie L, colocado con uniones soldadas en obra.	13.434,080	2,01	27.002,50
3.1.4	EAS006	Ud	<p>Placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S275JR en perfil plano, con rigidizadores y taladro central, de 450x650 mm y espesor 25 mm, y montaje sobre 8 pernos de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 25 mm de diámetro y 55 cm de longitud total, embutidos en el hormigón fresco, y atornillados con arandelas, tuerca y contratuerca una vez endurecido el hormigón del cimientto. Incluso mortero autonivelante expansivo para relleno del espacio resultante entre el hormigón endurecido y la placa y protección anticorrosiva aplicada a las tuercas y extremos de los pernos.</p> <p>Incluye: Limpieza y preparación de la superficie de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la placa. Aplomado y nivelación. Relleno con mortero. Aplicación de la protección anticorrosiva.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio incluye los cortes, los despuntes, las pletinas, las piezas especiales y los elementos auxiliares de montaje.</p>	18,000	276,16	4.970,88

Presupuesto parcial nº 3 Estructuras

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
3.1.5	EAS006b	Ud	<p>Placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S275JR en perfil plano, con rigidizadores y taladro central, de 532x800 mm y espesor 30 mm, y montaje sobre 6 pernos de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 25 mm de diámetro y 100 cm de longitud total, embutidos en el hormigón fresco, y atornillados con arandelas, tuerca y contratuerca una vez endurecido el hormigón del cimiento. Incluso mortero autonivelante expansivo para relleno del espacio resultante entre el hormigón endurecido y la placa y protección anticorrosiva aplicada a las tuercas y extremos de los pernos.</p> <p>Incluye: Limpieza y preparación de la superficie de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la placa. Aplomado y nivelación. Relleno con mortero. Aplicación de la protección anticorrosiva.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio incluye los cortes, los despuntes, las pletinas, las piezas especiales y los elementos auxiliares de montaje.</p>	28,000	418,31	11.712,68

Presupuesto parcial nº 3 Estructuras

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
3.1.6	EAS006c	Ud	<p>Placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S275JR en perfil plano, con rigidizadores y taladro central, de 400x750 mm y espesor 25 mm, y montaje sobre 8 pernos de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 25 mm de diámetro y 50 cm de longitud total, embutidos en el hormigón fresco, y atornillados con arandelas, tuerca y contratuerca una vez endurecido el hormigón del cimiento. Incluso mortero autonivelante expansivo para relleno del espacio resultante entre el hormigón endurecido y la placa y protección anticorrosiva aplicada a las tuercas y extremos de los pernos.</p> <p>Incluye: Limpieza y preparación de la superficie de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la placa. Aplomado y nivelación. Relleno con mortero. Aplicación de la protección anticorrosiva.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio incluye los cortes, los despuntes, las pletinas, las piezas especiales y los elementos auxiliares de montaje.</p>	14,000	259,91	3.638,74
3.1.7	EAT030	kg	<p>Acero UNE-EN 10162 S235JRC, en correas metálicas formadas por piezas simples de perfiles conformados en frío de las series omega, L, U, C o Z, acabado galvanizado, fijadas a las cerchas con uniones soldadas en obra.</p> <p>Incluye: Replanteo de las correas sobre las cerchas. Presentación de las correas sobre las cerchas. Aplomado y nivelación definitivos. Ejecución de las uniones soldadas.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Peso nominal medido según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se determinará, a partir del peso obtenido en báscula oficial de las unidades llegadas a obra, el peso de las unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio incluye las soldaduras, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje, pero no incluye la chapa o panel que actuará como cubierta.</p>	60.651,360	2,70	163.758,67

Presupuesto parcial nº 3 Estructuras

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
3.1.8	EAT030b	kg	<p>Acero UNE-EN 10162 S235JRC, en correas metálicas formadas por piezas simples de perfiles conformados en frío de las series omega, L, U, C o Z, acabado galvanizado, fijadas a las cerchas con uniones soldadas en obra.</p> <p>Incluye: Replanteo de las correas sobre las cerchas. Presentación de las correas sobre las cerchas. Aplomado y nivelación definitivos. Ejecución de las uniones soldadas.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Peso nominal medido según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se determinará, a partir del peso obtenido en báscula oficial de las unidades llegadas a obra, el peso de las unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio incluye las soldaduras, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje, pero no incluye la chapa o panel que actuará como cubierta.</p>	26.956,160	2,70	72.781,63
Total presupuesto parcial nº 3 Estructuras :						745.882,03

Presupuesto parcial nº 4 Gestión de residuos

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
4.1 Gestión de tierras						
4.1.1	GTB020	m ³	<p>Canon de vertido por entrega de tierras procedentes de la excavación, en vertedero específico, instalación de tratamiento de residuos de construcción y demolición externa a la obra o centro de valorización o eliminación de residuos.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Volumen medido sobre las secciones teóricas de las excavaciones, incrementadas cada una de ellas por su correspondiente coeficiente de esponjamiento, de acuerdo con el tipo de terreno considerado.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá, incluyendo el esponjamiento, el volumen de tierras realmente entregado según especificaciones de Proyecto.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye el transporte.</p>	632,142	2,44	1.542,43
Total presupuesto parcial nº 4 Gestión de residuos :						1.542,43

Presupuesto parcial nº 5 Fachadas y particiones

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
5.1 Fachadas ligeras						
5.1.1	FLA030	m ²	<p>Fachada de paneles sándwich aislantes, de 50 mm de espesor y 1100 mm de anchura, formados por doble cara metálica de chapa lisa de acero galvanizado, de espesor exterior 0,5 mm y espesor interior 0,5 mm y alma aislante de lana de roca de 100 kg/m³ de densidad media, colocados en posición vertical y fijados mecánicamente con sistema de fijación oculta a una estructura portante o auxiliar. Incluso accesorios de fijación de los paneles y cinta flexible de butilo, adhesiva por ambas caras, para el sellado de estanqueidad de los solapes entre paneles sándwich.</p> <p>Incluye: Replanteo de los paneles. Corte, preparación y colocación de los paneles. Sellado de juntas. Fijación mecánica de los paneles.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Superficie medida según documentación gráfica de Proyecto, sin duplicar esquinas ni encuentros, deduciendo los huecos de superficie mayor de 3 m².</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto, sin duplicar esquinas ni encuentros, deduciendo los huecos de superficie mayor de 3 m².</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye la estructura soporte ni la resolución de puntos singulares.</p>	4.116,568	73,42	302.238,42
Total presupuesto parcial nº 5 Fachadas y particiones :						302.238,42

Presupuesto parcial nº 6 Carpintería, cerrajería, vidrios y protecciones solares

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
6.1 Puertas de uso industrial						
6.1.1	LIM010	Ud	<p>Puerta seccional industrial, de 4x4 m, formada por panel sándwich, de 45 mm de espesor, de doble chapa de acero zincado con núcleo aislante de espuma de poliuretano, acabado lacado de color RAL 9016 en la cara exterior y de color RAL 9002 en la cara interior, con mirilla central de 610x180 mm, formada por marco de material sintético y acristalamiento de polimetilmetacrilato (PMMA), juntas entre paneles y perimetrales de estanqueidad, guías laterales de acero galvanizado, herrajes de colgar, equipo de motorización, muelles de torsión, cables de suspensión, cuadro de maniobra con pulsador de control de apertura y cierre de la puerta y pulsador de parada de emergencia, sistema antipinzamiento para evitar el atrapamiento de las manos, en ambas caras y sistemas de seguridad en caso de rotura de muelle y de rotura de cable. Incluso limpieza previa del soporte, material de conexionado eléctrico y ajuste y fijación en obra. Totalmente montada, conexionada y puesta en marcha por la empresa instaladora para la comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Incluye: Limpieza y preparación de la superficie soporte. Replanteo. Montaje de la puerta. Instalación de los mecanismos. Conexionado eléctrico. Ajuste y fijación de la puerta. Puesta en marcha.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	10,000	4.031,45	40.314,50

6.2 Puertas automáticas de acceso peatonal

Presupuesto parcial nº 6 Carpintería, cerrajería, vidrios y protecciones solares

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
6.2.1	LBL020	Ud	<p>Puerta corredera automática, de aluminio y vidrio, para acceso peatonal, con sistema de apertura lateral, de una hoja deslizante de 100x210 cm y una hoja fija de 120x210 cm, compuesta por: cajón superior con mecanismos, equipo de motorización y batería de emergencia para apertura y cierre automático en caso de corte del suministro eléctrico, de aluminio lacado, color blanco, dos detectores de presencia por radiofrecuencia, célula fotoeléctrica de seguridad y panel de control con cuatro modos de funcionamiento seleccionables; dos hojas de vidrio laminar de seguridad 5+5, incoloro, 1B1 según UNE-EN 12600 con perfiles de aluminio lacado, color blanco, fijadas sobre los perfiles con perfil continuo de neopreno. Incluso limpieza previa del soporte, material de conexionado eléctrico y ajuste y fijación en obra. Totalmente montada, conexionada y puesta en marcha por la empresa instaladora para la comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Incluye: Limpieza y preparación de la superficie soporte. Replanteo. Instalación del cajón superior con mecanismos, equipo de motorización y batería de emergencia. Colocación de los perfiles y de los elementos de acabado. Colocación del perfil de neopreno en el perímetro de las hojas de vidrio. Montaje de las hojas. Conexionado eléctrico. Ajuste y fijación de la puerta. Puesta en marcha.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	1,000	2.321,93	2.321,93

6.3 Equipamiento para muelles de carga y descarga

Presupuesto parcial nº 6 Carpintería, cerrajería, vidrios y protecciones solares

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
6.3.1	LMR010	Ud	<p>Rampa niveladora hidráulica, instalada en foso previamente ejecutado, de 60 kN de capacidad de carga nominal, formada por una plataforma de chapa lagrimada de acero, de 2500 mm de longitud, 2000 mm de anchura y 8 ó 10 mm de espesor, con labio abatible delantero de chapa lagrimada de acero, de 2500 mm de longitud, 400 mm de anchura y 8 ó 10 mm de espesor y bastidor de perfiles de acero laminado. Incluso cilindros hidráulicos, motor trifásico, bandas laterales reflectantes, perfiles metálicos angulares de 80x80 mm para recibido de la rampa niveladora hidráulica a obra, perfiles metálicos de refuerzo y cuadro de maniobra con pulsador de parada de emergencia.</p> <p>Incluye: Limpieza y preparación de la superficie soporte. Replanteo. Colocación de la rampa hidráulica en el foso.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye la ejecución del foso, el conexionado con la red eléctrica ni las ayudas de albañilería para instalaciones.</p>	10,000	4.818,87	48.188,70
6.3.2	LMC020	Ud	<p>Tope de protección para camión, de caucho, de 350x250x100 mm, con 2 orificios de fijación y pletina metálica de anclaje, fijado mediante anclaje mecánico por atornillado.</p> <p>Incluye: Replanteo. Colocación y fijación del tope de protección para camión.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	10,000	143,44	1.434,40
Total presupuesto parcial nº 6 Carpintería, cerrajería, vidrios y protecciones solares :						92.259,53

Presupuesto parcial nº 7 Cubiertas

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
7.1 Lucernarios						
7.1.1	QLC010	Ud	<p>Claraboya de cúpula practicable parabólica monovalva, de polimetilmetacrilato (PMMA), de base rectangular, luz de hueco 160x240 cm, incluso zócalo de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) con aislamiento térmico lateral tipo sándwich de espuma de poliuretano, acabado con gel-coat de color blanco, con dispositivo de apertura graduable mediante doble husillo de doble recorrido accionable manualmente desde el interior mediante una manivela tipo toldo; fijación estanca de cúpula a zócalo con tornillos y colocación de capuchones protectores y de zócalo a cubierta mediante tirafondos o clavos de acero inoxidable.</p> <p>Incluye: Fijación del zócalo al hueco dejado en el forjado. Protección e impermeabilización rematando el zócalo. Colocación y fijación de la cúpula sobre el zócalo. Colocación de los elementos de estanqueidad de la junta zócalo-cúpula. Colocación de los elementos de protección y estanqueidad de las fijaciones. Colocación de los mecanismos de apertura.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	336,000	336,47	113.053,92
7.2 Componentes de cubiertas inclinadas						
7.2.1	QUM011	m	<p>Canalón interior para cubierta inclinada con una pendiente mayor del 10%, con chapa plegada de acero galvanizado, de 1,0 mm de espesor, 80 cm de desarrollo y 4 pliegues. Incluso accesorios de fijación de las piezas a las placas y masilla de base neutra monocomponente, para sellado de juntas.</p> <p>Incluye: Replanteo y colocación del remate. Fijación mecánica.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto, incrementada en 5 cm a cada lado.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto, incluyendo las entregas en los apoyos.</p>	224,000	20,78	4.654,72

Presupuesto parcial nº 7 Cubiertas

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
7.2.2	QUM020	m ²	<p>Cobertura de paneles sándwich aislantes de acero, con la superficie exterior grecada y la superficie interior lisa, de 30 mm de espesor y 1150 mm de anchura, formados por doble cara metálica de chapa estándar de acero, acabado prelacado, de espesor exterior 0,5 mm y espesor interior 0,5 mm y alma aislante de lana de roca de densidad media 145 kg/m³, y accesorios, colocados con un solape del panel superior de 200 mm y fijados mecánicamente sobre entramado ligero metálico, en cubierta inclinada, con una pendiente mayor del 10%. Incluso accesorios de fijación de los paneles sándwich, cinta flexible de butilo, adhesiva por ambas caras, para el sellado de estanqueidad de los solapes entre paneles sándwich y pintura antioxidante de secado rápido, para la protección de los solapes entre paneles sándwich.</p> <p>Incluye: Limpieza de la superficie soporte. Replanteo de los paneles por faldón. Corte, preparación y colocación de los paneles. Fijación mecánica de los paneles. Sellado de juntas. Aplicación de una mano de pintura antioxidante en los solapes entre paneles.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Superficie medida en verdadera magnitud, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá, en verdadera magnitud, la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye la superficie soporte ni los puntos singulares y las piezas especiales de la cobertura.</p>	4.962,548	53,83	267.133,96
Total presupuesto parcial nº 7 Cubiertas :						384.842,60

Presupuesto parcial nº 8 Instalaciones

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
8.1 Contra incendios						
8.1.1	IOD005	Ud	<p>Suministro e instalación en paramento interior de sirena electrónica, de color rojo, con señal acústica, alimentación a 24 Vcc, potencia sonora de 100 dB a 1 m y consumo de 14 mA. Incluso elementos de fijación.</p> <p>Incluye: Replanteo. Fijación al paramento. Montaje, conexionado y comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	20,000	55,68	1.113,60
8.1.2	IOD006	Ud	<p>Suministro e instalación en paramento exterior de sirena electrónica, de ABS color rojo, con señal óptica y acústica y rótulo "FUEGO". Incluso elementos de fijación.</p> <p>Incluye: Replanteo. Fijación al paramento. Montaje, conexionado y comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	8,000	81,82	654,56
8.1.3	IOD004	Ud	<p>Pulsador de alarma convencional de rearme manual, de ABS color rojo, protección IP41, con led indicador de alarma color rojo y llave de rearme. Incluso elementos de fijación.</p> <p>Incluye: Replanteo. Fijación al paramento. Montaje, conexionado y comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	20,000	30,31	606,20

Presupuesto parcial nº 8 Instalaciones

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
8.1.4	IOS010	Ud	<p>Placa de señalización de equipos contra incendios, de PVC fotoluminiscente, con categoría de fotoluminiscencia A según UNE 23035-4, de 210x210 mm. Incluso elementos de fijación.</p> <p>Incluye: Replanteo. Fijación al paramento.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	40,000	11,24	449,60
8.1.5	IOS020	Ud	<p>Placa de señalización de medios de evacuación, de PVC fotoluminiscente, con categoría de fotoluminiscencia A según UNE 23035-4, de 224x224 mm. Incluso elementos de fijación.</p> <p>Incluye: Replanteo. Fijación al paramento.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	18,000	14,53	261,54

Presupuesto parcial nº 8 Instalaciones

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
8.1.6	I0B020	Ud	<p>Depósito para reserva de agua contra incendios de 300 m³ de capacidad, formado por un vaso con paredes de 30 cm de espesor de hormigón armado, realizado con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía de 50 kg/m³; con dos capas de mortero impermeabilizante, color blanco, compuesto de cementos especiales, áridos, resinas, sales activas y aditivos, paso del agua a contrapresión < 125 cm³/m² a las 24 horas, con certificado de potabilidad, espesor del mortero 2 mm; cubierto con un forjado de 21 cm de canto compuesto de vigueta pretensada T-18 y bovedilla de hormigón, 60x20x17 cm. Incluso tapa de registro de 80x85 cm, válvula de flotador de 1 1/2" de diámetro para conectar con la acometida, interruptores de nivel, válvula de bola de 50 mm de diámetro para vaciado y válvula de corte de mariposa de 1 1/2" de diámetro para conectar al grupo de presión.</p> <p>Incluye: Replanteo. Colocación de la armadura del vaso con separadores homologados. Colocación de elementos para paso de instalaciones. Montaje del sistema de encofrado a dos caras del vaso. Vertido y compactación del hormigón. Desmontaje del encofrado y curado del hormigón. Limpieza de la superficie del vaso. Impermeabilización del vaso. Montaje del sistema de encofrado del zuncho perimetral. Colocación y montaje de viguetas, bovedillas, separadores, armaduras y malla electrosoldada. Vertido y compactación del hormigón. Regleado y nivelación de la capa de compresión. Curado del hormigón. Desmontaje del sistema de encofrado. Colocación de la tapa de registro. Conexión y comprobación de su correcto funcionamiento. Realización de pruebas de servicio.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	1,000	10.167,11	10.167,11

