

Grado en Ingeniería Mecánica
2018-2019

Trabajo Fin de Grado

“Evaluación de elementos
constructivos de una nave industrial:
Soportes”

Fernando Pizarro Luján

Tutora:

Nuria Bizcocho Tocón

Leganés, julio de 2019



Agradecimientos:

Nunca pensé que este día llegaría y es uno de los más importantes de mi vida por cerrar una época que marcará el devenir del resto. Agradecer a todas las personas que me han ayudado en algún momento y a todas las que compartieron buenos y malos instantes de esta intensa época universitaria. Por estos motivos, quiero dedicarles a todos ellos, y a la memoria de mi padre, este Trabajo Fin de Carrera.

Agradecer a toda mi familia su apoyo. Especialmente a mi madre por darme todo lo que soy a día de hoy, a mis abuelos, Gregorio y Villa, por hacer rebosar un espacio que estaba vacío y a mi hermano Alejandro por aportar una alegría constante.

A todos mis amigos y compañeros de esta etapa con los que he compartido toda clase de momentos, tanto buenos como duros, dentro y fuera de la universidad.

Por último, agradecer a todo el profesorado y personal de la Escuela Politécnica Superior de Leganés de la Universidad Carlos III de Madrid su trato y su traspaso de conocimiento durante estos años. Especialmente a Nuria Bizcocho por su tutelaje durante el desarrollo de este proyecto en el que me ha mostrado su apoyo, comprensión y sabiduría en todo momento.

¡Si se cree y se trabaja, se puede!

Resumen:

En el estudio realizado, se ha evaluado la influencia de la altura del pilar, el tipo de estructura de cubierta plana y el tipo de perfil a la hora de analizar al soporte. Es decir, se han estudiado 3 variables, dos intrínsecas al soporte (altura y perfil) y una que es global a toda la estructura (tipo de apoyo con el suelo y tipo de unión pilar-dintel).

Así bien, se ha elegido un emplazamiento geográfico para que el estudio fuera más real y se acotara el diseño de la nave. De esta manera, el cálculo de cargas mediante la normativa está asociado al lugar geográfico y las dimensiones de la nave están relacionados con la parcela libre que se ha elegido dentro del polígono industrial. A su vez, este tiene un marco normativo de edificación que también se deberá cumplir.

El material elegido para toda la estructura de acero ha sido el S 275 JR que es el más común y está fabricado para utilizarse en una construcción ordinaria. Para la cimentación el material elegido ha sido el hormigón armado HA-25 N/mm².

Posteriormente, se ha desarrollado una herramienta de predimensionamiento para un pórtico biempotrado en la base y articulado en la unión pilar-dintel a través de una hoja de cálculo. En base a estos resultados, se ha procedido a calcular mediante software 3 tipos de estructuras diferentes para 3 alturas diferentes con la perfilación elegida. Tras este paso de simulación, se han analizado los datos de peso arrojados por CYPE mediante un banco de datos online que aporta datos de precio, energía y emisiones de CO₂ por kilo o metro cúbico.

El coste de este estudio es de nueve mil doscientos cincuenta y ocho euros y noventa y ocho céntimos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.-	INTRODUCCIÓN.....	2
1.1.-	Motivación.....	2
1.2.-	Objetivos y alcance.....	2
1.3.-	Estructura del trabajo.....	3
1.4.-	Organización del trabajo.....	5
2.-	METODOLOGÍA SEGUIDA	8
3.-	ESTADO DEL ARTE	11
3.1.-	Introducción.....	11
3.2.-	Historia de las construcciones en hierro y acero	12
3.3.-	Evolución de la producción del acero y del diseño de las estructuras de acero .	13
3.4.-	Factores de diseño y de seguridad	16
3.5.-	Ventajas e inconvenientes de las estructuras de acero	17
3.6.-	El acero.....	18
3.7.-	Tipos de estructuras industriales	21
3.7.1.-	Estructuras porticadas	23
3.7.2.-	Estructuras atirantadas	24
3.7.3.-	Estructuras con celosía.....	25
3.8.-	Evolución histórica de los soportes	25
4.-	ELECCIÓN DE LA PARCELA Y REQUISITOS DE LA NAVE	32
4.1.-	Criterios de elección de la parcela.....	32
4.2.-	Emplazamiento elegido	33
4.3.-	Normativa	35
4.3.1.-	Normativa municipal del polígono industrial	36
4.3.2.-	Código Técnico de la Edificación (CTE).....	37
4.3.3.-	Instrucción de Hormigón Estructural (EHE)	39

4.4.- Dimensiones y propiedades de la nave.....	39
4.5.- Modelos de pórticos a estudiar	40
5.- CÁLCULO ANALÍTICO APLICANDO EL CTE.....	43
5.1.- Cálculo de cargas sobre la estructura	43
5.1.1.- Cálculo de cargas de las acciones permanentes	43
5.1.2.- Cálculo de cargas de las acciones variables.....	44
5.1.2.1.- Sobrecarga de uso	44
5.1.2.2.- Viento.....	44
5.1.2.3.- Nieve	45
5.2.- Cálculo de las leyes de esfuerzos	46
5.3.- Cálculo de los esfuerzos máximos de los soportes.....	49
5.4.- Combinación de acciones variables y permanentes	49
5.5.- Cálculo de la sección.....	51
5.6.- Herramienta de predimensionamiento.....	52
5.6.1.- Datos de entrada.....	53
5.6.2.- Tablas indexadas	54
5.6.3.- Cálculo de las cargas del pórtico	56
5.6.4.- Cálculo de las combinaciones	58
5.6.5.- Comprobación a ELU	59
5.7.- Resultados obtenidos del cálculo analítico mediante hoja de cálculo	61
5.7.1.- Perfil IPN	61
5.7.2.- Perfil UPN.....	62
5.7.3.- Perfil HEA	62
5.7.4.- Perfil HEB.....	63
5.7.5.- Perfil IPE.....	63
5.7.6.- Comparativa de pesos por soporte	64
5.7.7.- Comparativa de pesos teniendo en cuenta todos los soportes de pórtico	64

5.8.-	Análisis de los resultados del predimensionamiento.....	65
6.-	CÁLCULO EN SOFTWARE CYPE	67
6.1.-	Consideraciones en el generador de pórticos	67
6.2.-	Consideraciones en el cálculo en 3D.....	68
6.3.-	Nave de pórtico articulado biempotrado en la base.....	71
6.4.-	Nave de pórtico reticulado biempotrado en la base.....	72
6.5.-	Nave de pórtico reticulado biapoyado en la base	74
7.-	ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL	76
7.1.-	Factores económicos	79
7.2.-	Factores ambientales	82
7.2.1.-	Factor energético.....	83
7.2.2.-	Emisiones de CO ₂	85
7.3.-	Reutilización y reciclaje	88
8.-	PRESUPUESTO.....	91
9.-	CONCLUSIONES.....	94
10.-	LÍNEA DE TRABAJOS FUTUROS	97
	BIBLIOGRAFÍA	98
A.-	DATOS EXTRAÍDOS DE LA HERRAMIENTA DE PREDIMENSIONAMIENTO.....	2
1.1.-	Datos del perfil IPN.....	2
1.2.-	Datos del perfil UPN	2
1.3.-	Datos del perfil HEA	3
1.4.-	Datos del perfil HEB	3
1.5.-	Datos del perfil IPE	4
B.-	LISTADOS DE RESULTADOS DE CYPE	6
1.-	Listado de nave industrial con pórtico articulado biempotrado	6
1.1.-	Altura del soporte: 7,5 metros.....	6

1.1.1.- Perfil HEB	6
1.1.2.- Perfil IPE	6
1.1.3.- Perfil UPN	7
1.2.- Altura del soporte: 5 metros.....	8
1.2.1.- Perfil HEB	8
1.2.2.- Perfil IPE	9
1.2.3.- Perfil UPN	9
1.3.- Altura del soporte: 3 metros.....	10
1.3.1.- Perfil HEB	10
1.3.2.- Perfil IPE	11
1.3.3.- Perfil UPN	11
2.- Listado de nave industrial con pórtico reticulado biempotrado	12
2.1.- Altura del soporte: 7,5 metros.....	12
2.1.1.- Perfil HEB	12
2.1.2.- Perfil IPE	13
2.1.3.- Perfil UPN	13
2.2.- Altura del soporte: 5 metros.....	14
2.2.1.- Perfil HEB	14
2.2.2.- Perfil IPE	14
2.2.3.- Perfil UPN	15
2.3.- Altura del soporte: 3 metros.....	16
2.3.1.- Perfil HEB	16
2.3.2.- Perfil IPE	16
2.3.3.- Perfil UPN	17
3.- Listado de nave industrial con pórtico reticulado biapoyado	17
3.1.- Altura del soporte: 7,5 metros.....	18
3.1.1.- Perfil HEB	18

3.1.2.- Perfil IPE	18
3.1.3.- Perfil UPN	19
3.2.- Altura del soporte: 5 metros.....	19
3.2.1.- Perfil HEB	19
3.2.2.- Perfil IPE	20
3.2.3.- Perfil UPN	20
3.3.- Altura del soporte: 3 metros.....	21
3.3.1.- Perfil HEB	21
3.3.2.- Perfil IPE	22
3.3.3.- Perfil UPN	22
C.- TRATAMIENTO DE DATOS OBTENIDOS EN CYPE. PRECIO, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN.....	25
1.- Acero	25
1.1.- Altura del soporte: 7,5 metros.....	25
1.2.- Altura del soporte: 5 metros.....	25
1.3.- Altura del soporte: 3 metros.....	25
2.- Hormigón.....	26
2.1.- Altura del soporte: 7,5 metros.....	26
2.2.- Altura del soporte: 5 metros.....	26
2.3.- Altura del soporte: 3 metros.....	26
3.- Total.....	27
3.1.- Altura del soporte: 7,5 metros.....	27
3.2.- Altura del soporte: 5 metros.....	27
3.3.- Altura del soporte: 3 metros.....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Evolución temporal del proyecto. Elaboración propia.....	5
Figura 3.1: Estructura de acero. [I 1].....	11
Figura 3.2: Pistas de pádel en el interior de una nave industrial. [I 2]	12
Figura 3.3: Torre Eiffel. [I 1].....	14
Figura 3.4: Tipos de estructuras industriales. [2]	22
Figura 3.5: Tipos de estructuras industriales. [4]	23
Figura 3.6: Diferentes tipos de pórtico. [4]	24
Figura 3.7: Fabrica de Reanult. Nave atirantada. [4].....	25
Figura 3.8: Conjunto de Stonehenge en Reino Unido. [I 1]	26
Figura 3.9: Apadana del palacio de Persépolis. [I 1].....	27
Figura 3.10: Iglesia de Santa María del Naranco en Asturias. Siglo IX. [I 1].....	27
Figura 3.11: Pilares de piedra del Parque del Retiro de Madrid. [I 1].....	29
Figura 3.12: Palacio de Cristal en Madrid. Finales del siglo XIX. [I 1].....	29
Figura 3.13: Terminal 4 del aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas. [I 1].....	30
Figura 4.1: Mapa descriptivo del polígono industrial Monte Boyal. [N3]	33
Figura 4.2: Vista satélite de la distribución de las parcelas. [14]	34
Figura 4.3: Vista esquemática de la distribución de las parcelas. [14].....	34
Figura 4.4: Datos de la parcela. [14]	35
Figura 4.5: Esquema y partes del Código Técnico de la Edificación. [10]	38
Figura 4.6: Pórtico biempotrado articulado. Elaboración propia.	40
Figura 4.7: Pórtico biempotrado reticulado. Elaboración propia.	41
Figura 4.8: Pórtico biapoyado reticulado. Elaboración proia.....	41
Figura 5.1: Distribución de las cargas en un pórtico a dos aguas. [2].....	43
Figura 5.2: Separación de elementos para poder calcular las reacciones y las leyes de esfuerzos. Elaboración propia.....	46
Figura 5.3: Datos de entrada en la herramienta de predimensionamiento. Elaboración propia.....	54
Figura 5.4: Tabla de los coeficientes de pandeo. Elaboración propia.	55
Figura 5.5: Tabla de los coeficientes de presión para cubierta plana. Elaboración propia.	55
Figura 5.6: Tabla de las propiedades del perfil HEB. Elaboración propia.....	56
Figura 5.7: Cálculo de las cargas de viento. Elaboración propia.	56

Figura 5.8: Cálculo de las cargas de viento. Elaboración propia.	57
Figura 5.9: Cálculo de las cargas de viento. Elaboración propia.	57
Figura 5.10: Cálculo de las cargas de viento. Elaboración propia.	58
Figura 5.11: Cálculo de las combinaciones. Elaboración propia.	59
Figura 5.12: Cálculo de la comprobación a ELU. Elaboración propia.....	60
Figura 5.13: Cálculo de la comprobación a ELU. Elaboración propia.....	60
Figura 6.1: Pórtico tipo utilizado para la exportación a CYPE 3D. Elaboración propia.	68
Figura 6.2: Nave exportada desde el generador de pórticos a CYPE 3D. Elaboración propia.	69
Figura 6.3: Nave completa en CYPE 3D. Elaboración propia	69
Figura 6.4: Disposición final de las orientaciones de los perfiles. Elaboración propia..	70
Figura 6.5: Disposición de los nodos de las cimentaciones. Elaboración propia.....	71

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 5.1: Resultado del número de perfil IPN en función de la altura. Elaboración propia.....	61
Gráfica 5.2: Resultado del número de perfil UPN en función de la altura. Elaboración propia.....	62
Gráfica 5.3: Resultado del número de perfil HEA en función de la altura. Elaboración propia.....	62
Gráfica 5.4: Resultado del número de perfil HEB en función de la altura. Elaboración propia.....	63
Gráfica 5.5: Resultado del número de perfil IPE en función de la altura. Elaboración propia.....	63
Gráfica 5.6: Comparativa de pesos según el perfil y la altura por soporte. Elaboración propia.....	64
Gráfica 5.7: Comparativa de pesos según el perfil y la altura por número total de soportes. Elaboración propia.....	64
Gráfica 7.1: Comparativa de pesos para una altura de soporte de 3 metros. Elaboración propia.....	76
Gráfica 7.2: Comparación de pesos para una altura de 5 metros. Elaboración propia...	77
Gráfica 7.3: Comparación de pesos para una altura de 7,5 metros. Elaboración propia.	78
Gráfica 7.4: Comparación de precios para una altura de 3 metros. Elaboración propia.	80
Gráfica 7.5: Comparación de precios para una altura de 5 metros. Elaboración propia.	81
Gráfica 7.6: Comparación de precios para una altura de 7,5 metros. Elaboración propia.	82
Gráfica 7.7: Comparación de gasto de energético para una altura de 3 metros. Elaboración propia.....	83
Gráfica 7.8: Comparación de gasto de energético para una altura de 5 metros. Elaboración propia.....	84
Gráfica 7.9: Comparación de gasto de energético para una altura de 7,5 metros. Elaboración propia.....	85
Gráfica 7.10: Comparación de las emisiones de CO2 para una altura de 3 metros. Elaboración propia.....	86

