



**Universidad  
Europea**

**UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID**

**ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO**

**ÁREA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER  
PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO SOBRE  
EL CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UNA  
NAVE INDUSTRIAL**

**Alumno: D. KEVIN MUÑOZ MILÁN**

**Director: D. CARLOS JESUS VEGA VERA**

**JULIO 2022**

**TÍTULO:** PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICA SOBRE EL CÁLCULO  
ESTRUCTURAL DE UNA NAVE INDUSTRIAL

**AUTOR:** KEVIN MUÑOZ MILÁN

**DIRECTOR DEL PROYECTO:** CARLOS JESÚS VEGA VERA

**FECHA:** 28 de ABRIL de 2022

## RESUMEN

**Palabras clave:** nave industrial, Madrid, CYPE

El objetivo del presente trabajo final de Máster consiste en llevar a cabo el cálculo estructural, tanto técnico como económico, de una nave industrial como almacenamiento logístico y de oficinas, pero que también puede ser viable por sus dimensiones, desarrollar una amplia variedad de actividades en función del tipo de actividad que se decida realizar y el espacio que se requiera para ello. El emplazamiento de la nave, del cual ya se es propietario, se encuentra en el polígono industrial de Alcalá de Henares y se tratará de llevar a cabo el proyecto a una parte del mismo y en función de la necesidad, valorar en un futuro su expansión en el resto de la superficie del terreno.

Para los cálculos, se hará uso del programa CYPE con la aplicación de la normativa en vigor, tanto CTE (Código Técnico de la Edificación) como IHE (Instrucción de Hormigón Estructural), entre otros, que permitirán dimensionar la estructura necesaria, teniendo en cuenta los esfuerzos, pilares, perfiles y vigas necesarios para su instalación. Todo ello con su cimentación correspondiente y el presupuesto correspondiente.

La nave dispondrá 1.400 m<sup>2</sup>, adicionalmente otros 300 m<sup>2</sup> de una planta intermedia pudiendo estar destinada para el alojamiento de oficinas, sobre una superficie de 4729 m<sup>2</sup>, quedando 3000 m<sup>2</sup> de superficie externa que, aunque en este proyecto no se contemple su edificación si es susceptible de edificarse en el futuro. Cubierta de la nave empleada será tipo a dos aguas, sobre el que se emplearía los paneles tipo sándwich. La estructura empleada será de acero debido a su disponibilidad, facilidad de instalación y verificación.

## ABSTRACT

**Key words:** Madrid, CYPE, industrial warehouse

The objective of this master's thesis is to carry out the structural calculation, both technical and economic, of an industrial building for logistic storage and offices, but that can also be viable for its dimensions, to develop a wide variety of activities depending on the type of activity that is decided to perform, and the space required for it. The site of the warehouse, which is already owned, is located in the industrial area of Alcalá de Henares and we will try to carry out the project to a part of it and depending on the need, assess in the future its expansion in the rest of the surface of the land.

The CYPE program will be used for the calculations with the application of the current regulations, both of the CTE (Technical Building Code) and the IHE (Structural Concrete Instruction), among others, which will allow dimensioning the necessary structure, taking into account the stresses, pillars, profiles and beams required for its installation. All this with its corresponding foundations and the corresponding budget.

The building will have 1,400 square meters, plus an additional 300 square meters of an intermediate floor which can be used for office accommodation, on a surface area of 4729 square meters, leaving 3,000 square meters of external surface area which, although this project does not contemplate its construction, is susceptible to being built in the future. The roof of the building will be of the gable type, on which sandwich panels will be used. The structure used will be made of steel due to its availability, ease of installation and verification.

# Índice

## Capítulo 1. Contenido

**RESUMEN** 3

**ABSTRACT** 3

**Capítulo 2. Introducción**..... 10

2.1 Presentación..... 10

2.2 Objeto del proyecto ..... 10

**Capítulo 3. Motivación**..... 10

**Capítulo 4. Memoria descriptiva** ..... 11

4.1 Antecedentes ..... 11

4.2 Datos generales. Descripción general del edificio ..... 11

4.3 Cumplimiento del CTE y otras normativas específicas..... 12

4.4 Geometría del edificio..... 13

4.5 Accesos..... 15

**Capítulo 5. Memoria constructiva** ..... 15

5.1 Características del suelo..... 15

5.2 Las bases de cálculo y procedimientos o métodos empleados para todo el sistema estructural..... 15

5.3 Sistema envolvente y cubierta ..... 16

5.4 Sistema de compartimentación ..... 16

**Capítulo 6. Cargas de la estructura**..... 17

6.1 Cálculo de las Cargas ..... 17

6.1.1 Cargas permanentes..... 17

6.1.2 Cargas variables..... 17

6.2	Fenómeno Pandeo .....	28
6.2.1	Pilares frontales y traseros.....	29
6.2.2	Celosía americana .....	30
6.2.3	Vigas de atado .....	31
6.2.4	Barras suelo oficinas.....	32
6.2.5	Pilares interiores que soportan el suelo de la zona de oficinas.....	33
6.2.6	Vigas de los huecos. ....	33
6.2.7	Pilares laterales. ....	34
Capítulo 7.	Dimensionado de perfiles .....	34
7.1	Selección del tipo de perfil.....	34
7.1.1	Pilares parte frontal.....	35
7.1.2	Pilares laterales .....	36
7.1.3	Pilares parte trasera .....	36
7.1.4	Vigas suelo oficinas .....	37
7.1.5	Barras celosía .....	38
7.2	Flecha máxima.....	40
7.3	Generalidades .....	40
7.3.1	Gráfico de tensión/aprovechamiento .....	42
7.3.2	Gráfico de momentos, zona de oficinas.....	43
Capítulo 8.	Uniones de la estructura .....	44
8.1	Preparación .....	45
8.2	Disposiciones constructivas .....	45
8.3	Viga horizontal con el pilar.....	45
8.3.1	Cordones de soldadura .....	46
8.3.2	Resistencia de cálculo en las soldaduras en ángulo.....	46
8.3.3	Comprobación resistencia viga HE 280 B a la soldadura.....	47
8.3.4	Comprobar resistencia viga HE 280 B a corte .....	48
8.3.5	Comprobar Tensión de Von Mises .....	49
8.4	Anclaje del pilar con el terreno .....	50
8.4.1	Comprobar resistencia cordones de soldadura de la placa de anclaje.....	50
8.4.2	Comprobar la resistencia del propio anclaje al terreno.....	51
Capítulo 9.	Cimentación .....	52
9.1	Distribución de la cimentación.....	53

---

9.2	Comprobación de las zapatas .....	53
9.3	Comprobación de las vigas de atado .....	54
9.4	Control de cimentación .....	54
Capítulo 10.	PRESENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA FINAL.....	55
Capítulo 11.	COSTES .....	57
Capítulo 12.	CONCLUSIONES .....	58
Capítulo 13.	BIBIOGRAFÍA.....	59

# Índice de Figuras

Ilustración 1 Vista ampliado de la localización de la nave industrial. ....	12
Ilustración 2 Emplazamiento de la nave industrial .....	12
Ilustración 3 Datos técnicos del terreno en el catastro .....	14
Ilustración 4 Celosía Americana establecida en el diseño. ....	16
Ilustración 5 Correas empleadas en el proyecto.....	17
Ilustración 6 Paramentos verticales.....	20
Ilustración 7 Cubierta a dos aguas .....	22
Ilustración 8 Mapa de valores de referencia básico de la velocidad del viento .....	24
Ilustración 9 Paramentos verticales A-B-C-D-E .....	25
Ilustración 10 Cubierta a dos aguas. F-G-H-I-J .....	25
Ilustración 11 Zonas climáticas de invierno. ....	27
Ilustración 12 Colapso estructura por pandeo lateral-torsional. ....	29
Ilustración 13 Celosía Americana identificado de color naranja.....	31
Ilustración 14 Vigas de atado identificadas de color naranja. ....	31
Ilustración 15 Sistema de orientación del pandeo.....	32
Ilustración 16 Barras suelo zona oficinas identificado de color naranja.....	32
Ilustración 17 Pilares interiores identificados de color naranja.....	33
Ilustración 18 Vigas de los huecos color naranja. ....	33
Ilustración 19 Pilares laterales identificados de color naranja. ....	34
Ilustración 20 Características perfil empleado, S275 .....	35
Ilustración 21 Datos pilar frontal.....	35
Ilustración 22 Datos pilares laterales zona oficinas. ....	36
Ilustración 23 Datos pilares laterales. ....	36
Ilustración 24 Datos pilares traseros.....	37
Ilustración 25 Datos Viga horizontal suelo oficina. ....	37
Ilustración 26 Datos barra lateral suelo oficinas.....	38
Ilustración 27 Datos barra inferior de la celosía. ....	38
Ilustración 28 Datos parte superior celosía. ....	39
Ilustración 29 Datos barra diagonal de la celosía.....	39
Ilustración 30 Datos barras intermedias de la celosía. ....	40
Ilustración 31 Alerta de comprobación sobre parámetros no establecidos.....	41
Ilustración 32 Resultado tras realizar la comprobación de elementos.....	42
Ilustración 33 Gráfico tensión/aprovechamiento. ....	42
Ilustración 34 Gráfico momento en Y. ....	43
Ilustración 35 Fórmula resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo. ....	46
Ilustración 36 Comprobación de resistencia para barras tipo HE 280 B.....	47
Ilustración 37 Datos de esfuerzo y resistencia proporcionados por CYPE.....	48
Ilustración 38 Resultado comprobación resistencia sección a corte. ....	48
Ilustración 39 Anclaje correspondiente pilares frontales con el terreno. ....	50

---

Ilustración 40 Comprobación cordones soldadura placa anclaje. ....	51
Ilustración 41 Comprobación resistencia placa anclaje. ....	52
Ilustración 42 Vista en planta de la distribución de la cimentación. ....	53
Ilustración 43 Vista alzado estructural. ....	55
Ilustración 44 Vista fronto lateral de la estructura. ....	55
Ilustración 45 Vista parte posterior de la estructura. ....	55
Ilustración 46 Vista lateral derecho de la estructura. ....	56
Ilustración 47 Vista en planta de la estructura. ....	56
Ilustración 48 Vista en detalle de la cimentación. ....	57



# Índice de Tablas

Tabla 1 Valores característicos de las sobrecargas de uso .....	18
Tabla 2 Coeficientes para tipo de entorno.....	19
Tabla 3 Paramentos verticales .....	20
Tabla 4 Paramentos verticales a aplicar.....	21
Tabla 5 Tabla valores cubierta a dos aguas.....	23
Tabla 6 Tabla resumen coeficientes de presión según orientación y superficie. ....	23
Tabla 7 Valores de sobrecarga de nieve en un terreno. ....	28
Tabla 8 Tabla coeficientes de pandeo.....	29
Tabla 9 Coeficientes de correlación según tipo de acero. ....	46

## Capítulo 2. Introducción

### 2.1 Presentación

El presente documento trata de presentar el Trabajo Final de Máster siendo la última materia a cursa para obtener el título de Máster en Ingeniería Industrial por la Escuela de Arquitectura, Ingeniería y Diseño de la Universidad Europea de Madrid.

El proyecto en cuestión trata de realizar los cálculos estructurales, tanto técnicos como económicos necesarios, para llevar a cabo el diseño y su construcción sobre la parcela ubicado

al este de Madrid (España), en Alcalá de Henares. Por su localización, está bien comunicada con las vías, A2, R2 y M100.

### 2.2 Objeto del proyecto

Con el proyecto se pretende profundizar el conocimiento adquirido durante curso, haciendo hincapié preferentemente a los valores y conocimientos adquiridos de la asignatura “Plantas Industriales”.

Por ende, llevar a cabo el tanto diseño como el cálculo de la nave industrial, también de la propia estructura, así como de la cimentación. Todo ello, cumpliendo con la normativa local y nacional de urbanismo, con el CTE (Código Técnico de la Edificación), entre otros, vigente en el momento de la redacción de este documento.

Mediante el uso del programa CYPE, permite determinar el dimensionado y cálculos, así como su comprobación, de la estructura, todo ello con el cumplimiento de con la normativa vigente.

## Capítulo 3. Motivación

Desde antes del confinamiento ocasionado por la COVID, principalmente el comercio on-line prácticamente en todos los sectores, ha ido creciendo cada año, pero sobre todo durante y después del confinamiento, en lo que a la Comunidad de Madrid se refiere.

Por ello, desde la Organización Empresarial de logística y Transporte confirman que, el movimiento de mercancías se ha aumentado más de un 50% como consecuencia del ecommerce y que, por ende, tiene una repercusión directa en la necesidad de disponer de lugares físicos donde poder almacenar dicha mercancía.

Tanto de empresas de logística como de otras empresas del sector que han incrementado volumen de negocio, en términos generales, han disparado tanto la búsqueda de naves industriales un 40 % para disponer de espacios logísticos.

Los cambios de la forma de consumo de la población han mostrado un impacto directo en los modelos de negocio de las empresas, en términos generales.

Para dar cabida a esa demanda, es por lo que me ha llevado a realizar dicho proyecto, y para ello se hará uso del programa CYPE que me permitirá realizar tanto el diseño como los cálculos necesarios para con el cumplimiento de la normativa vigente y así disponer de un modulado en 3D de lo que sería el diseño estructural final de la nave industrial.

## Capítulo 4. Memoria descriptiva

### 4.1 Antecedentes

Su demanda, el de las naves industriales se ha incrementado durante el transcurso del periodo de la pandemia que empezó desde principios de 2020. Siendo su principal uso el de almacenar, guardar, la mayor cantidad posible de aquellas empresas que se dedicasen principalmente al comercio, aunque también pudieran ser de otra índole.

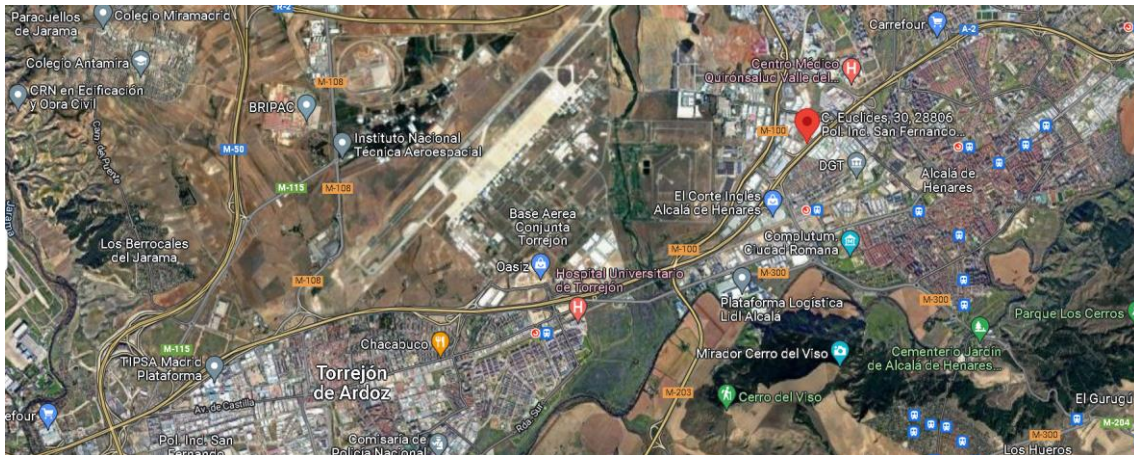
Se entiende por nave industrial como aquel espacio de considerables dimensiones, tanto en longitudes como en altura, cuya principal finalidad es la de producción y/o almacenaje de materiales, productos de diversa consideración. Ésta está conformada por la combinación de vigas de hierro y hormigón o bien por hormigón prefabricado en su conjunto. La de nuestro proyecto se centrará en aquella que está fabricado todo con hormigón (cimentación), hormigón prefabricado (paneles laterales) y acero (estructura) .

### 4.2 Datos generales. Descripción general del edificio

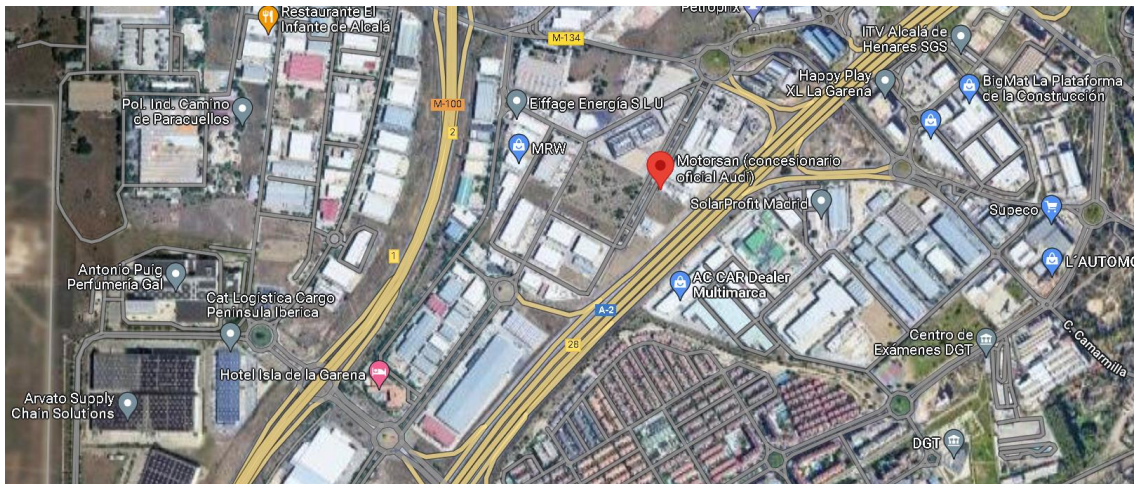
Se trata del diseño y construcción de una nueva nave industrial para satisfacer las necesidades de un mercado en constante crecimiento y con una demanda que, es cada vez mayor a la oferta, bien sea por el emplazamiento, características, económicas, etc.

Su finalidad será la de almacenamiento combinado con espacio propio para oficinas, para que en caso de que necesitar dicho espacio se encuentre considerado desde el primer momento.