Presupuesto parcial nº 8 Instalaciones

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
8.1.7	IOB021	Ud	<p>Grupo de presión de agua contra incendios, modelo AF GS 100-250/75 EJ "EBARA", formado por: una bomba principal centrífuga GS 100-250, de un escalón y de una entrada, cuerpo de impulsión de fundición GG25 en espiral con patas de apoyo y soporte cojinete con pata de apoyo, aspiración axial y boca de impulsión radial hacia arriba, rodete radial de fundición GG25, cerrado, compensación hidráulica mediante orificios de descarga en el rodete, soporte con rodamientos de bolas lubricados de por vida, estanqueidad del eje mediante cierre mecánico según DIN 24960, eje y camisa externa de acero inoxidable AISI 420, acoplamiento con espaciador, accionada por motor asíncrono de 2 polos de 75 kW, aislamiento clase F, protección IP55, eficiencia IE3, para alimentación trifásica a 400/690 V, una bomba auxiliar jockey CVM B/25, con camisa externa de acero inoxidable AISI 304, eje de acero inoxidable AISI 416, cuerpos de aspiración e impulsión y contrabridas de hierro fundido, difusores de policarbonato con fibra de vidrio, cierre mecánico, accionada por motor eléctrico de 1,85 kW, depósito hidroneumático de 20 l, bancada metálica, válvulas de corte, antirretorno y de aislamiento, manómetros, presostatos, cuadro eléctrico de fuerza y control para la operación totalmente automática del grupo, soporte metálico para cuadro eléctrico, colector de impulsión, con caudalímetro para grupo contra incendios de tipo rotámetro de lectura directa, modelo F DN 150 "EBARA", precisión del 4%, cuerpo de acero al carbono, flotador y varilla guía de acero inoxidable AISI 316. Incluso soportes, piezas especiales y accesorios.</p> <p>Incluye: Replanteo y trazado de tubos. Colocación y fijación del grupo de presión. Colocación y fijación de tubos y accesorios. Montaje, conexionado y comprobación de su correcto funcionamiento. Realización de pruebas de servicio.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	1,000	20.927,46	20.927,46

Presupuesto parcial nº 8 Instalaciones

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
8.1.8	I0B022	m	<p>Red aérea de distribución de agua para abastecimiento de los equipos de extinción de incendios, formada por tubería de acero negro con soldadura longitudinal, de 2" DN 50 mm de diámetro, unión roscada, sin calorifugar, que arranca desde la fuente de abastecimiento de agua hasta cada equipo de extinción de incendios. Incluso material auxiliar para montaje y sujeción a la obra, accesorios y piezas especiales, mano de imprimación antioxidante de al menos 50 micras de espesor, y dos manos de esmalte rojo de al menos 40 micras de espesor cada una.</p> <p>Incluye: Replanteo del recorrido de la tubería y de la situación de los elementos de sujeción. Presentación de tubos. Fijación del material auxiliar para montaje y sujeción a la obra. Raspado y limpieza de óxidos. Aplicación de imprimación antioxidante y esmalte. Colocación de tubos. Realización de pruebas de servicio.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.</p>	448,000	34,41	15.415,68
8.1.9	I0B022b	m	<p>Red aérea de distribución de agua para abastecimiento de los equipos de extinción de incendios, formada por tubería de acero negro con soldadura longitudinal, de 4" DN 100 mm de diámetro, unión roscada, sin calorifugar, que arranca desde la fuente de abastecimiento de agua hasta cada equipo de extinción de incendios. Incluso material auxiliar para montaje y sujeción a la obra, accesorios y piezas especiales, mano de imprimación antioxidante de al menos 50 micras de espesor, y dos manos de esmalte rojo de al menos 40 micras de espesor cada una.</p> <p>Incluye: Replanteo del recorrido de la tubería y de la situación de los elementos de sujeción. Presentación de tubos. Fijación del material auxiliar para montaje y sujeción a la obra. Raspado y limpieza de óxidos. Aplicación de imprimación antioxidante y esmalte. Colocación de tubos. Realización de pruebas de servicio.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.</p>	5.690,500	69,53	395.660,47

Presupuesto parcial nº 8 Instalaciones

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
8.1.10	IOB025	Ud	<p>Válvula de compuerta de husillo ascendente y cierre elástico, unión con bridas, de 4" de diámetro, PN=10 bar, formada por cuerpo, disco en cuña y volante de fundición dúctil y husillo de acero inoxidable.</p> <p>Incluye: Montaje, conexionado y comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	5,000	411,54	2.057,70
8.1.11	IOB025c	Ud	<p>Válvula reductora de presión, de fundición dúctil, unión con bridas, de 2" de diámetro, PN=12 bar, pintada con pintura de poliéster color rojo RAL 3000.</p> <p>Incluye: Montaje, conexionado y comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	1,000	801,53	801,53
8.1.12	IOB025d	Ud	<p>Válvula de drenaje y prueba, unión con roscas, de 3/4" DN 20 mm de diámetro, coeficiente de descarga K de 37 (métrico).</p> <p>Incluye: Montaje, conexionado y comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	98,000	254,49	24.940,02

Presupuesto parcial nº 8 Instalaciones

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
8.1.13	IOB025e	Ud	<p>Válvula de retención de doble clapeta y asiento de EPDM, unión con bridas, de 4" de diámetro, PN=12 bar, formada por cuerpo de hierro fundido y clapeta, eje y resorte de acero inoxidable.</p> <p>Incluye: Montaje, conexionado y comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	1,000	278,24	278,24
8.1.14	IOB025f	Ud	<p>Válvula de mariposa de palanca y asiento de EPDM, unión con bridas, de 4" de diámetro, PN=16 bar, formada por cuerpo, disco y palanca de fundición dúctil y eje de acero inoxidable.</p> <p>Incluye: Montaje, conexionado y comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	98,000	99,33	9.734,34

Presupuesto parcial nº 8 Instalaciones

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
8.1.15	IOB030	Ud	<p>Suministro e instalación en superficie de Boca de incendio equipada (BIE) de 45 mm (1 1/2") y de 575x505x152 mm, compuesta de: armario de acero de 1,2 mm de espesor, acabado con pintura epoxi color rojo RAL 3000 y puerta semiciega con ventana de metacrilato de acero de 1,2 mm de espesor, acabado con pintura epoxi color rojo RAL 3000; devanadera metálica giratoria abatible 180° permitiendo la extracción de la manguera en cualquier dirección, pintada en rojo epoxi, con alimentación axial; manguera plana de 20 m de longitud; lanza de tres efectos (cierre, pulverización y chorro compacto) construida en plástico ABS y válvula de cierre de asiento de 45 mm (1 1/2"), de latón, con manómetro 0-16 bar. Incluso accesorios y elementos de fijación.</p> <p>Incluye: Replanteo. Colocación del armario. Conexionado.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	10,000	281,17	2.811,70
8.1.16	IOB040	Ud	<p>Hidrante de columna húmeda de 4" DN 100 mm, con una boca de 4" DN 100 mm, dos bocas de 2 1/2" DN 70 mm, racores y tapones. Incluso elementos de fijación.</p> <p>Incluye: Replanteo. Montaje, conexionado y comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	7,000	1.307,50	9.152,50

Presupuesto parcial nº 8 Instalaciones

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
8.1.17	IOT010	Ud	<p>Suministro e instalación en posición vertical de puesto de control de rociadores, de 4" DN 100 mm de diámetro, unión ranura y ranura, formado por válvula de retención y alarma de hierro fundido, trim de acero galvanizado y cámara de retardo de fundición, para sistema de tubería mojada. Incluso alarma hidráulica con motor de agua y gong, accesorios y piezas especiales para conexión a la red de distribución de agua.</p> <p>Incluye: Replanteo. Montaje, conexionado y comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	1,000	2.944,48	2.944,48
8.1.18	IOT030	Ud	<p>Suministro e instalación de rociador automático colgante, respuesta normal con ampolla fusible de vidrio frágil de 5 mm de diámetro y disolución alcohólica de color rojo, rotura a 68°C, de 3/4" DN 20 mm de diámetro de rosca, coeficiente de descarga K de 116 (métrico), presión de trabajo 12 bar, acabado cromado. Incluso accesorios y piezas especiales para conexión a la red de distribución de agua.</p> <p>Incluye: Replanteo. Montaje, conexionado y comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	1.587,000	24,15	38.326,05
8.1.19	IOX010	Ud	<p>Extintor portátil de polvo químico ABC polivalente antibrasa, con presión incorporada, de eficacia 34A-233B-C, con 9 kg de agente extintor, con manómetro y manguera con boquilla difusora. Incluso soporte y accesorios de montaje.</p> <p>Incluye: Replanteo. Colocación y fijación del soporte. Colocación del extintor.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente colocadas según especificaciones de Proyecto.</p>	31,000	57,54	1.783,74
Total presupuesto parcial nº 8 Instalaciones :						538.086,52

Presupuesto de ejecución material

	Importe (€)
1 Acondicionamiento del terreno .	195.677,42
2 Cimentaciones .	92.750,65
3 Estructuras .	745.882,03
4 Gestión de residuos .	1.542,43
5 Fachadas y particiones .	302.238,42
6 Carpintería, cerrajería, vidrios y protecciones solares .	92.259,53
7 Cubiertas .	384.842,60
8 Instalaciones .	538.086,52
	<hr/>
Total .	2.353.279,60

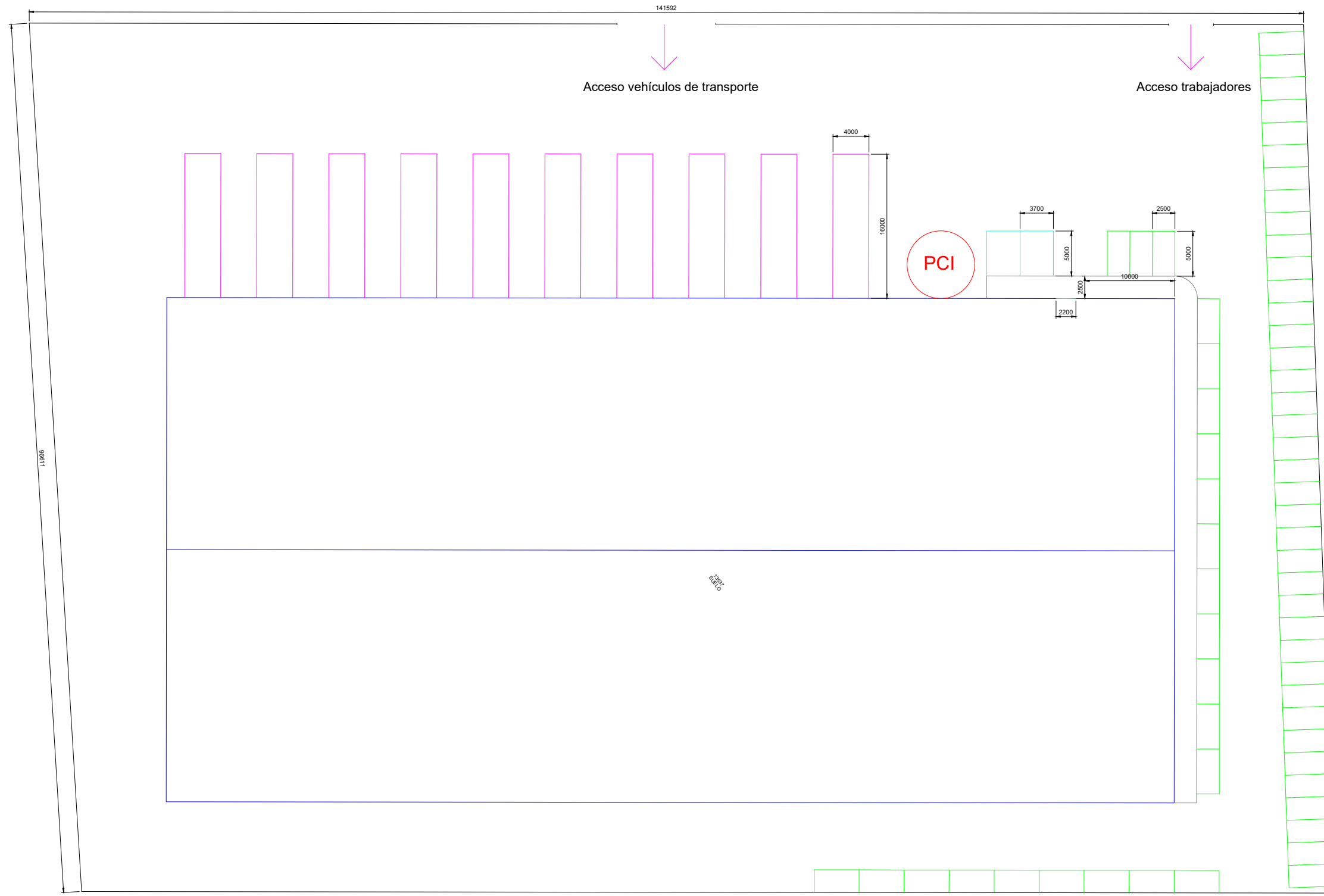
Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de DOS MILLONES TRESCIENTOS CINCUENTA Y TRES MIL DOSCIENTOS SETENTA Y NUEVE EUROS CON SESENTA CÉNTIMOS.