Gráfica 7.11: Comparación de las emisiones de CO ₂ para una altura de 5 metros. Elaboración propia.....	87
Gráfica 7.12: Comparación de las emisiones de CO ₂ para una altura de 7,5 metros. Elaboración propia.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: símbolos adicionales para aceros de construcción. [4].....	19
Tabla 6.1: Resultado de la perfilería en pórtico articulado biempotrado. Elaboración propia.....	72
Tabla 6.2: Resultado del peso de acero en pórtico articulado biempotrado. Elaboración propia.....	72
Tabla 6.3: Resultado del peso de hormigón en pórtico articulado biempotrado. Elaboración propia.....	72
Tabla 6.4: Resultado de la perfilería en pórtico reticulado biempotrado. Elaboración propia.....	73
Tabla 6.5: Resultado del peso de acero en pórtico reticulado biempotrado. Elaboración propia.....	73
Tabla 6.6: Resultado del peso de hormigón en pórtico reticulado biempotrado. Elaboración propia.....	73
Tabla 6.7: Resultado de la perfilería en pórtico reticulado biapoyado. Elaboración propia.....	74
Tabla 6.8: Resultado del peso de acero en pórtico reticulado biapoyado. Elaboración propia.....	74
Tabla 6.9: Resultado del peso de hormigón en pórtico reticulado biapoyado. Elaboración propia.....	74
Tabla 7.1: Porcentaje de acero y hormigón utilizado y aumento de peso respecto a la estructura más ligera para 3 metros. Elaboración propia.....	77
Tabla 7.2: Porcentaje de acero y hormigón utilizado y aumento de peso respecto a la estructura más ligera para 5 metros. Elaboración propia.....	78
Tabla 7.3: Porcentaje de acero y hormigón utilizado y aumento de peso respecto a la estructura más ligera para 7,5 metros. Elaboración propia.....	79
Tabla 7.4: Porcentaje de inversión necesaria y aumento respecto a la estructura más ligera para 3 metros. Elaboración propia.....	80
Tabla 7.5: Porcentaje de inversión necesaria y aumento respecto a la estructura más ligera para 5 metros. Elaboración propia.....	81
Tabla 7.6: Porcentaje de inversión necesaria y aumento respecto a la estructura más ligera para 7,5 metros. Elaboración propia.....	82

Tabla 7.7: Porcentaje de energía necesaria y aumento respecto a la estructura más eficiente energéticamente para 3 metros. Elaboración propia.	83
Tabla 7.8: Porcentaje de energía necesaria y aumento respecto a la estructura más eficiente energéticamente para 5 metros. Elaboración propia.	84
Tabla 7.9: Porcentaje de energía necesaria y aumento respecto a la estructura más eficiente energéticamente para 7,5 metros. Elaboración propia.	85
Tabla 7.10: Porcentaje de CO ₂ emitido y aumento respecto a la estructura menos contaminante para 3 metros. Elaboración propia.	86
Tabla 7.11: Porcentaje de CO ₂ emitido y aumento respecto a la estructura menos contaminante para 5 metros. Elaboración propia.	87
Tabla 7.12: Porcentaje de CO ₂ emitido y aumento respecto a la estructura menos contaminante para 7,5 metros. Elaboración propia.	88
Tabla 8.1: Desglose del presupuesto del estudio. Elaboración propia.	91

ÍNDICE DE TABLAS DE LOS ANEJOS

Tabla A.1: Datos predimensionamiento IPN.....	2
Tabla A.2: Datos predimnsionamiento UPN.....	2
Tabla A.3: Datos de predimensionamiento HEA.....	3
Tabla A.4: Datos de predimensionamiento HEB.....	3
Tabla A.5: Datos de predimensionamiento IPE.....	4
Tabla B.1: Medición de acero para pórtico articulado biempotrado. 7,5 metros. HEB. ...	6
Tabla B.2: Medición de zapatas para pórtico articulado biempotrado. 7,5 metros. HEB.	6
Tabla B.3: Medición de vigas de atado para pórtico articulado biempotrado. 7,5 metros. HEB.	6
Tabla B.4: Medición de acero para pórtico articulado biempotrado. 7,5 metros. IPE.	7
Tabla B.5: Medición de zapatas para pórtico articulado biempotrado. 7,5 metros. IPE. .	7
Tabla B.6: Medición de vigas de atado para pórtico articulado biempotrado. 7,5 metros. IPE.	7
Tabla B.7: Medición de acero. 7,5 metros para pórtico articulado biempotrado. UPN. ...	7
Tabla B.8: Medición de zapatas para pórtico articulado biempotrado. 7,5 metros. UPN.	8
Tabla B.9: Medición de vigas de atado para pórtico articulado biempotrado. 7,5 metros. UPN.	8
Tabla B.10: Medición de acero para pórtico articulado biempotrado. 5 metros. HEB. ...	8
Tabla B.11: Medición de zapatas para pórtico articulado biempotrado. 5 metros. HEB.	8
Tabla B.12: Medición de vigas de atado para pórtico articulado biempotrado. 5 metros. HEB.	9
Tabla B.13: Medición de acero. 5 metros para pórtico articulado biempotrado. IPE.	9
Tabla B.14: Medición de zapatas para pórtico articulado biempotrado. 5 metros. IPE. ...	9
Tabla B.15: Medición de vigas de atado para pórtico articulado biempotrado. 5 metros. IPE.	9
Tabla B.16: Medición de acero para pórtico articulado biempotrado. 5 metros. UPN. .	10
Tabla B.17: Medición de zapatas para pórtico articulado biempotrado. 5 metros. UPN.	10
Tabla B.18: Medición de vigas de atado para pórtico articulado biempotrado. 5 metros. UPN.	10
Tabla B.19: Medición de acero para pórtico articulado biempotrado. 3 metros. HEB. .	10

Tabla B.20: Medición de zapatas para pórtico articulado biempotrado. 3 metros. HEB.	11
Tabla B.21: Medición de vigas de atado para pórtico articulado biempotrado. 3 metros. HEB.	11
Tabla B.22: Medición de acero para pórtico articulado biempotrado. 3 metros. IPE. ...	11
Tabla B.23: Medición de zapatas para pórtico articulado biempotrado. 3 metros. IPE.	11
Tabla B.24: Medición de vigas de atado para pórtico articulado biempotrado. 3 metros. IPE.	11
Tabla B.25: Medición de acero para pórtico articulado biempotrado. 3 metros. UPN. .	12
Tabla B.26: Medición de zapatas para pórtico articulado biempotrado. 3 metros. UPN.	12
Tabla B.27: Medición de vigas de atado para pórtico articulado biempotrado. 3 metros. UPN.	12
Tabla B.28: Medición de acero para pórtico reticulado biempotrado. 7,5 metros. HEB.	12
Tabla B.29: Medición de zapatas para pórtico reticulado biempotrado. 7,5 metros. HEB.	13
Tabla B.30: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biempotrado. 7,5 metros. HEB.	13
Tabla B.31: Medición de acero para pórtico reticulado biempotrado. 7,5 metros. IPE.	13
Tabla B.32: Medición de zapatas para pórtico reticulado biempotrado. 7,5 metros. IPE.	13
Tabla B.33: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biempotrado. 7,5 metros. IPE.	13
Tabla B.34: Medición de acero para pórtico reticulado biempotrado. 5 metros. HEB. .	14
Tabla B.35: Medición de zapatas para pórtico reticulado biempotrado. 5 metros. HEB.	14
Tabla B.36: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biempotrado. 5 metros. HEB.	14
Tabla B.37: Medición de acero para pórtico reticulado biempotrado. 5 metros. IPE. ...	14
Tabla B.38: Medición de zapatas para pórtico reticulado biempotrado. 5 metros. IPE.	15
Tabla B.39: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biempotrado. 5 metros. IPE.	15
Tabla B.40: Medición de acero para pórtico reticulado biempotrado. 5 metros. UPN. .	15

Tabla B.41: Medición de zapatas para pórtico reticulado biempotrado. 5 metros. UPN.	15
Tabla B.42: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biempotrado. 5 metros. UPN.	15
Tabla B.43: Medición de acero para pórtico reticulado biempotrado. 3 metros. HEB. .	16
Tabla B.44: Medición de zapatas para pórtico reticulado biempotrado. 3 metros. HEB.	16
Tabla B.45: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biempotrado. 3 metros. HEB.	16
Tabla B.46: Medición de acero para pórtico reticulado biempotrado. 3 metros. IPE. ...	16
Tabla B.47: Medición de zapatas para pórtico reticulado biempotrado. 3 metros. IPE.	17
Tabla B.48: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biempotrado. 3 metros. IPE.	17
Tabla B.49: Medición de acero para pórtico reticulado biempotrado. 3 metros. UPN. .	17
Tabla B.50: Medición de zapatas para pórtico reticulado biempotrado. 3 metros. UPN.	17
Tabla B.51: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biempotrado. 3 metros. UPN.	17
Tabla B.52: Medición de acero para pórtico reticulado biapoyado. 7,5 metros. HEB... 18	
Tabla B.53: Medición de zapatas para pórtico reticulado biapoyado. 7,5 metros. HEB.	18
Tabla B.54: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biapoyado. 7,5 metros. HEB.	18
Tabla B.55: Medición de acero para pórtico reticulado biapoyado. 7,5 metros. IPE.....	18
Tabla B.56: Medición de zapatas para pórtico reticulado biapoyado. 7,5 metros. IPE..	19
Tabla B.57: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biapoyado. 7,5 metros. IPE.	19
Tabla B.58: Medición de acero para pórtico reticulado biapoyado. 5 metros. HEB.....	19
Tabla B.59: Medición de zapatas para pórtico reticulado biapoyado. 5 metros. HEB... 19	
Tabla B.60: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biapoyado. 5 metros. HEB.	20
Tabla B.61: Medición de acero para pórtico reticulado biapoyado. 5 metros. IPE.....	20
Tabla B.62: Medición de zapatas para pórtico reticulado biapoyado. 5 metros. IPE.....	20
Tabla B.63: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biapoyado. 5 metros. IPE.	20

Tabla B.64: Medición de acero para pórtico reticulado biapoyado. 5 metros. UPN.....	21
Tabla B.65: Medición de zapatas para pórtico reticulado biapoyado. 5 metros. UPN...	21
Tabla B.66: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biapoyado. 5 metros. UPN.....	21
Tabla B.67: Medición de acero para pórtico reticulado biapoyado. 3 metros. HEB.....	21
Tabla B.68: Medición de zapatas para pórtico reticulado biapoyado. 3 metros. HEB...	22
Tabla B.69: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biapoyado. 3 metros. HEB.....	22
Tabla B.70: Medición de acero para pórtico reticulado biapoyado. 3 metros. IPE.....	22
Tabla B.71: Medición de zapatas para pórtico reticulado biapoyado. 3 metros. IPE.....	22
Tabla B.72: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biapoyado. 3 metros. IPE.....	22
Tabla B.73: Medición de acero para pórtico reticulado biapoyado. 3 metros. UPN.....	23
Tabla B.74: Medición de zapatas para pórtico reticulado biapoyado. 3 metros. UPN...	23
Tabla B.75: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biapoyado. 3 metros. UPN.....	23
Tabla C.1: Costes y emisiones del acero. 7,5 metros.....	25
Tabla C.2: Costes y emisiones del acero. 5 metros.....	25
Tabla C.3: Costes y emisiones del acero. 3 metros.....	26
Tabla C.4: Costes y emisiones del hormigón. 7,5 metros.....	26
Tabla C.5: Costes y emisiones del hormigón. 5 metros.....	26
Tabla C.6: Costes y emisiones del hormigón. 3 metros.....	27
Tabla C.7: Costes y emisiones totales. 7,5 metros.....	27
Tabla C.8: Costes y emisiones totales. 5 metros.....	27
Tabla C.9: Costes y emisiones totales. 3 metros.....	28

Capítulo 1

Introducción

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- Motivación

Para la elección del Trabajo Fin de Carrera me he basado en las asignaturas que mejores resultados he obtenido y más me han gustado, decantándome así por un proyecto de carácter de análisis estructural.

Así bien, la creciente globalización está dando lugar a que el transporte de mercancías sea mayor cada vez y que, por tanto, sea necesario un lugar donde transformar o controlar esa materia y/o almacenarla hasta que llegue el momento de llevarla a su destino final. Es decir, naves que hacen de centros logísticos.

Es por ello, que los polígonos industriales siguen creciendo alrededor de las grandes ciudades. Prueba de ello es la nueva planta de gestión abierta por Amazon este año a las afueras de Madrid.

En dichos polígonos industriales, es habitual ver la variedad de soluciones que se pueden obtener para una misma problemática. Por tanto, me resultó interesante poder evaluar la influencia de ciertas variables en los soportes de una nave industrial.

Además, se profundizará en el uso del programa comercial CYPE y se tomará contacto con normas tanto municipales acerca de la construcción industrial como del Código Técnico de la Edificación (CTE) principalmente, y en menor medida con la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE).

1.2.- Objetivos y alcance

El objetivo principal y final de este proyecto es la obtención de unas conclusiones al analizar y comparar distintos tipos de disposiciones y tipos de perfil de los soportes de una nave industrial.

Conjuntamente al objetivo primordial, se persiguen los siguientes objetivos específicos:

- Generar una herramienta en hoja de cálculo que genere las cargas sobre dintel y pilar del pórtico más desfavorable automáticamente en función de ciertos

parámetros de entrada y que posteriormente genere la combinación pésima para poder predimensionar en función de la altura y del tipo de perfil.

- Elaborar una metodología que permita evaluar los soportes desde una perspectiva estructural, económica y ambiental para poder obtener las conclusiones del proyecto.

El estudio realizado se limitará a las naves de cubierta plana con distintas disposiciones de las uniones pilar-dintel (articulada o rígida) y de la parte inferior de los soportes (empotramiento o apoyo). Por tanto, no es aplicable a naves a dos aguas o inclinadas. El uso preestablecido de la nave será de tipo almacén o similar.