En cuanto a su ubicación óptima es la de situarse en una zona industrial, en concreto en el polígono industrial de Euclides. Por su localización, está bien comunicada con las vías M100, A2 y R2. Permitiendo así disponer, tanto para su llegada como la salida de mercancía, de buena comunicación con autovías en el territorio nacional.



*Ilustración 1 Vista ampliada de la localización de la nave industrial.*



*Ilustración 2 Emplazamiento de la nave industrial*

La fachada de las oficinas dispondrá de ventanas permitiendo así la entrada de luz natural y ventilación.

### **4.3 Cumplimiento del CTE y otras normativas específicas**

–Real Decreto 314/2006 (CTE), de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

–Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. La Ley de Ordenación de la Edificación regula los aspectos esenciales de la edificación en España

–Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.


–Real Decreto 1247/2008 ( DB EHE-08), de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural.

- Real Decreto 390/2021, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.
- Real Decreto 732/2019 (DB-SE), de 20 de diciembre, por el que se establecen reglas y procedimientos que permitan cumplir las exigencias básicas de seguridad estructural.
- Normativa autonómica de la comunidad de Madrid y municipal del ayuntamiento de Fuenlabrada. Ellos establecen sus propias normativas de construcción que afectan al proyecto, sumando sus disposiciones a las de carácter estatal.
- Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, por el que se aprueba la norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación (NCSE-02).
- Reglamento de instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08).

#### **4.4 Geometría del edificio.**

Las dimensiones de la nave serán de 40 x 35 x 15, metros y una zona interior de 25 x 10 metros donde en la parte superior se ubicará la zona de oficinas, todo ello con una altura máxima de 15 metros, la máxima según la normativa local.

La justificación de estas dimensiones viene determinada por disponer de un espacio interior amplio y alto, compartido con el espacio para oficinas y todo ello con la capacidad de emplear la máxima altura legal para naves, estimada para Alcalá de Henares de 15 metros como máximo, tal y como viene recogido en el PGOU (Plan General de Ordenanza Urbana) de la Comunidad de Madrid.

 Información de parcelas e inmuebles

### PARCELA CATASTRAL 6825910VK6862S

Croquis



Fotografía fachada



CL EUCLIDES 15 G  
ALCALA DE HENARES (MADRID)  
4.729 m<sup>2</sup>

[Más información de la parcela](#) ▼

### INFORMACIÓN DE LOS INMUEBLES

 Excel

**6825910VK6862S0001WP** CL EUCLIDES 15 Suelo G  
Suelo sin edif., obras urbaniz., jardinería, constr. ruinosas | | 100,00% | 0

*Ilustración 3 Datos técnicos del terreno en el catastro*

Según datos que constan en el catastro, la parcela dispone de 4.729 m<sup>2</sup>, siendo los empleados para la construcción 1.440 m<sup>2</sup> y 3.289m<sup>2</sup> para zona exterior.

Los muros de la parte lateral de la nave están distribuidos en 7 vanos de 5 metros cada uno y estarán con paneles compuestos de hormigón prefabricado con la disposición horizontal. La altura de los paneles de hormigón prefabricado es de 4 metros, por lo que serían necesarios 3 paneles y un último adicional de 2 metros, que está unido con correas al pilar.

El pórtico principal de 40 metros de luz y separación de 5 metros entre vanos y con empleo de celosía americana a dos aguas. La parte de la cubierta se emplea panel tipo sándwich de 5 cm de espesor, sobre correas con espacio de 2,5 metros entre ellas.

Los muros hastiales están conformados por pilares de acero cada 5 metros con su correspondiente apoyo de correas. Como base de anclaje que permite la unión de la estructura con el terreno se emplea con sobre dados de la cimentación, es decir, sobre zapatas aisladas.

La nave dispondrá en una parte de esta, dos alturas para permitir la ubicación de espacio para oficinas y la escalera que permita su acceso. En la envolvente se empleará también el hormigón prefabricado.

#### **4.5 Accesos.**

Los accesos se han diseñado de maneque no se repercuta en aquellas zonas de especial concentración para peatones, por lo que se disponen de entradas con altura y anchura suficiente para que los vehículos puedan realizar sus maniobras de acceso y salida con espacio suficiente, sin que suponga un menoscabo para la circulación aledaña. Se dispondrá de tres accesos, uno en la fachada norte empleado para la zona de oficinas, fachada este que será empleado para entrada principal de vehículos y material, y otro en la fachada sur, siendo este empleado tanto para para vehículos pequeños como para peatones.

En lo que se refiere al acceso para peatones, se dispone de una en la fachada sur y otro por la puerta principal, fachada norte. Siendo la de la fachada norte que, con motivo de eliminar las barreras arquitectónicas, se dispone, además de la escalera, de un elevador para aquellos que quieran acceder a la parte de oficinas.

## **Capítulo 5. Memoria constructiva**

### **5.1 Características del suelo**

La edificación de la nave se encuentra sobre un terreno con una topografía regular o llana. Por tanto, se considera como un terreo con unas condiciones óptimas para dicha edificación. Qué, por ende, no se requiere de movimientos del sustrato para lograr una nivelación óptima del terreno más allá del cual ya dispone el terreno.

En cuanto a las características del terreno es del tipo arcilloso-semiduro con grava compacta y siendo su resistencia estimada de unos  $2,2\text{Kg/cm}^2$

### **5.2 Las bases de cálculo y procedimientos o métodos empleados para todo el sistema estructural.**

Las bases de cálculo se establecerán mediante el uso del programa CYPE que es un programa que permite realizar cálculos de estructuras. En la ingeniería industrial es un programa ampliamente empleado por diversas herramientas que proporciona, pero sobre todo en el área de construcción. Permite llevar a cabo una interacción de la estructura con los elementos constructivos.

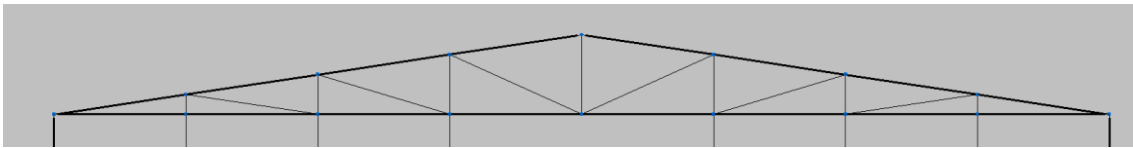
Entre otras certificaciones dispone del certificado de calidad ISO 9001:2015. Las herramientas que se van a emplear son el “Generador de Pórticos”, “CYPE 3D” y “Arquímedes”.

Como hipótesis de partida se aprovecha una parte del terreno edificable de superficie de 4729 m<sup>2</sup>, distribuidos en, por un lado 1400 y 330 m<sup>2</sup> respectivamente, se respetarán los respectivos retranqueos hacia la vía pública, siendo el resto de los metros disponibles de la parcela, para la disposición de vehículos, material, empleados, entre otros.

### 5.3 Sistema envolvente y cubierta

Para el diseño de la cubierta se va a emplear la cubierta tipo celosía americana para dotar a la misma de mayor rigidez, menor compresión en los montantes y mayor tracción a las diagonales. Este tipo de celosías se emplean con mucha frecuencia en tipo de naves o plantas industriales donde su anchura supera los 10-12 metros, siendo por tanto de aplicación por las dimensiones de la nave y permitiendo así una mejor distribución de la tracción y compresión en cada una de las barras, mejorando el efecto pandeo.

Para la cubierta se empleará aquella tal que sean ligeras e irán ubicada sobre las correas y no se empleará forjado. Ésta será accesible pero la única finalidad de que sea para su conservación. Irán dispuesta en una distribución de a dos aguas con una inclinación inferior a los 40 grados, en concreto una inclinación de 8.530°, permitiendo así que en caso de lluvia moderada se disponga de inclinación para la evacuación del agua.



*Ilustración 4 Celosía Americana establecida en el diseño.*

### 5.4 Sistema de compartimentación

Aunque no se profundiza mucho en el tema en este proyecto, si se considera, a partir del diseño de esto proyecto, unas estimaciones, tanto para el funcionamiento como para el cumplimiento de la normativa correspondiente.

Es decir, dado el diseño presentado, se podrían emplear muros de hormigón prefabricado que empleen tanto aislamiento acústico para aislamiento, térmico y sean ignífugos. Por otro lado, rociadores por vía aérea de espuma, mangueras y extintores.

Entre otros, se emplearían puertas ignífugas para la zona de oficinas, protegiendo a éstas de la zona interior de la nave para que no se propague tanto el fuego como el humo por dicha zona y dos puertas de emergencias situadas a ambos lados de la nave.



## Capítulo 6. Cargas de la estructura

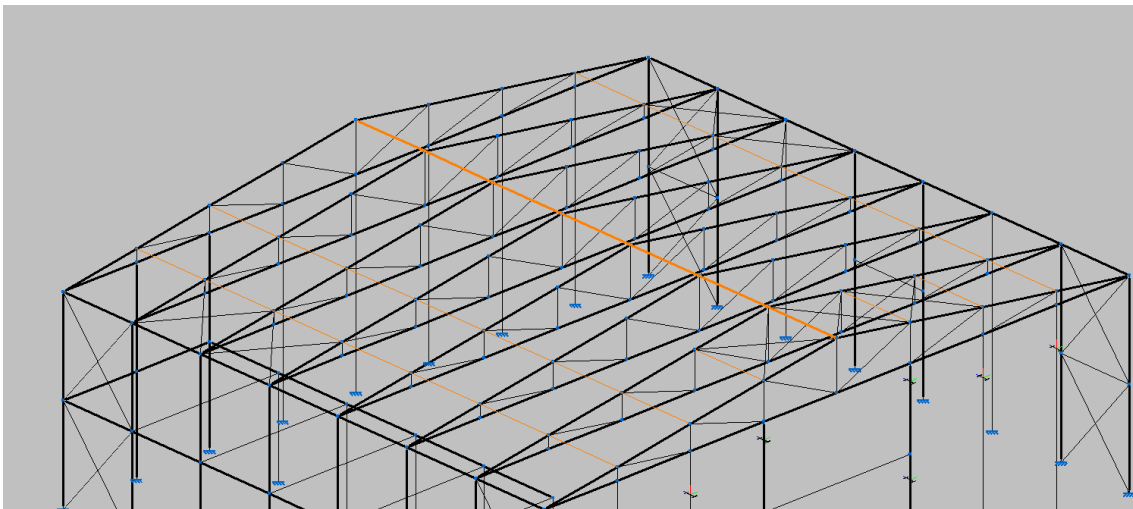
### 6.1 Cálculo de las Cargas

Se llevará a cabo mediante aplicación del CTE DB-SE-AE lo que se refiere a cargas tanto variables como permanentes de la nave industrial acorde con su emplazamiento y sus propias características.

#### 6.1.1 Cargas permanentes

Para las cargas permanentes se va a emplear acero S275 para su estructura, puesto que es el que más se emplea y por consiguiente el de obtener de forma más accesible. Este tipo de cargas dispone de:

- Peso propio de las correas IPE (S275) de 0,18kN/m.



*Ilustración 5 Correas empleadas en el proyecto.*

- Peso propio del material empleado en el pate superior, paneles tipo sándwich (cubierta) de  $0,24\text{kN/m}^2$ .
- Siendo el total de carga permanente lineal =  $(0,18 + 0,24) \cdot 6 = 2,52 \text{ kN/m}$ .

#### 6.1.2 Cargas variables

Para las cargas variables se tienen en cuenta tanto la sobre carga de uso, como la acción del viento y además de nieve. Para ello se ha de determinar qué tipo de categoría de uso se le va a hacer a la cubierta acorde a su uso. Es decir, aplicar la tabla 3.1 del DB-SE-AE correspondiente con los valores característicos de las sobre cargas de uso.

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

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

Tabla 1 Valores característicos de las sobrecargas de uso

Acorde al uso que va a tener la cubierta, estaríamos en la Categoría de uso G, y dentro de esta sería la de tipo G1, porque la cubierta dispone de una cubierta inferior a los 40°.

Dentro de las cargas variables, se va a tener en cuenta la carga de viento como la de nieve. Si bien para cada uno de ellos se requiere de parámetros diferentes, se parte de unas características similares tales como, su ubicación, la propia estructura de la nave, forma, dimensiones y estar ubicado por debajo de los 2000 metros de altitud.

### 6.1.2.1 Cargas de viento

En concreto, para la carga de acción de viento que vaya a repercutir en la nave mediante la aplicación de una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto en contacto con él, hay que conocer la presión estática que se soporta, determinado por el símbolo  $q_e$ , que a su vez dependen de:

- Coeficiente de presión  $c_p$  → Depende de la forma y orientación, respecto al viento.
- Presión dinámica del viento  $q_b$  → Depende de la ubicación.
- Coeficiente de exposición  $c_e$  → Depende la altura del punto considerado.

Y por tanto expresado como:

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

### 6.1.2.1.1 Coeficiente de exposición

Para el coeficiente de exposición, de acuerdo con el DB SE-AE, se determina, para una altura de construcción no superior a los 200 metros, mediante las siguientes expresiones:

- $c_e = F \cdot (F + 7 \cdot k)$
- $F = k \cdot \ln (\max(z,Z) / L)$

Siendo k, L, Z parámetros característicos de cada tipo de entorno. Para ello, se aplica la siguiente tabla, correspondiente con la tabla D.2 del DB SE-AE:

	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 2 Coeficientes para tipo de entorno*

En aplicación de la tabla anterior, estaríamos en el “Grupo IV Zona urbana en general, industrial o forestal”, cuyos parámetros k, L, Z son 0.22, 0.3 y 5, respectivamente. Siendo z la altura máxima de la nave. Por tanto, aplicación de las fórmulas anteriormente mencionadas:

- $F = k \cdot \ln (\max(z,Z) / L) = 0.22 \cdot \ln(\max(15,5) / 0.3) = 0.900755$
- $c_e = 0.900755 \cdot (0.900755 + 7 \cdot 0.22) = 2.19852$ , tomándose como referencia 2,2 para todas y cada una de las zonas (lados) de la nave.

### 6.1.2.1.2 Coeficientes de presión exterior

Para el cálculo de los coeficientes de presión exterior hay que tener en cuenta todas y cada una de las superficies, tales como, cubiertas y paramentos verticales (paredes).

#### 6.1.2.1.2.1 Paramentos verticales

En el caso de los paramentos verticales, es de aplicación la tabla D.3 Paramentos verticales del DB SE-AE:

A (m <sup>2</sup> )	h/d	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,7	-0,3
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	"	-0,3

Tabla 3 Paramentos verticales

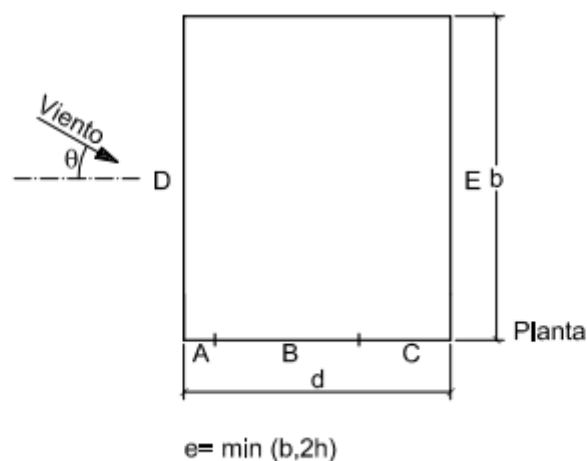
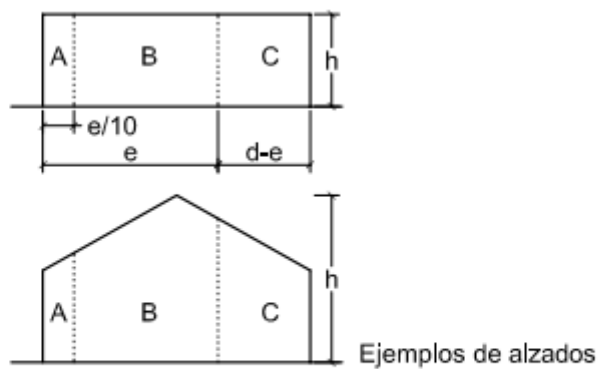


Ilustración 6 Paramentos verticales

Todos los paramentos verticales disponen de una superficie mayor de los  $10 \text{ m}^2$ , por tanto, es de aplicación la primera fila.

A ( $\text{m}^2$ )	h/d	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$				
		A	B	C	D	E
$\geq 10$	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"		0,7	-0,3

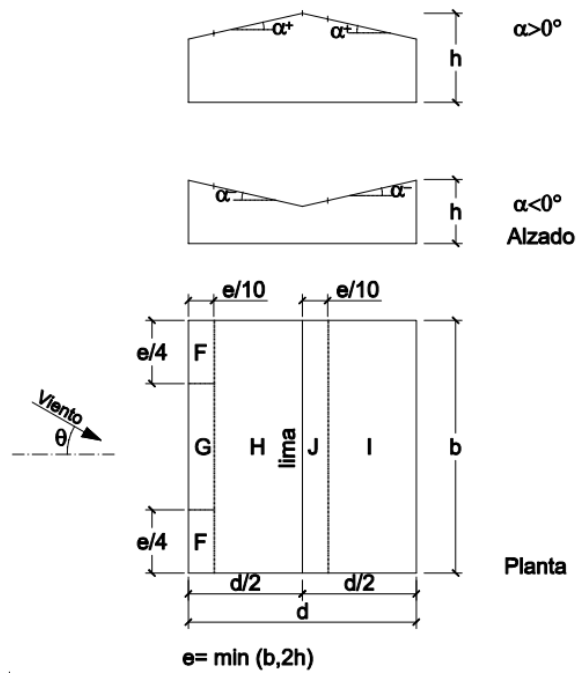
*Tabla 4 Paramentos verticales a aplicar*

Aplicando la Ilustración 3, el valor de  $d = 40$  metros,  $b = 35$  metros, por disponer de un lado más largo y ser el más desfavorable para el cálculo y  $h = 18$  metros. Por tanto,  $h/d = 18 / 40 = 0.45$ , correspondería en tabla con el de  $h/d = 1$ , al ser el inmediato superior. Quedando los coeficientes de las paramentas verticales según las zonas, de la siguiente manera:

- A = -1,2
- B = -0,8
- C = -0,5
- D = 0,8
- E = -0,5

#### 6.1.2.1.2.2 Cubierta a dos aguas

Para conocer los coeficientes de presión exterior, que son de aplicación en una cubierta a dos aguas, es de aplicación la Tabla D.6 Cubiertas a dos aguas de DB SE-AE.