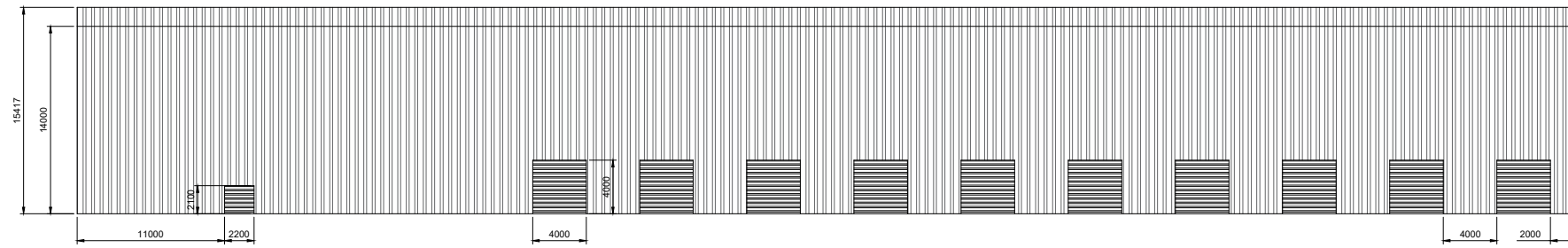


4 PLANOS

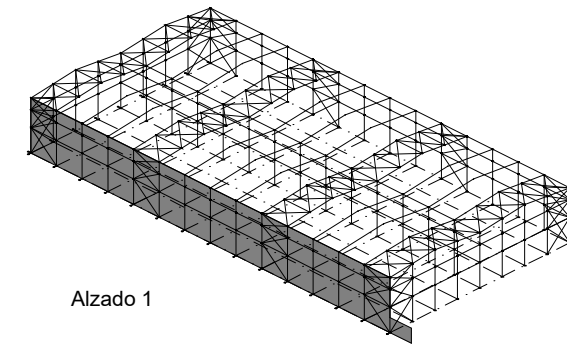
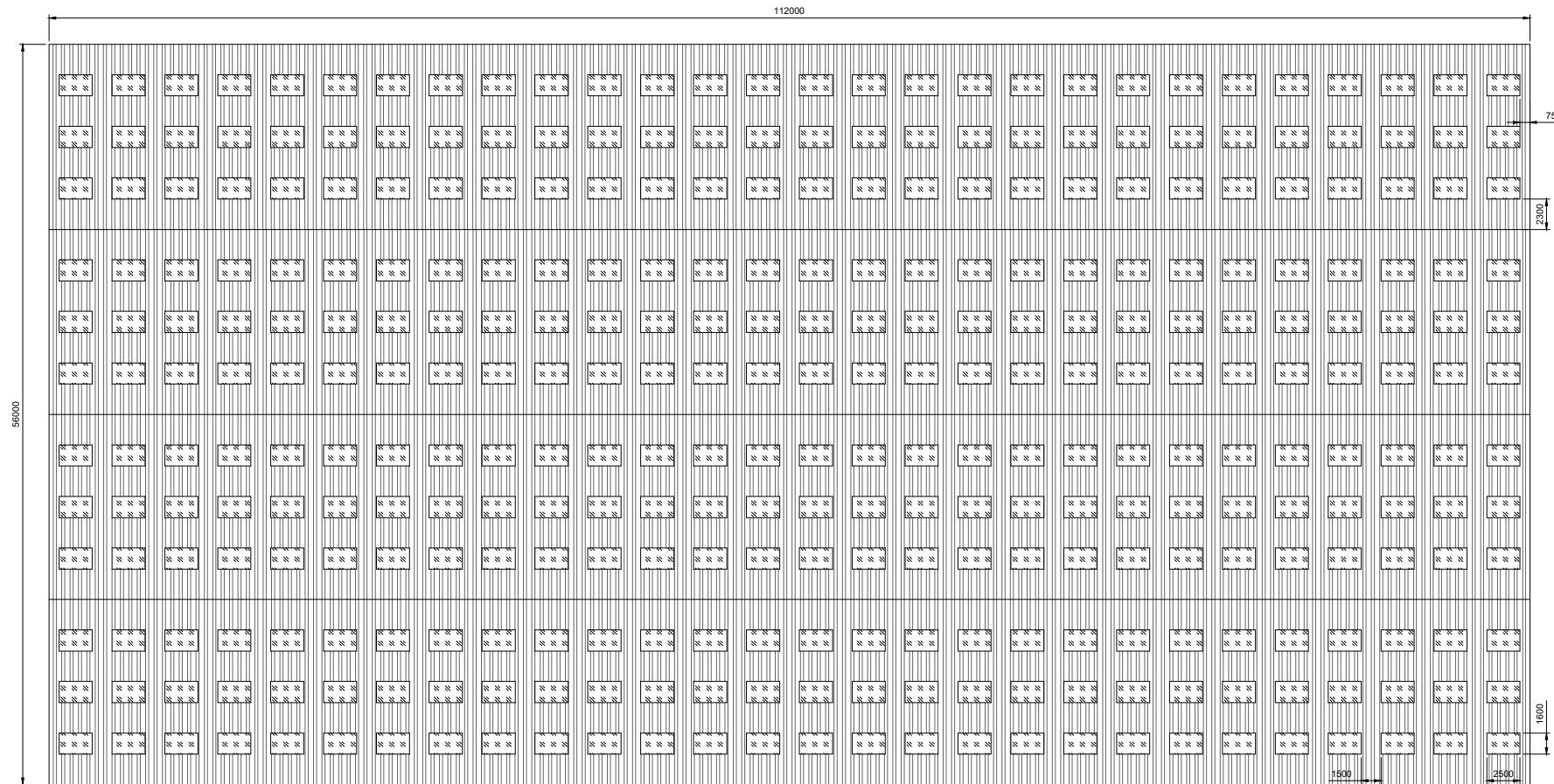
- Plano 1. DISTRIBUCIÓN DE ESPACIOS EN LA PARCELA
- Plano 2. FACHADA DE ACCESO Y CUBIERTA
- Plano 3. PÓRTICOS DE FACHADA
- Plano 4. ESTRUCTURA TRIDIMENSIONAL DE LA NAVE
- Plano 5. PERFILES EMPLEADOS EN EL ALZADO A
- Plano 6. PÓRTICOS INTERIORES
- Plano 7. PÓRTICO LATERAL EXTERNO E INTERNO
- Plano 8. PLANO DE CUBIERTA (A2)
- Plano 9. PLANO DE CUBIERTA (A3)
- Plano 10. UNIONES
- Plano 11. DETALLES DE CIMENTACIÓN I
- Plano 12. DETALLES DE CIMENTACIÓN II
- Plano 13. PLANO DE PLANTA DE LAS CIMENTACIONES
- Plano 14. VISTA TRIDIMENSIONAL DE LA INSTALACIÓN DE ROCIADORES AUTOMÁTICOS
- Plano 15. VISTA EN PLANTA DE LOS NIVELES DE ROCIADORES
- Plano 16. ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN DE ROCIADORES
- Plano 17. ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN DE BIE
- Plano 18. ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN DE HIDRANTES
- Plano 19. EXTINTORES, BIE, EVACUACIÓN
- Plano 20. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LA NAVE





Alzado 1



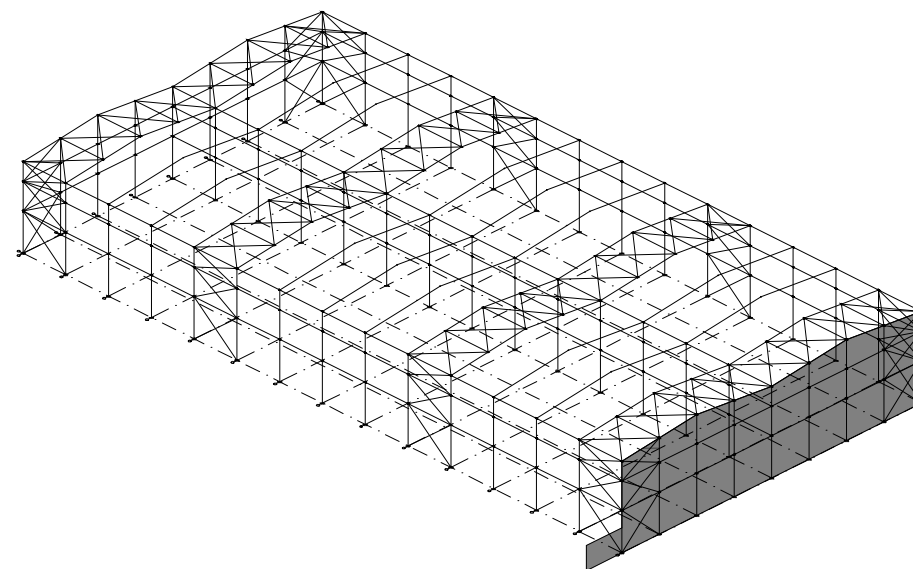
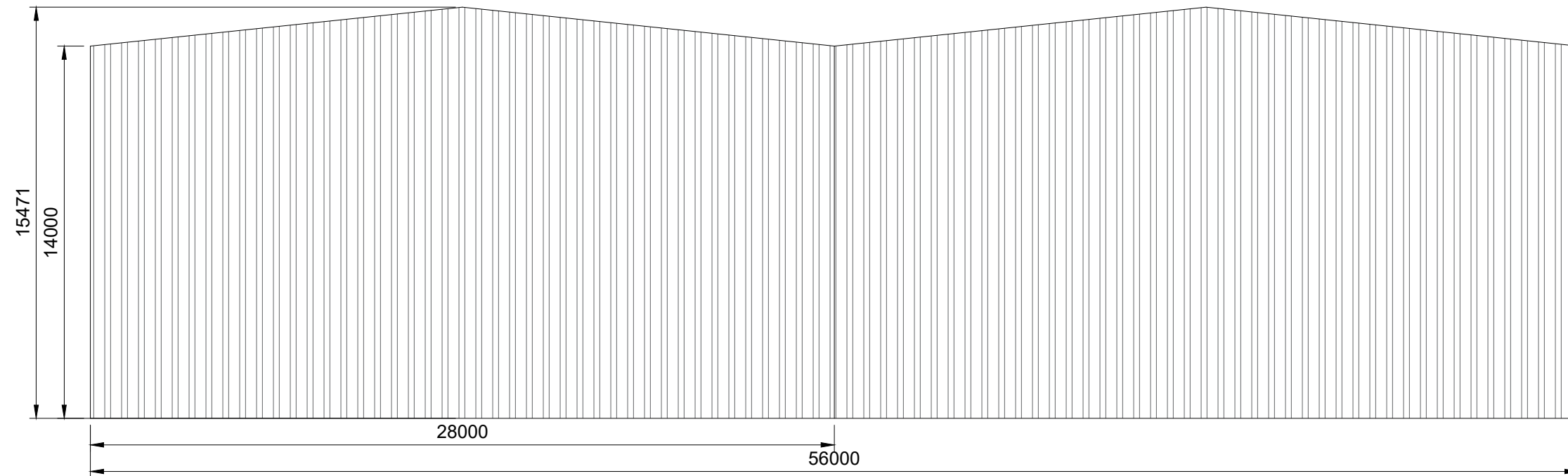
Cubierta





Alzado 1

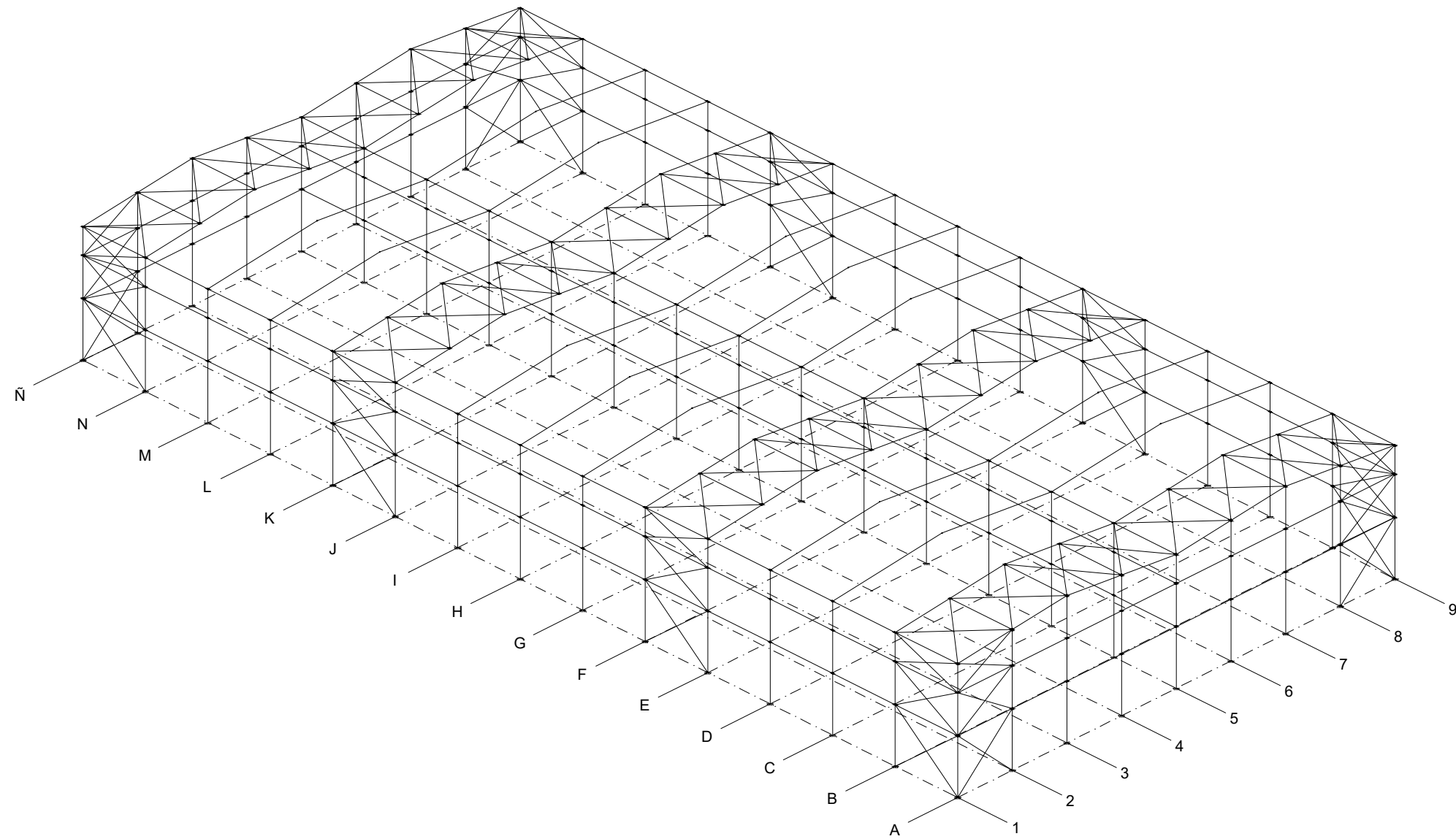
<p>TRABAJO FINAL DE MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL</p>  <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>  <p>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA INDUSTRIAL VALENCIA</p>	<p>Proyecto: PROYECTO ESTRUCTURAL Y DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DE UNA NAVE LOGÍSTICA DE 6272 m² UBICADA EN EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE CABANILLAS DEL CAMPO EN GUADALAJARA</p>	<p>Plano: FACHADA DE ACCESO Y CUBIERTA</p>	<p>Fecha: Septiembre 2020</p>	<p>Nº Plano: 2</p>
		<p>Autor: Diego Castelló Muñoz</p>	<p>Escala: 1:500</p>	

Alzado A



Alzado A

<p>TRABAJO FINAL DE MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL</p>  <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>  <p>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA INDUSTRIAL VALENCIA</p>	<p>Proyecto: PROYECTO ESTRUCTURAL Y DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DE UNA NAVE LOGÍSTICA DE 6272 m² UBICADA EN EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE CABANILLAS DEL CAMPO EN GUADALAJARA</p>	<p>Plano: PÓRTICOS DE FACHADA</p> <p>Autor: Diego Castelló Muñoz</p>	<p>Fecha: Septiembre 2020</p> <p>Escala: 1:200</p>	<p>Nº Plano: 3</p>
---	---	--	--	--------------------



TRABAJO FINAL DE MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

Proyecto: PROYECTO ESTRUCTURAL Y DE PROTECCIÓN
CONTRA INCENDIOS DE UNA NAVE LOGÍSTICA DE
6272 m² UBICADA EN EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE
CABANILLAS DEL CAMPO EN GUADALAJARA

Plano: ESTRUCTURA TRIDIMENSIONAL DE LA NAVE

Autor: Diego Castelló Muñoz

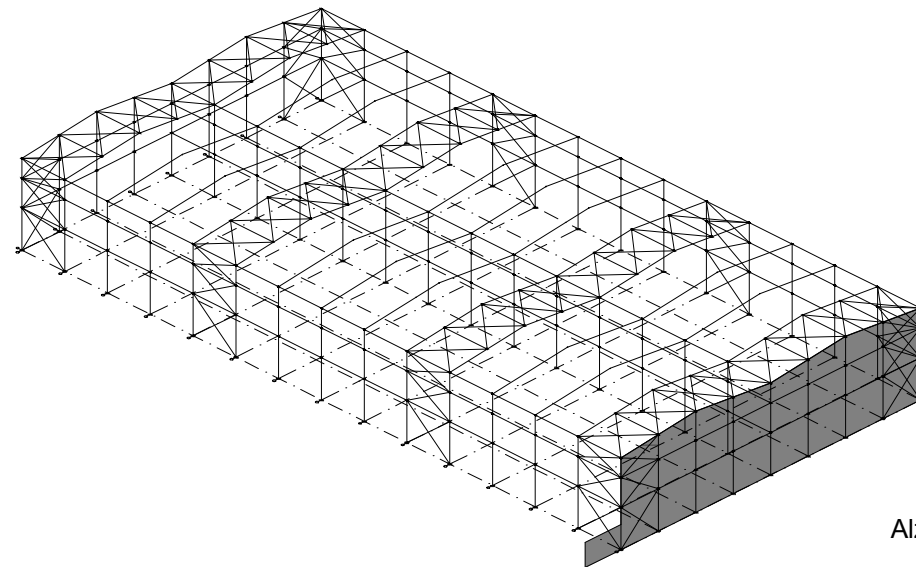
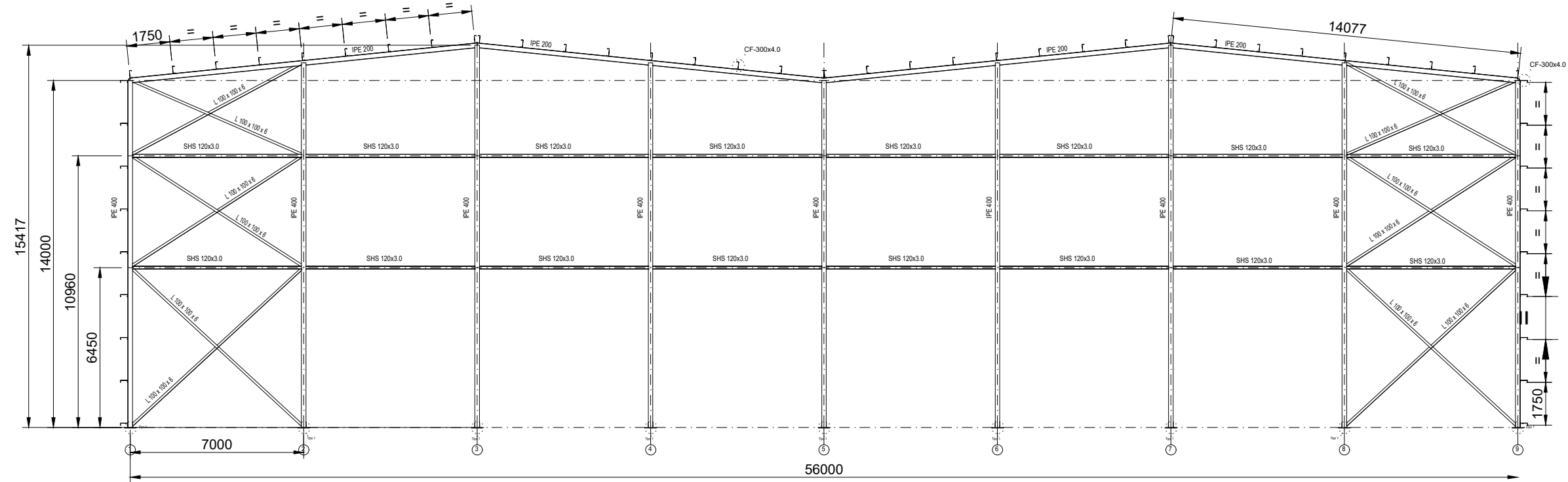
Fecha: Septiembre 2020