1.3.- Estructura del trabajo

- Capítulo 1: Introducción

Se expone una breve descripción del trabajo indicando la motivación, la estructura y los tiempos de este.

- Capítulo 2: Metodología seguida

Se explican los pasos que se han llevado a cabo para poder llegar a las conclusiones. Desde el primer paso que es acotar el estudio, hasta el último en el que se consiguen resultados de peso, precio y medioambiente a través de un predimensionamiento y de un cálculo estructural asistido por ordenador.

- Capítulo 3: Estado del arte

Se expone como está el sector de la construcción industrial en los últimos años a la par que se describe la evolución tanto de las estructuras de acero como de los soportes a lo largo de la historia.

- Capítulo 4: Elección de la parcela y requisitos de la nave (marco normativo)

En este apartado, se elige un polígono industrial sobre el cual se edificaría la nave para poder acotar las cargas (viento y nieve) y las dimensiones. Además, se explica la normativa de edificación y de cálculo que se va a seguir para el desarrollo del proyecto.

- Capítulo 5: Cálculo analítico mediante CTE

Se desarrolla el modelo matemático de las leyes de esfuerzos sobre soportes y dintel en un pórtico biempotrado en las bases de los soportes y articulado en las uniones pilar-dintel. Así, se obtienen unos resultados combinando los esfuerzos en una hoja de cálculo y se obtiene un predimensionamiento que servirá de orientación a la hora de la simulación en software.

- Capítulo 6: Cálculo en software CYPE

En este capítulo se calculan tres tipos de naves de cubierta plana con los que se obtendrán unos resultados que servirán para evaluar y comparar los soportes. Esta simulación se realiza para 3 perfiles diferentes y 3 alturas distintas. Además, se dimensionan las zapatas y vigas de atado que tendría la nave en cada caso.

- Capítulo 7: Análisis económico y ambiental

Mediante los resultados de peso de hormigón y acero obtenidos y consultando un banco de precios, gasto energético y contaminación se establecen gráficas comparativas y tablas porcentuales que dan pie al análisis de resultados.

- Capítulo 8: Presupuesto

Se establece el coste del proyecto con una estimación de 300 horas asociado al coste por hora de todos los elementos empleados (licencias de softwares, ordenador, puesto de trabajo, ...)

- Capítulo 9: Conclusiones

Se establecen unas conclusiones obtenidas a lo largo de todo el desarrollo del proyecto.

- Capítulo 10: Línea de trabajos futuros

Se proponen temas para posibles trabajos futuros relacionados con este.

1.4.- Organización del trabajo

A continuación, se muestra un diagrama de Gantt en el que se muestra las fases parciales que se han seguido para la elaboración del trabajo de fin de grado.

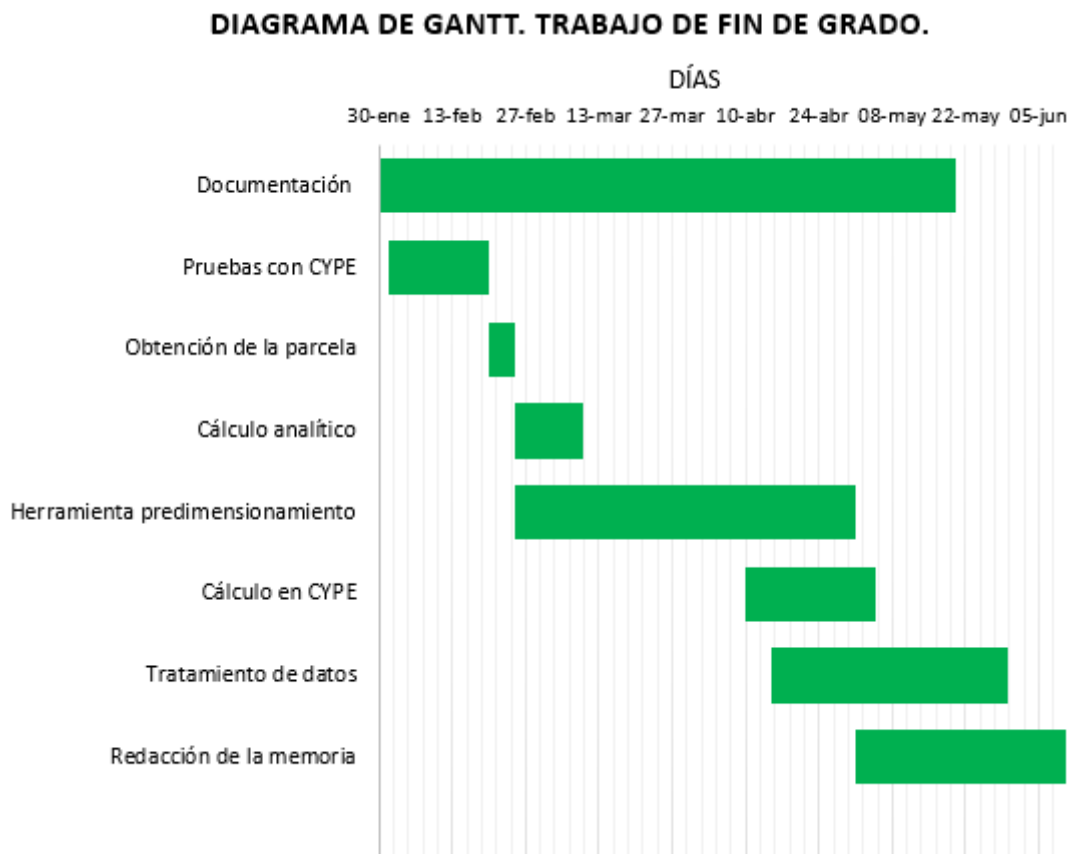


Figura 1.1: Evolución temporal del proyecto. Elaboración propia.

Así, la realización del TFG comenzó el día después de la finalización de los exámenes del primer cuatrimestre del curso 2018/2019.

El proceso de documentación y de lectura de información ha sido una constante a lo largo del proyecto y ha servido para sentar y acotar las bases del estudio.

Las primeras semanas también se hicieron pruebas con el software de cálculo para poder familiarizarse con su uso y con la obtención de datos correctamente.

El resto de las etapas se han ido enlazando y superponiendo según avanzaban los resultados obtenidos hasta llegar a la redacción de la memoria definitiva.

Capítulo 2

Metodología seguida

2.- METODOLOGÍA SEGUIDA

Primeramente, y como punto de partido, se ha elegido una parcela en una ubicación geográfica concreta de un polígono industrial. Esto, ayudará a que los cálculos mediante el Código Técnico de la Edificación (CTE) no sean tan difusos ya que nos dará datos concretos de esa zona para calcular las cargas de viento y nieve. Además, el estudio se asemejará más a lo que podría presentar una empresa consultora del mundo de las naves industriales.

Tras este paso, se ha buscado una parcela libre en el polígono industrial elegido y se ha confirmado mediante la página web de la Sede Electrónica del Catastro tanto el uso del suelo como que no estaba construido aún. Además, se han obtenido las dimensiones del terreno.

Después, y siendo consciente de las dimensiones, se ha consultado y estudiado la normativa del término municipal al que pertenece el polígono industrial. Así, se han conseguido establecer las dimensiones máximas que podrá tener la nave en todas sus direcciones. En función de estas, la nave será clasificada y tendrá un uso en función de esa clasificación.

A continuación, se calcularán las leyes de esfuerzos de los pilares y el dintel de un pórtico biempotrado articulado que servirá de referencia a la hora de la simulación en el software estructural. Una vez obtenidas estas, se pasará a generar los esfuerzos máximos de cada elemento y se calcularán para cada tipo de carga definida. Después, se tendrán que combinar para obtener el esfuerzo que más solicite a la estructura para predimensionar el perfil comprobando la sección y posteriormente la barra entera. Todo este proceso se ha automatizado mediante una hoja de cálculo para poder variar el tipo de perfil y la longitud del soporte. Así se ha evaluado el soporte cada 30 centímetros entre una altura mínima elegida y la máxima permitida por la norma municipal del polígono.

Tras este paso, se escogerán tres tipos de perfiles significativos y se simularán mediante la herramienta de cálculo CYPE en la disposición calculada analíticamente y dos más. Se simulará para 3 alturas distintas. Así, se obtendrán los tipos de perfiles que se han de emplear y se dimensionarán las zapatas y las vigas de atado de todos los soportes de la estructura.

Tras la comparación de resultados, se pasará al estudio económico y ambiental, y a la elaboración del presupuesto.

En resumen, los pasos serán los siguientes:

1. Elección tanto de la parcela como del emplazamiento del polígono industrial.
2. Normativa municipal.
3. Dimensiones y tipo de estructura.
4. Obtención de las leyes de esfuerzos en función de las variables requeridas.
5. Cálculo de las cargas y combinaciones según CTE.
6. Predimensionamiento
7. Simulación y optimización de la estructura en CYPE
8. Resultados
9. Estudio económico y ambiental
10. Presupuesto del proyecto

Capítulo 3

Estado del arte

3.- ESTADO DEL ARTE

3.1.- Introducción

Una estructura es, según explica Torroja, 2007, un “conjunto de elementos resistentes capaz de mantener sus formas y cualidades a lo largo del tiempo, bajo la acción de cargas y agentes exteriores a que ha de estar sometido”. Así pues, la estructura tiene que resistir a las cargas exteriores y a las reacciones que se producen en los distintos apoyos. Estas, se reparten a través de toda la estructura en forma de tensión que es absorbida por el material de cada elemento que la compone. [11]

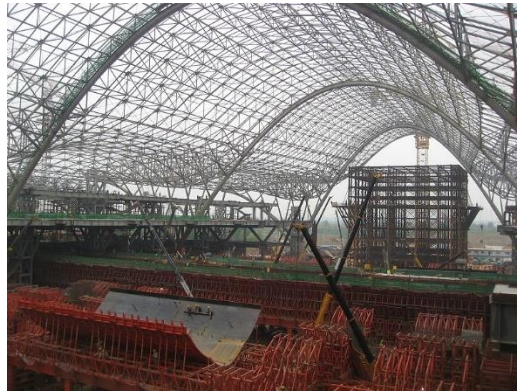


Figura 3.1: Estructura de acero. [11]

Las construcciones de acero en la ingeniería estructural se remontan a hace algo más de un siglo. A día de hoy, se considera que en el futuro van a seguir teniendo una gran importancia en la mayoría de las edificaciones. Por ello, se apuesta por la inversión en nuevos estudios acerca del acero que aporten nuevas propiedades a las actuales o las mejoren. Así bien, las gamas más recientes tienen una mayor ligereza, rigidez y resistencia. [1]

En general, las naves industriales son utilizadas en polígonos industriales, parques tecnológicos o pabellones en los que se realiza cualquier actividad indoor posible. Comúnmente, en los diseños de estructuras que cubren una gran cantidad de superficie se tiende a eliminar cualquier complejidad, minimizar los kilos de acero y otros materiales empleados como puede ser el hormigón, pensar en la sostenibilidad y economizar la energía tanto para la construcción como para su uso. Por otro lado, la estructura no solo

abarca el espacio funcional, sino que también está conformada por parapetos y marquesinas que normalmente tienen una función pero que además son empleadas para armonizar la estructura final. [2]



Figura 3.2: Pistas de pádel en el interior de una nave industrial. [1 2]

El crecimiento de este sector sigue siendo constante y, según los estudios que se han realizado, parece que aumentará su importancia con el paso de los años. Esto es debido a su facilidad y fiabilidad a la hora de construir, a su gran abanico de perfiles y aceros normalizados y a que con un mantenimiento correcto las estructuras son útiles durante una gran cantidad de años. [1]

3.2.- Historia de las construcciones en hierro y acero

A pesar de que la producción masiva de estructuras en acero es reciente, las aleaciones del hierro se conocían desde la antigüedad. La primera prueba de producción de hierro se remonta al siglo XVII a.C. El uso de este se extendió por toda Europa y Asia, pero no sufrió ninguna mejora notable hasta la Edad Media. En esta época, se empezaron a utilizar toberas que impulsaban aire con cierta presión lo cual mejoraba notablemente las propiedades. Este hierro era utilizado mayoritariamente en herramientas y objetos similares hasta que a mediados del siglo XIX se empezara a utilizar de forma masiva en edificios, puentes, paradas de líneas de tren, etc. Así bien, con el devenir de los años, el francés Emile Martin, y más tarde los ingleses Thomas y Gilchrist introdujeron mejoras que dieron paso a la transición del hierro al acero. Esto causó que a principios del siglo

XX se prohibiera el uso del hierro en las normativas aplicables, fomentando así el uso del acero. Sin embargo, siguen existiendo estructuras de hierro que deben ser reacondicionadas, pero no se sabe exactamente qué tipo de material fue utilizado por lo que se deben extraer muestras y analizarlas. Una vez se demuestre que es hierro se deberá tomar una decisión para la sustitución de este por acero. [1]

Cabe decir que, cada vez que se han desarrollado nuevas propiedades o se han mejorado, los cambios estructurales son mínimos al principio. Es decir, hasta que no se conoce fielmente el comportamiento, no se exploran nuevas disposiciones de los elementos estructurales. Una vez estudiadas esas nuevas o mejoradas propiedades en estructuras ya comprobadas anteriormente, y estando siempre del lado de la seguridad, tanto los arquitectos como los ingenieros estructurales se disponen a diseñar nuevas disposiciones arquitectónicas. El paso inverso es que una vez se tiene muy estudiado un material y ha sido muy utilizado en diversas estructuras, los arquitectos se recrean con dichos materiales dando formas que satisfacen más la parte subjetiva que la meramente objetiva que es la resistencia optimizada de los esfuerzos. [3]

3.3.- Evolución de la producción del acero y del diseño de las estructuras de acero

En las primeras construcciones el acero empleado tenía una composición no del todo controlada y unas propiedades que variaban según la fabricación que se había llevado a cabo. Esta problemática se ha eliminado gradualmente a la par que se ha mejorado la producción pasando de unos 60-100 kg/hora hombre en la década de los 70 a unos 1250kg/hora hombre actualmente. Esto ha sido gracias a la mejora de las máquinas implicadas en los procesos de producción ya que han evolucionado o se han convertido en máquinas de control numérico pudiendo darse los famosos trenes de fabricación que eliminan tiempos no productivos. Así pues, se ha reducido el tiempo de fabricación y por tanto se ha aumentado el número de kg/hora en todas las acerías. No hay que olvidar que, con las mejoras de las máquinas empleadas en la elaboración, también se han mejorado las propiedades obteniendo láminas de acero más finas, con mejor acabado y con una composición mucho más homogénea que antiguamente. Todo este proceso de mejora ha servido para poder abastecer de manera eficaz a todos los proyectos desarrollados que demandaban una gran cantidad de acero de calidad. [1]