*Ilustración 7 Cubierta a dos aguas*

A tenor de la ilustración anterior, los valores de dichos parámetros quedarían del siguiente modo:

- $\alpha = 8.530^\circ$
- $d = 40$
- $b = 35$
- $h = 15$
- $e = \min(35, 2 \cdot 15) = 30$

Pendiente de la cubierta $\alpha$	A (m <sup>2</sup> )	Zona (según figura)				
		F	G	H	I	J
-45°	≥ 10	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1
	≤ 1	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1,5
-30°	≥ 10	-1,1	-0,8	-0,8	-0,6	-0,8
	≤ 1	-2	-1,5	-0,8	-0,6	-1,4
-15°	≥ 10	-2,5	-1,3	-0,9	-0,5	-0,7
	≤ 1	-2,8	-2	-1,2	-0,5	-1,2
-5°	≥ 10	-2,3	-1,2	-0,8	0,2	0,2
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	-0,6	-0,6
5°	≥ 10	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	0,2
	≤ 1	+0,0	+0,0	+0,0	-0,6	-0,6
15°	≥ 10	-2,5	-2	-1,2	-0,6	0,2
	≤ 1	+0,0	+0,0	+0,0	-0,6	-0,6
30°	≥ 10	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
	≤ 1	0,2	0,2	0,2	+0,0	+0,0
45°	≥ 10	-2	-1,5	-0,3	-0,4	-1,5
	≤ 1	0,2	0,2	0,2	+0,0	+0,0
60°	≥ 10	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
	≤ 1	0,7	0,7	0,4	0	0
75°	≥ 10	-1,5	-1,5	-0,2	-0,4	-0,5
	≤ 1	0,7	0,7	0,4	0	0
85°	≥ 10	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,6	+0,0	+0,0
95°	≥ 10	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,6	+0,0	+0,0
105°	≥ 10	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
115°	≥ 10	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3

Tabla 5 Tabla valores cubierta a dos aguas

Aplicando la tabla anterior, correspondería, a partir de un valor  $\alpha = 8,53^\circ$  y con una superficie de cubierta superior a los 10 m<sup>2</sup>, entrar a la tabla con un valor de  $\alpha = 15^\circ$  al ser el inmediato superior y por tanto más desfavorable, obteniéndose los siguientes valores de:

- F = -0,9
- G = -0,8
- H = -0,3
- I = -0,4
- J = -1

Los valores de coeficiente de presión exterior obtenidos están resumidos en la siguiente tabla, donde los valores negativos indicaran succión mientras que uno positivo sería de presión:

A = -1,2	B = -0,8	C = -0,5	D = 0,8	E = -0,5
F = -0,4	G = -0,8	H = -0,3	I = -0,4	J = -1

Tabla 6 Tabla resumen coeficientes de presión según orientación y superficie.

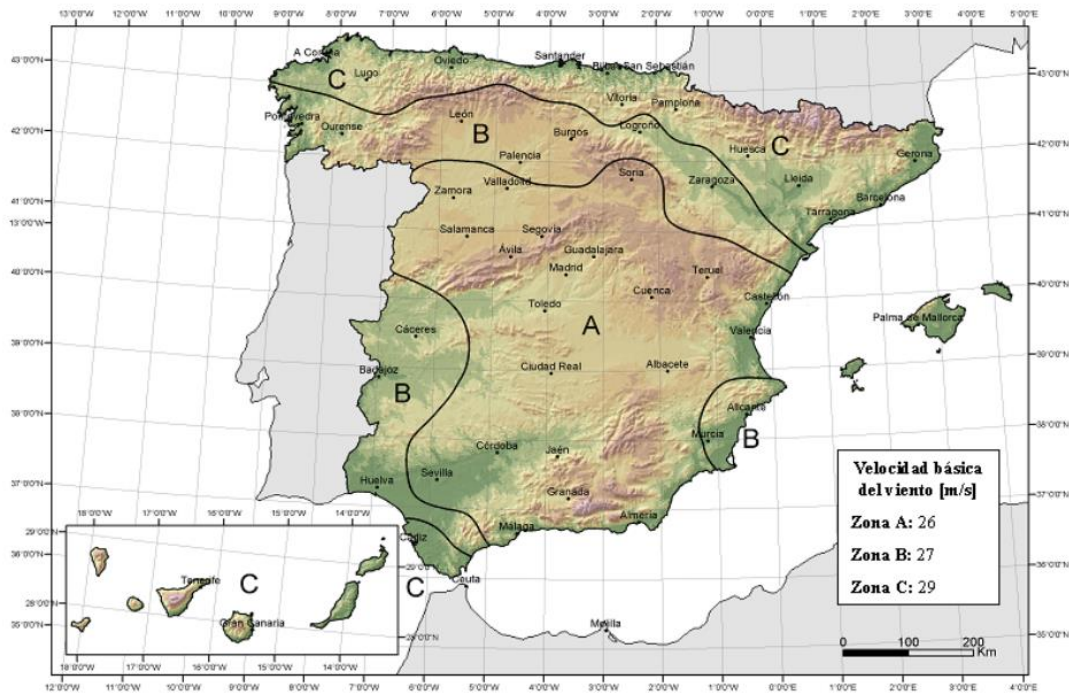
### 6.1.2.1.2.3 Presión dinámica

La presión dinámica, expresado mediante su símbolo  $q_b$ , se obtiene con la siguiente expresión:

$$- q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot V_b^2$$

En dónde  $\delta$  se corresponde la densidad del aire y  $V_b$  el valor básico de la velocidad del viento. Como muestra de referencia de la velocidad, es aquella que se ha tomado durante un periodo de 10 minutos entorno a una altura sobre el nivel del suelo de 10 metros.

Para tomar ese dato de referencia se obtiene del Anejo D, D.1 Presión dinámica, que nos lo proporciona en función de la localización geográfica que nos encontremos.



*Ilustración 8 Mapa de valores de referencia básica de la velocidad del viento*

En este caso, está ubicado en la Comunidad de Madrid, por tanto, le corresponde la letra A, siendo este un valor de referencia básico de la velocidad del viento de 26 m/s

Para obtener el valor de la densidad del aire, depende de, entre otros factores de, la altitud, de la fracción de agua en suspensión y de temperatura ambiental. Como norma general se aplica como valor de densidad del aire  $1,25 \text{ kg/cm}^3$ . Si bien, si el emplazamiento de la nave se encontrase muy próximo a la costa del mar, además de lo anteriormente mencionado, habría que tener en cuenta la acción de rocío, pues repercute de manera directa en la densidad del aire, haciendo que ésta sea mayor.

Por tanto, el valor básico de la presión dinámica del viento quedaría de la siguiente manera:

$$- q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot V_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 26^2 = 422,5 \text{ N/m}^2 = 0,4225 \text{ kN/m}^2$$



### 6.1.2.2 Resultado de las cargas de viento

Ante los cálculos realizados, para determinar los coeficientes de presión exterior, correspondientes en todos sus puntos, determinados desde la letra A ala J, ambas inclusive. El valor del coeficiente de presión exterior en cada uno de sus puntos son los siguientes:

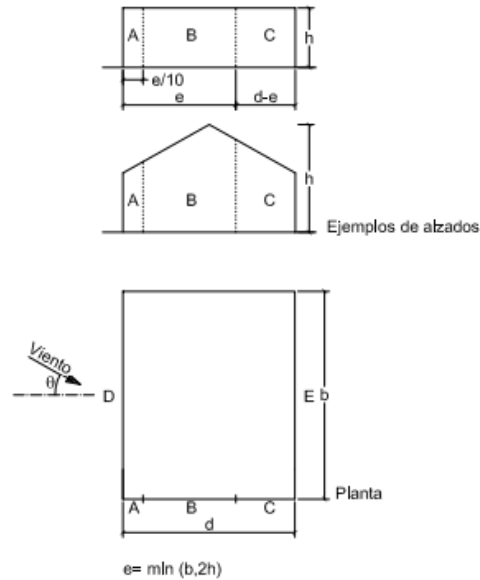


Ilustración 9 Paramentos verticales A-B-C-D-E

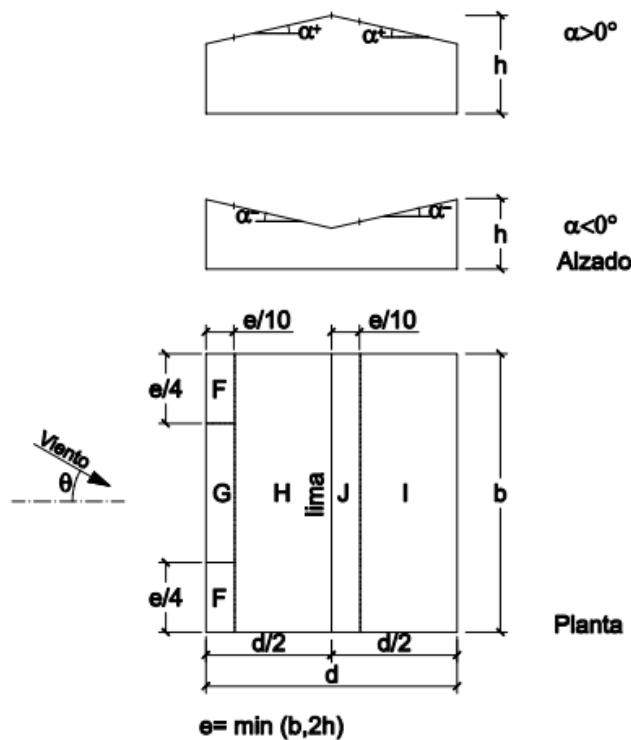


Ilustración 10 Cubierta a dos aguas. F-G-H-I-J

-  $q_e = c_p \cdot q_b \cdot c_e$ ; dónde  $c_e = 2,2$  y  $q_b = 0,4225 \text{ kN/m}^2$ ,

Por tanto:

- Punto A  $\rightarrow q_e = -1,2 \cdot 0,4225 \cdot 2,2 = -1,1154 \text{ kN/m}^2$
- Punto B  $\rightarrow q_e = -0,8 \cdot 0,4225 \cdot 2,2 = -0,7436 \text{ kN/m}^2$
- Punto C  $\rightarrow q_e = -0,5 \cdot 0,4225 \cdot 2,2 = -0,46475 \text{ kN/m}^2$
- Punto D  $\rightarrow q_e = 0,8 \cdot 0,4225 \cdot 2,2 = 0,7436 \text{ kN/m}^2$
- Punto E  $\rightarrow q_e = -0,5 \cdot 0,4225 \cdot 2,2 = -0,46475 \text{ kN/m}^2$
- Punto F  $\rightarrow q_e = -0,4 \cdot 0,4225 \cdot 2,2 = -0,3718 \text{ kN/m}^2$
- Punto G  $\rightarrow q_e = -0,8 \cdot 0,4225 \cdot 2,2 = -0,7436 \text{ kN/m}^2$
- Punto H  $\rightarrow q_e = -0,3 \cdot 0,4225 \cdot 2,2 = -0,27885 \text{ kN/m}^2$
- Punto I  $\rightarrow q_e = -0,4 \cdot 0,4225 \cdot 2,2 = -0,3718 \text{ kN/m}^2$
- Punto J  $\rightarrow q_e = -1 \cdot 0,4225 \cdot 2,2 = -0,9295 \text{ kN/m}^2$

Dado los resultados obtenidos en el cálculo de las cargas de viento, se puede observar como el único punto de presión positiva es la cara frontal de la nave, dónde se corresponde el acceso de mayor dimensión, es decir, con el portón principal, siendo el resto de los puntos de presión negativa correspondiéndose con succión.

Los datos obtenidos anteriormente son parametrizados de manera interna por CYPE al indicarle determinados datos como, ubicación, tipo de instalación entre otros.

### 6.1.2.3 Acciones térmicas

No se disponen de juntas de dilatación, así como no se disponen de elementos continuos cuya envergadura sea superior a los 40 metros de longitud, por tanto, no contemplan las acciones térmicas, tal y como viene recogido en DB SE-AE en el punto 3.4.1.

### 6.1.2.4 Cargas de nieve

Es un elemento que depende de las condiciones climatológicas del entorno, es un elemento muy relevante a tener en cuenta puesto que su no contemplación, así como como evaluarlo muy deficientemente, puede tener consecuencias irreparables o bien muy costosas.

#### 6.1.2.4.1 Cálculo de las cargas de nieve

Aunque se trate de un elemento natural, se han de considerar la hipótesis de los depósitos de nieve por acumulación. Para su cálculo es necesario conocer la carga de nieve por unidad de superficie de protección, dado por la siguiente fórmula:

- $q_n = \mu \cdot S_k$

Dónde:

- $\mu \rightarrow$  Es un coeficiente de forma de la cubierta.
- $S_k \rightarrow$  Valor característico de la carga de nieve sobre el terreno.

Tal y como recoge la norma, el tratarse de una construcción protegida de la acción del viento, es posible reducir el valor de la carga de nieve en 20%.

#### 6.1.2.4.1.1 Determinar el valor característico de la carga de nieve

En aplicación de la siguiente ilustración se determina en que zona está ubicado la construcción para posteriormente determinar el valor característico de la carga de nieve.



*Ilustración 11 Zonas climáticas de invierno.*

La construcción está ubicada en Madrid, por lo que, según la ilustración anterior estamos en la Zona 4.

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 7 Valores de sobrecarga de nieve en un terreno.

Una vez conocido la zona, se entra en la Tabla 6 a partir de una altitud, que en el caso de este proyecto esté situado en 195 metros. Por ser el inmediato superior, correspondería entrar con una altitud de 200 metros, y en la zona 4 corresponde un valor de  $S_k$  de  $0,2 \text{ kN/m}^2$ .

#### 6.1.2.4.1.2 Determinar el valor del coeficiente de forma

La caída de nieve sobre la cubierta puede provocar depósitos irregulares sobre la misma. Por tanto, el espesor de esa nieve acumulada puede diferente en cada faldón.

Según la norma estima en el CTE DB SE-AE en el punto, 3.5.3, el coeficiente de forma  $\mu = 1$  para aquellas cubiertas con una inclinación  $\leq 30^\circ$ .

#### 6.1.2.4.2 Resultado de la carga de nieve

En aplicación de la fórmula de carga de nieve:

$$- \quad q_n = \mu \cdot S_k = 1 \cdot 0,2 = 0,2 \text{ kN/m}^2.$$

## 6.2 Fenómeno Pandeo

El fenómeno del pandeo se produce en todos aquellos elementos estructurales que están sometidos a algún tipo de compresión. El propio fenómeno de pandeo supone una situación de inestabilidad elástica que, aunque en principio no tiene por qué ser destructiva, puede repercutir en el resto de los elementos de la estructura de la nave. Y una deformación por encima de la zona elástica del material, implicaría roturas o fisuras irreversibles e incluso el colapso.



*Ilustración 12 Colapso estructura por pandeo lateral-torsional.*

Por tanto, el pandeo es un fenómeno que se ha de evitar y que se debe conocer cuál es la máxima carga crítica que se pueda aplicar en los elementos que forman la estructura, de modo que, por encima de esa cantidad tendría lugar dicho fenómeno.

La carga crítica se corresponde con aquel esfuerzo axial como consecuencia de una mala alineación o mal equilibrio estable.  $P_{cr} = \frac{EI\pi^2}{L^2}$

Otro de los elementos para tener en cuenta son los pilares que están unidos a otras piezas, es la longitud de pandeo,  $L_k$ . Dicha longitud de pandeo es proporcionada por CYPECAD a partir del coeficiente de pandeo,  $\beta$ , aplicándose la siguiente fórmula:

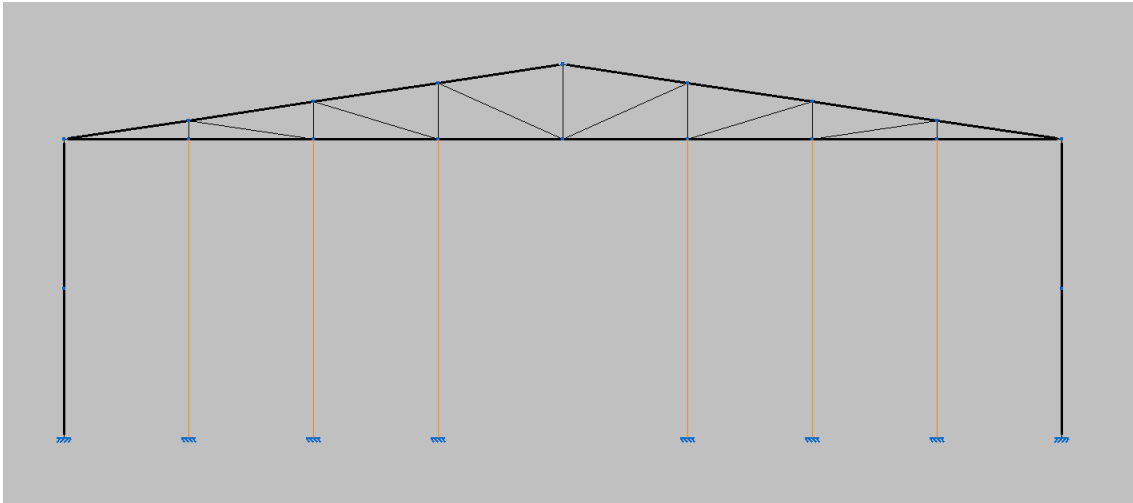
- $L_k = \beta \cdot L$ , siendo  $L$ , la longitud inicial de la barra.