Escala: 1:500

Nº Plano:

4

Alzados A y Ñ



Alzado A

MATERIALES ESTRUCTURA METÁLICA		
TIPO DE PERFIL	γ_{M0}	γ_{M1}
Laminado en caliente: S275 (LE 275 MPa)	1,05	1,05
Conformado en frío: S235 (LE 235 MPa)	1,05	1,05

TRABAJO FINAL DE MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



Proyecto: PROYECTO ESTRUCTURAL Y DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DE UNA NAVE LOGÍSTICA DE 6272 m² UBICADA EN EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE CABANILLAS DEL CAMPO EN GUADALAJARA

Plano: PERFILES EMPLEADOS EN EL ALZADO A

Autor: Diego Castelló Muñoz

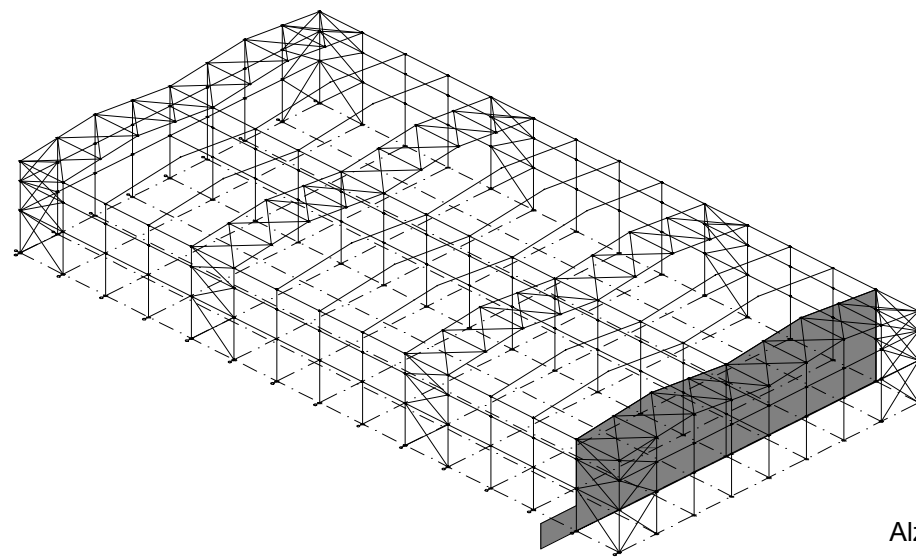
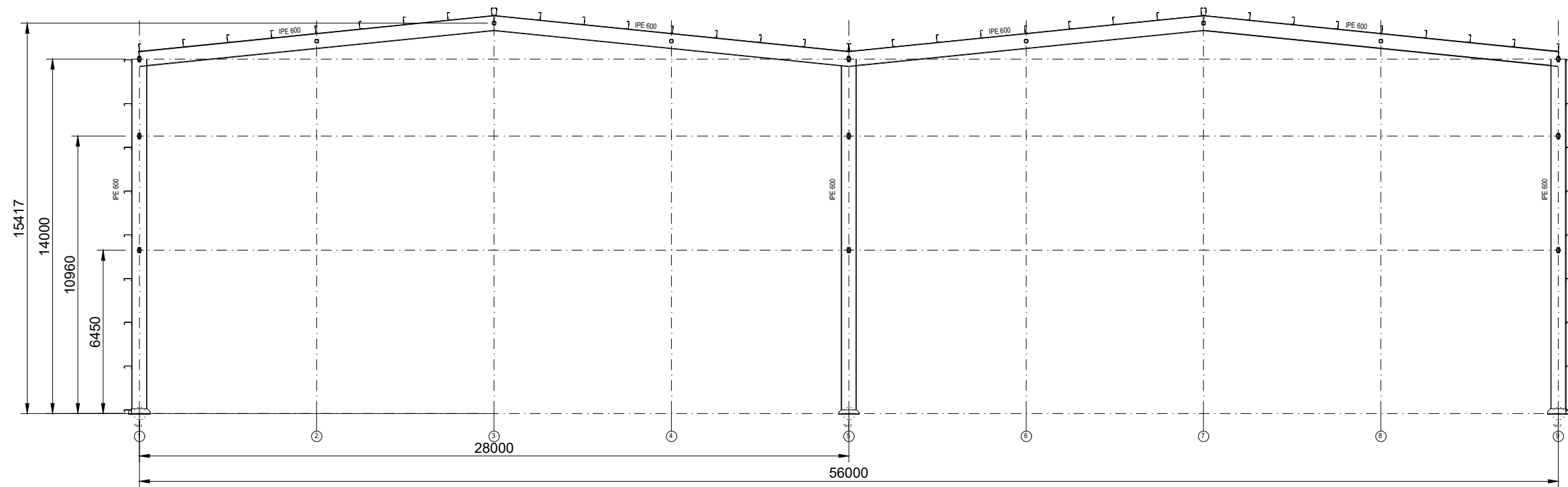
Fecha: Septiembre 2020

Escala: 1:200

Nº Plano:

5

Alzados B - N



Alzado B

MATERIALES ESTRUCTURA METÁLICA

TIPO DE PERFIL	γ_{M0}	γ_{M1}
Laminado en caliente: S275 (LE 275 MPa)	1,05	1,05
Conformado en frío: S235 (LE 235 MPa)	1,05	1,05

TRABAJO FINAL DE MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



Proyecto: PROYECTO ESTRUCTURAL Y DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DE UNA NAVE LOGÍSTICA DE 6272 m² UBICADA EN EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE CABANILLAS DEL CAMPO EN GUADALAJARA

Plano: PÓRTICOS INTERIORES

Autor: Diego Castelló Muñoz

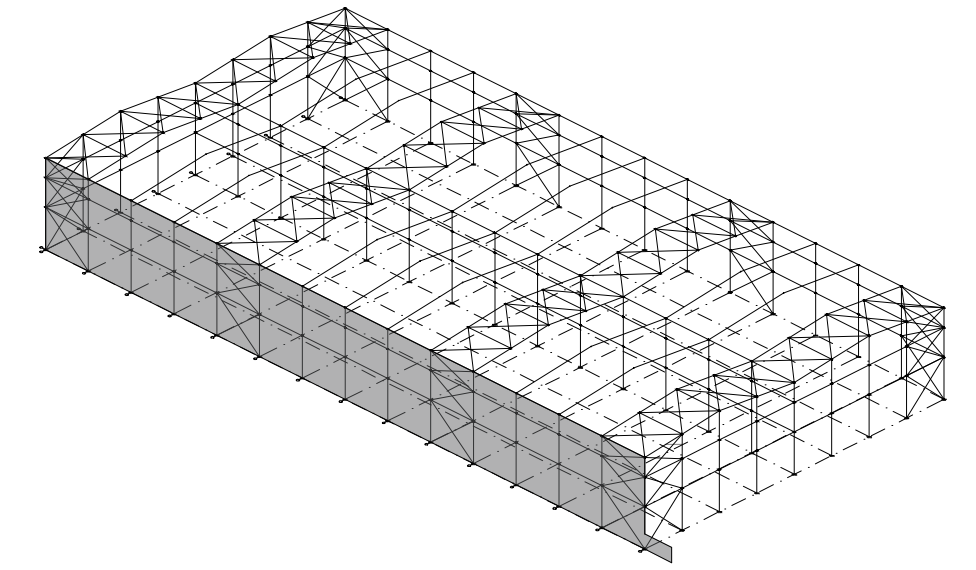
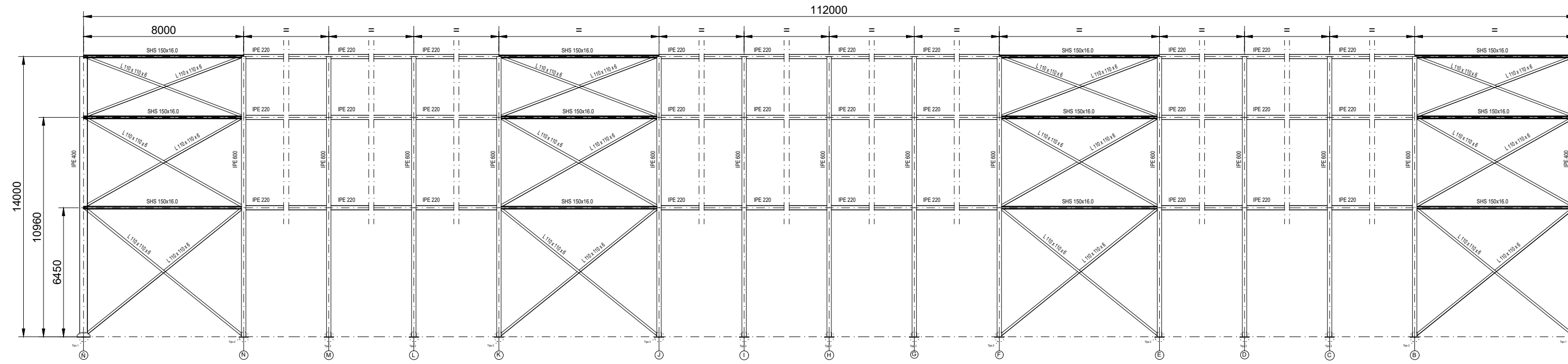
Fecha: Septiembre 2020

Escala: 1:200

Nº Plano:

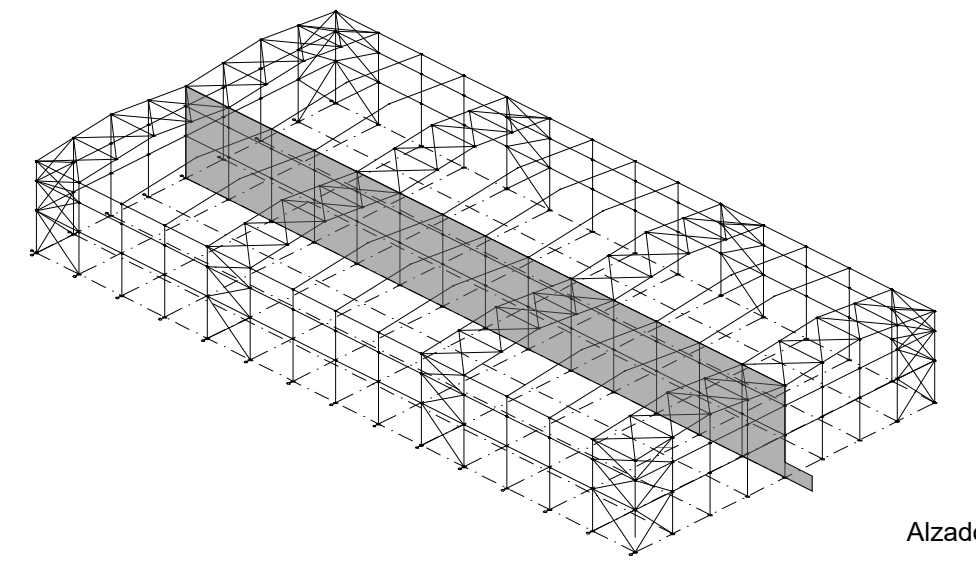
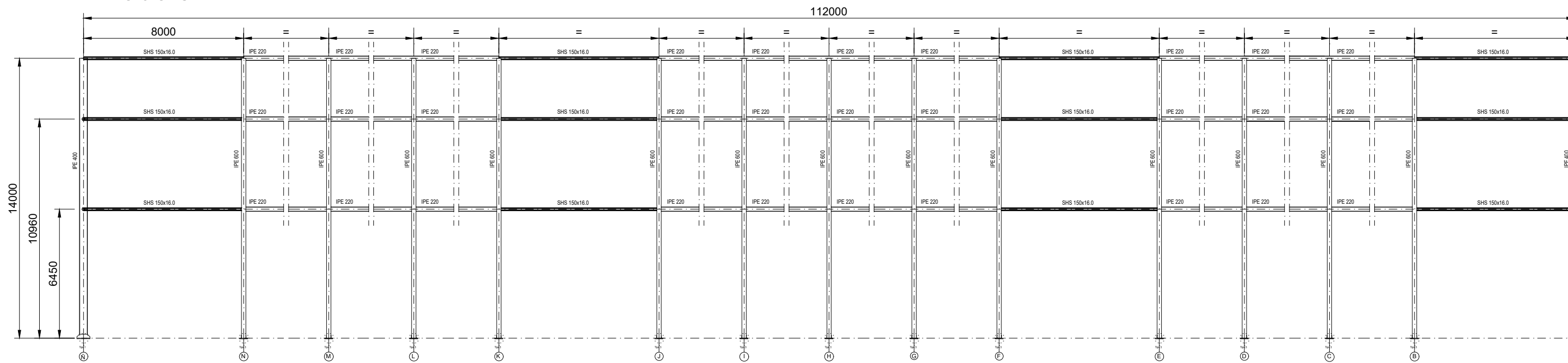
6

Alzado 1 (ó 9)



Alzado 1

Alzado 5



Alzado 5

MATERIALES ESTRUCTURA METÁLICA			
TIPO DE PERFIL	7m0	7m1	
Laminado en caliente: S275 (LE 275 MPa)	1,05	1,05	
Conformado en frío: S235 (LE 235 MPa)	1,05	1,05	

TRABAJO FINAL DE MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

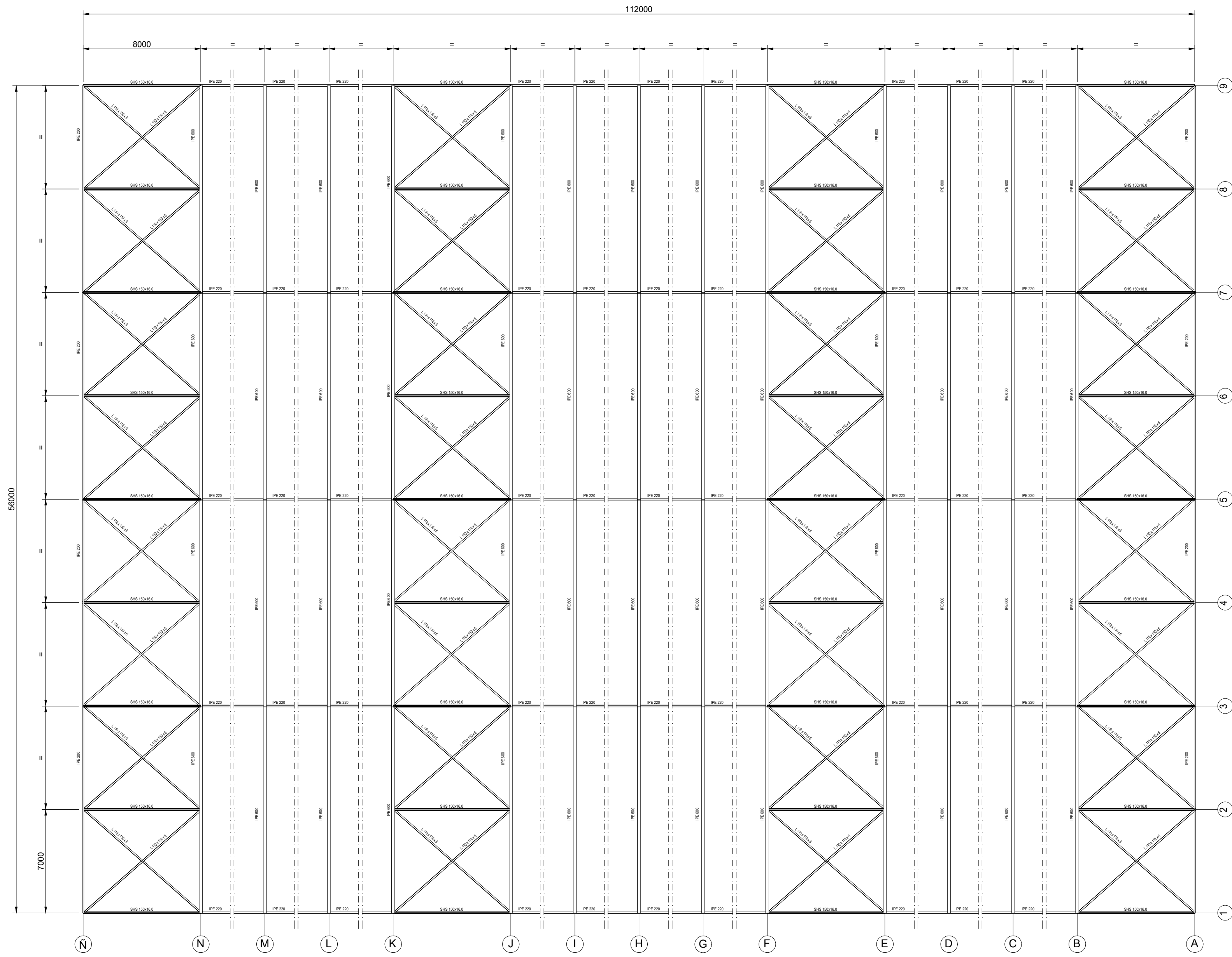


Diego Castelló Muñoz
Autor proyecto

Proyecto: PROYECTO ESTRUCTURAL Y DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DE UNA NAVE LOGÍSTICA DE 6272 m² UBICADA EN EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE CABANILLAS DEL CAMPO EN GUADALAJARA