Esta aceleración, de las últimas décadas, en las mejoras viene de la reconstrucción y reestructuración propuesta por la Comunidad Europea del Carbón y del Acero (1952) para dinamizar la industria tras la II Guerra Mundial en la que se destruyeron una gran cantidad de fábricas. Este proceso ha sido arduo y lento, pero finalmente se ha conseguido una industria siderúrgica en auge que es moderna y que tiene una competencia sana. Como muestra de la evolución del sector se puede decir que la Torre Eiffel (1888) pesa alrededor de 7000 toneladas y si fuera diseñada hoy en día solo pesaría 2000 toneladas. Otro gran ejemplo son los puentes donde antiguamente se utilizaban varias secciones remachadas lo que hacía que la estructura pesara demasiado. En la actualidad, se construye con una sola chapa de sección variable. Esto hace que el puente este mucho más optimizado, alcanzando un tiempo menor de fabricación y montaje y por tanto un menor coste total. [1]



Figura 3.3: Torre Eiffel. [1 1]

Respecto al diseño cabe indicar que su evolución también ha sido enorme gracias a los ordenadores y a los programas de diseño que se utilizan hoy en día. Estos, han liberado a los ingenieros de la rutina que suponía realizar cálculos estructurales de alto nivel de complejidad. Así, a pesar de tener que confirmar siempre los cálculos, pueden centrarse en el diseño del estado límite. También ha entrado en juego la redacción de distintas

normas que ayudan a la comprensión de los términos que hay que cumplir. Estas normas pueden ser Eurocódigos o el Código Técnico de la Edificación, aunque pueden usarse otras. [1]

En la actualidad, la presión por acortar tanto tiempos de diseño como de fabricación/construcción es agobiante para cumplir los plazos de entrega. La parte de la cadena que más impacto ha sufrido es la de ejecución/construcción. Se intenta que la estructura esté lo más optimizada y sea sencilla para que a la hora de la construcción no se pierda tiempo. Esto aplica en la fase de diseño, ya que cuando se obtiene una estructura que cumple con lo impuesto en el proyecto hay que revisarla para optimizarla tanto para facilitar su montaje como reducir los kilos utilizados. A su vez, al optimizarla es necesario que existan aceros y perfilaría con mejores prestaciones a menores pesos y menores precios. De todo este proceso, se desprende que el diseño es un proceso iterativo en el tiempo ya que, si avanzan las propiedades de los perfiles utilizados, se optimizan las estructuras y por tanto los tiempos de ejecución serán menores. [1]

Para llegar al desarrollo actual se ha dejado de invertir en otros aspectos como la formación y la supervisión en obra por lo que podría interpretarse que la calidad es difícil de mantener. Sin embargo, las estructuras de acero son precisas debido a que se fabrican en talleres en los que la mano de obra es siempre la misma y tienen una buena formación. Esto se debe a que para la empresa es beneficioso la inversión de tiempo y dinero en formar de manera correcta a sus empleados. Por tanto, al realizarse solo el montaje en obra la calidad es más fácil de controlar y no es necesaria una gran inversión. [1]

En el futuro, según el Instituto Técnico de la Estructura en Acero, se especula con los siguientes puntos:

- Se aplicarán métodos de control de calidad en la producción que generarán mejores resultados a precios más competitivos. Gracias a esto, el número de reparaciones de estructuras de acero disminuirá.
- Se aplicarán softwares en ordenadores que minimizarán el tiempo y los costes de fabricación de estructuras muy comunes y utilizadas como pueden ser naves industriales.
- Desarrollo de nuevas técnicas termodinámicas para el tratamiento del acero. Esto bajará el precio de los aceros de alta resistencia y los ingenieros lo utilizarán más por lo que se obtendrá un mayor potencial a la hora de diseñar estructuras.

- Aumento de la variedad de perfiles que se pueden utilizar debido al avance de las técnicas actuales en busca de una mayor eficiencia.
- Mejoras en la resistencia al fuego y a la corrosión
- Las estructuras se diseñarán de manera que puedan ser montadas y desmontadas. Esto está pensado para que la producción sea sostenible y no se destruya el medio ambiente. Por tanto, el acero empleado para la estructura inicial se desmontará y se reutilizará en otra estructura posterior si no ha perdido sus propiedades.

Todos estos puntos se creen posibles debido a la existencia de una infraestructura especialista que utiliza publicaciones redactadas por técnicos. Estas, aglomeran todas las ideas describiéndolas con claridad para un correcto desarrollo de nuevas tecnologías aplicables al acero. Cabe resaltar, que es sorprendente como un material con algo más de 100 años de antigüedad de utilización común sigue teniendo margen de mejora y se sigue invirtiendo en el desarrollo. [1]

3.4.- Factores de diseño y de seguridad

Todo diseño tiene que pensar también en la comodidad del interior para las operaciones que se vayan a realizar. Así, se tiene en cuenta el aislamiento acústico, el aislamiento térmico, el riesgo de condensación y el riesgo de incendio. [2]

En función de las operaciones que se realicen y de las máquinas utilizadas en el interior el aislamiento acústico tendrá que ser mayor o menor. Esto, se logra con el cerramiento tanto lateral como superior de la estructura. Este cerramiento debe interrumpir, absorber y reducir la transmisión del ruido mediante diferentes capas y materiales. [2]

La principal misión del aislamiento térmico es cumplir con la temperatura que marca la normativa. Además, intentar que este aislamiento sea lo más eficaz posible para que el uso de energía para producir calor o frío, según la estación climática, sea eficiente. Es decir, que las pérdidas sean lo menor posible. En verano, la nave se calienta por la incidencia del sol en gran parte por lo que una reducción del área total expuesta ayuda a que la temperatura interior sea menor. Todos estos aislamientos se consiguen mediante la estanqueidad de las juntas. Por tanto, a menor número de juntas menor será la pérdida en el balance de energía. [2]

El riesgo de condensación está ligado al aislamiento térmico. Hay que tener especial cuidado en el montaje del aislamiento térmico para que no se produzca una acumulación de humedad durante la construcción ya que esto puede afectar a la estructura. Además, esta condensación puede dañar las capas de los distintos materiales utilizados en la cubrición. [2]

En cuanto al riesgo de incendio hay que tener en cuenta la evacuación de la nave (número de salidas de emergencia, situación, señalización, etc), la propagación en función de las propiedades de cada material, sistemas de detección y protección y el acceso para los bomberos. Todos estos factores dependen de la probabilidad de que ocurra un incendio, de la situación geográfica, de las condiciones de la estructura, etc. [2]

Cabe resaltar que en función del país en el que se edifique la nave industrial se tendrán que cumplir unos u otros estándares de seguridad y climatización a pesar de que haya normas comunes a toda una comunidad como puede ser la Unión Europea. [2]

3.5.- Ventajas e inconvenientes de las estructuras de acero

A continuación, se exponen algunas características a tomar en cuenta a la hora de elegir una construcción de acero como material principal. [1] [8] [16] [17]

Ventajas:

- Ligereza, esbeltez y versatilidad de las estructuras.
- Gran resistencia y rigidez mecánica que permiten menores secciones de los elementos que se emplean.
- Libertad para el diseño y futuras mejoras o modificaciones.
- Facilidad y rapidez en el montaje gracias a la prefabricación.
- Posibilidad de reutilización (desmontar el elemento estructural de una construcción para montarlo en otra) y de reciclaje (volver a fundir el acero para darle otra forma). Es decir, no es un material de un único uso.

Desventajas:

- Necesidad de perfección en los cortes de los elementos que constituyen la estructura. Para esto es necesario una mayor elaboración en la tapa de fabricación industrial.
- El fuego y la corrosión. Para esto hay que tratar al material.
- Los elementos soldados son difíciles de controlar y necesitan una revisión constante mediante métodos END.

3.6.- El acero

El acero es una aleación de hierro y carbono, siempre y cuando el porcentaje de este último sea inferior al 2%. A mayor porcentaje de carbono, mayor es la resistencia y la dureza del acero lo cual hace que sea más frágil y menos dúctil. Por otro lado, a menores porcentajes es más fácil soldarlo con otros componentes por lo que puede ser interesante y necesario emplear un bajo porcentaje de carbono en función del tipo de estructura que se va a diseñar. [4]

Según el porcentaje de carbono se clasifican en:

1. Acero no aleado: Tiene un porcentaje menor al 0,2
2. Acero de baja aleación: Tiene una cantidad mayor al 0,2 %. Además, tiene una cantidad que no debe llegar al 5% de otros elementos.
3. Acero de alta aleación: Posee más de 5% de otros elementos. A este grupo pertenece uno de los aceros más importantes y utilizados como es el acero inoxidable. Este, tiene un porcentaje mínimo de cromo del 10,5 y máximo de carbono del 1,2.

A pesar de la variabilidad de los elementos del acero las características que se exponen a continuación son generales y comunes a todos los tipos de acero existentes [7]:

- Módulo de elasticidad (E): 210000 N/mm^2
- Módulo de elasticidad transversal (G): 8100 N/mm^2
- Coeficiente de Poisson (ν): 0,3
- Coeficiente de dilatación térmica (α): $1,2 \times 10^{-5}$
- Densidad (ρ): 7850 kg/m^3

En función de las demás características (mecánicas, químicas, de aplicación, etc) que tiene el acero se le nombra según la norma UNE EN 10027-1. Así pues, se les

denomina con la S de steel que significa acero en inglés. El siguiente término indica el límite elástico en MPa para un mínimo de espesor y el último son símbolos adicionales.

Forma de nombrar según la UNE EN 120027-1:

S 355 XXX

Los símbolos adicionales están separados en dos posibles grupos que se adjuntan en la siguiente imagen. Si el símbolo perteneciente al primer grupo no es suficiente para describir al acero habrá que añadir símbolos del segundo. Por tanto, no es posible utilizar solamente símbolos pertenecientes al grupo 2.

Símbolos adicionales para los aceros de construcción				
GRUPO 1				GRUPO 2
Características de flexión por choque en Julios (J)			Temperatura de ensayo	
27J	40J	60J	°C	C= Conformado especial en frío
JR	KR	LR	20	D= Galvanización en caliente
J0	K0	L0	0	E= Esmaltado
J2	K2	L2	-20	F= Forjado
J3	K3	L3	-30	H= Perfil hueco
J4	K4	L4	-40	L= Baja temperatura
J5	K5	L5	-50	M= Laminación termomecánica
J6	K6	L6	-60	N= Normalizado o laminado de normalización
A= Endurecimiento por precipitación M= Laminación termomecánica N= Normalizado o laminado de normalización Q= Templado y revenido G= Otras características				P= Tablestacas
Nota: los símbolos A, M, N y Q se aplican a los aceros de grano fino				Q= Templado y revenido
				S= Construcción naval
				T= Tubos
				W= Resistentes a la corrosión atmosférica

Tabla 3.1: símbolos adicionales para aceros de construcción. [4]

Como aclaración de los símbolos adicionales de cara a la construcción [7]:

- Si el grado es JR implica que la construcción deberá ser ordinaria
- Si el grado es J0 el acero está preparado para altas exigencias de soldadura
- Si el grado es J2 podrá ser utilizado en construcciones con especiales exigencias a la resistencia, resiliencia y soldabilidad.

Existe también la norma UNE EN 12007-2 que establece que a cada tipo y grado de acero se le tiene que asignar un número propio. El tipo de número es el siguiente:

1 XX YY(YY)

Donde, el número 1 indica que se trata de acero, el segundo término es el grupo del acero según el uso y el tercer término indica el número de orden. Los factores entre paréntesis están para posibles ampliaciones en el futuro.

Los procesos de fabricación del acero utilizados en construcción están regulados por Euronormas y se clasifican por:

- Productos planos de acero recubiertos en continuo de materias orgánicas (normas UNE EN 10169 y UNE EN 10326): En el recubrimiento se aplica de manera continua un material orgánico sobre una banda metálica laminada. Asimismo, durante este tratamiento, se hace una limpieza y un pretratamiento químico además de o aplicar una pintura líquida o un recubrimiento de polvo que después se polimeriza o se procede a una laminación con una lámina plástica
- Productos huecos acabados en caliente (norma UNE EN 10210) y conformados en frío (norma UNE EN 10219): El uso de productos conformados en frío es menos común que el de los conformados en caliente en la ingeniería estructural debido a la concentración de tensiones que se generan en operaciones de mecanización como puede ser el plegado.
- Perfiles abiertos laminados en frío y perfilados (norma UNE EN 10162): La característica principal de estos perfiles es su sección transversal que se mantiene constante en toda su longitud y tiene formas muy diversas (L, U, C, ...).
- Productos laminados en caliente (norma UNE EN 10025):
 - Productos laminados en caliente de acero no aleado para construcciones metálicas (norma UNE EN 10025-2): El acero se calienta hasta alcanzar temperaturas cercanas a los 1200 o 1300 °C. Seguidamente se le da la forma necesaria mediante trenes de rodillos consecutivos. Este proceso le aporta al producto una gran mejora a las propiedades intrínsecas del acero. También, son los más usados normalmente en construcciones industriales.
 - Productos laminados en caliente, para construcciones metálicas. Aceros normalizados, soldables y de grano fino (norma UNE EN 10025-3): Los aceros de grado fino están aleados y son muy buenos para soldar si tienen

un nivel bajo de carbono equivalente. Además, tienen una buena resistencia tanto a la tracción como a la tenacidad. Esta última incluso a temperaturas más bajas de lo habitual. El afine de grano se consigue con un método de normalización y la dureza mediante un enfriamiento lento a partir de los 950 °C. Durante este enfriamiento la estructura se homogeniza dando mejores propiedades.

- Productos laminados en caliente. Aceros soldables de grano fino con laminación termomecánica (norma UNE EN 10025-4): Suelen ser productos de longitud considerable y planos que se laminan en caliente. El grano fino se consigue como indica el título con laminación termomecánica. Este proceso realiza la deformación final a unas temperaturas controladas y estudiadas que dan unas características muy particulares que no se conseguirían de otra manera. Son aceros aleados, son tenaces a temperaturas más bajas que los normalizados y al igual que los anteriores son buenos en soldadura por el mismo motivo.
- Productos laminados en caliente. Aceros con mejor resistencia a la corrosión del aire libre (norma UNE EN 10025-5): Este acero se combina con fósforo, cromo, níquel, cobre, etc para que resulte una aleación con mayor resistencia a la corrosión que producen las condiciones atmosféricas mediante la formación de una capa de óxidos.