Dónde el coeficiente de pandeo,  $\beta$ , se obtiene a partir de la siguiente tabla de DB SE-A

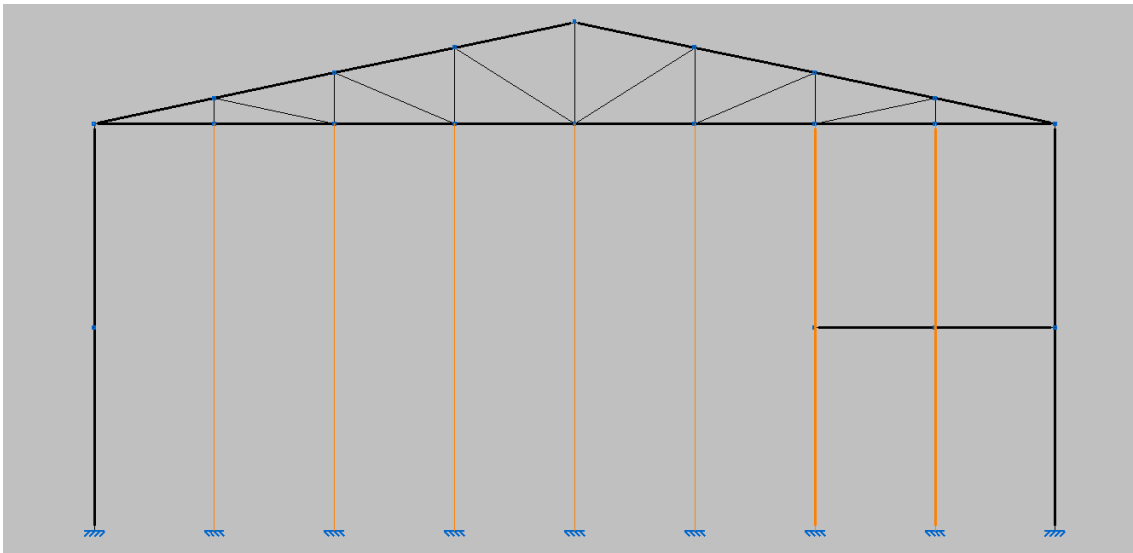
Condiciones de extremo	biarticulada	biempotrada	empotrada articulada	biempotrada desplazable	en ménsula
Longitud $L_k$	1,0 L	0,5 L	0,7 L	1,0 L	2,0 L

*Tabla 8 Tabla coeficientes de pandeo*

### 6.2.1 Pilares frontales y traseros

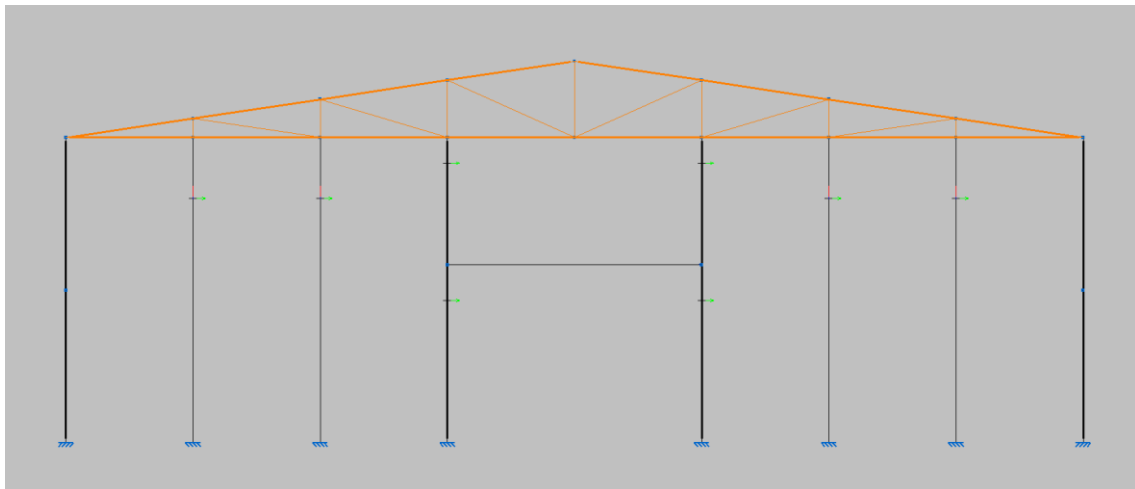


*Ilustración 13 Pilares frontales*



Para los pilares delanteros como para los traseros, al ser elementos empotrados en extremo y articulados en el otros, le corresponde un  $\beta = 0,7$ .

### **6.2.2 Celosía americana**



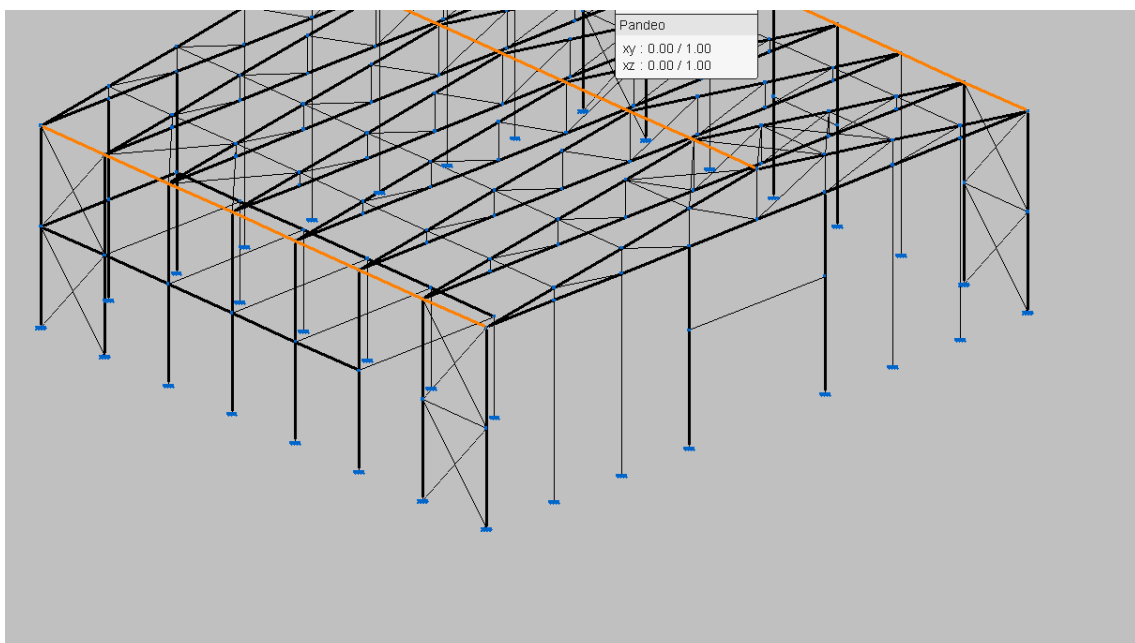
*Ilustración 14 Celosía Americana identificado de color naranja.*

Elemento estructural formado por diferentes elementos estructurales, viga superior, inferior, diagonales y montantes, que permiten disponer de unas celosías más robustas, en tracción y compresión, en comparación con otros tipos, pero también de las más pesadas.

Las barras inferiores están a tracción, por lo que tienen un  $\beta = 1$ , siendo la longitud de pandeo igual a la longitud de la barra.

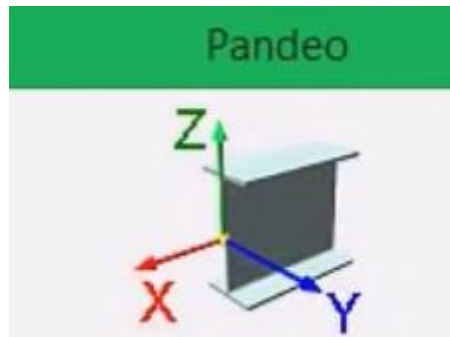
Para los montantes, que están a compresión también se aplica un coeficiente de pandeo de  $\beta = 1$ .

### 6.2.3 Vigas de atado



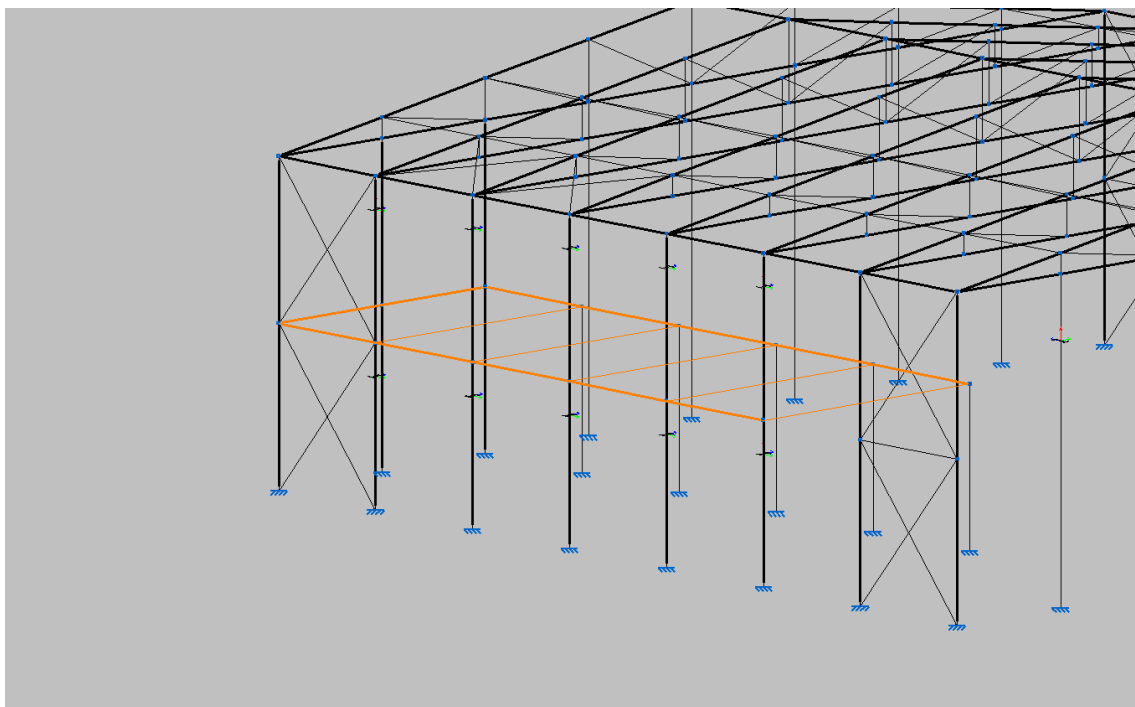
*Ilustración 15 Vigas de atado identificadas de color naranja.*

Como todas las correas principales están atando todos los pórticos, dichas barras no deberían pandear porque la estructura está coaccionada con las correas y con el muro lateral. Por tanto, no deberían pandear ni en su eje débil XY, ni en su eje fuerte XZ, siendo su  $\beta = 0$ .



*Ilustración 16 Sistema de orientación del pandeo.*

#### 6.2.4 Barras suelo oficinas

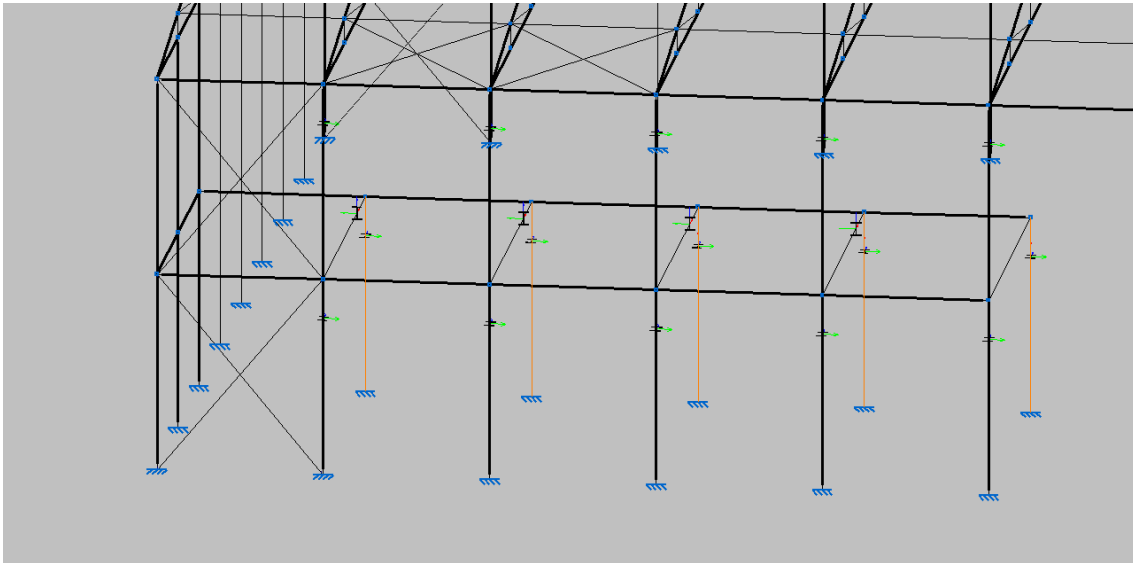


*Ilustración 17 Barras suelo zona oficinas identificado de color naranja.*

Las barras que forman parte de la estructura de la zona cuyo uso sería de la zona de oficinas, no pueden pandear porque están coaccionadas con la estructura rígida propia del forjado del suelo de la zona de oficinas. Por tanto, dispondrán de un  $\beta = 0$ .



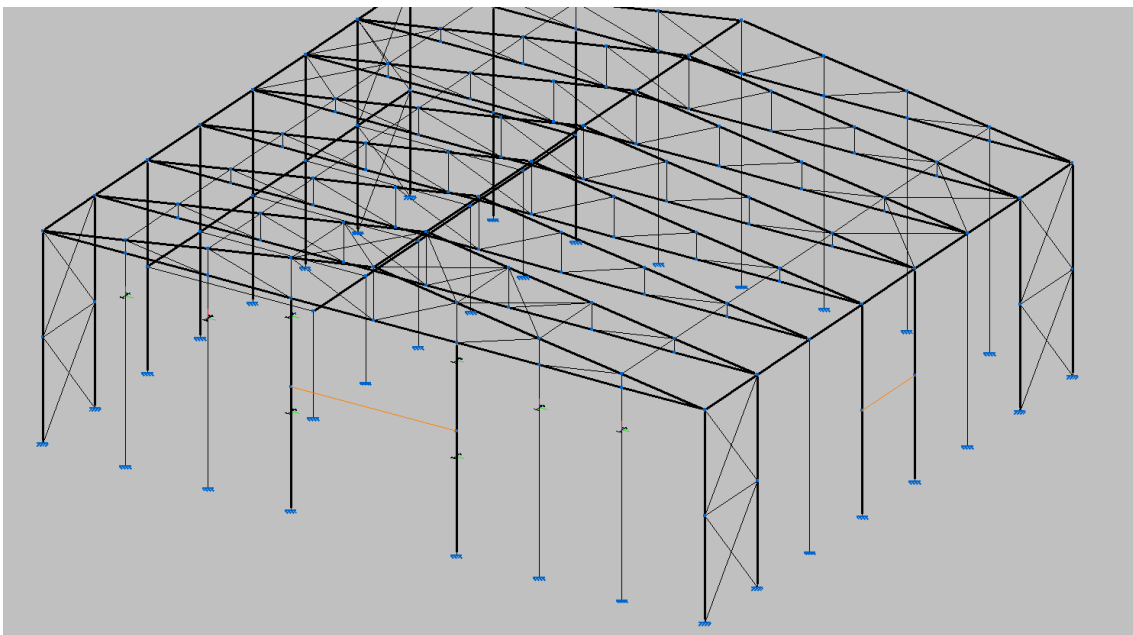
### 6.2.5 Pilares interiores que soportan el suelo de la zona de oficinas.



*Ilustración 18 Pilares interiores identificados de color naranja.*

Este tipo de barras sí que pueden pandear debido a que no están coaccionadas con ningún tipo de cerramiento, debido a que se encuentra empotrado en cimentación y articulada en la parte superior, correspondiéndole un  $\beta = 0.7$ , tal y como viene recogido en la norma mencionada anteriormente.

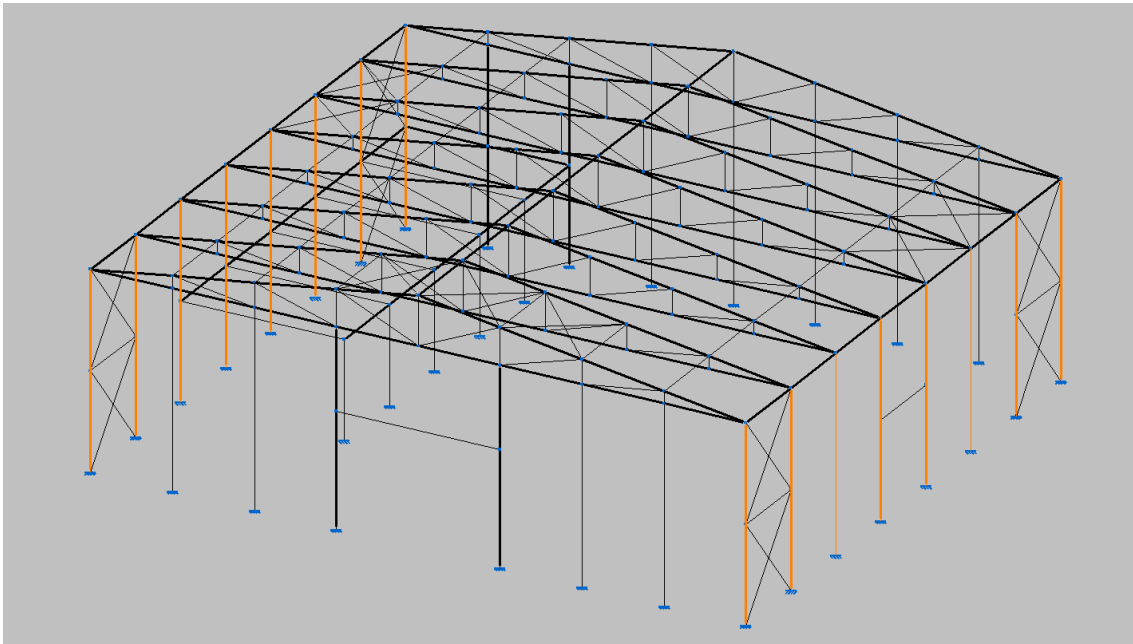
### 6.2.6 Vigas de los huecos.



*Ilustración 19 Vigas de los huecos color naranja.*

Son barras biarticuladas en sus extremos, por tanto, le corresponde un  $\beta = 1$ .