Fecha: Septiembre 2020 Escala: 1:200

Plano: Pórtico Lateral Externo e Interno Nº Plano: 7



MATERIALES ESTRUCTURA METÁLICA		
TIPO DE PERFIL	7M0	7M1
Laminado en caliente: S275 (LE 275 MPa)	1,05	1,05
Conformado en frío: S235 (LE 235 MPa)	1,05	1,05

TRABAJO FINAL DE MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

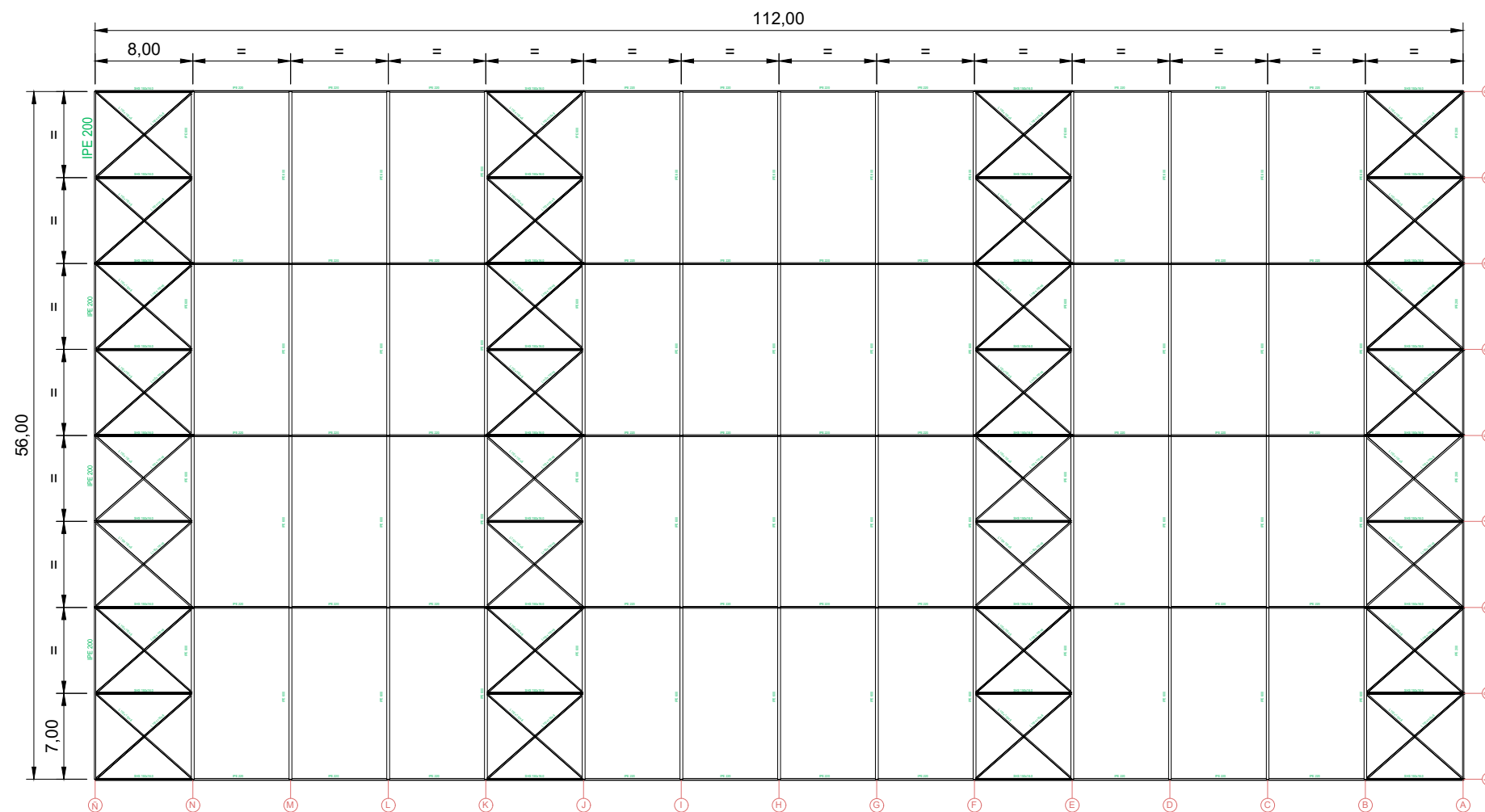
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL VALENCIA

Diego Castelló Muñoz
Autor proyecto

Proyecto: PROYECTO ESTRUCTURAL Y DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DE UNA NAVE LOGÍSTICA DE 6272 m² UBICADA EN EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE CABANILLAS DEL CAMPO EN GUADALAJARA

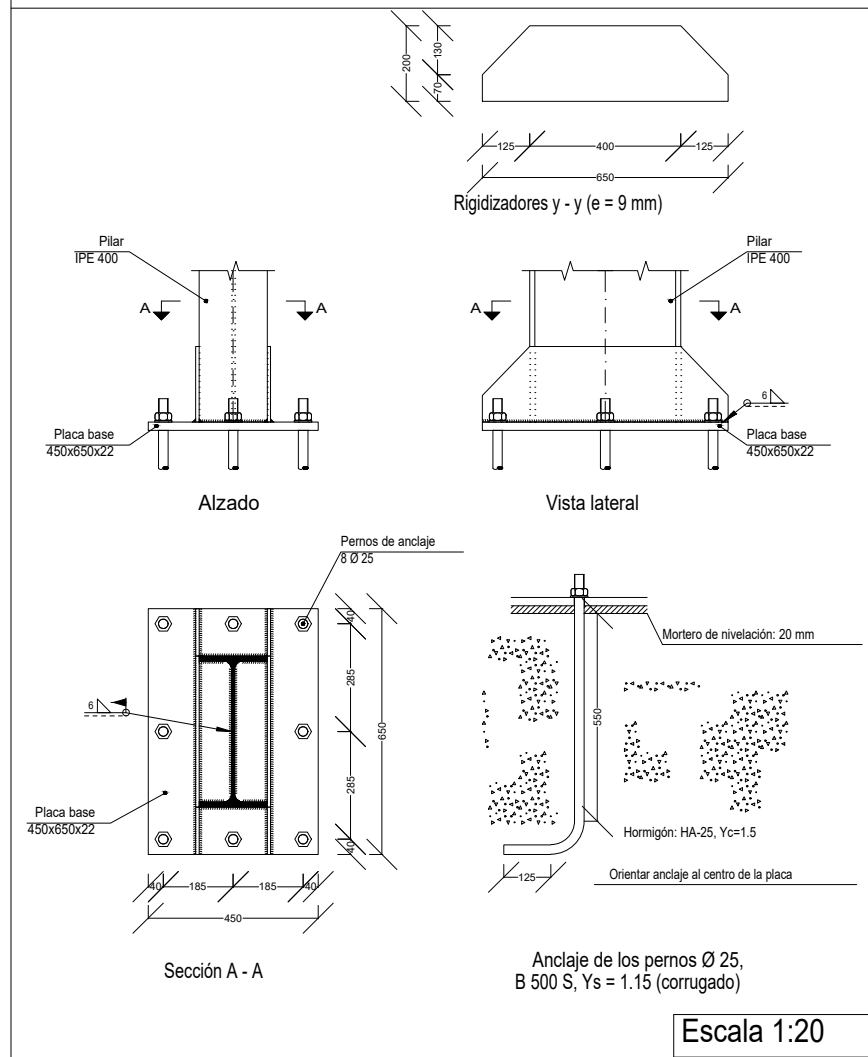
Fecha: Septiembre 2020
Escala: 1:200

Plano: Nº Plano: 8
PLANO DE CUBIERTA

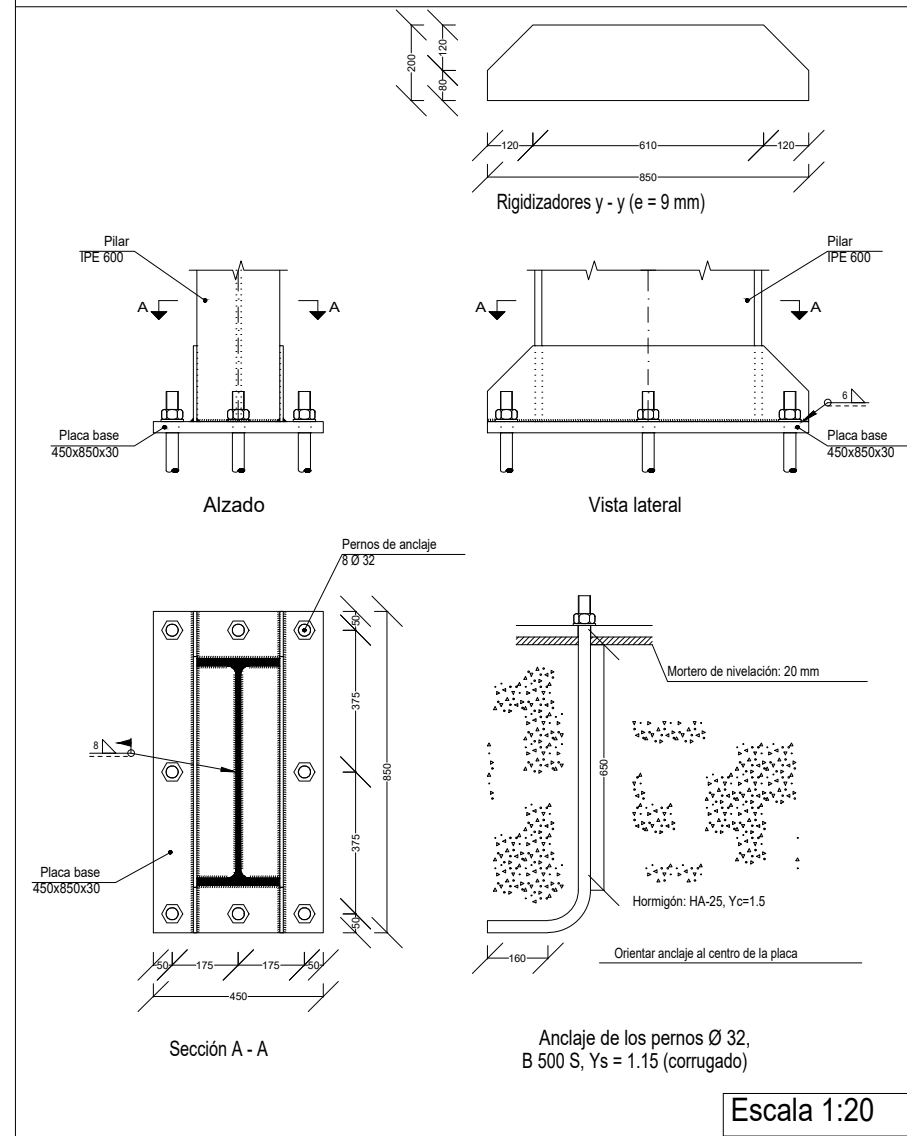


MATERIALES ESTRUCTURA METÁLICA		
TIPO DE PERFIL	γ_{M0}	γ_{M1}
Laminado en caliente: S275 (LE 275 MPa)	1,05	1,05
Conformado en frío: S235 (LE 235 MPa)	1,05	1,05