3.7.- Tipos de estructuras industriales

Todas las estructuras industriales parten un dintel o viga que se apoya sobre dos pilares. Las uniones entre estos dos elementos o de los pilares con el terreno pueden ser de diferentes maneras por lo que hay diversas combinaciones para la realización de estas. Así, con dichas uniones, y los muros laterales que se utilizan generalmente, los pórticos son suficientemente rígidos y estables en su plano, mientras que la estructura global necesita arriostramientos en el plano perpendicular a dichos pórticos. Las siguientes estructuras que se muestran son las más comunes y se explicarán a continuación. [2]

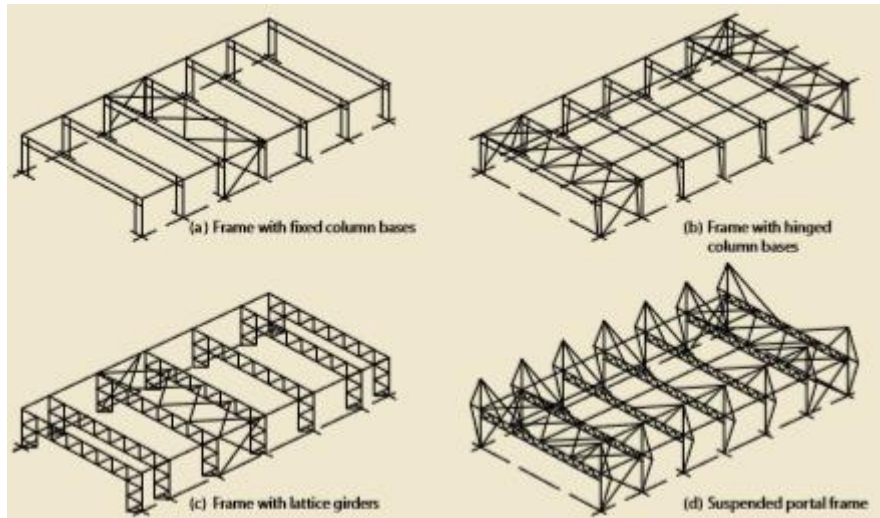


Figura 3.4: Tipos de estructuras industriales. [2]

En la figura 3.4 podemos observar cuatro tipos diferentes de edificaciones. La nave (a) tiene las bases de los pilares empotrados en el suelo mientras que la nave (b) está articulada. Las naves del tipo (a) son utilizadas generalmente cuando son necesarias grúas pesadas. Además, las flechas que se dan horizontalmente al haber grandes cargas son menores. En contraposición, las naves de tipo (b) necesitan un cimentación menos fuerte y cuidada y posee uniones más simples. [2]

En las naves (c) y (d) hay partes del forjado de la estructura que quedan fuera de la edificación. Estos elementos quedarán al aire libre y por tanto tendrán que ser diseñados y ejecutados de manera especial para poder aguantar el tiempo estipulado. Estas estructuras suelen estar ideadas más del lado de la particularidad que de la utilidad. Es decir, para agradar visualmente. [2]

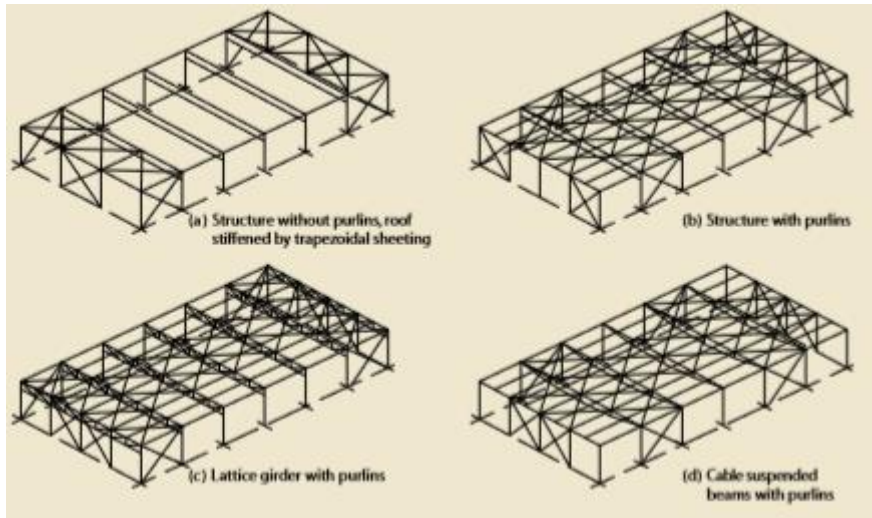


Figura 3.5: Tipos de estructuras industriales. [4]

De la figura 3.5, la nave (a) es un caso particular al no tener correas que unan sus pórticos. Por tanto, la rigidización se produce por medio del cerramiento de cubierta y los arriostramientos en el plano perpendicular a los pórticos. [2]

La nave (b) sí utiliza correas por lo que el diseño del revestimiento final de la cubierta va a ser mucho más sencillo que en el caso anterior debido a que se reduce la luz que debe cubrir. Al igual que la anterior, la estructura global es rigidizada mediante cruces de San Andrés en el plano perpendicular al de pórtico. [2]

Respecto de las naves (c) y (d) podemos decir que utilizan como solución constructiva las celosías y vigas atirantadas. Estas, dan lugar generalmente a luces mayores a las comunes y una solución más agradable en cuanto a estética. Cabe resaltar que una solución más estética puede implicar un aumento del coste total ya sea por las uniones o por la complejidad a la hora de construir. [2]

3.7.1.- Estructuras porticadas

Un pórtico tiene que resistir la acción de las cargas que se le apliquen, en el caso de las naves industriales las cargas variables y permanentes definidas por la norma, a sus elementos que esencialmente estarán solicitados a flexión. [12]

Son las más utilizadas en la mayoría de los países y suelen ser muy eficaces a la par de funcionales. Esto es debido a que siempre es posible afrontar un mismo proyecto de

diversas maneras. Estos pórticos consiguen rigidez y estabilidad longitudinalmente por medio de elementos secundarios como son las correas. [4]

A pesar de su sencillez, se ha innovado diseñando estructuras que son capaces de aguantar las especificaciones mediante articulaciones y tirantes. En la imagen siguiente se muestran algunos tipos de pórticos. [4]

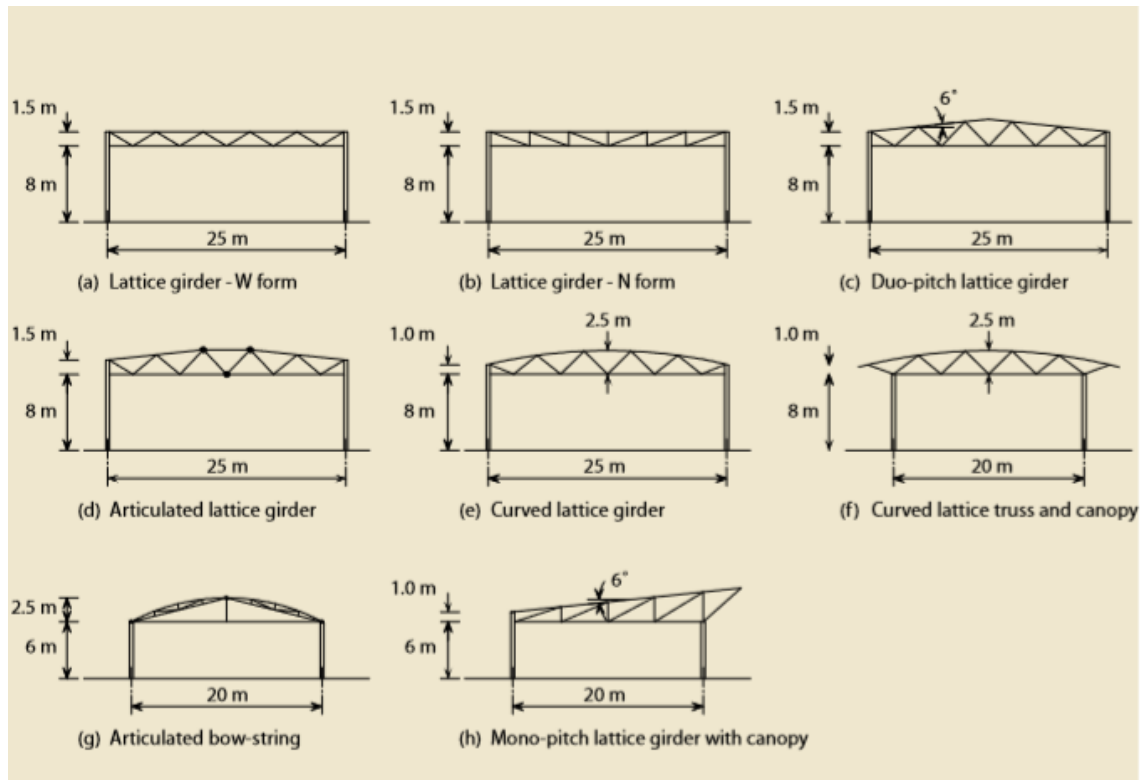


Figura 3.6: Diferentes tipos de pórtico. [4]

3.7.2.- Estructuras atirantadas

Este tipo de estructuras permite una mayor luz entre pilares respecto de los demás tipos y son bastante ligeras. Esto es debido a que se diferencian claramente los elementos que, generalmente, trabajan a compresión y tracción. Además, aporta una gran belleza visual y constructiva. Todo este compendio termina por afectar a los elementos estructurales principales como es el caso de los soportes que pueden llegar a sobre salir por encima del techo para sujetarlo mediante cables atirantados. [2]



Figura 3.7: Fabrica de Reanult. Nave atirantada. [4]

A pesar de conseguir grandes resultados de ligereza, es posible no conseguir un gran resultado económico. Esto es debido a la complejidad que se le añade a la estructura innecesariamente desde el punto de vista estructural básico. Así bien, se suelen dar en construcciones teóricamente icónicas como pueden ser los aeropuertos. En el sector de naves industriales no suelen ser muy utilizados salvo casos excepcionales. [2]

3.7.3.- Estructuras con celosía

Estas estructuras, al igual que las anteriores, consiguen grandes luces. Además, la propia celosía ayuda al montaje mecánico de cualquier elemento que preste servicio en su interior como puede ser un carro que ayude al movimiento de los materiales o productos. Así, se basa en la triangulación de barras para otorgar a la estructura una mayor rigidez y resistencia a la par que se consigue un ahorro de material ya que se distribuyen de mejor manera los esfuerzos. [2]

3.8.- Evolución histórica de los soportes

Los soportes o pilares son de los elementos más importantes en cualquier construcción y son generalmente verticales, aunque pueden aceptar una ligera inclinación.

Su uso se remonta a las primeras construcciones del ser humano para poder guarnecerse del exterior y siempre están solicitados a compresión. [5]

Ha sido un elemento tan utilizado a lo largo de la historia de la humanidad que ha sufrido diversas modificaciones basadas en el descubrimiento de nuevos materiales, nuevas técnicas constructivas y el estudio del comportamiento a compresión. [5]

Se especula con que el primer soporte de la historia podría ser de madera o simplemente dos árboles entre los que se disponía algún elemento que hiciera de techo, al estilo de una cabaña. Estas construcciones fueron evolucionando con materiales que se encontraban fácilmente en la naturaleza como eran las piedras. Estas trabajan mejor a compresión que la madera, son más duraderas a la erosión y tienen menor riesgo de incendio. Una construcción famosa donde pueden verse los primeros soportes utilizados es el conjunto megalítico de Stonehenge en Reino Unido que data del año 3000 a.C. aproximadamente. [5] [11]



Figura 3.8: Conjunto de Stonehenge en Reino Unido. [I 1]

Más tarde, las civilizaciones mesopotámicas y egipcias empezaron a construir columnas compuestas de varios bloques de piedras apilados uno encima de otros. Estos bloques empezaron a esculpirse para darles una forma representativa. [5]

Generalmente, estos soportes de piedra de la antigüedad eran más bastos en la base que en la parte superior debido a que esta, tenía que soportar tanto los esfuerzos como el peso propio. [11]



Figura 3.9: Apadana del palacio de Persépolis. [1 1]

En esta época también nacen las famosas columnas jónicas, dóricas y corintias. La columna dórica, se asemejaba a la pierna de un hombre ya que la altura total era 6 veces el fuste inferior de ella para otorgarle robustez y resistencia. Este valor se le dio observando la forma humana. La jónica llevó el mismo proceso, pero respecto a la pierna de una mujer, otorgándole así una esbeltez mayor que a la anterior ya que su altura total era 7 veces el fuste inferior. [5]

Durante la Edad Media, las columnas evolucionaron hacia perfiles mucho más esbeltos como son las columnas góticas. Este proceso se cree que se llevó en base al tratado de “Los diez libros de Arquitectura” escrito por Vitruvio en el siglo I a.C. [5]

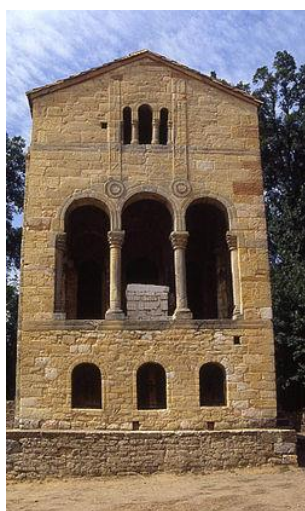


Figura 3.10: Iglesia de Santa María del Naranco en Asturias. Siglo IX. [1 1]

Además, los muros o paredes durante el Gótico se fueron aligerando de manera que su misión ya no era aguantar cierto peso. Esto se pudo realizar debido a un ligero conocimiento intuitivo de cómo se repartían las fuerzas y a que observaron que la piedra se comportaba mejor a compresión que a flexión. Según el profesor Jacques Heyman, para la construcción de catedrales medievales se estableció un parámetro indirecto que calculaba la resistencia de la piedra a compresión. Este se basaba en la altura teórica que podía tener un soporte prismático sin colapsar por su peso propio. [5]