### 6.2.7 Pilares laterales.



*Ilustración 20 Pilares laterales identificados de color naranja.*

El  $\beta$  aplicado para estos pilares, al soportar la mayor parte de las cargas, se ha sobredimensionado, aplicando un  $\beta = 1,2$ , cuando según la norma, al menos ha de ser de  $\beta = 0.7$ , por ser empotrado en su parte inferior y articulado en la superior.

## Capítulo 7. Dimensionado de perfiles

### 7.1 Selección del tipo de perfil

El material escogido para la estructura es el acero S275. Desde el punto de vista comercial es uno de los más empleados, por lo que su adquisición y accesibilidad es mucho más económica que otros, así como por el de sus propiedades. Que son las siguientes:

Material		E (MPa)	$\nu$	G (MPa)	$f_y$ (MPa)	$\alpha_t$ (m/m°C)	$\gamma$ (kN/m³)
Tipo	Designación						
Acero laminado	S275	210000.00	0.300	81000.00	275.00	0.000012	77.01

*Notación:*  
*E: Módulo de elasticidad*  
 *$\nu$ : Módulo de Poisson*  
*G: Módulo de cortadura*  
 *$f_y$ : Límite elástico*  
 *$\alpha_t$ : Coeficiente de dilatación*  
 *$\gamma$ : Peso específico*

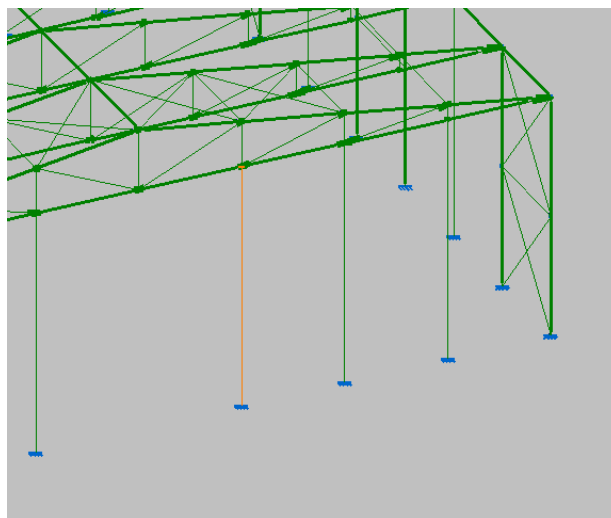
*Ilustración 21 Características perfil empleado, S275*

El criterio de la selección del tipo de barra a emplear a cada uno de los siguientes partes viene determinado por que cumpla con , entre otros:

- Resistencia de las barras a tracción.
- Resistencia de las barras a compresión.
- Resistencia a esfuerzos axiales.
- Comprobación de vibraciones.
- Resistencia de las barras a flexión.
- Comprobación de la Interacción entre sí de los puntos anteriores.
- Pandeo.
- Momento.

Aun cumpliendo con todas estas condiciones, estimadas por el programa CYPE, seleccionar aquel perfil que permita disponer de un mayor aprovechamiento. Que quiere decir, disponer de un perfil, tal que, sea lo más optimizado posible, evitando sobre dimensionamientos innecesarios y el consiguiente coste ecónimo y técnico, entre otros.

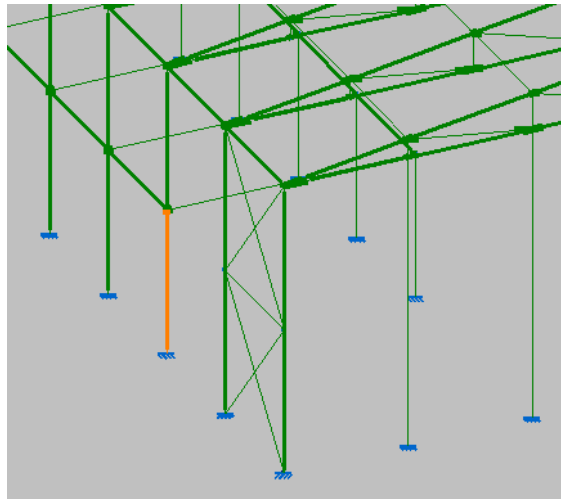
### 7.1.1 Pilares parte frontal



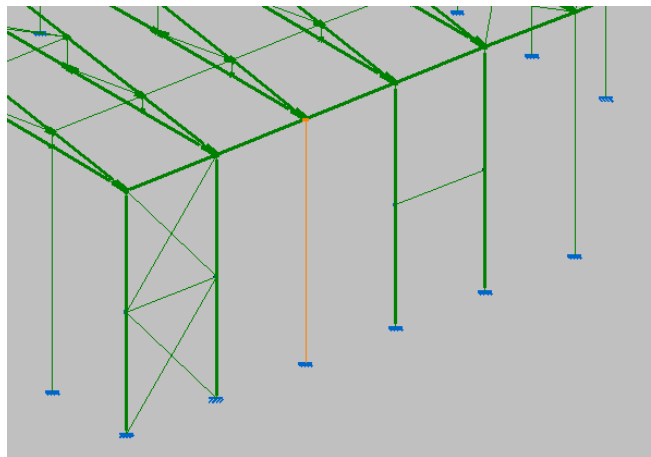
*Ilustración 22 Datos pilar frontal.*

Se emplea en los pilares frontales HE 280 B con un aprovechamiento de resistencia del 41.33% y un aprovechamiento de flecha del 61.98%.

### 7.1.2 Pilares laterales



*Ilustración 23 Datos pilares laterales zona oficinas.*

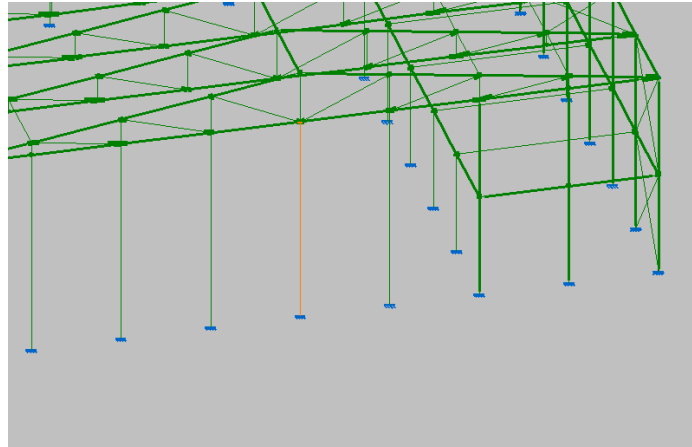


*Ilustración 24 Datos pilares laterales.*

Por las propias características del diseño, el lateral de la zona oficinas se requiere un pilar de tipología superior, es decir, ms resistente, frente a las de su lado opuesto, determinado porque ha de sostener parte del peso del suelo de la zona de oficinas.

Por tanto, los pilares laterales del tipo HE300B con un aprovechamiento de resistencia y flecha del 35.12% y 38.44%, respectivamente.

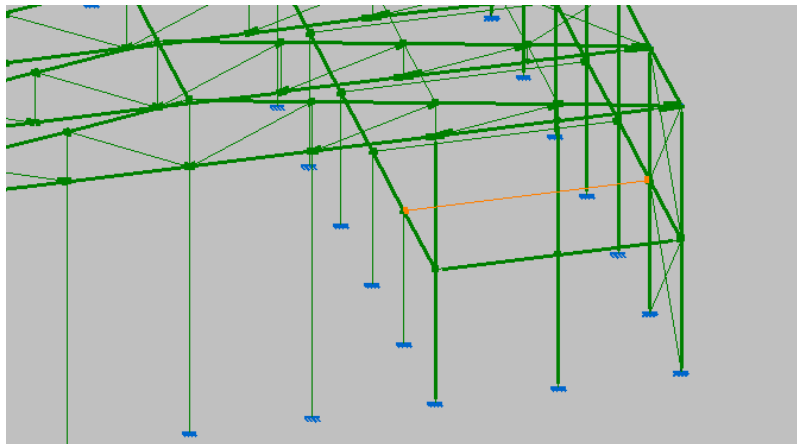
### 7.1.3 Pilares parte trasera



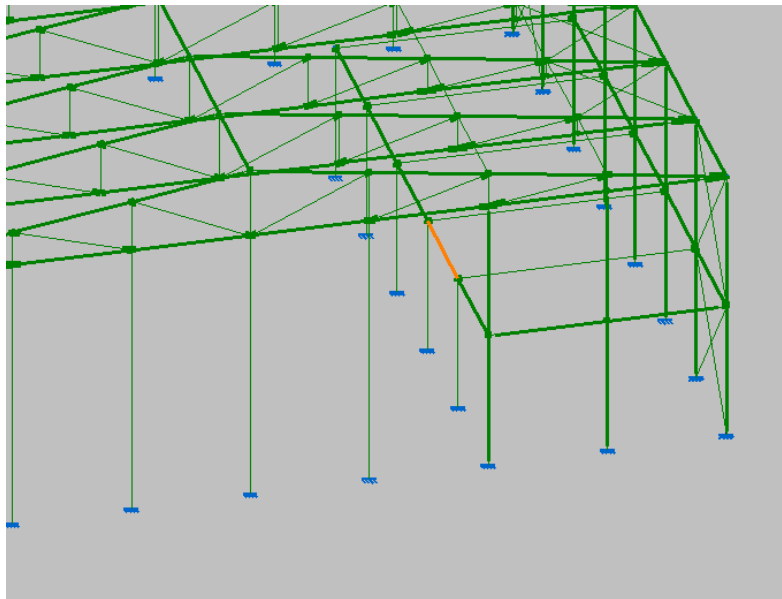
*Ilustración 25 Datos pilares traseros.*

Para los pilares de la parte trasera se va a ser uso de HE 260 B, se escoge por el pilar más optimizado, en comparación con los otros perfiles, obteniendo un aprovechamiento de resistencia y flecha de 46.38% y 68.11%, respectivamente.

#### **7.1.4 Vigas suelo oficinas**



*Ilustración 26 Datos Viga horizontal suelo oficina.*

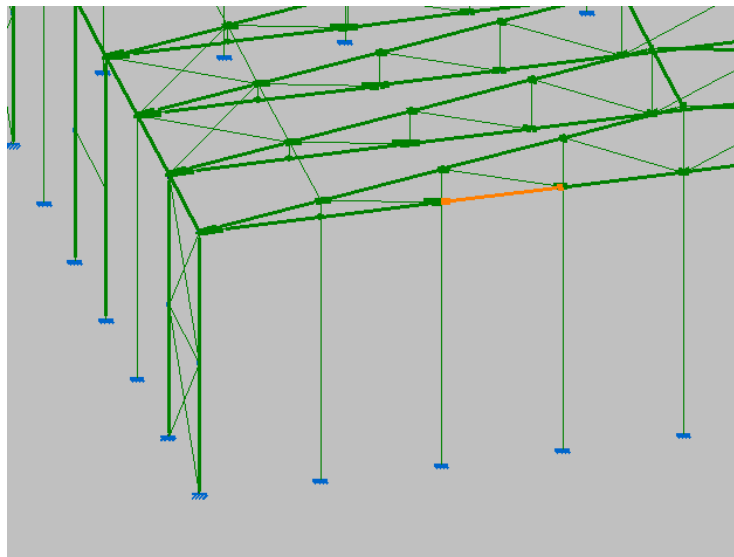


*Ilustración 27 Datos barra lateral suelo oficinas.*

Para la zona del suelo de oficinas se emplean en barras de 10m, tanto longitudinales HE 120 B como transversales HE 220 B, con un aprovechamiento de flecha de 30.74% y 46.68%, y un aprovechamiento de resistencia de 20.93% y 85.99%, respectivamente.

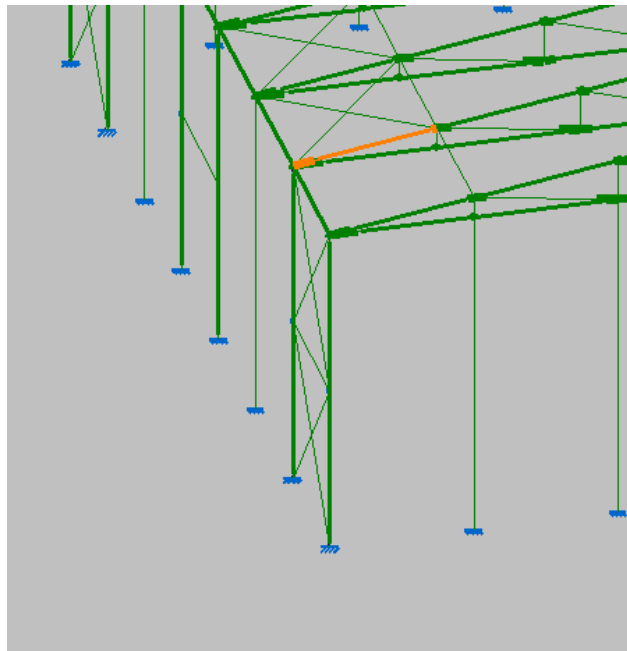
### 7.1.5 Barras celosía

- Parte inferior



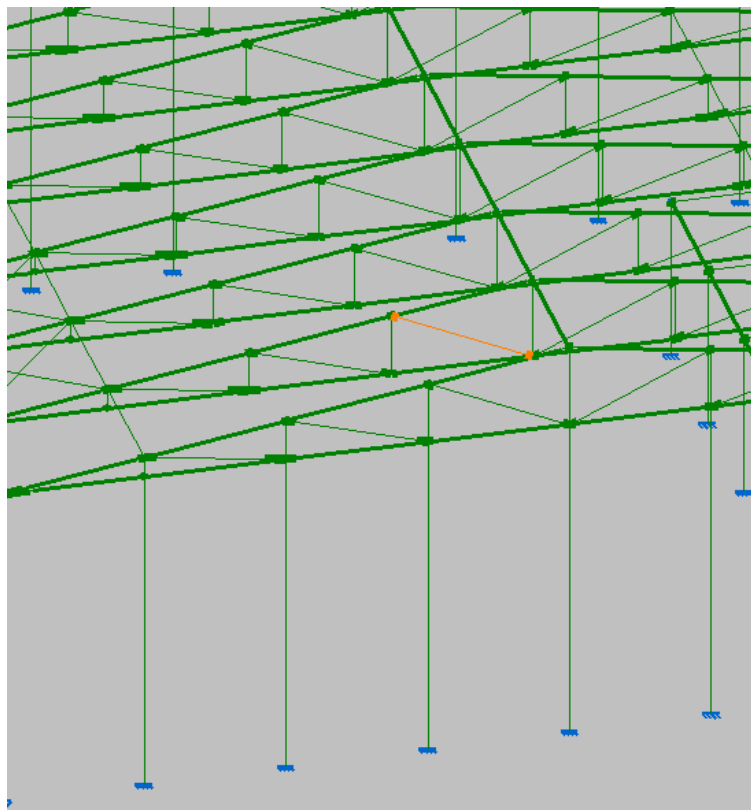
*Ilustración 28 Datos barra inferior de la celosía.*

- Parte superior



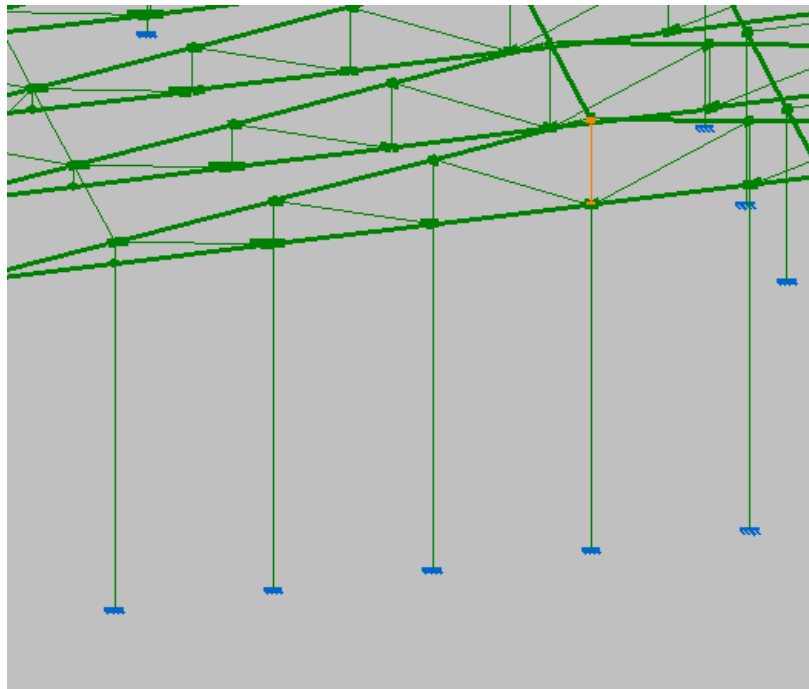
*Ilustración 29 Datos parte superior celosía.*

- Barras diagonales



*Ilustración 30 Datos barra diagonal de la celosía.*

- Barras intermedias



*Ilustración 31 Datos barras intermedias de la celosía.*

## 7.2 Flecha máxima

En este tipo de edificaciones si se considera la integridad de los elementos constructivos, es decir, comprobar la capacidad que poseen elementos constructivos estructurales frente a una combinación de acciones características en el que se considera las deformaciones en los elementos una vez colocado.

La flecha indicaría cuánto de sometido esta la barra como consecuencia de fuerzas verticales a las cuales pudiera estar sometido. Esto es de aplicación, tal y como viene recogido en CTE DB-SE, los siguientes valores:

- Flecha relativa<sup>1</sup>  $L > 1/300$ .