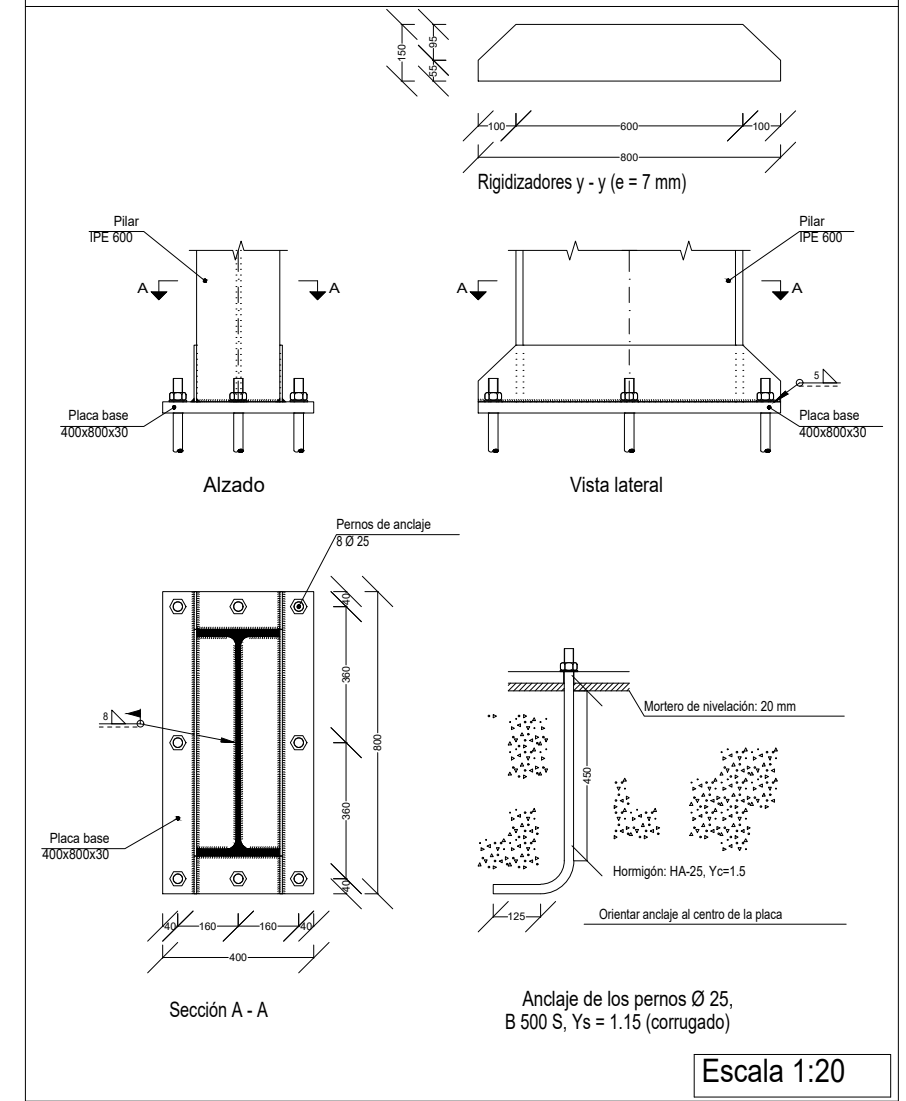
Tipo 1



Tipo 2

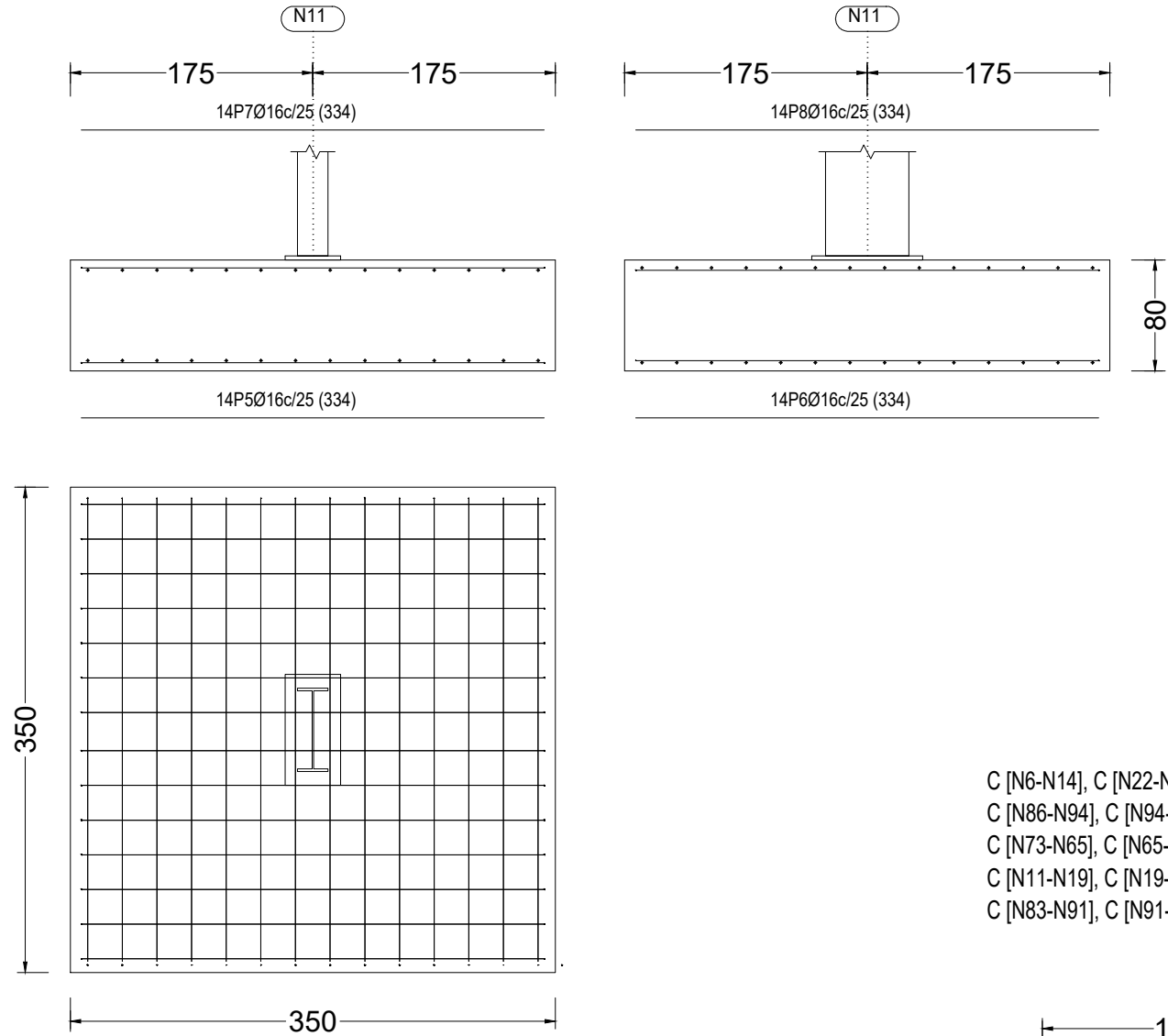


Tipo 3



Zapata Tipo 1

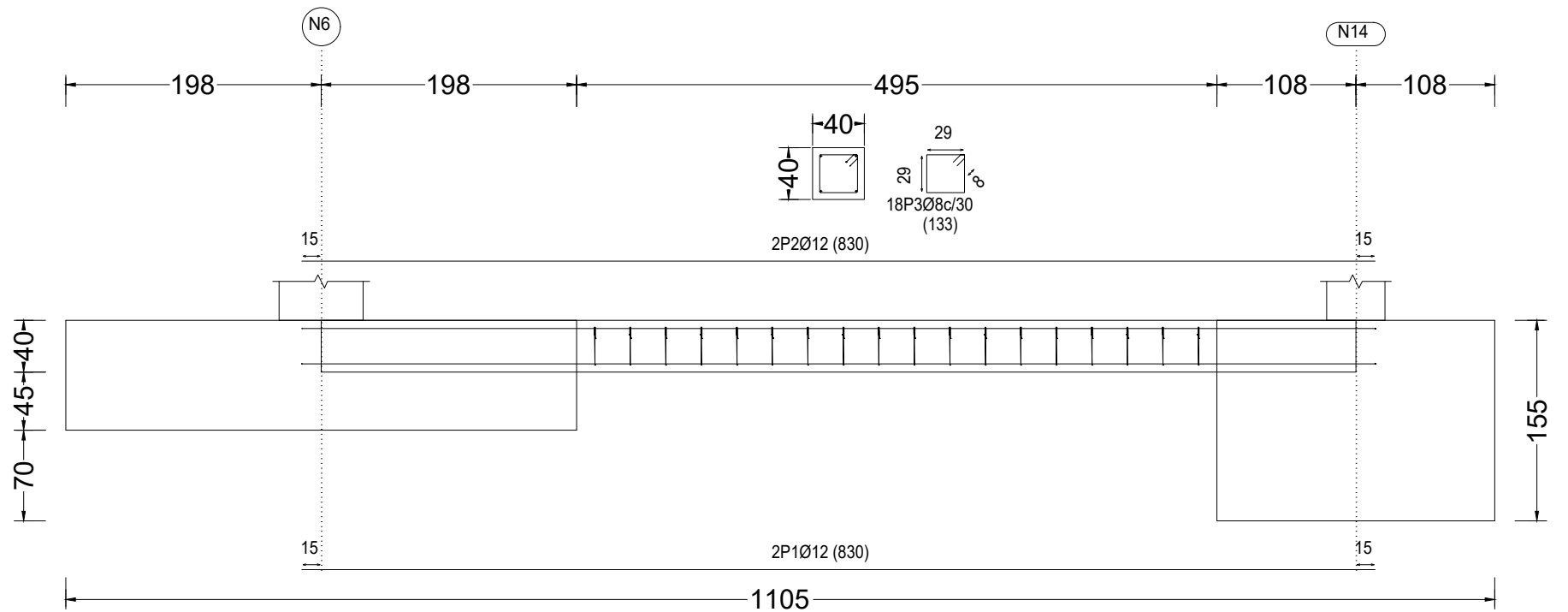
N11, N19, N27, N35, N43, N51, N59, N67, N75, N83, N91, N99 y N107



(cotas en cm)

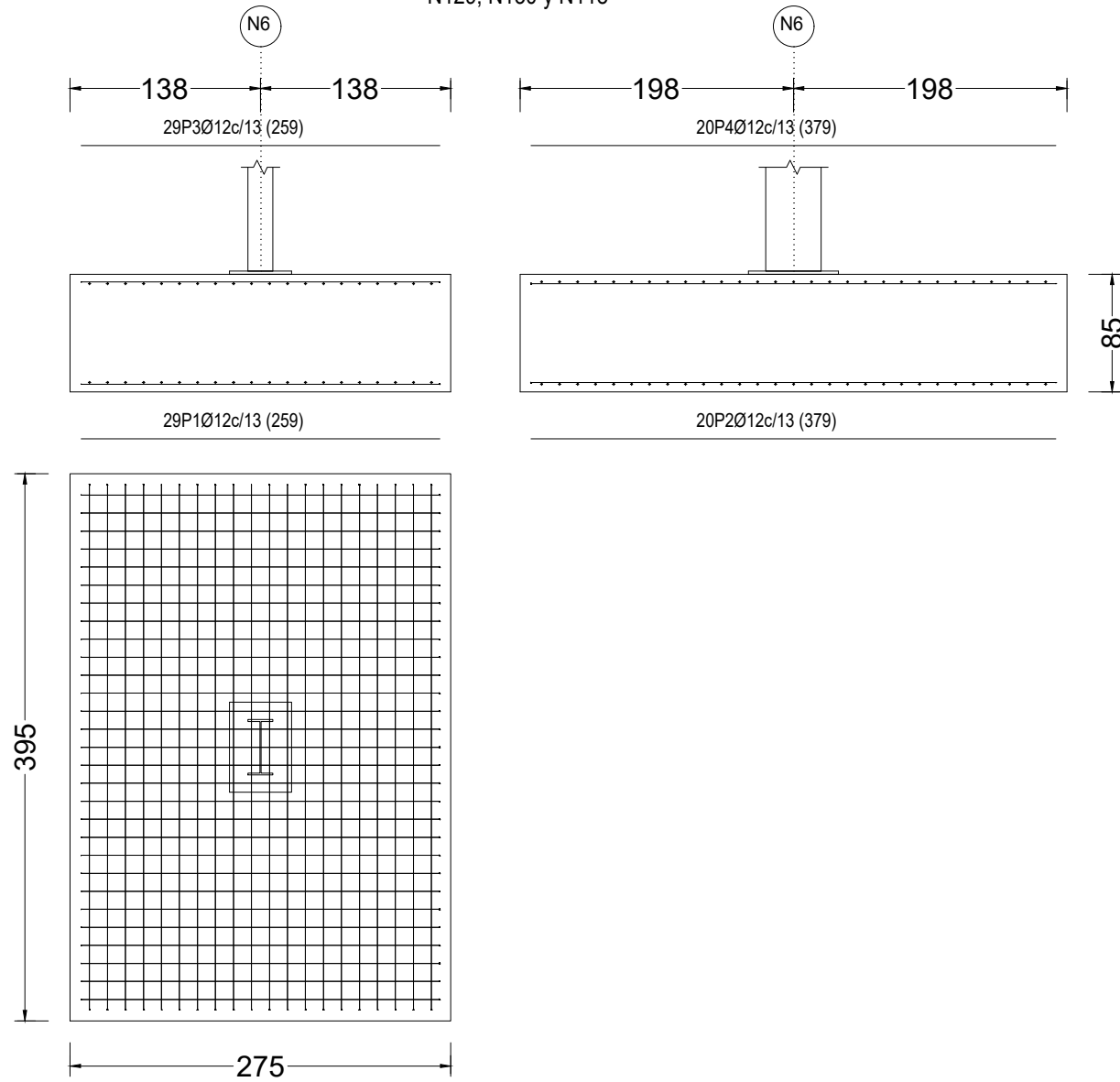
Viga de Atado Tipo 1

C [N6-N14], C [N22-N30], C [N14-N22], C [N30-N38], C [N38-N46], C [N46-N54], C [N54-N62], C [N62-N70], C [N70-N78], C [N78-N86], C [N86-N94], C [N94-N102], C [N102-N110], C [N110-N118], C [N113-N105], C [N105-N97], C [N97-N89], C [N89-N81], C [N81-N73], C [N73-N65], C [N65-N57], C [N57-N49], C [N49-N41], C [N41-N33], C [N33-N25], C [N25-N17], C [N17-N9], C [N9-N1], C [N3-N11], C [N11-N19], C [N19-N27], C [N27-N35], C [N35-N43], C [N43-N51], C [N51-N59], C [N59-N67], C [N67-N75], C [N75-N83], C [N83-N91], C [N91-N99], C [N99-N107] y C [N107-N115]

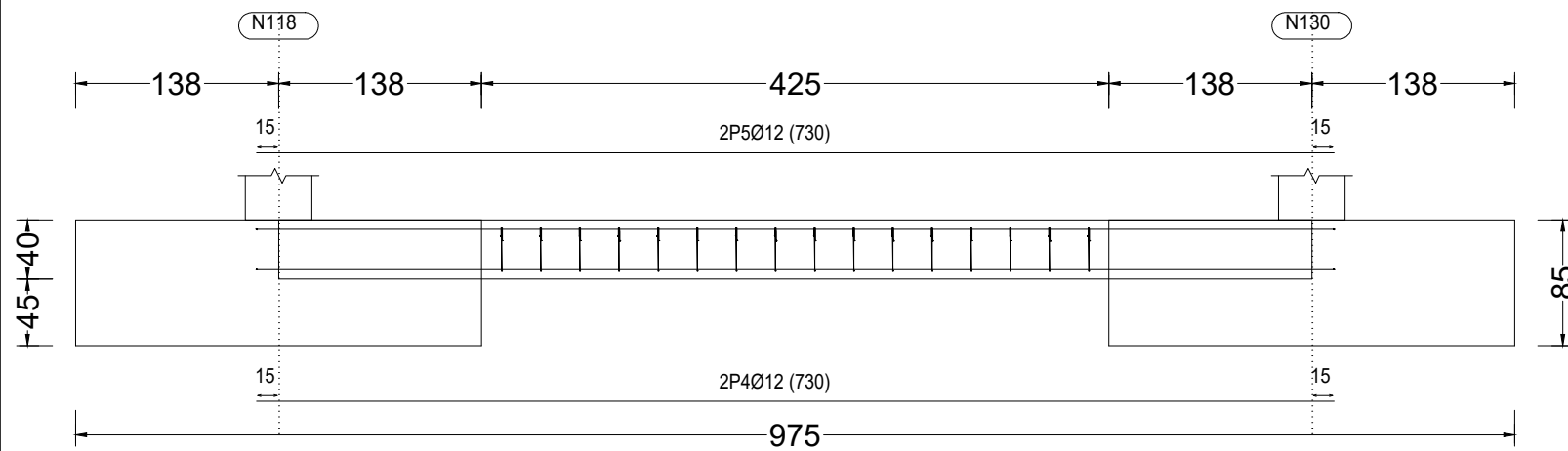


Zapata Tipo 2

N6, N158, N157, N156, N3, N155, N154, N153,
N1, N113, N125, N126, N127, N115, N128,
N129, N130 y N118

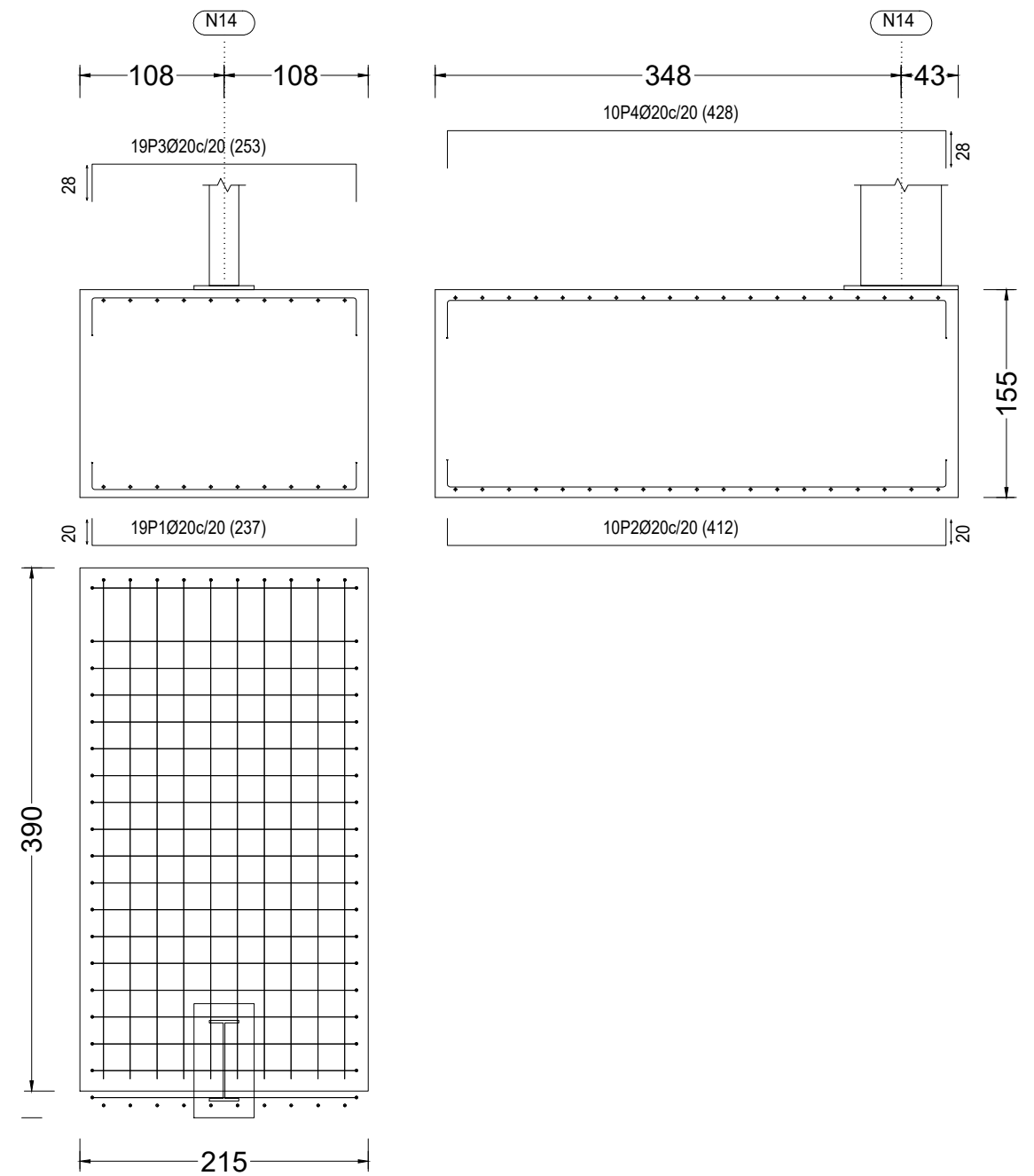


Viga de Atado Tipo 2



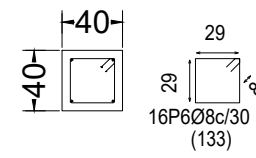
Zapata Tipo 3

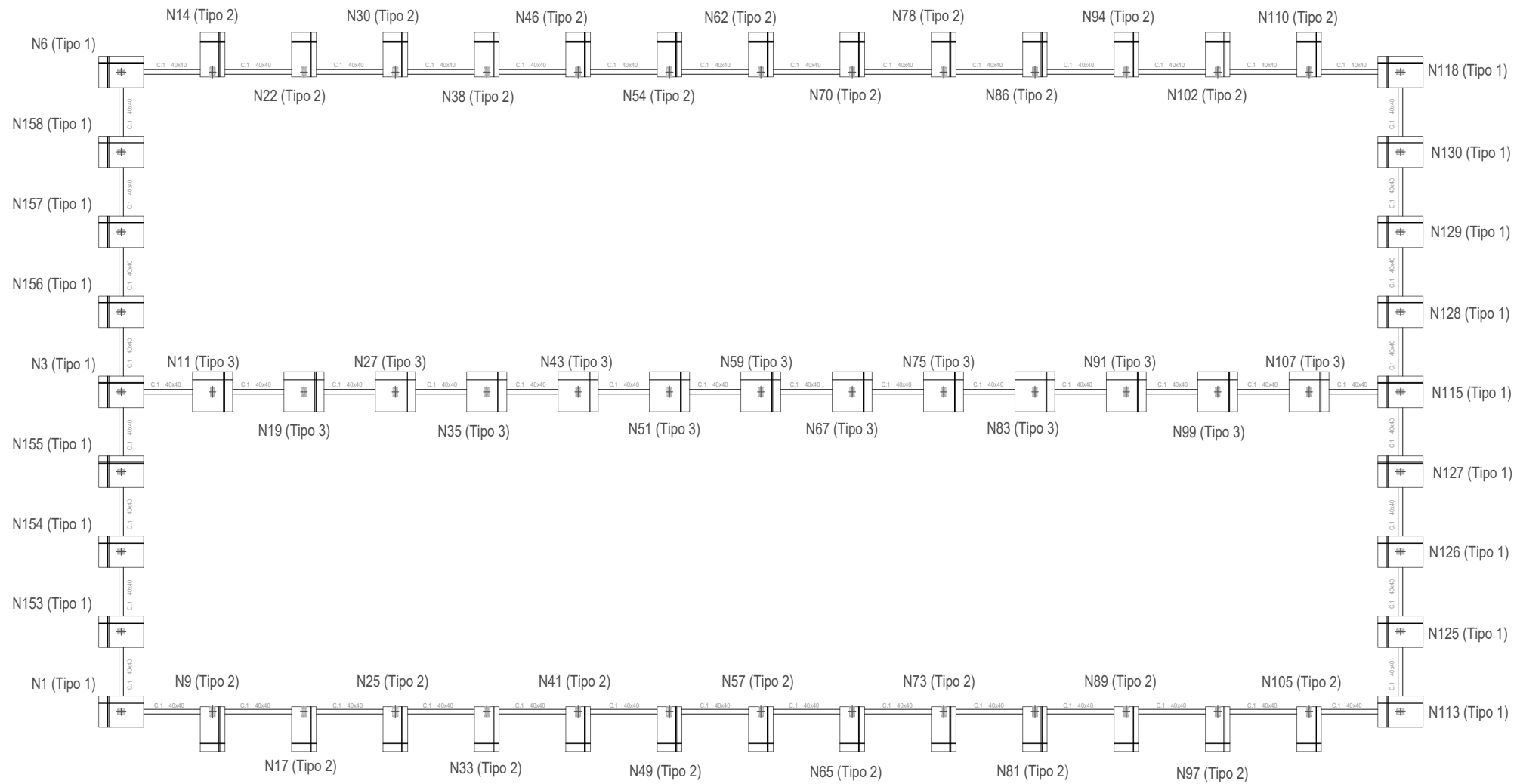
N14, N22, N30, N38, N46, N54, N62,
N70, N78, N86, N94, N102 y N110