Una vez llegado el Renacimiento se volvió a estudiar las estructuras clásicas y se llegó a las primeras teorías científicas con Leonardo da Vinci como máximo exponente. Este, estudió la influencia la esbeltez y el área en la resistencia a flexión de los pilares que trabajan a compresión. Así llegó a la conclusión, en el libro Códice de Madrid, que forzosamente el elemento se doblaba. Este periodo tuvo la ventaja, respecto de los anteriores, de poder difundir muchos estudios realizados gracias a la invención de la imprenta. [5]

Con la llegada del Barroco, se pasó a estudiar experimentalmente los anteriores estudios propuestos para poder validarlos y verificarlos. En 1744, Euler, obtuvo un valor de carga crítica en función de la longitud y de una constante elástica (rigidez, EI) del elemento a partir del cual se produce el fenómeno de pandeo. Esta teoría fue puesta en duda durante 200 años debido a que los datos experimentales no coincidían con los teóricos por lo que los ingenieros decidieron utilizar la teoría de rotura de Coulomb del año 1773. No fue hasta finales del siglo XIX cuando el problema de la inestabilidad a pandeo quedó resuelto coincidiendo con el uso de materiales como el hierro y el acero que se asemejaban más al comportamiento descrito por Euler debido a que tienen una gran esbeltez y están muy solicitados en consecuencia. [5]



Figura 3.11: Pilares de piedra del Parque del Retiro de Madrid. [I 1]

La Revolución Industrial supuso un gran auge de las construcciones de hierro y el desarrollo de puentes ferroviarios. Estas construcciones y algunos colapsos estructurales dieron pie a la necesidad de resolver el problema de la inestabilidad a pandeo. En las primeras normas redactadas apareció una fórmula lineal, que fue mayoritariamente utilizada y aceptada, para calcular la carga crítica. Esta la halló Ludwig von Tetmajer después de numerosos y diversos ensayos de elementos de hierro y acero. [5]

Cabe decir que la forma más económica y optimizada de realizar un pilar de acero era la tubular pero su pequeño espesor facilita la aparición del fenómeno de pandeo sin llegar al máximo de su aprovechamiento a compresión. Por este motivo, y por la complejidad de producir secciones tubulares constantes a lo largo de todo el soporte, se terminaron imponiendo los perfiles compuestos o normalizados de acero laminado. [11]



Figura 3.12: Palacio de Cristal en Madrid. Finales del siglo XIX. [I 1]

Como ya se ha comentado en los anteriores puntos, tanto las técnicas de fabricación como de construcciones se han ido mejorando durante todo el siglo XX hasta llegar a la actualidad. En el transcurso de estas mejoras se produjeron varias modificaciones en la teoría de Euler. Algunas de ellas suponían utilizar un módulo de deformación longitudinal (Engesser) y otras un módulo tangente (von Karman). Este creó polémica durante un tiempo hasta que Shanley confirmó experimentalmente que la teoría del módulo tangente era más aproximada que la del módulo de deformación longitudinal. [5]



Figura 3.13: Terminal 4 del aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas. [1 1]

Capítulo 4

Elección de la parcela y requisitos de la nave

4.- ELECCIÓN DE LA PARCELA Y REQUISITOS DE LA NAVE

Para el estudio que se va a realizar en los capítulos siguientes se ha elegido una parcela en un polígono industrial. De esta manera, el proyecto es más real y se puede asemejar a lo que podría proponer y ofertar una empresa que se dedique al diseño y/o consultoría de naves industriales. Por otro lado, es una manera de acotar la variabilidad del estudio ya que el emplazamiento geográfico es un factor a tener en cuenta a la hora de dimensionar los elementos.

Así bien, se estudiarán distintos tipos de pórticos, con distintos tipos de altura y de perfil para poder evaluar distintos factores (estructural, económico y ambiental)

4.1.- Criterios de elección de la parcela

En la elección se ha tenido en cuenta varios puntos:

1. Localización: Se ha elegido un lugar a las afueras de Madrid, que es el centro neurálgico de la mayoría de las empresas que actúan en España, que estuviera como máximo a una hora de los polígonos y zonas industriales de la ciudad.
2. Conexión por carretera: El polígono tiene que estar bien conectado, cerca de las autovías principales que dan acceso a la capital y a los anillos que la rodean como pueden ser la M-30 o M-40. Además, es valorable que haya alternativas a las vías citadas como pueden ser las radiales.
3. Precio: Dentro de la cercanía propuesta, hay que tener en cuenta el precio del suelo de cada polígono industrial y de las ventajas que puede otorgar asentarse en una comunidad autónoma u otra.

Cabe resaltar que, el uso final de la nave que se proponga dependerá de la elección que hiciera el promotor. Esta elección es arbitraria basada en la satisfacción global de lo que podría ser una empresa que acopie productos ya elaborados en la nave diseñada o que la utilice de centro de operaciones de la propia empresa, es decir, donde elabore y almacene su producto.

4.2.- Emplazamiento elegido

Debido a lo explicado anteriormente, se ha elegido el polígono industrial de Monte Boyal en Casarrubios del Monte, Toledo.

Se encuentra a unos 45 kilómetros de Madrid y el tiempo estimado del trayecto es de unos 35-50 minutos en función del tráfico. Por otro lado, a unos 30-40 minutos de los anillos de la M-30 y M-40 que dan acceso a la mayoría de los polígonos industriales o zonas de comercio de la capital.

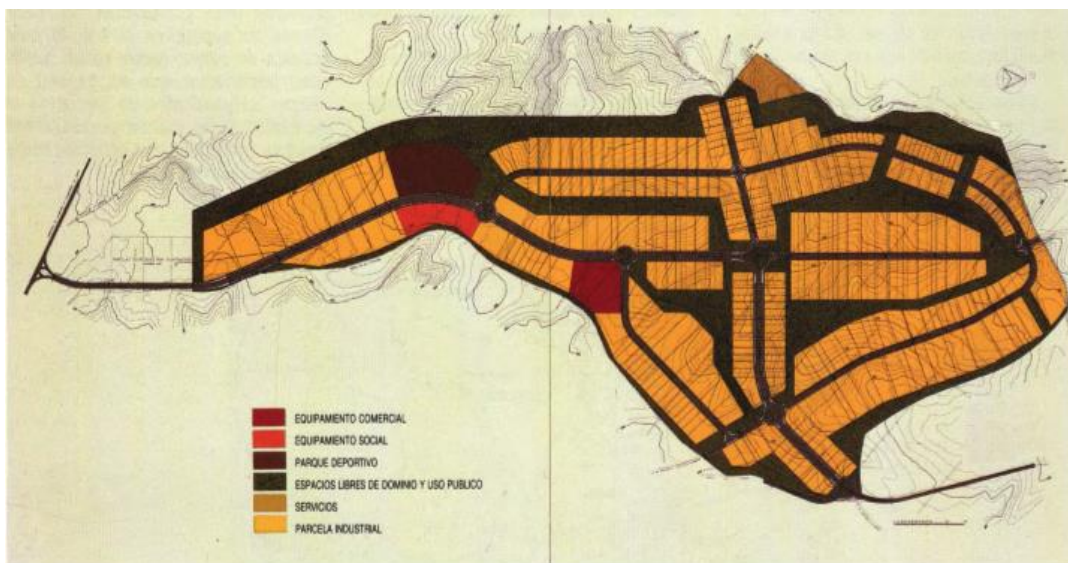


Figura 4.1: Mapa descriptivo del polígono industrial Monte Boyal. [N3]

Así bien, una de las parcelas libres situadas en este polígono está en la calle Perdiz 189 del municipio de Casarrubios del Monte. Esta va a ser la situación del pórtico elegido de cara al cálculo estructural analítico.



Figura 4.2: Vista satélite de la distribución de las parcelas. [14]



Figura 4.3: Vista esquemática de la distribución de las parcelas. [14]

En las figuras 4.2 y 4.3, la parcela elegida es la rodeada de rojo. Una vez designada, y comprobando que no está edificada, se ha buscado en el catastro con el fin de saber el uso que se le puede dar al suelo y los metros cuadrados que tiene la parcela.

Además, con el asistente se ha podido medir su longitud tanto perpendicular a la vía pública como paralela quedando una parcela de 20 metros de ancho por 63,9 metros de largo.

DATOS DESCRIPTIVOS DEL INMUEBLE	
Referencia catastral	0324004VK1502S0001AE  
Localización	CL PERDIZ 189 Suelo 45950 CASARRUBIOS DEL MONTE (TOLEDO)
Clase	Urbano
Uso principal	Suelo sin edif.

PARCELA CATASTRAL	
	Localización CL PERDIZ 189 CASARRUBIOS DEL MONTE (TOLEDO)
	Superficie gráfica 1.278 m ²

Figura 4.4: Datos de la parcela. [14]

Como se ve en la figura 4.4, el suelo es clasificado como urbano. Por tanto, es posible construir sin tener que sufrir una recalificación del terreno. Esto es así ya que nos encontramos en un polígono industrial diseñado para la aceptación y explotación de naves industriales. [14]

4.3.- Normativa

Para la realización del proyecto hay que tener en cuenta la normativa urbanística y la normativa para el cálculo estructural.

Dentro de las normativas de cálculo estructural se encuentran la Instrucción de Acero Estructural (EAE), el Código Técnico de la Edificación (CTE) y la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE). Las dos primeras se centran en el cálculo estructural de estructuras de acero mientras que la última se encarga del hormigón estructural. Así bien, se ha elegido emplear el CTE, porque es para edificación, y el EHE, independiente del CTE, para el cálculo de este proyecto. Dentro del CTE, se aplicarán los documentos básicos de seguridad estructural de acciones en la edificación y de acero.

A pesar de que no se va a emplear el EAE, que es paralelo al CTE, cabe explicar que es un marco reglamentario que establece medidas que se han de cumplir en estructuras fabricadas con acero que satisfagan unos requisitos de seguridad tanto

estructural como de incendio. Además, se debe aplicar tanto en la construcción como más tarde durante el mantenimiento. El ámbito de aplicación de esta norma se refiere a toda estructura o elemento de acero estructural de edificación o de ingeniería civil a excepción de:

- Estructuras con aceros especiales como los que tienen un alto límite elástico.
- Elementos estructurales mixtos.
- Elementos estructurales de hormigón que están relacionados con partes de estructuras metálicas (forjados, muros, ...). Estos deberán ser diseñados y evaluados según la normativa EHE.

Si existe otra reglamentación más específica de acciones se tendrá que aplicar conjuntamente a esta. [N4]

4.3.1.- Normativa municipal del polígono industrial

La normativa de cada polígono industrial depende del municipio al que pertenezca por lo que tiene ser pedida y estudiada para que el estudio se base en ella, sin incumplir ningún punto.

La parcela escogida va a tener una calificación del suelo definida por el artículo 27 ó 28 del Plan Parcial. Según la explotación que se le quiera dar, se elegirá un tipo u otro y se cumplirá con la norma establecida. [N3]

Artículo 27. Uso Industrial: Corresponder al suelo destinado a los establecimientos para la transformación de primeras materias, incluso envasado, transporte y distribución, así como las funciones que complementan la actividad industrial propiamente dicha. [N3]

Artículo 28. Usos compatibles con el industrial: Se incluyen actividades no específicamente industriales, como almacenes, laboratorios, centros informáticos, hipermercados, así como la venta y distribución de los productos correspondientes. [N3]

Por otra parte, del capítulo de parcelaciones se obtiene por el artículo 31 que la parcela es definida como nido o pequeña ya que la superficie está comprendida entre los 400 y 2000 metros cuadrados.

Artículo 31. Tipos de parcelas:

A. Parcela de industria nido o pequeña, con superficie de terreno comprendida entre 400 o 2000 m². [N3]

Por tanto y siguiendo el artículo 63 de Plan Parcial, nuestra nave debe tener un retranqueo mínimo de 10 metros respecto al frente de la calle y una altura máxima de 7,5 metros. [N3]

Como aclaración conviene explicar que se entiende por retranqueo a “la distancia comprendida entre los linderos de la parcela y las líneas de fachada de la edificación”. [N3]

4.3.2.- Código Técnico de la Edificación (CTE)

Para la realización del estudio de los soportes de una nave industrial se va a seguir el marco normativo expuesto en el CTE. En este, se presentan las exigencias básicas y mínimas de seguridad y habitabilidad que deben tener este y otros tipos de construcciones según la Ley 38/1999 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE). [10]

“Ante la creciente demanda de calidad por parte de la sociedad, la Ley establece los requisitos básicos que deben satisfacer los edificios de tal forma que la garantía para proteger a los usuarios se asiente no sólo en los requisitos técnicos de lo construido sino también en el establecimiento de un seguro de daños o de caución. Estos requisitos abarcan tanto los aspectos de funcionalidad y de seguridad de los edificios como aquellos referentes a la habitabilidad.”