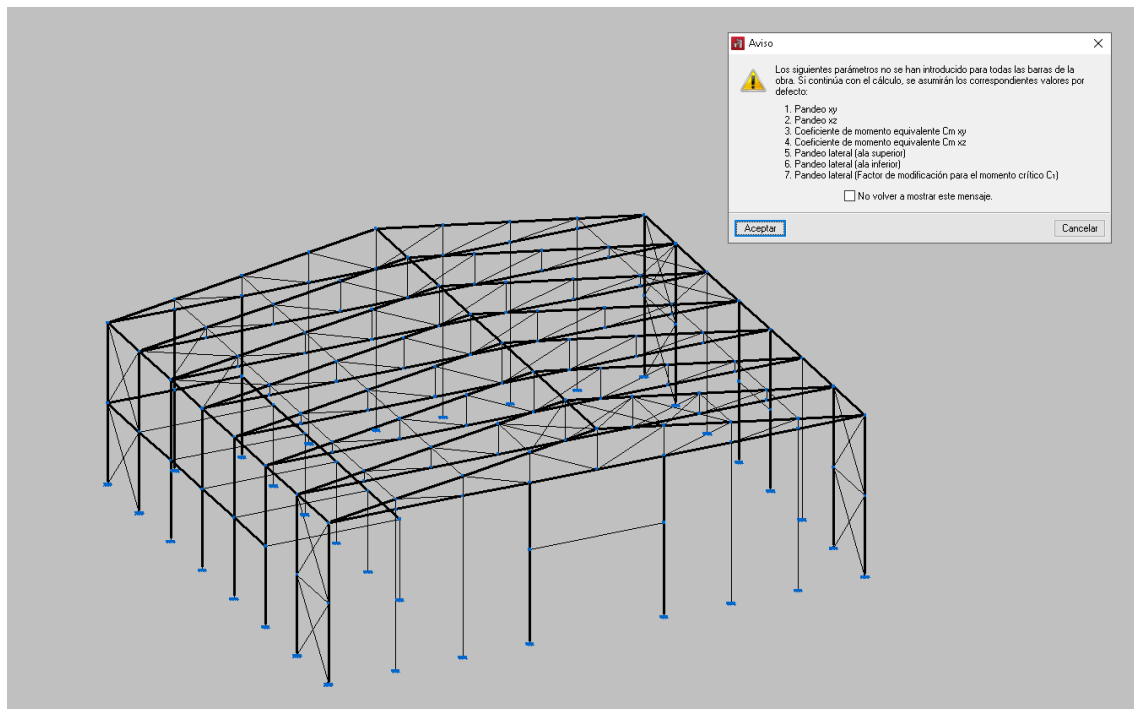
## 7.3 Generalidades

Todas y cada una de las barras empleadas han sido analizadas y verificadas en aplicación del CTE DB SE-A cumpliendo con la seguridad y los límites establecidos en la norma y por tanto evitando deformación no contempladas entre otros.

---

<sup>1</sup> Definición según CTE DB-SE: Descenso máximo de vano respecto al extremo de la pieza que lo tenga menor, dividida por la luz del tramo. En el caso de voladizos se considerará como luz el doble del vuelo.





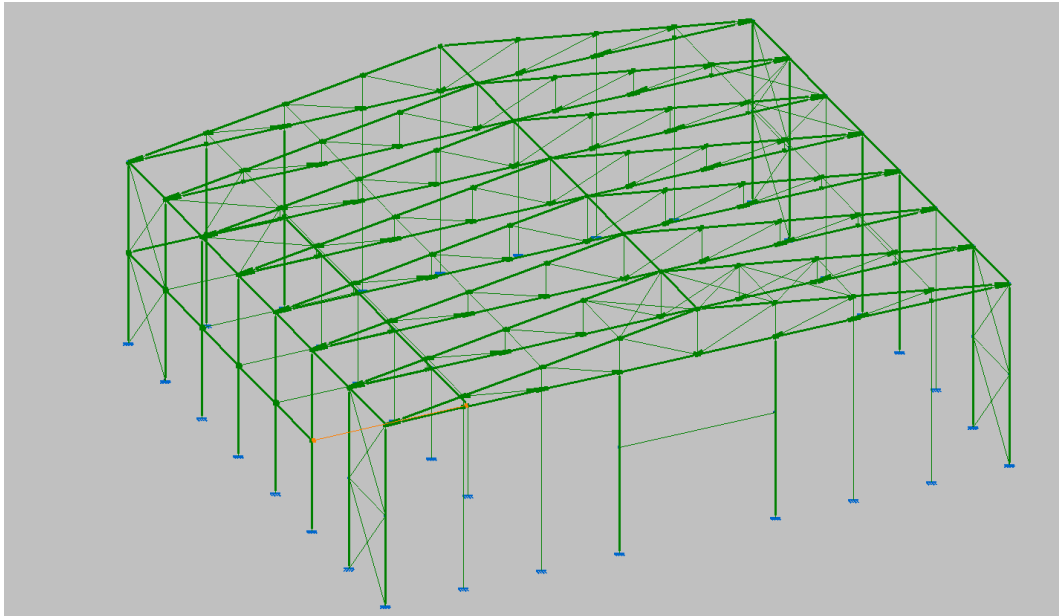
*Ilustración 32 Alerta de comprobación sobre parámetros no establecidos.*

Una vez dimensionado todas y cada de las barras, se procede con la comprobación tanto individual como en el conjunto de la estructura, y en el caso de que hubiere parámetros no dimensionados, salta un aviso indicando sobre ello, tal y como muestra la ilustración anterior, para que se proceda a su revisión antes de continuar.

Como se observa en la ilustración anterior, cuando uno de los parámetros no ha sido determinado o bien establecido, se le indica al usuario media esa señal de aviso. Una vez subsanado, dicha advertencia se procede con la comprobación.

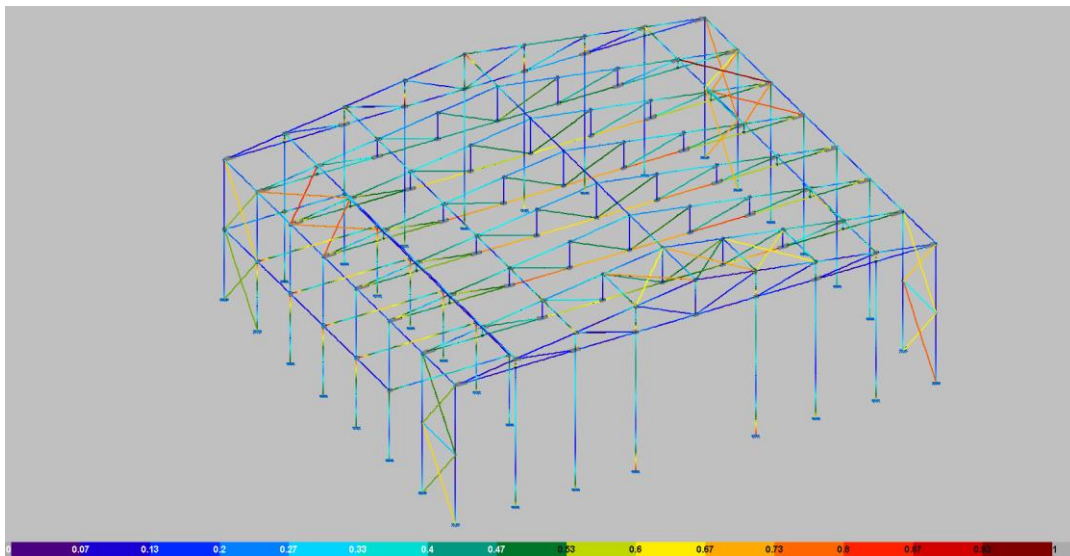
Si hubiera algún incidente o elemento que cumpliera, se indicaría con la barra en cuestión de color rojo y seleccionando dicha barra se abre una ventana con información adicional.

Por el contrario, si fuera todo de manera correcta, cumpliendo con normativa y con todas las características técnicas que se comprueban, se obtiene la siguiente ilustración. En dónde, todas y cada una de las barras salen de color verde, mostrando así que su dimensionado establecido es correcto y conforme a normativa.



*Ilustración 33 Resultado tras realizar la comprobación de elementos.*

### 7.3.1 Gráfico de tensión/aprovechamiento



*Ilustración 34 Gráfico tensión/aprovechamiento.*

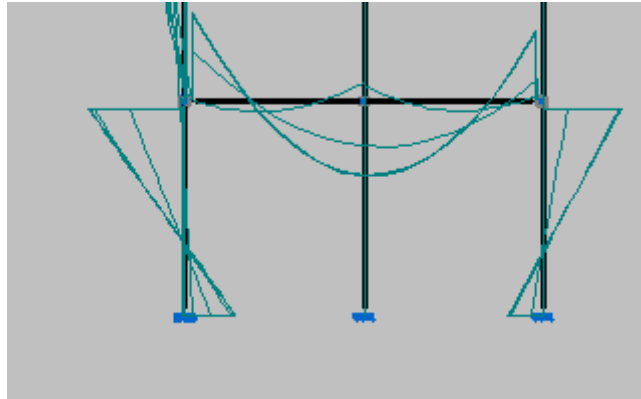
El gráfico muestra, con respecto a cada barra, cuánto se está aprovechando de la misma, es decir, su capacidad de resistencia, siendo 1 el valor máximo correspondiente al 100% de su capacidad y en color rojo fuerte.

Colores cálidos reflejan cercanía a sus valores máximos de resistencia, frente a colores más fríos. En términos generales la estructura se encuentra dentro de sus límites máximos o suficiente margen de resistencia o aprovechamiento de la pieza y de la estructura en su conjunto.

La estructura se encuentra sobredimensionada, tal y como es de esperar, en coherencia los perfiles seleccionados y por el propio diseño de la estructura. Permitiendo así, soportar cargas

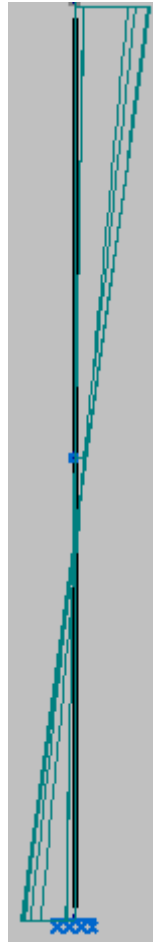
adicionales como nieve y viento, con valores muy por el encima de los calculados de acuerdo a normativa.

### 7.3.2 Gráfico de momentos, zona de oficinas



*Ilustración 35 Gráfico momento, zona de oficinas.*

En esta imagen frontal de la zona de oficinas, se muestra la gráfica típica de un pórtico con una carga distribuida en su parte superior, siendo la parte superior el suelo de la zona de oficinas. En cuanto a sus valores, momentos máximos de 250 kN·m para la parte superior de los pilares y la mitad para la parte inferior de los mismos. Es un gráfico típico de prontuario con estas características.



*Ilustración 36 Diagrama de momentos, pilar lateral.*

Imagen del gráfico de momentos de los pilares laterales correspondiente a la zona opuesta de la zona de oficinas, también es un gráfico tipo de un pilar con una carga en su parte superior. Siendo su momento máximo de 90 kN·m.

Por tanto, en términos generales, los gráficos obtenidos son acorde al tipo de estructura y son los esperados. Se deduce que la zona lateral de oficinas soporta una mayor carga frente a zona opuesta. A nivel estructural, la estructura está dentro de sus límites y con margen suficiente para soportar una carga superior.

## Capítulo 8. Uniones de la estructura

Se determina el uso de uniones soldadas frente al uso de tornillería evitando así la aparición de fisuras, entalladuras, problemas de humedad, óxido sobre superficie del material de la estructura, entre otros.

Si bien, se requiere de material y personal cualificado para tales tareas.

## 8.1 Preparación

La preparación del para el soldeo se llevar a cabo media una inspección visual previa para determinar posibles irregularidades sobre la superficie. Los elementos que van a ser soldados ya se encuentran en su posición y están fijados mediante dispositivos adecuados o bien porque se les ha realizado soldaduras de punteo.

Tras realizar la soldadura se llevará a cabo la comprobación de tolerancias de distorsión y contracción que estuvieran fuera de tolerancias.

## 8.2 Disposiciones constructivas

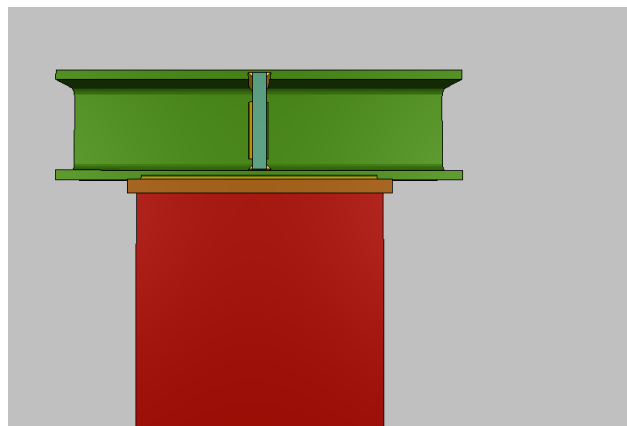
Es requisito que el material disponga de al menos 4mm de espesor y que el acero sea soldable. Las piezas que se van a soldar han de estar en una disposición entre sí de  $60^\circ$  y  $120^\circ$  permitiendo que produzca una transmisión de esfuerzos.

Se ha de emplear una longitud efectiva, no inferior a 40 mm o bien seis veces el ancho de la garganta, de un cordón de soldadura. Se tomarán las medidas necesarias para evitar que el desgarro laminar.

Se cogerá como referencia las uniones que considero más relevantes para su análisis:

- Viga horizontal con el pilar.
- Anclaje de pilar con el terreno.

## 8.3 Viga horizontal con el pilar



*Ilustración 37 Unión soldada de la viga con el pilar.*

Se trata de las uniones más empleadas a nivel estructural en este tipo de construcciones. En concreto en el proyecto se ha empleado como viga de HE 220 B y el pilar el HE280B.

### 8.3.1 Cordones de soldadura

Es de aplicación cuando los elementos que se van a unir por soldadura tienen un espesor mínimo de 4 mm y son sondables entre ellos.

La soldadura en ángulo solo se puede emplear en cuyas caras, el ángulo que conforman, está comprendido entre 60° y 120°

- Si en ángulo es superior a los 120°

### 8.3.2 Resistencia de cálculo en las soldaduras en ángulo

En este tipo de uniones de uniones se estima que se produce una distribución uniforme de sus tensiones y por tanto sus esfuerzos transmitidos por unidad de longitud se podrán descomponer. Siendo de aplicación las soldaduras en ángulo siempre y se ha comprobar numéricamente la resistencia por unidad de longitud del cordón. Por lo que se ha de comprobar la siguiente condición del CTE DB SE-A 8.6.2 :

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$
$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

*Ilustración 38 Fórmula resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo.*

Dónde:

- $\sigma_{\perp}$ : Tensión normal perpendicular al plano de la garganta.
- $\tau_{\perp}$ : Tensión tangencial perpendicular al eje del cordón.
- $\tau_{//}$ : Tensión tangencial paralelo al eje del cordón.
- $f_u$ : Resistencia ultima a tracción de la pieza Acero S 275.
- $\beta_w$ : Coeficiente de correlación dado. Ver tabla de abajo.
- $\gamma_{M2}$ : Coeficiente de seguridad para resistencia última, siendo el empleado de 1.25.

Acero	$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
S 235	360	0,80
S 275	430	0,85
S 355	510	0,90

*Tabla 9 Coeficientes de correlación según tipo de acero.*

### 8.3.3 Comprobación resistencia viga HE 280 B a la soldadura

Datos para comprobación de resistencia aportada por el programa CYPECAD.

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{//}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	86.2	86.2	0.9	172.4	44.67	86.2	26.27	410.0	0.85
Soldadura del alma	40.0	40.0	12.4	82.9	21.47	40.0	12.20	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	77.3	77.3	0.7	154.6	40.07	77.3	23.57	410.0	0.85

*Ilustración 39 Comprobación de resistencia para barras tipo HE 280 B*

En aplicación de la fórmula de resistencia a la soldadura, se aplica tanto a la soldadura del ala superior, soldadura del alma como a la soldadura del ala inferior.

Datos obtenidos mediante CYPE en la comprobación para la soldadura del ala superior:

- $\sigma_{\perp} = 86.2 \text{ N/mm}^2$ .
- $\tau_{\perp} = 86.2 \text{ N/mm}^2$ .
- $\tau_{//} = 0.9 \text{ N/mm}^2$ .
- $f_u = 430 \text{ N/mm}^2$ .
- $\beta_w = 0.85 \text{ N/mm}^2$ .
- $\gamma_{M2} = 1.25 \text{ N/mm}^2$ .

Aplicando a la fórmula anterior quedaría:

$\sqrt{86.2^2 + 3 \cdot (0.9^2 + 86.2^2)} \leq \frac{430}{0.85 \cdot 1.25} \rightarrow 172.4 \leq 400 \rightarrow$  Se cumple que las soldaduras de ángulo son suficiente para las tensiones de cálculo empleadas en el ala superior.

Datos obtenidos en la comprobación para los bordes exteriores del ala:

- $\sigma_{\perp} = 40 \text{ N/mm}^2$ .
- $\tau_{\perp} = 40 \text{ N/mm}^2$ .
- $\tau_{//} = 12.4 \text{ N/mm}^2$ .
- $f_u = 430 \text{ N/mm}^2$ .
- $\beta_w = 0.85 \text{ N/mm}^2$ .
- $\gamma_{M2} = 1.25 \text{ N/mm}^2$ .

Aplicando a la fórmula quedaría:

$\sqrt{40^2 + 3 \cdot (12.4^2 + 40^2)} \leq \frac{430}{0.85 \cdot 1.25} \rightarrow 72 \leq 400 \rightarrow$  Se cumple que las soldaduras de ángulo son suficiente para las tensiones de cálculo empleadas en los bordes exteriores del ala.

Tras realizar las comprobaciones numéricas, se cumple la ecuación, por tanto, la soldadura es favorable y cumple.

### 8.3.4 Comprobar resistencia viga HE 280 B a corte

Tal y como se menciona en el CTE el punto 6.2.1 “ La capacidad resistente para cualquier clase de esfuerzo o combinación de esfuerzos se obtendrá a partir de la distribución de tensiones que optimice el valor de la resistencia, que equilibre el esfuerzo o la combinación de esfuerzos actuante sobre la sección y que en ningún punto sobrepase el criterio de plastificación.”

Teniendo lo anterior presente, se aplica el apartado 6.2.4 del CTE DB SE-A, donde se establece que el esfuerzo cortante ha de ser menor que la resistencia de las secciones a cortante:

$$- V_{Ed} < V_{c,Rd}$$

Siendo:

- $V_{Ed}$  : esfuerzo cortante.
- $V_{c,Rd}$  : resistencia de las secciones a cortante.