(cotas en cm)

C [N118-N130], C [N130-N129], C [N129-N128], C [N128-N115],
C [N115-N127], C [N127-N126], C [N126-N125],
C [N125-N113], C [N1-N153], C [N153-N154], C [N154-N155],
C [N155-N3], C [N3-N156], C [N156-N157], C [N157-N158]
y C [N158-N6]



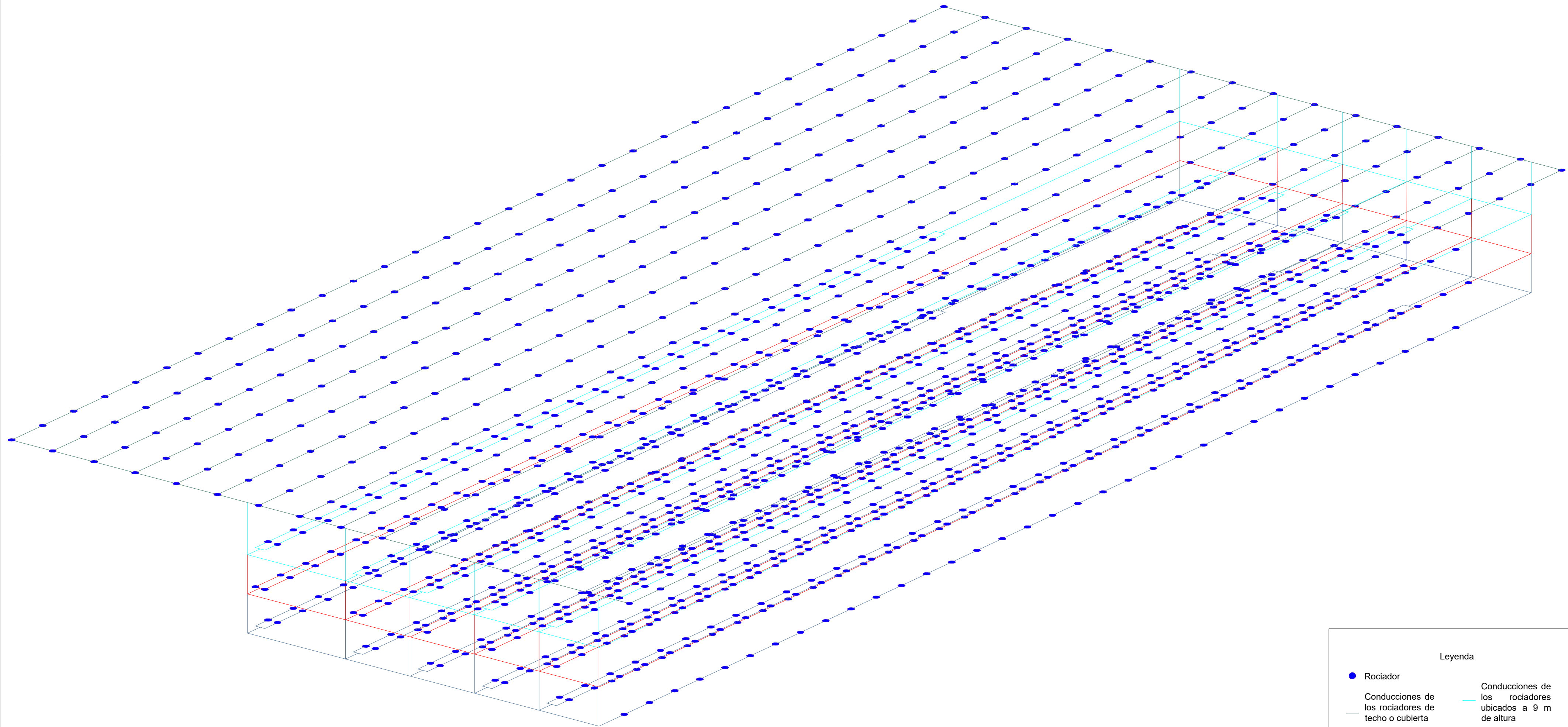


CUADRO DE ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN							
Tipo de Zapatas	Referencias	Dimensiones (cm)	Canto (cm)	Armado inf. X	Armado inf. Y	Armado sup. X	Armado sup. Y
Tipo 1	N1, N3, N6, N113, N115, N118, N125, N126, N127, N128, N129, N130, N153, N154, N155, N156, N157 y N158	275x395	85	29Ø12c/13	20Ø12c/13	29Ø12c/13	20Ø12c/13
Tipo 2	N9, N14, N17, N22, N25, N30, N33, N38, N41, N46, N49, N54, N57, N62, N65, N70, N73, N78, N81, N86, N89, N94, N97, N102, N105 y N110	215x390	155	19Ø20c/20	10Ø20c/20	19Ø20c/20	10Ø20c/20
Tipo 3	N11, N19, N27, N35, N43, N51, N59, N67, N75, N83, N91, N99 y N107	350x350	80	14Ø16c/25	14Ø16c/25	14Ø16c/25	14Ø16c/25

Cuadro de arranques			
Tipo de Unión	Referencias	Pernos de Placas de Anclaje	Dimensión de Placas de Anclaje
Tipo 1	N6, N158, N157, N156, N3, N155, N154, N153, N1, N113, N125, N126, N127, N115, N128, N129, N130 y N118	8 Pernos Ø 25	Placa base (450x650x22)
Tipo 2	N14, N22, N30, N38, N46, N54, N62, N70, N78, N86, N94, N102, N110, N9, N17, N25, N33, N41, N49, N57, N65, N73, N81, N89, N97 y N105	8 Pernos Ø 32	Placa base (450x850x30)
Tipo 3	N11, N19, N27, N35, N43, N51, N59, N67, N75, N83, N91, N99 y N107	8 Pernos Ø 25	Placa base (400x800x30)



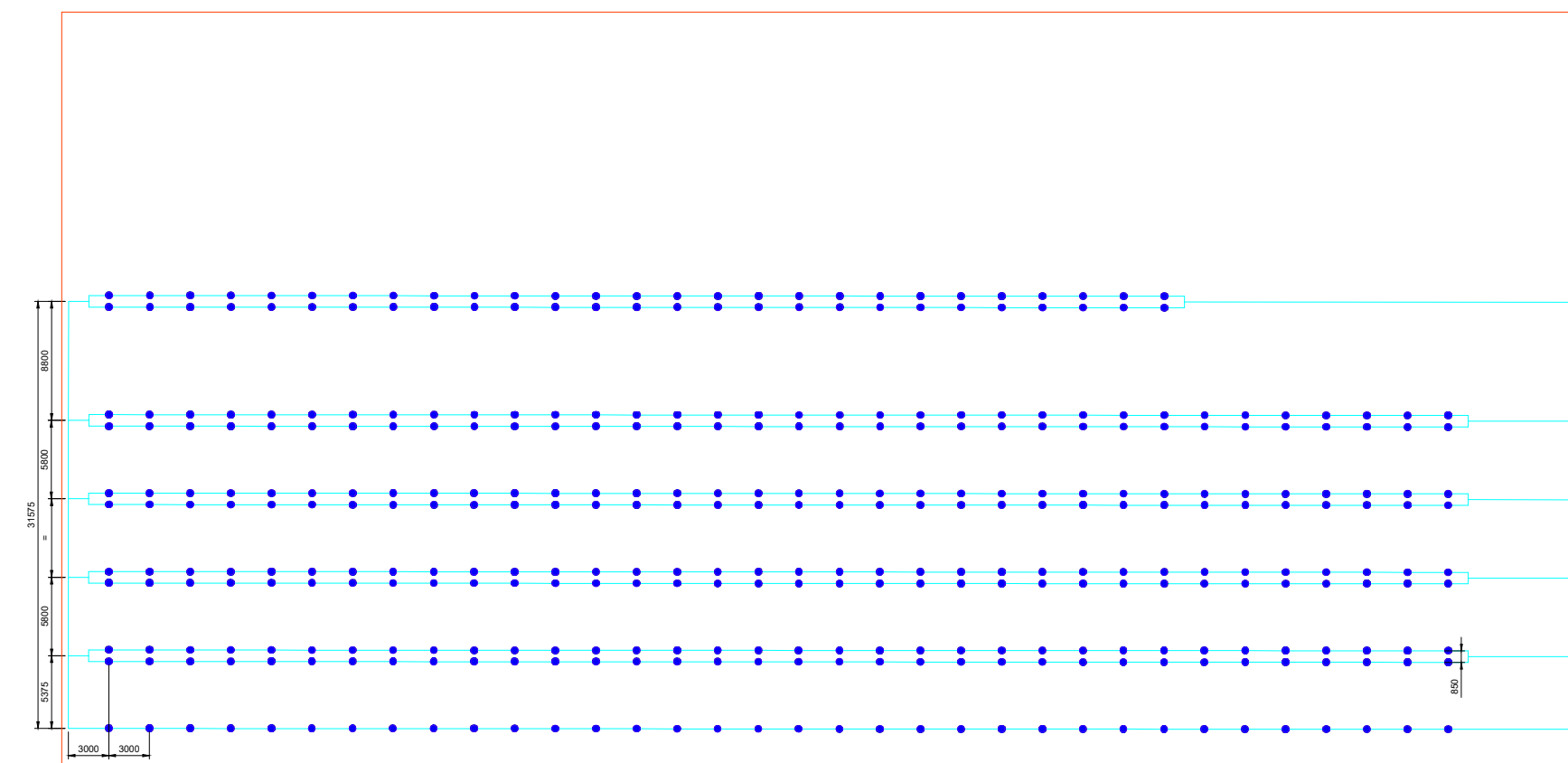
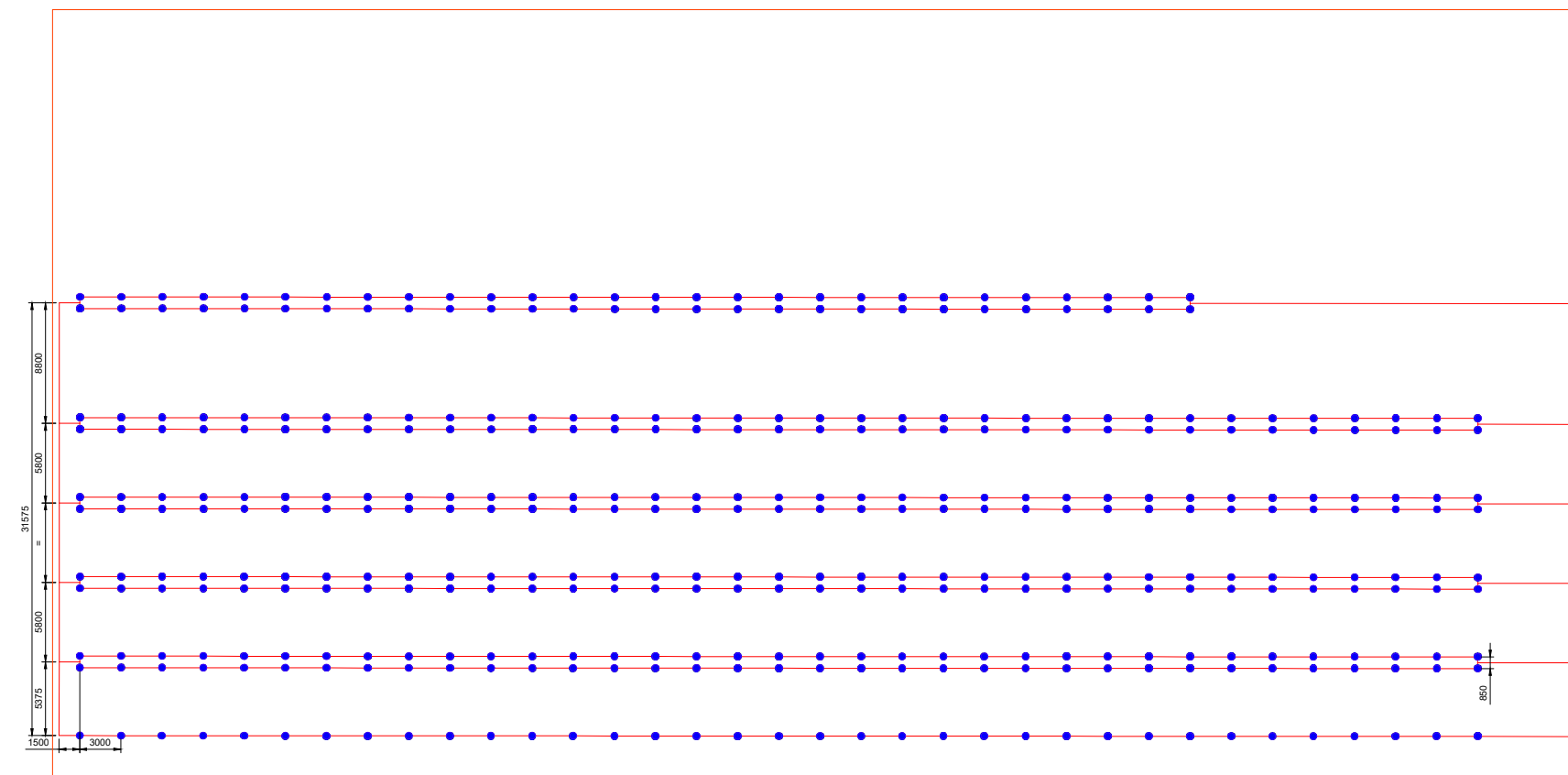
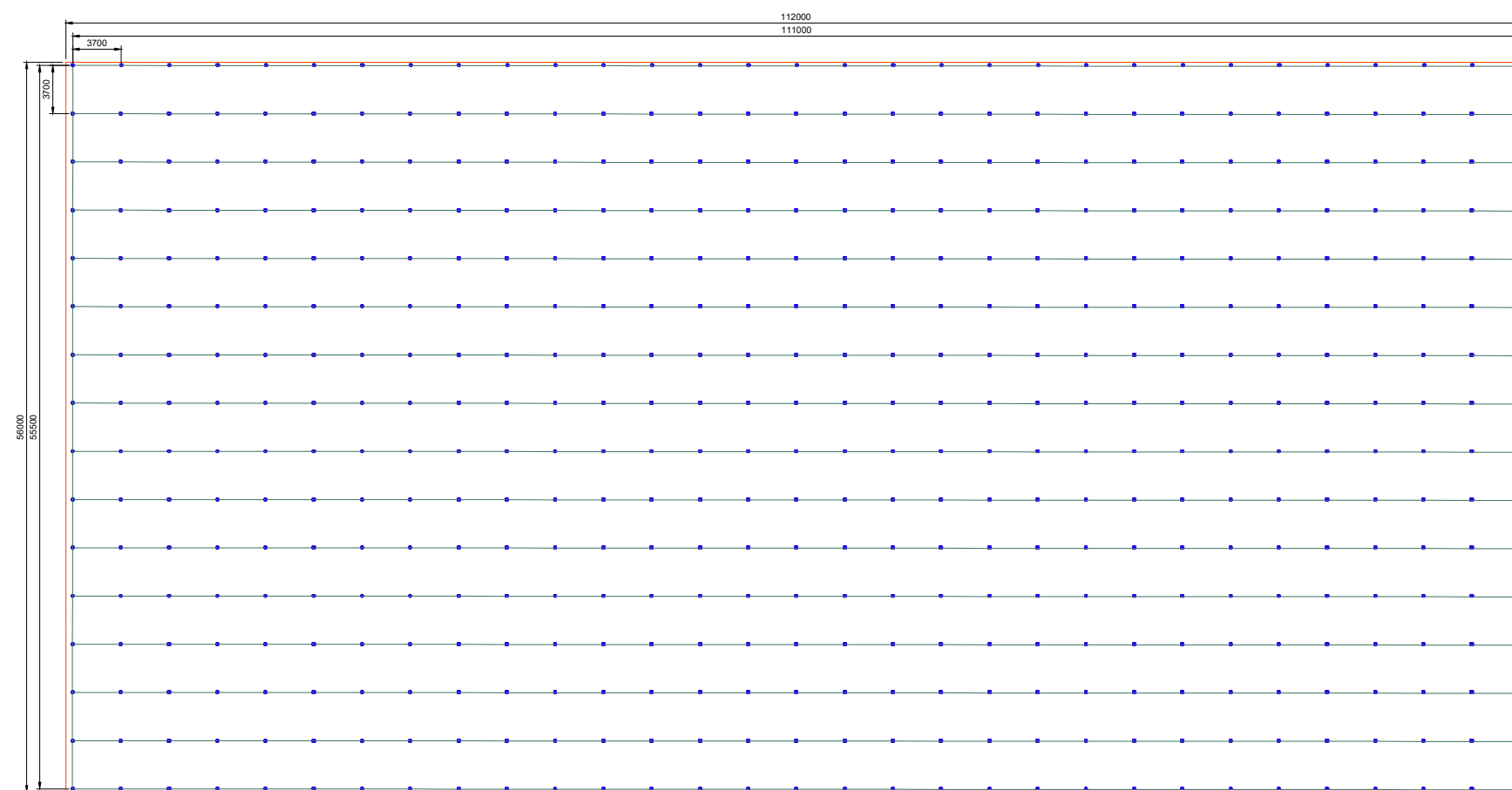
Características de los materiales empleados en las Zapatas								
Materiales	Hormigón					Acero		
	Control		Características			Control		Características
Elemento Zona/Planta	Nivel Control	Coef. Ponde.	Tipo	Consistencia	Tamaño máx. árido	Nivel Control	Coef. Ponde.	Tipo
Zapatas	Estatístico	$\gamma_{c-1.50}$	HA-25B/2000a	Píctica a blanda (p-15 mm)	30 mm	Normal	$\gamma_{s-1.15}$	B500S
Vigas de atado	Estatístico	$\gamma_{c-1.50}$	HA-25B/2000a	Píctica a blanda (p-15 mm)	30 mm	Normal	$\gamma_{s-1.15}$	B500S
Ejecución (Acciones)	Normal	$\gamma_{c-1.35}$ $\gamma_{s-1.35}$	Adaptado a la Instrucción EHE-08					
Exposición/ambiente	Terreno		Terreno protegido u hormigón de limpieza		I	IIa	IIb	IIIa
Recubrimientos nominales (mm)	80		Ver Exposición/Ambiente		30	35	40	45
Notas								
- Control Estadístico en EHE-08 - Solapes según EHE-08 - El acero utilizado deberá estar garantizado con un distintivo reconocido: Sello CIETSID, CC-EHE, ...								
Datos geotécnicos				Recubrimientos nominales				
- Tensión admisible del terreno considerada = 0.20 MPa (2.00 Kg/cm ²)								