Ley 38/1999-LOE [N1]

Hasta el año 2006 el CTE no fue aprobado, por lo que su uso era optativo y no obligatorio. Gracias a este, la normativa ha evolucionado en su uso partiendo de un uso

exclusivo de los técnicos y profesionales del sector hasta llegar a un uso más común. En este último ámbito lo utilizan todos los empleados que están involucrados en la construcción. [10]

El objetivo principal y final del CTE es indicar que criterios se deben cumplir dejando abierta la manera de cumplirlos. Esto favorece al entorno permitiendo una mayor flexibilidad de la cual se desprenden nuevos estudios de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en los que se utilizan nuevas tecnologías. En definitiva, el desarrollo y la evolución del sector es constante debido a que se permite cumplir con lo establecido de la manera más adecuada que se estipule. [10]

El Código Técnico de la Edificación está dividido en dos partes. La primera trata los componentes, elementos o normas de seguridad y habitabilidad necesarias en la construcción de cualquier tipo de edificio. Esta, se subdivide en 6 partes que son seguridad estructural, seguridad en caso de incendio, seguridad de utilización y accesibilidad, ahorro de energía protección frente al ruido y salubridad. Para el estudio elegido será necesario centrarse en la parte de seguridad estructural, especialmente en los capítulos de acciones en la edificación y estructuras de acero que son los temas primordiales que se van a evaluar. [10]

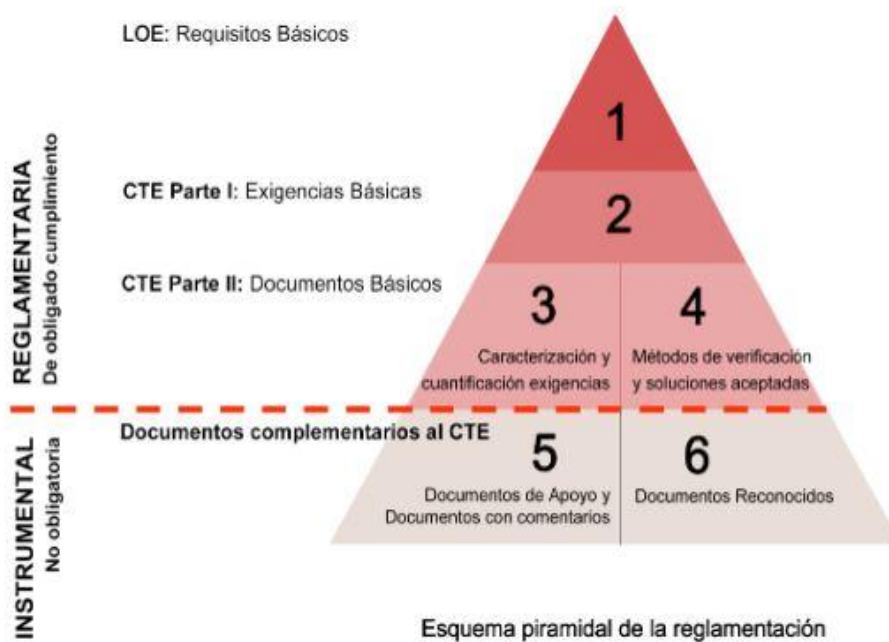


Figura 4.5: Esquema y partes del Código Técnico de la Edificación. [10]

Los documentos adicionales a la base (zona 3 y 4) son complementarios y oficiales, pero no obligatorios. En general, ayudan a la comprensión y puesta en práctica del CTE. [10]

4.3.3.- Instrucción de Hormigón Estructural (EHE)

De acuerdo a esta norma, se calculan y establecen las condiciones mínimas que deben tener las estructuras de hormigón para que satisfagan los criterios de seguridad estructural y de incendio. También se tiene en cuenta la protección del medioambiente. Así bien, estas exigencias se tienen que tener en cuenta durante la realización del proyecto y posteriormente durante el mantenimiento en su vida útil. Su ámbito de aplicación son todas las estructuras o elementos de hormigón estructural a excepción de:

- Elementos estructurales mixtos de hormigón
- Estructuras donde el pretensado se realiza mediante armaduras activas
- Hormigones especiales no considerados en la norma (hormigón pesado, refractario, ...)
- Estructuras que sufran temperaturas mayores a los 70°.
- Presas y tuberías de hormigón para distribución de algún fluido.

En general, los elementos estructurales de hormigón empleados son del tipo en masa, armado o pretensado. Al igual que en la EAE, si existe otra reglamentación que se pueda aplicar deberán estudiarse complementariamente. [N5]

4.4.- Dimensiones y propiedades de la nave

Se dispone de 20 metros de ancho y de 63,9 metros de largo y se deben cumplir con las normas expuestas anteriormente por lo que se ha decidido lo siguiente.

Así, se ha elegido una longitud de 35 metros con vanos de 5 metros. Esto, hace un total de 7 vanos y 8 pórticos. Argüelles, 1975 considera que la separación óptima suele estar entre los 5 y 7 metros y la elección de la distancia se ha basado en dicha explicación. [6]

La cota que se va a introducir como variable va a ser la longitud de los soportes para poder extraer la variabilidad de la sección con esta. Variará entre los 3 y 7,5 metros.

En los cálculos del capítulo 5 se ha dejado como variable también la distancia horizontal entre los soportes, aunque se fijará en 16 metros. Es decir, la luz de la nave tendrá esa medida.

Por otro lado, la perfilería que se va a estudiar es UPN, HEB, HEA, IPN, IPE con un acero S275JR que como se ha explicado, su límite elástico está en 275 MPa.

Por último, el peso propio de la cubierta y que aguantará el dintel será de $0,25 \text{ kN/m}^2$ debido a unas láminas de cubierta tipo deck con protección ligera. [13]

4.5.- Modelos de pórticos a estudiar

De estos tres modelos expuestos a continuación, se hará el cálculo analítico del pórtico articulado biempotrado en la base (figura 4.6), mientras que el cálculo en CYPE 3D se realizará en todos los modelos expuestos (figuras 4.6, 4.7 y 4.8).

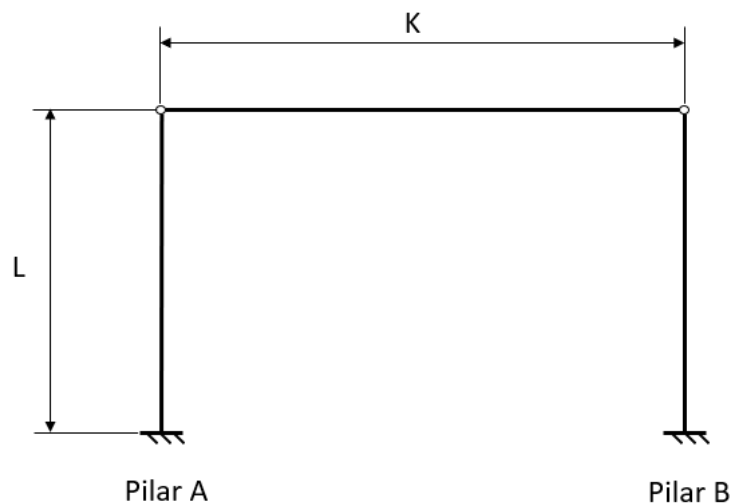


Figura 4.6: Pórtico biempotrado articulado. Elaboración propia.

El pórtico de la imagen anterior está biempotrado por lo que tendrá que soportar un momento en la base. Sin embargo, al tener una rótula en la unión entre pilar y dintel, no habrá momento en la parte superior del soporte. Es decir, será nulo porque permite la rotación relativa entre elementos.

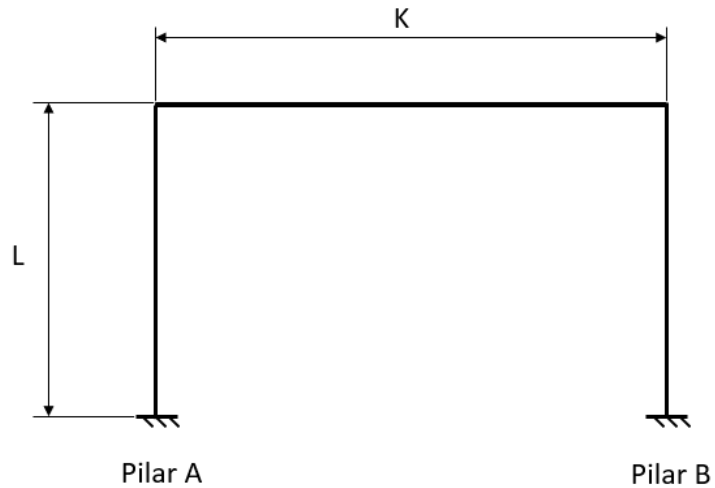


Figura 4.7: Pórtico biempotrado reticulado. Elaboración propia.

Este pórtico es semejante al anterior con la diferencia de la unión entre pilar y dintel que es rígida. Por tanto, tendrá que soportar un momento porque no permite el giro.

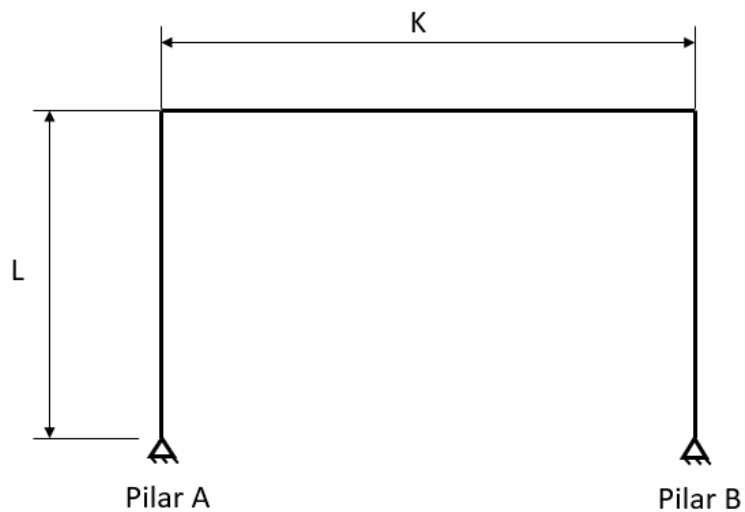


Figura 4.8: Pórtico biapoyado reticulado. Elaboración propia.

Este pórtico, al estar biapoyado, no soportará momento en la base, pero si lo tendrá que soportar en la unión del pilar con el dintel por tener unión reticulada como se ha comentado anteriormente.

Capítulo 5

Cálculo analítico aplicando el Código Técnico de la Edificación

5.- CÁLCULO ANALÍTICO APLICANDO EL CTE

A continuación, se van a exponer los aspectos considerados en la realización del cálculo analítico del pórtico biempotrado en la base y articulado en la unión pilar-dintel. En los apartados comprendidos entre el 5.1 y 5.5 se explican las cargas, combinaciones y ecuaciones empleadas mientras que en el 5.6 se presenta la herramienta utilizada para sistematizar los cálculos. Por último, se presentan los resultados obtenidos.

5.1.- Cálculo de cargas sobre la estructura

Para el cálculo de esfuerzos en cualquier estructura hay que identificar las cargas que va a sufrir esta. Así bien, hay que determinar su valor y dirección para poder proyectarlas correctamente a todos los elementos que las sufran.

En la siguiente imagen, se pueden ver que cargas son gravitatorias y cuáles no, aunque, por norma general, todas son gravitatorias a excepción del viento.

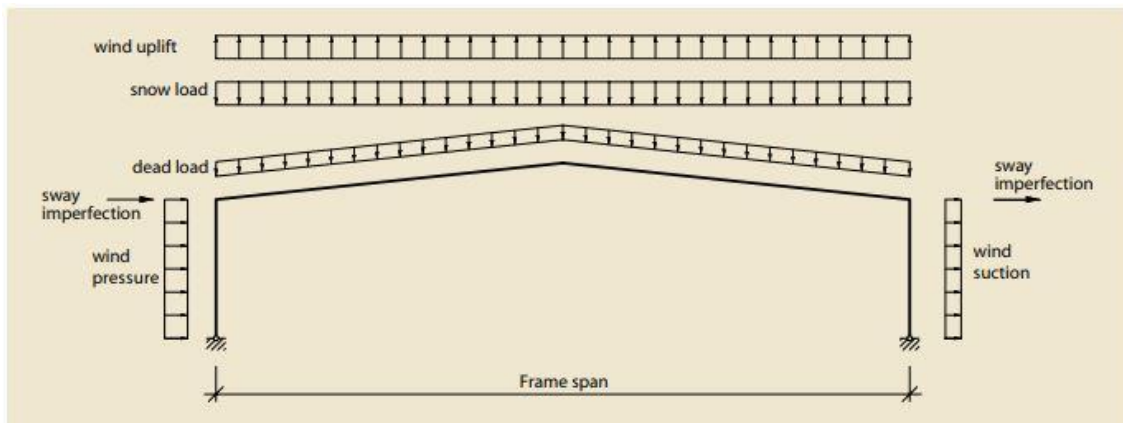


Figura 5.1: Distribución de las cargas en un pórtico a dos aguas. [2]

5.1.1.- Cálculo de cargas de las acciones permanentes

En este apartado se tiene en cuenta el peso propio, el pretensado y las acciones del terreno. Para nuestro estudio solo calcularemos el peso propio. Los valores característicos se incluyen en el anejo C del DB SE-AE. [N2]

5.1.2.- Cálculo de cargas de las acciones variables

Se consideran acciones variables la sobrecarga de uso, las acciones sobre barandillas y elementos divisorios, el viento, las acciones térmicas y la nieve. De estas, no se va a estudiar ni las acciones sobre barandillas y elementos divisorios ni las acciones térmicas. Esto es debido a que en nuestro proyecto no se van a tener en consideración ningún elemento divisorio ni barandillas ni la edificación supera los 40 metros establecidos por el CTE para el cálculo de la acción térmica. En caso de superar esos 40 metros habría que ejecutar y calcular juntas de dilatación para disminuir efectos nocivos para la estructura. [N2]

5.1.2.1.- Sobrecarga de uso

Según el CTE en el Documento Básico de Acciones en la edificación (SE-AE) la sobrecarga de uso “es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso”. Así bien, se explica que debe simularse como una carga distribuida uniforme y qué categoría debe escogerse en la tabla 3.1. “valores característicos de las sobrecargas de uso”. [N2]

En los demás puntos del capítulo de la sobrecarga de uso se explican otras comprobaciones que se tendrían que realizar en elementos que en nuestro estudio no tenemos como podrían ser barandillas o elementos divisorios. [N2]

5.1.2.2.- Viento

Para el cálculo, el CTE expresa que la distribución y el valor de la presión que ejerce el viento sobre los elementos de una construcción dependerán de la forma y dimensión de cada uno, así como la intensidad del propio viento. Por otro lado, no abarca cálculos para altitudes geográficas mayores a 2000 metros, ni tiene en cuenta efectos dinámicos del viento. Cabe decir que, estos últimos no deben tenerse en cuenta si la esbeltez es menor de 6. [N2]

Así pues, se define una fuerza perpendicular a cada punto de cada elemento expuesto como:

$$q_e = q_b * c_e * c_p$$

donde

q_b : Es la presión dinámica del viento que viene dada por el mapa del viento del anejo D. Según a la zona que pertenezcan el emplazamiento geográfico, tomará los valores de 0,42 kN/m² (zona A), 0,45 kN/m² (zona B) o 0,52 kN/m² (zona C). [N2]

c_e : Es el coeficiente de exposición. También es variable, pero con la altura máxima de la construcción y con el grado de aspereza del entorno. Este valor se obtiene de la tabla 3.4. “valores del coeficiente de exposición c_e ” del DB SE-AE. Este parámetro tiene en cuenta las turbulencias producidas por otras construcciones o elementos y el relieve del terreno donde se sitúa. [N2]

c_p : Es conocido como coeficiente eólico o de presión/succión y depende de la disposición de la estructura a estudiar. Las disposiciones más comunes y generales vienen dadas en el anejo D del DB SE-AE. [N2]

Respecto a los paramentos verticales que generalmente son los soportes el cálculo se realiza de la misma manera obteniendo los coeficientes de presión /succión de su correspondiente página del DB SE-AE.