En caso de ausencia de torsión, la resistencia de las secciones a cortante será igual a la resistencia plástica,  $V_{pl,Rd}$ , tal y como lo recoge el CTE:

$$- V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Siendo:

- $f_{yd}$  : resistencia de cálculo.
- $A_v$  : área de esfuerzo cortante de la sección del cordón.
- $V_{pl,Rd}$  : resistencia plástica de las secciones a cortante.

Dichos valores son proporcionados por CYPE, siendo los siguientes:

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{Ed} : \underline{153.98} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$ : Resistencia plástica de las secciones a cortante  $V_{c,Rd}$

$$V_{c,Rd} : \underline{364.27} \text{ kN}$$

Donde:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (6.4)$$

$A_v$ : Área sometida a cortante

$$A_v : \underline{2409} \text{ mm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

*Ilustración 40 Datos de esfuerzo y resistencia proporcionados por CYPE.*

Aplicando dichos valores, se comprueba lo siguiente:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

$$153.98 \text{ kN} \leq 364.27 \text{ kN} \quad \checkmark$$

*Ilustración 41 Resultado comprobación resistencia sección a corte.*



De manera que, se cumple la ecuación y por tanto se cumple este apartado de la norma al respecto.

### 8.3.5 Comprobar Tensión de Von Mises

La tensión de Von Mises permite conocer y calcular tanto las distribuciones de tensión y los esfuerzos dentro del componente. Es decir, permite conocer a partir de que valor concreto se va a producir una rotura elástica.

$$\sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

- $\sigma$  : Tensión normal .
  - o  $\sigma = \frac{F_{\perp}}{t \cdot L_{M0}}$
- $F_{\perp}$ : Esfuerzo de cálculo normal de la sección.
- $L_{\perp}$ : Anchura efectiva para esfuerzos normales.
- $\tau$  : Tensión tangencial.
  - o  $T = \frac{F_{\parallel}}{t \cdot L_{\parallel}}$
- $F_{\parallel}$  : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección.
- $L_{\parallel}$  : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales.
- $t$  : Espesor.
- $f_y$  : Tensión de límite elástico.
- $\gamma_{M0}$  : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

Siendo obtenidos los siguientes datos:

- $\sigma$  : -44.37 N/mm<sup>2</sup>
- $F_{\perp}$ : -93.84 kN
- $L_{\perp}$ : 118 mm
- $\tau$  : -112.31 N/mm<sup>2</sup>
- $F_{\parallel}$  : - 237.53 kN
- $L_{\parallel}$  : 118 mm
- $t$  : 18.0 mm
- $f_y$  : 275 N/mm<sup>2</sup>
- $\gamma_{M0}$  : 1.05

Se sustituyen los valores en la fórmula:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \rightarrow \sqrt{-44.37^2 + 3 \cdot (-112.31)^2} \leq \frac{275}{1.05} \rightarrow 189.31 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2$$

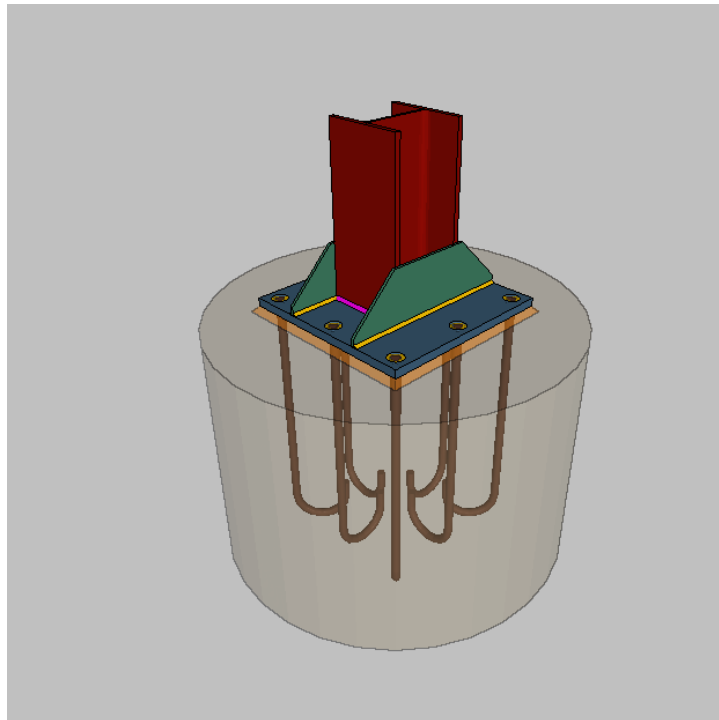
De acuerdo con el CTE DB SE-A 6.1 Cumple con la tensión de Von Mises.

## 8.4 Anclaje del pilar con el terreno

Las uniones entre la base de un pilar y la cimentación se llevan a cabo mediante placas de anclaje. En función de la configuración constructiva establecida se puede considerar como rígida, articulada o semirrígida.

Este tipo de uniones han de permitir la transmisión de los esfuerzos desde el pilar hacia la zapata. Dependiendo de las dimensiones, se puede establecer que la base del pilar sea empotrada en la zapata, pero no suele ser lo habitual en este nivel de construcciones. También se suele poner, como elemento intermedio entre el pilar y la zapata, una placa de acero que permite, además de lo anterior mencionado, nivelar el pilar con zapata.

Cuando los esfuerzos de tracción calculados en la base son de una consideración se debe de disponer de durmientes metálicos que irán embebidos en la zapata permitiendo a los pernos del anclaje soportarlos.



*Ilustración 42 Anclaje correspondiente pilares frontales con el terreno.*

### 8.4.1 Comprobar resistencia cordones de soldadura de la placa de anclaje

La unión establecida entre el pilar y la zapata es una unión rígida. Para llevar a cabo esta comprobación se lleva a cabo comprobando tres puntos del CTE DB SE-A:

- Disposiciones constructivas CTE DB SE-A 8.6.1
- Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo CTE DB SE-A 8.6.2

- Resistencia de cálculo de las soldaduras a tope CTE DB SE-A 8.6.3

Todo ello el programa CYPE lo proporciona mediante el siguiente cuadro resumen y obteniendo el visto bueno donde se cumplen todas las comprobaciones.

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	Preparación de bordes (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)			
Rigidizador y-y (x = -146): Soldadura a la placa base	En ángulo	8	--	650	11.0	90.00			
Rigidizador y-y (x = 146): Soldadura a la placa base	En ángulo	8	--	650	11.0	90.00			
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	--	11	101	30.0	90.00			
<small>a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas</small>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises				Tensión normal		f. (N/mm <sup>2</sup> )	β <sub>w</sub>	
	σ <sub>v</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>v</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ <sub>II</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	σ <sub>v</sub> (N/mm <sup>2</sup> )			Aprov. (%)
Rigidizador y-y (x = -146): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						410.0	0.85	
Rigidizador y-y (x = 146): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						410.0	0.85	
Soldadura de los pernos a la placa base	0.0	0.0	218.6	378.7	98.14	0.0	0.00	410.0	0.85

✓ Se cumplen todas las comprobaciones.

*Ilustración 43 Comprobación cordones soldadura placa anclaje.*

## 8.4.2 Comprobar la resistencia del propio anclaje al terreno

Para llevar a cabo el cálculo de esta parte, se parte de unas estimaciones realizadas por el propio programa y muestra si cumple la resistencia de la placa al anclaje o no, de acuerdo con la normativa vigente del CTE DB SE-A

Los puntos calculados y estimados han sido, entre otros:

- Dimensiones de propia placa. Ancho, largo y espesor
- Dimensiones de los pernos. Diámetro y longitud.
- Disposición de los pernos. Distancia mínima entre ellos.

Dónde se indican los valores máximos y mínimos de tolerancia, así como, el calculado según corresponda en cada apartado.

Comprobaciones de resistencia		
Referencia: -Placa base: Ancho X: 650 mm Ancho Y: 650 mm Espesor: 30 mm -Pernos: 8Ø32 mm L=65 cm Gancho a 180 grados -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada -Rigidizadores: Paralelos X: - Paralelos Y: 2(200x0x11.0)		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>&gt; 3 diámetros</i>	Mínimo: 96 mm Calculado: 275 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 48 mm Calculado: 50 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 42.9	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 32 cm Calculado: 65 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción:  - Cortante:  - Tracción + Cortante:	Máximo: 231.13 kN Calculado: 210.11 kN  Máximo: 161.79 kN Calculado: 13.82 kN  Máximo: 231.13 kN Calculado: 229.85 kN	Cumple  Cumple  Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 257.28 kN Calculado: 197.83 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 380.952 MPa Calculado: 248.011 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 502.86 kN Calculado: 12.98 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 203.639 MPa Calculado: 211.314 MPa Calculado: 247.903 MPa Calculado: 243.492 MPa	Cumple Cumple Cumple Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i> - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Mínimo: 250 Calculado: 1171.71 Calculado: 1105.55 Calculado: 3228.87 Calculado: 3643.04	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: 231.792 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional: - Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.213 - Punto de tensión local máxima: (-0.14, 0.14)		

*Ilustración 44 Comprobación resistencia placa anclaje.*

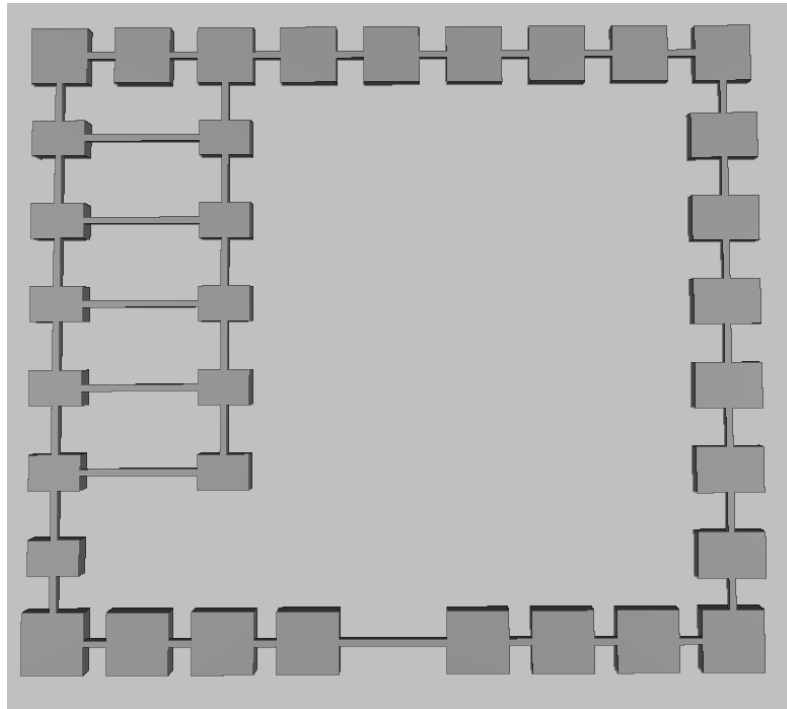
## Capítulo 9. Cimentación

En toda edificación que estime transmitir sus cargas al suelo, requiere de una distribución de estas mediante cimentación. Eso se traduce en que la fuerza de la edificación reside en sus cimientos.

Por tanto, se puede determinar que los cimientos no solo sostienen la estructura que está situada por encima suya, sino que además la ha de mantener en posición vertical, permitiendo así la distribución de pesos lo mayor uniformemente posible.

Sin embargo, un mal cálculo o ausencia de estos puede provocar daños irreparables, tales como, que la humedad del terreno se filtre por capilaridad y pueda llegar a debilitar la estructura, hundimiento de parte de la edificación en el terreno afectando al equilibrio y estabilidad de éste.

## 9.1 Distribución de la cimentación



*Ilustración 45 Vista en planta de la distribución de la cimentación.*

La distribución de la cimentación consta de treinta y cuatro zapatas aisladas, distribuidas por a lo largo de cada uno de los pilares, enlazados mediante su correspondiente viga de atado.

La determinación del uso de zapatas aisladas viene porque sobre el terreno, sobre el que va a ser edificado, es un terreno compacto, competente y con firmeza, sobre el que se puede llevar a cabo la cimentación con una presión estimada media-alta.

Una característica de las zapatas aisladas empleadas es su forma, su forma cuadrada. Este diseño cuadrado permite entre otras cosas que su realización sea de una constructiva facilidad como por sus propiedades estructurales de trabajo.

El elemento estructural empleado para unir o atar las zapatas entre sí, son las vigas de atado, cuya principal función es la evitar desplazamientos laterales de las zapatas proporcionando así mayor rigidez a los cimientos.

## 9.2 Comprobación de las zapatas

La comprobación de las zapatas se lleva a cabo mediante el cumplimiento de la normativa vigente, siendo esta la instrucción de hormigón estructural (EHE-08) y criterio propio de CYPE mediante cálculo internos, aplicado de manera individual a cada de una de las zapatas.

Se comprueban entre otros, los siguientes puntos:

- Tensiones sobre el terreno.
- Canto mínimo.
- Flexión de la zapata.
- Cortante de la zapata.
- Longitud del anclaje.

Información adicional en el documento anexos.

### **9.3 Comprobación de las vigas de atado**

La comprobación de las vigas de atado se basa en la misma norma que el punto anterior, EHE-08. Dónde se comprueban entre otros, los siguientes puntos:

- Separación máxima y mínima de armadura longitudinal.
- Separación máxima y mínima entre estribos.

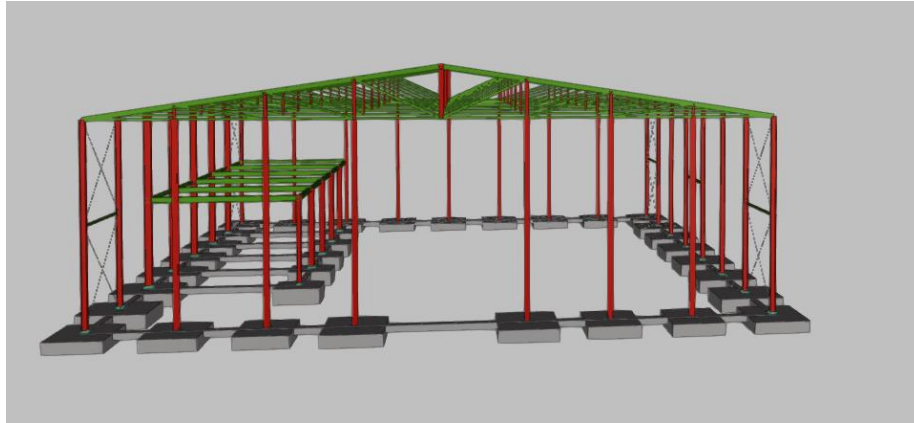
Más información en el documento anexos.

### **9.4 Control de cimentación**

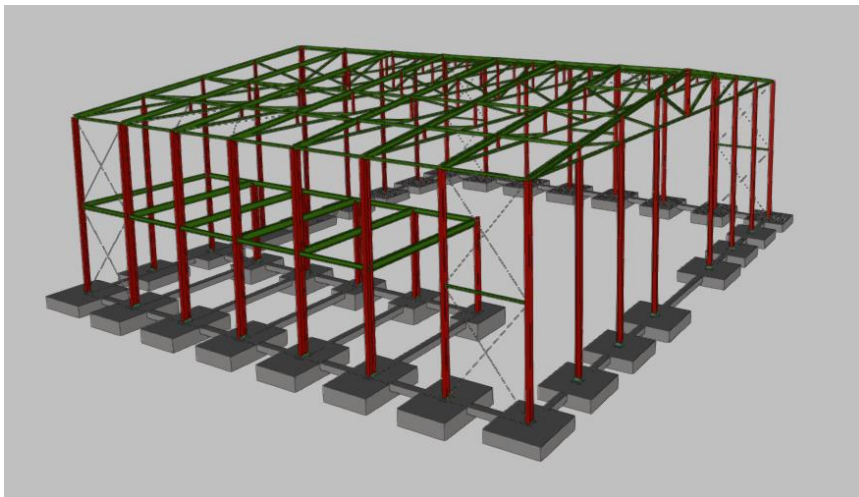
En términos generales se llevarán cabo el control y supervisión de los siguientes puntos, tal y como viene recogido en DB SE-C 4.6:

- Mientras se esté llevando a cabo la ejecución de las cimentaciones, se velará por la conservación y buen estado de cada una de las cimentaciones.
- En caso de presencia de agua cercana a los cimientos valorar la alcalinidad de estas, así como su salinidad o posibilidad de ser un elemento agresivo con los mismos. Evitar en todo momento que haya cerca de las cimentaciones sobrecargas innecesarias que no hayan sido contempladas previamente. Ante cualquier fuga de agua, evitar que se estanquen entorno a los cimientos por el posible descarnamiento, afectando considerablemente a la estabilidad de la edificación.
- Comprobaciones previas en zona de la cimentación mediante su correspondiente estudio geotécnico.
- Comprobación de las resistencias y propiedades de los materiales que se va a emplear para la ejecución de las zapatas
- Comprobación de los cimientos una vez elaborado los cimientos junto con la edificación antes de la puesta en servicio.