Leyenda

● Rociador	Conducciones de los rociadores ubicados a 9 m de altura
— Conducciones de los rociadores de techo o cubierta	Conducciones de los rociadores ubicados a 3 m de altura
— Conducciones de los rociadores ubicados a 6 m de altura	

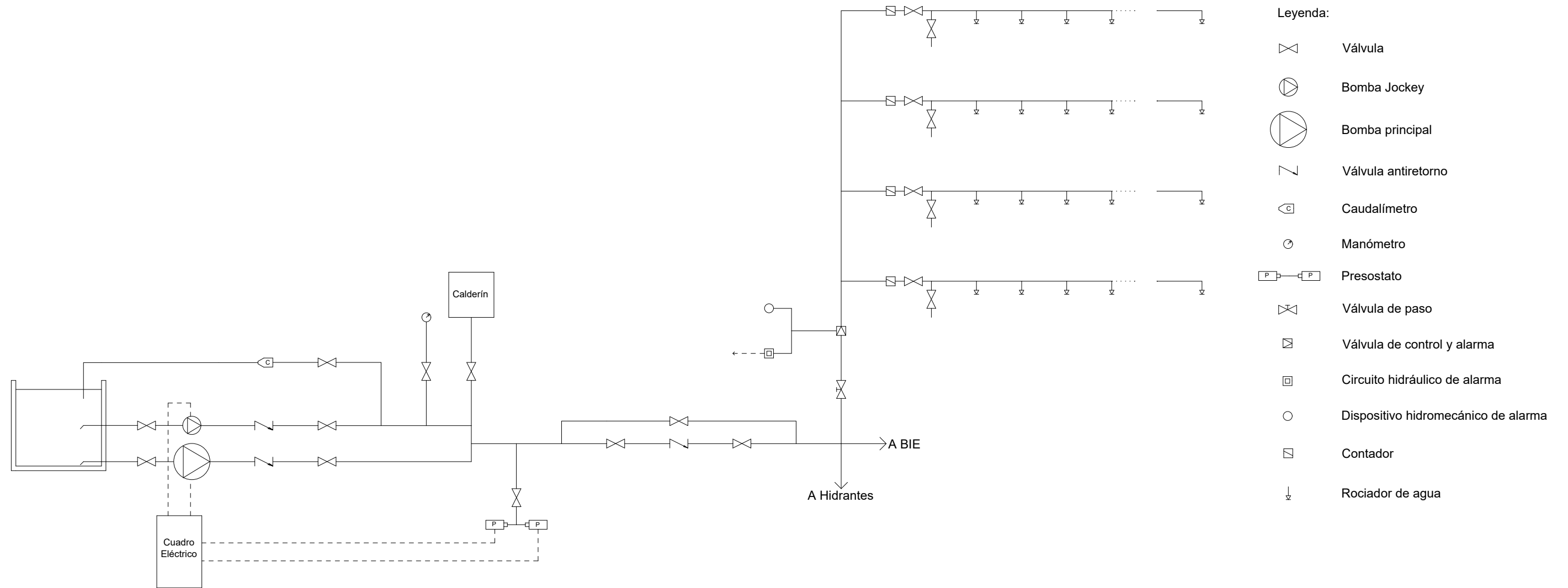
<p style="text-align: center;">TRABAJO FINAL DE MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL VALENCIA</p> </div> </div> <p style="text-align: right; margin-top: 10px;">Diego Castelló Muñoz <small>Autor proyecto</small></p>	<p>Proyecto: PROYECTO ESTRUCTURAL Y DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DE UNA NAVE LOGÍSTICA DE 6272 m² UBICADA EN EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE CABANILLAS DEL CAMPO EN GUADALAJARA</p> <p>Fecha: Septiembre 2020 Escala: 1:200</p> <p>Plano: VISTA TRIDIMENSIONAL DE LA INSTALACIÓN DE ROCIADORES AUTOMÁTICOS Nº Plano: 14</p>
--	--



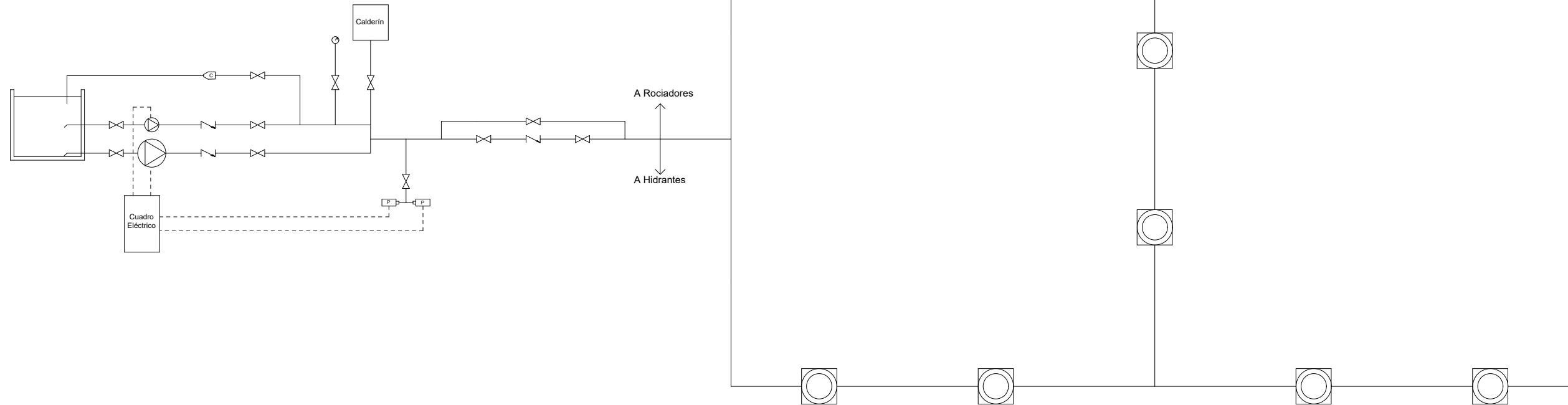
Leyenda

- Rociador
- Conducciones de los rociadores de techo o cubierta
- Conducciones de los rociadores ubicados a 6 m de altura
- Conducciones de los rociadores ubicados a 9 m de altura
- Perímetro de la nave

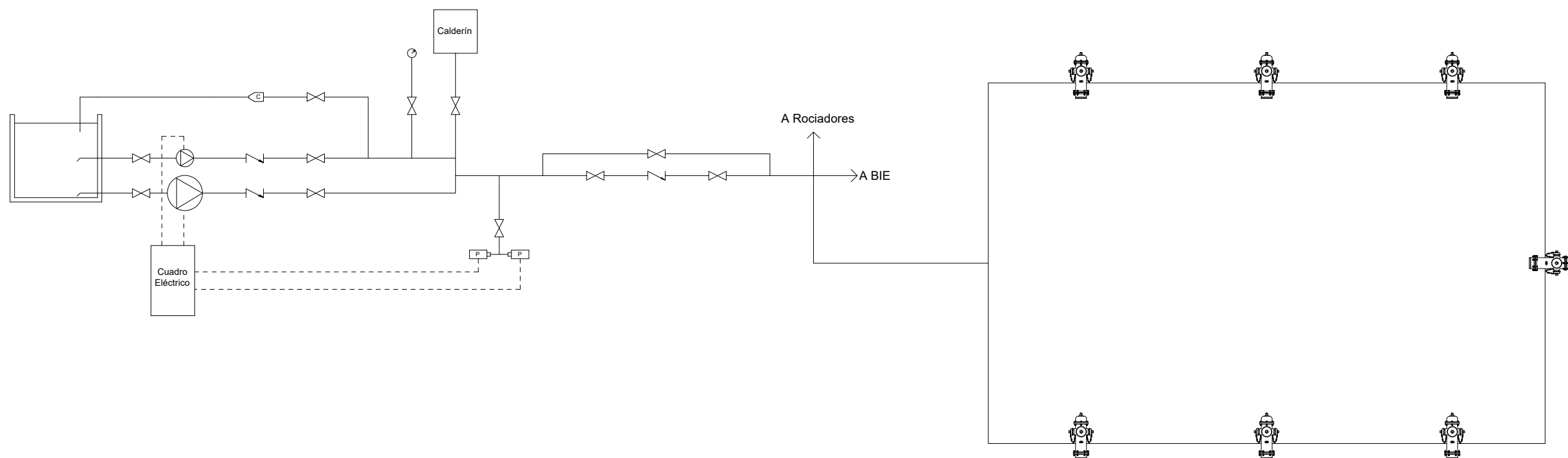
TRABAJO FINAL DE MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL 		Proyecto: PROYECTO ESTRUCTURAL Y DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DE UNA NAVE LOGÍSTICA DE 6272 m² UBICADA EN EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE CABANILLAS DEL CAMPO EN GUADALAJARA
Fecha: Septiembre 2020	Escala: 1:500	
Plano: Vista en Planta de los Niveles de Rociadores	Nº Plano: 15	
Diego Castelló Muñoz <small>Autor proyecto</small>		










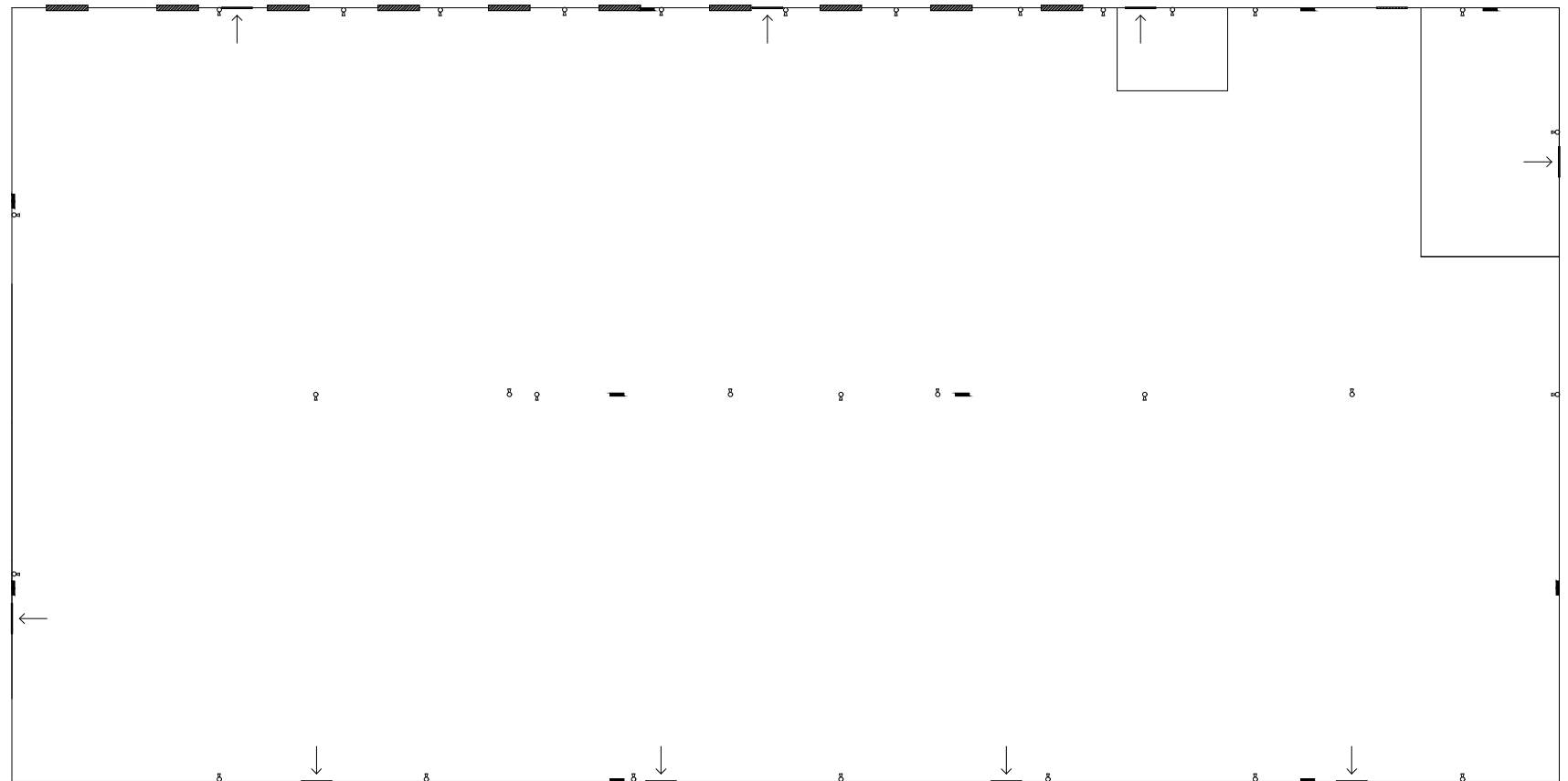
- Leyenda:**
- Válvula
 - Bomba Jockey
 - Bomba principal
 - Válvula antiretorno
 - Caudalímetro
 - Manómetro
 - Presostato
 - Válvula de paso
 - Válvula de control y alarma
 - Circuito hidráulico de alarma
 - Dispositivo hidromecánico de alarma
 - Contador
 - Rociador de agua



- Leyenda:
-  Válvula
 -  Bomba Jockey
 -  Bomba principal
 -  Válvula antiretorno
 -  Caudalímetro
 -  Manómetro
 -  Presostato
 -  BIE



- Leyenda:
-  Válvula
 -  Bomba Jockey
 -  Bomba principal
 -  Válvula antiretorno
 -  Caudalímetro
 -  Manómetro
 -  Presostato
 -  Hidrante exterior



Leyenda

- ⊗ Hidrante exterior
- BIE de 45 mm
- ⊗ Extintor de eficacia 34A
- - - Puerta de acceso a la nave
- ▬ Puerta seccional del muelle de carga
- Salida de emergencia

Estabilidad al fuego de los elementos portantes: R90
 Estabilidad al fuego de la cubierta ligera: R30