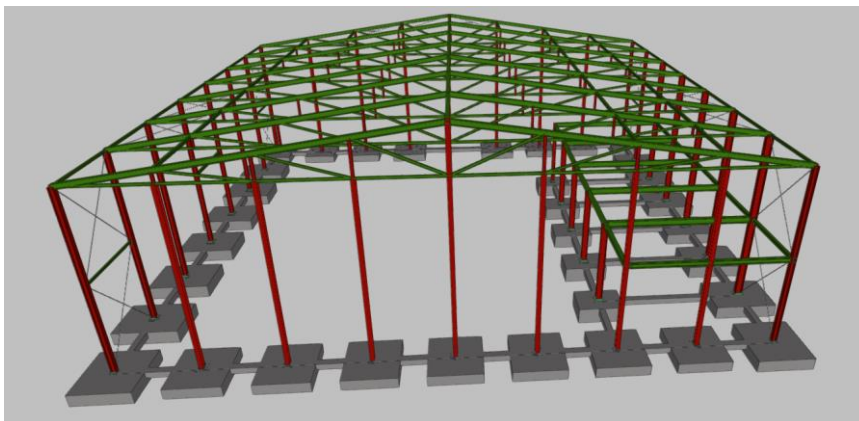
## Capítulo 10. PRESENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA FINAL



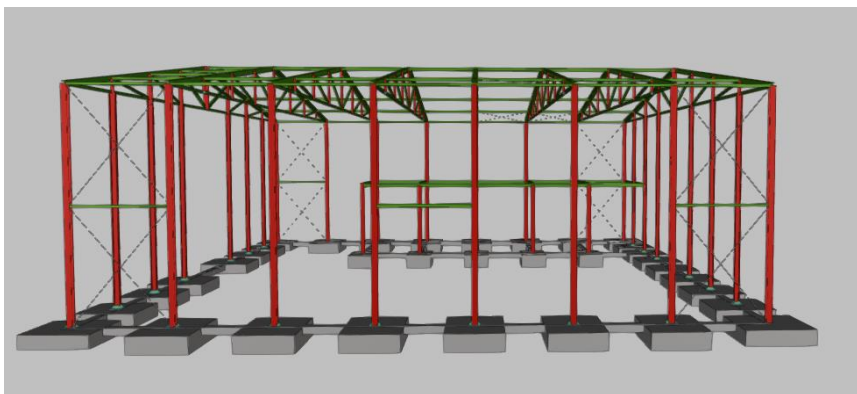
*Ilustración 46 Vista alzado estructural.*



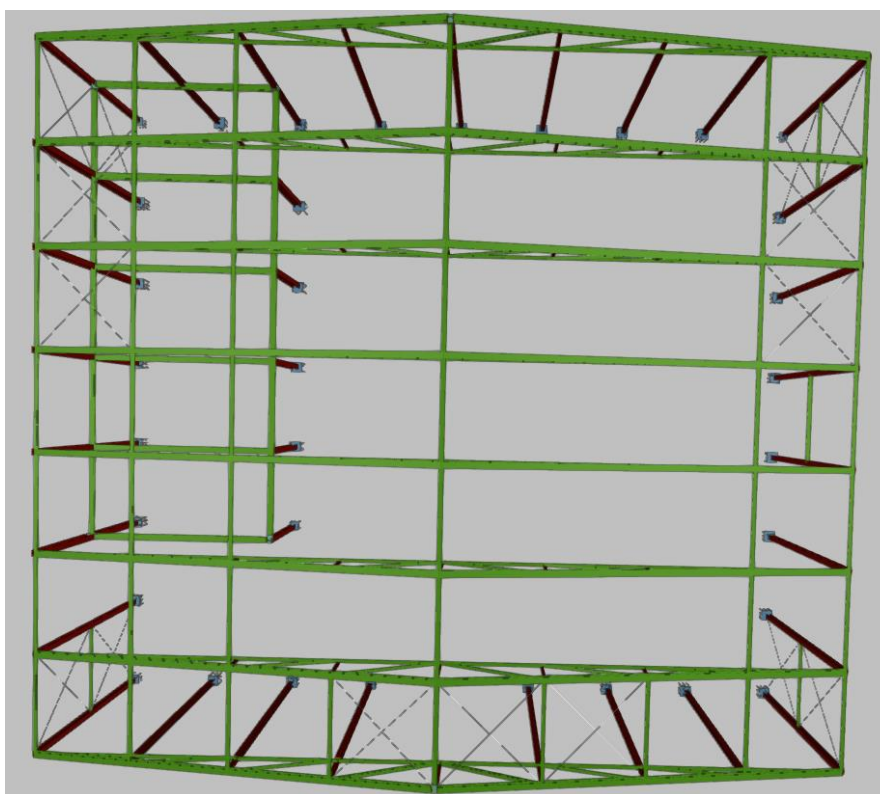
*Ilustración 47 Vista fronto lateral de la estructura.*



*Ilustración 48 Vista parte posterior de la estructura.*

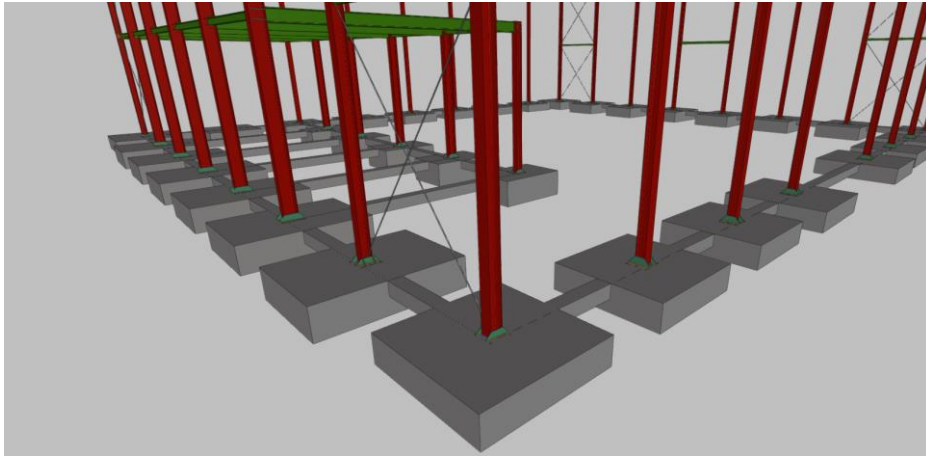


*Ilustración 49 Vista lateral derecho de la estructura.*

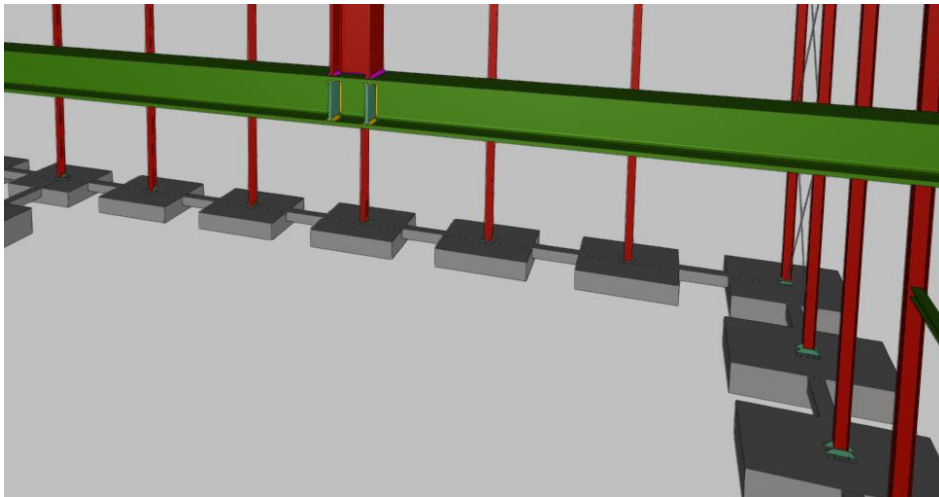


*Ilustración 50 Vista en planta de la estructura.*





*Ilustración 51 Vista en detalle de la cimentación.*



*Ilustración 52 Vista interior.*

## Capítulo 11. COSTES

<b>1 Acondicionamiento del terreno .</b>	<b>27.119,61 €</b>
Total 1.1 Movimiento de tierras en edificación .....	27.119,61 €
<b>2 Cimentaciones .</b>	<b>368.274,07 €</b>
Total 2.1 Superficiales .....	307.121,18 €
Total 2.2 Arriostramientos .....	61.152,89 €
<b>3 Estructuras .</b>	<b>889.162,95 €</b>
Total 3.1 Acero .....	887.595,67 €
Total 3.2 Hormigón prefabricado .....	1.567,28 €

<b>4 Gestión de residuos .</b>	<b>370,44 €</b>
Total 4.1 Tratamientos previos de los residuos .....	64,50 €
Total 4.2 Gestión de residuos inertes .....	305,94 €
<b>5 Seguridad y salud .</b>	<b>9.436,18 €</b>
Total 5.1 Sistemas de protección colectiva .....	664,60 €
Total 5.2 Formación .....	1.171,18 €
Total 5.3 Equipos de protección individual .....	4.184,25 €
Total 5.4 Medicina preventiva y primeros auxilios .....	1.150,15 €
Total 5.5 Instalaciones provisionales de higiene y bienestar .....	2.060,00 €
Total 5.6 Señalización provisional de obras .....	206,00 €
<b>Presupuesto de ejecución material (PEM)</b>	<b>1.294.363,25 €</b>
0% de gastos generales	0,00
0% de beneficio industrial	0,00
<b>Presupuesto de ejecución por contrata (PEC = PEM + GG + BI)</b>	<b>1.294.363,25 €</b>
<b>Presupuesto de adjudicación (PA = PEC - baja)</b>	<b>1.294.363,25 €</b>
21% IVA	271.816,28
<b>Presupuesto de adjudicación con IVA (= PA + IVA)</b>	<b>1.566.179,53 €</b>

## Capítulo 12. CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del presente proyecto, tanto el análisis como los apartados calculados, han cumplido con el objetivo del presente proyecto, por un lado ampliar conocimientos de la asignatura “Plantas industriales” pues es una asignatura en la que he disfrutado y aprendido mucho y quería ampliar aún más conocimientos a nivel profesional, y por otro lado de llevar a cabo el diseño y cálculo a nivel estructural de una nave industrial para su posterior empleo en una actividad industrial tan avanzada, como es el e-commerce. Todo ello en cumplimiento de la normativa local, así como de normativa CTE (Código Técnico de la Edificación) entre otros.

Uno de los aprendizajes principales de este proyecto ha sido el poder aprender a la vez que hacer uso de ciertas herramientas que se emplean actualmente en el ámbito profesional del ingeniero con el máster habilitante, siendo ésta el programa CYPE. A pesar de las más de 20 herramientas que tiene, por optimizar y cumplir con el presente proyecto, solo se han empleado tres de ellas, “Generador de pórticos”, CYPE 3D”, y “Arquímedes”. Por tanto, con todo ello se podido realizar el diseño y cálculo, tanto de parte técnica como económica.

Si bien, al principio del desarrollo del proyecto hubo incertidumbre acerca del tipo de diseño por las infinitas capacidades de combinaciones, por lo que, tras consultar bibliografía, así como visitar físicamente naves y plantas industriales, llegué a la determinación del uso de la estructura final como el tipo de celosía a emplear, así como, el resto de los elementos.

Por todo lo anterior, considero que con la elaboración del presente proyecto ha permitido cumplir con los objetivos planteados, mediante el uso del programa CYPE, que ha sido fundamental durante todo el proyecto, desde parte inicial con el diseño, pasando cimentación, por la verificación de cálculos y cumplimiento de normativa vigente, terminando con la elaboración de la parte económica.

Tomando como base la estructura ya calculada y verificada, el uso del presente proyecto permitiría proseguir con los cálculos y estimaciones para la instalación eléctrica, agua caliente sanitarias, telecomunicaciones, sistemas de contra incendios, climatización, sistema de energías renovables, entre otros.

## Capítulo 13. BIBLIOGRAFÍA

- 1) *Esfuerzo O Tensión DE Von Mises*. (n.d.). Idoc.Pub. Retrieved June 4, 2022, from <https://idoc.pub/documents/idocpub-ylyxyeei9enm>
- 2) (N.d.). *Codigotecnico.Org*. Retrieved June 8, 2022, from <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-C.pdf>
- 3) *GESTIONMAX*. (n.d.). *Sistemas de Seguridad, Contraincendios, Electricidad, Telecomunicaciones, Climatización, Fontanera*. *Alexmaseguridad.es*. Retrieved June 9, 2022, from <http://alexmaseguridad.es/>
- 4) *Calavera Ruiz, José (2015). Cálculo de Estructuras de Cimentación (5ª Edición)*. *Intemac Ediciones*
- 5) (n.d.). *Google.com*. Retrieved March 7, 2022, from <https://www.google.com/search?q=necesidad+de+naves+industriales+madrid&oq=necesidad+de+naves+industriales+madrid&aqs=edge..69i57.8032j0j1&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- 6) *Normas Urbanísticas del Plan General de Ordenación Urbana de Madrid (PGOUM 97) - Gestiones y Trámites*. (n.d.). *Madrid.es*. Retrieved June 25, 2022, from <https://sede.madrid.es/portal/site/tramites/menuitem.5dd4485239c96e10f7a72106a8a409a0/?vgnnextoid=88726d2816618210VgnVCM1000000b205a0aRCRD&vgnnextchannel=6b3d814231ede410VgnVCM1000000b205a0aRCRD>
- 7) *Redacción, Villaverde, Á., & E., E. G. (2021, febrero 10). Cómo ha sido la evolución de venta de naves en Madrid de los últimos años*. *MuyPymes*. <https://www.muypymes.com/2021/02/10/evolucion-venta-naves-madrid-ultimos-anos>
- 8) *Redacción. (2020, May 8). La crisis del coronavirus dispara la búsqueda de naves industriales en la periferia de Madrid y Barcelona, según Servihabitat*. *El Inmobiliario mes a mes*.

- <https://elinmobiliariomesames.com/industrial/la-crisis-del-coronavirus-dispara-la-busqueda-de-naves-industriales-en-la-periferia-de-madrid-y-barcelona-segun-servihabitat/>
- 9) (n.d.). Google.com. Retrieved March 7, 2022, from [https://www.google.com/search?q=desarrollo+industrial+madrid&ei=HHsTYpW3C5Csa83RsoAM&ved=0ahUKEwiVtYuK3JD2AhUQ1hoKHc2oDMAQ4dUDCA4&uact=5&oq=desarroll+industrial+madrid&gs\\_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAMyBggAEAgQHjIGCAAQCBAeMgYIABAIEB4yBggAEAgQHjIGCAAQCBAeMgYIABAIEB46BwgAEcQsAM6BggAEAcQHjoICAAQCBAHEB46AgmSgQIQRgASgQIRhgAUN8HWLUVYMYWaAFwAXgAgAFKiAGOBZIBAJEwmAEAoAEBYAEIwAEB&sclient=gws-wiz](https://www.google.com/search?q=desarrollo+industrial+madrid&ei=HHsTYpW3C5Csa83RsoAM&ved=0ahUKEwiVtYuK3JD2AhUQ1hoKHc2oDMAQ4dUDCA4&uact=5&oq=desarroll+industrial+madrid&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAMyBggAEAgQHjIGCAAQCBAeMgYIABAIEB4yBggAEAgQHjIGCAAQCBAeMgYIABAIEB46BwgAEcQsAM6BggAEAcQHjoICAAQCBAHEB46AgmSgQIQRgASgQIRhgAUN8HWLUVYMYWaAFwAXgAgAFKiAGOBZIBAJEwmAEAoAEBYAEIwAEB&sclient=gws-wiz)
- 10) *Plan Industrial de la Comunidad de Madrid 2020-2025*. (2019, July 30). Portal de Transparencia. <https://www.comunidad.madrid/transparencia/informacion-institucional/planes-programas/plan-industrial-comunidad-madrid-2020-2025>
- 11) *Agencia de Desarrollo de Ecommerce en Madrid* . (n.d.). Seobarrientos.com. Retrieved March 7, 2022, from <https://seobarrientos.com/desarrollo-ecommerce/madrid/>
- 12) (n.d.). Google.com. Retrieved March 7, 2022, from [https://www.google.com/search?q=construcci%C3%B3n+naves+madrid+INE&biw=639&bih=645&ei=K4ETYtrIjQOTlwTNIYCACA&ved=0ahUKEwIapDt4ZD2AhWjyYUKHc0EAIQA4dUDCA4&uact=5&oq=construcci%C3%B3n+naves+madrid+INE&gs\\_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAM6BwgAEcQsAM6CggAEcQsAMQyQNKBAhBGABKBAhGGABQsgpYsgpggxxoAnABeACAAMlAekBkgEBM5gBAKABAcgBCMABAQ&sclient=gws-wiz](https://www.google.com/search?q=construcci%C3%B3n+naves+madrid+INE&biw=639&bih=645&ei=K4ETYtrIjQOTlwTNIYCACA&ved=0ahUKEwIapDt4ZD2AhWjyYUKHc0EAIQA4dUDCA4&uact=5&oq=construcci%C3%B3n+naves+madrid+INE&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAM6BwgAEcQsAM6CggAEcQsAMQyQNKBAhBGABKBAhGGABQsgpYsgpggxxoAnABeACAAMlAekBkgEBM5gBAKABAcgBCMABAQ&sclient=gws-wiz)
- 13) (n.d.). Google.com. Retrieved March 7, 2022, from <https://www.google.com/search?q=licencias+de+construccion+de+naves+industriales+madrid&oq=licencias+de+construccion+de+naves+industriales+madrid&aqs=edge..69i57.11255jOj1&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- 14) Tekton. (2016, February 19). *Historia industrial en España. Tekton | Diseño y construcción de naves y edificios industriales*. <https://www.tekton.es/historia-industrial-en-espana/>
- 15) Redacción, P. (2021, October 6). *Principales usos de las naves industriales en España. Blog Oi Realtor*. <https://www.oirealtor.com/noticias-inmobiliarias/usos-de-las-naves-industriales-en-espana/>
- 16) *Proyecto nave industrial*. (n.d.). Certicalia.com. Retrieved March 7, 2022, from <https://www.certicalia.com/proyecto-nave-industrial/normativa-y-requisitos-del-proyecto-nave-industrial>
- 17) (N.d.). Gob.Es. Retrieved March 7, 2022, from <https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapa.aspx?pest=rc&from=OVCBusqueda&final=&ZV=NO&ZR=NO&anyoZV=&tematicos=&anyotem=>
- 18) *Vigas de celosía*. (n.d.). Arquitecturaenacero.org. Retrieved March 10, 2022, from <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/vigas-de-celosia>
- 19) (N.d.). Codigotecnico.Org. Retrieved March 10, 2022, from <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE.pdf>
- 20) *Montajes, Bogotá, I. y. C. M., & Colombia*. (n.d.). *Resistencia y rigidez en todo nuestro sistema de cerchas. Montajes, Ingeniería y Construcción. MIC SAS. Bogotá, Colombia*. Retrieved June 22, 2022, from <https://www.estructurasmetalicascolombia.com/construcciones-metalicas/cerchas>