5.1.2.3.- Nieve

La carga de nieve, la intensidad y la distribución, dependerá del clima del emplazamiento, del relieve, de la forma de la cubierta, etc. No obstante, el CTE solo cubre el cálculo de depósitos naturales por lo que habrá que tener en cuenta las particularidades que faciliten la acumulación de nieve en cubierta. [N2]

Así pues, la carga de nieve se reduce a:

$$q_n = \mu * s_k$$

donde

μ : Es el coeficiente de forma de la cubierta de la estructura a calcular. Este coeficiente toma los valores de 1 para cubiertas con una inclinación menor o igual a 30° o de 0 para cubiertas con inclinación mayor o igual a 60° según el punto 2 del apartado

3.5.3 “Coeficiente de forma” del DB SE-AE. En los valores intermedios se interpola obteniendo así su valor. [N2]

s_k : Es el valor característico de la carga de nieve según la posición geográfica de la construcción. La zona viene definida por el mapa del anejo E del documento citado anteriormente. Conociendo la zona climática y la altitud hay que entrar en la tabla E.2 “sobrecarga de nieve en un terreno horizontal” para obtener el valor. [N2]

5.2.- Cálculo de las leyes de esfuerzos

En este apartado, se va a calcular las leyes de esfuerzos del pórtico biempotrado articulado mediante el Código Técnico de la Edificación y técnicas de resolución de estructuras.

Primeramente, hay que calcular el grado de hiperestatismo de la estructura para elegir un método de resolución adecuado.

$$GH = N^{\circ}coacciones - 3 - N^{\circ}rótulas * (N^{\circ}barras - 1)$$

Así pues, se obtiene que el grado de hiperestatismo es 1

$$GH = 6 - 3 - 2 * (2 - 1) = 1$$

Al ser la estructura hiperestática, no se pueden calcular las reacciones estableciendo únicamente el equilibrio de fuerzas por lo que se elegirá igualar los desplazamientos en las uniones de los pilares con el dintel.

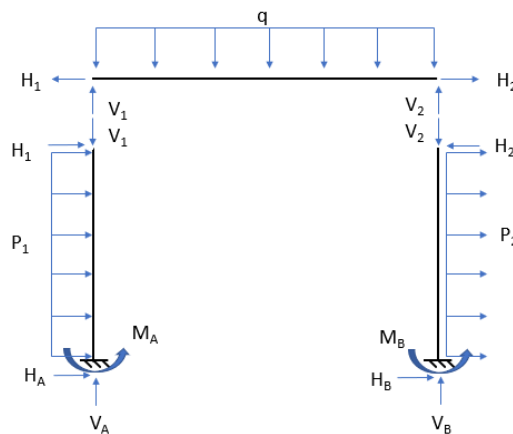


Figura 5.2: Separación de elementos para poder calcular las reacciones y las leyes de esfuerzos. Elaboración propia.

Se separan los elementos estructurales y se igualan las flechas en la parte superior de los pilares A y B ya que el dintel no puede cambiar su longitud.

Primeramente, y para que exista equilibrio en el dintel, obtenemos que:

$$H_1 = H_2 = H$$

$$V_1 = V_2 = V = \frac{q * k}{2}$$

Una vez definidos estos valores, pasamos a igualar las flechas en los extremos de los pilares A y B para poder obtener H.

$$f_A = f_B$$

$$\frac{P_1 * L^4}{8 * EI} + \frac{H * L^3}{3 * EI} = \frac{P_2 * L^4}{8 * EI} - \frac{H * L^3}{3 * EI}$$

Resolviendo la ecuación se obtiene:

$$H = \frac{13 * L * (P_2 - P_1)}{6}$$

Así bien, estudiamos los pilares por separado para obtener las reacciones en los empotramientos.

Pilar A:

$$\sum F_{horizontales} = 0$$

$$H_A = -\frac{3 * L * (P_2 - P_1)}{16} - P_1 * L$$

$$H_A = -\frac{13 * P_1 * L}{16} - \frac{3 * L * P_2}{16}$$

$$\sum F_{verticales} = 0$$

$$V_A = \frac{q * k}{2}$$

Ahora hallamos el momento en el empotramiento

$$M_A = \frac{3 * L^2 * (P_2 - P_1)}{16} + \frac{P_1 * L^2}{2}$$

Pilar B:

$$\sum F_{horizontales} = 0$$

$$H_B = \frac{3 * L * (P_2 - P_1)}{16} - P_2 * L$$

$$H_B = -\frac{3 * P_1 * L}{16} + \frac{13 * L * P_2}{16}$$

$$\sum F_{verticales} = 0$$

$$V_B = \frac{q * k}{2}$$

Ahora calculamos el momento en el empotramiento

$$M_B = \frac{-3 * L^2 * (P_2 - P_1)}{16} + \frac{P_2 * L^2}{2}$$

Una vez se tienen calculadas las reacciones en ambos apoyos ya se pueden calcular las leyes matemáticas de esfuerzos en cada uno de los tres elementos

Pilar A, llamamos a la coordenada longitudinal variable del elemento y:

$$N(y) = -\frac{q * k}{2}$$

$$Q(y) = -P_1 * y - H_A = -P_1 * y + \frac{3 * L * (P_2 - P_1)}{16} + P_1 * L$$

$$M(y) = -M_A - H_A * y - P_1 * \frac{y^2}{2}$$

$$= \frac{3 * L^2 * (P_2 - P_1)}{16} + \frac{P_1 * L^2}{2} + \left(\frac{13 * P_1 * L}{16} + \frac{3 * L * P_2}{16} \right) * y - P_1 * \frac{y^2}{2}$$

Dintel, llamamos a la coordenada longitudinal variable del elemento x:

$$N(x) = H = \frac{13 * L * (P_2 - P_1)}{6}$$

$$Q(x) = V - q * x = \frac{q * k}{2} - q_1 * x$$

$$M(x) = V * x - \frac{q * x^2}{2}$$

Pilar B, llamamos a la coordenada longitudinal variable del elemento y:

$$N(y) = -\frac{q * k}{2}$$

$$Q(y) = -P_2 * y - H_B = -P_2 * y + \frac{3 * P_1 * L}{16} - \frac{13 * L * P_2}{16}$$

$$M(y) = -M_B - H_B * y - P_2 * \frac{y^2}{2}$$

$$= \frac{3 * L^2 * (P_2 - P_1)}{16} - \frac{P_2 * L^2}{2} + \left(\frac{3 * P_1 * L}{16} - \frac{13 * L * P_2}{16} \right) * y - P_2 * \frac{y^2}{2}$$

5.3.- Cálculo de los esfuerzos máximos de los soportes

Para el siguiente punto, en el que se va a predimensionar el pilar según el CTE, es necesario saber los esfuerzos máximos y donde se producen. Así bien, cuando la carga de viento en el pilar A sea mayor que en el pilar B quedará así:

Pilar A:

$$N_{m\acute{a}x}(x = 0) = \frac{q * k}{2} \text{ (compresión)}$$

$$Q_{m\acute{a}x}(x = 0) = -\frac{13 * P_1 * L}{16} - \frac{3 * L * P_2}{16}$$

$$M_{m\acute{a}x}(x = 0) = \frac{3 * L^2 * (P_2 - P_1)}{16} + \frac{P_1 * L^2}{2}$$

Pilar B:

$$N_{m\acute{a}x}(x = 0) = \frac{q * k}{2} \text{ (compresión)}$$

$$H_{m\acute{a}x}(x = 0) = \frac{3 * L * (P_2 - P_1)}{16} - P_2 * L$$

$$M_{m\acute{a}x}(x = 0) = \frac{-3 * L^2 * (P_2 - P_1)}{16} + \frac{P_2 * L^2}{2}$$

Cabe resaltar que, para una misma longitud de pilar y considerando la dirección del viento de izquierda a derecha y perpendicular a la estructura, siempre va a resultar así la obtención de esfuerzos máximos debido al coeficiente de presión que se utiliza en cada pilar.

5.4.- Combinación de acciones variables y permanentes

Una vez se tienen los esfuerzos máximos en función de las cargas que van a afectar a la estructura. Estas son el peso propio (G), sobrecarga de uso (Su), viento (Vto) y nieve (Nv).

Obtenidos los valores del apartado anterior se combinarán según la normativa. Estas combinaciones serán ponderadas en función del tipo de carga de la siguiente manera según el punto 4 del Documento Básico de Seguridad Estructural: [N2]

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

donde

γ : Es el coeficiente parcial de seguridad para las acciones que se extrae de la tabla 4.1 del DB SE. [N2]

Ψ : Es el coeficiente de simultaneidad y representa su intensidad en caso de actuar simultáneamente con otra acción variable. [N2]

Para el emplazamiento elegido en el capítulo 4 se tienen los siguientes valores en los coeficientes:

– Coeficiente parcial de seguridad en acción permanente

$$\gamma_{\text{desfavorable}}: 1,35 \quad \gamma_{\text{favorable}}: 0,8$$

– Coeficiente parcial de seguridad en acción variable

$$\gamma_{\text{desfavorable}}: 1,5 \quad \gamma_{\text{favorable}}: 0$$

– Coeficiente de simultaneidad

$$\Psi_{Su} = 0 \quad \Psi_{Vto} = 0,6 \quad \Psi_{Nv} = 0,5$$

Cabe resaltar que, el coeficiente de simultaneidad de la sobrecarga de uso es 0 por ser no concomitante y el de nieve es 0,5 por estar en una altitud inferior a 1000 metros.

Así bien, aparecen las 5 siguientes combinaciones:

1. Sobrecarga de uso principal no concomitante

$$q = 1,35 * G + 1,5 * Su$$

2. Nieve principal y viento 1 desfavorable

$$q = 1,35 * G + 1,5 * Nv + 0,6 * 1,5 * Vto1$$

3. Nieve principal y viento 2 favorable

$$q = 1,35 * G + 1,5 * Nv$$

4. Viento 1 principal y nieve desfavorable

$$q = 1,35 * G + 1,5 * V_{to1} + 0,5 * 1,5 * N_v$$

5. Viento 2 principal y nieve favorable. Nota: El peso propio también es favorable.

$$q = 0,8 * G + 1,5 * V_{to2}$$

5.5.- Cálculo de la sección.

Para el predimensionamiento del pilar más solicitado (Pilar A) se ha seguido lo establecido por el CTE y se han realizado los siguientes cálculos:

1. Cálculo a flexión simple. Resistencia de la sección. (apartado 6.2.6 del DB-SE-A)

$$M_{ed} \leq W_{ply} * f_{yd}$$

2. Cálculo a cortante. Resistencia de la sección (apartado (6.2.4 del DB-SE-A).

$$V_{ed} \leq h * t_w * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Del primer punto, se obtiene un módulo resistente plástico mediante el momento máximo. A través de un prontuario de perfilería se consigue el número de perfil que hemos de utilizar y seguidamente se comprobará la sección a esfuerzo cortante con las propiedades pertinentes de dicha sección.

En estos dos primeros puntos, se ha comprobado la sección que se va a utilizar en el soporte aguanta la sollicitación. Por otro lado, también es necesario calcular la resistencia del soporte completo. Esto se realiza a través del cálculo a flexocompresión para un axil constante a lo largo del pilar y para una sección también constante en toda su longitud.

3. Cálculo a flexocompresión. Resistencia de las barras (apartado 6.3 del DB-SE-A).

- 3.1. Para toda la pieza:

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

3.2. Piezas no susceptibles de pandeo por torsión:

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + \alpha_y * k_y * \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed} + e_{N,y} * N_{Ed}}{W_y * f_{yd}} + k_z * \frac{c_{m,z} * M_{z,Ed} + e_{N,z} * N_{Ed}}{W_z * f_{yd}} \leq 1$$

donde

N_{ed} , M_{ed} y V_{ed} son los valores máximos en valor absoluto de las fuerzas axiales y cortantes y de los momentos. [N2]

χ_y y χ_z son los coeficientes de pandeo según la dirección indicada en el subíndice y χ_{LT} es el coeficiente de pandeo lateral que tomará el valor de 1 en piezas no susceptibles a pandeo por torsión. [N2]

$e_{N,y}$ y $e_{N,z}$ representan los desplazamientos del centro de gravedad de las secciones transversales efectivas con respecto a la posición del centro de gravedad de la sección transversal brutal para piezas de sección de clase 4. [N2]

k_y , k_z , k_{yLT} son valores obtenidos de la tabla 6.9 del DB SE-A. [N2]

El resto de los valores se obtienen de la tabla 6.8 del DB SE-A. [N2]

5.6.- Herramienta de predimensionamiento

En este apartado se va a explicar la herramienta utilizada para predimensionar 5 tipos de perfiles para incrementos de altura de 0,3 metros entre el mínimo, 3 metros, y el máximo, 7,5 metros.

La idea surge de la necesidad de realizar una cantidad considerable de cálculos para poder evaluar los soportes de una nave industrial. Así, para los 5 tipos de perfiles

seleccionados, se había pensado calcularlos a ELU cada 0,5 metros en el máximo y mínimo indicado. Esto daba lugar a 45 casos diferentes, obteniendo para cada altura distintas cargas de viento según el CTE.

Así pues, ante la necesidad de automatizar estos cálculos nace la opción de indexar las tablas correspondientes del CTE a una hoja de cálculo. Estas servirán para obtener los datos necesarios, mediante unos inputs, para el cálculo llegando a la comprobación final de flexocompresión.

En definitiva, se han introducido todas las ecuaciones y fórmulas desarrolladas en los apartados anteriores para conseguir los esfuerzos máximos y las combinaciones que más solicitan al tipo de pórtico calculado.

5.6.1.- Datos de entrada

Los datos de entrada son los siguientes:

- Altura del emplazamiento
- Altura del pilar
- Altura de la nave
- Largo de la nave
- Ancho de la nave
- Ancho de carga
- Zona climática de invierno
- Valor de la carga de viento según su zona
- Grado de aspereza
- Sobrecarga de uso
- Peso propio
- Coeficientes parciales de seguridad y de simultaneidad de cada carga
- Datos del acero empleado
- Coeficientes de pandeo
- Coeficientes y datos necesarios para la comprobación a flexocompresión

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1														
2		DATOS DE ENTRADA												
3														
4		Altura localización (m)	616		Ned (kN)	73,15								
5		Altura del pilar (m)	7,5		My (kNm)	81,03								
6		Altura total (m)	7,5		Mz (kNm)	0,00								
7		Largo nave (m)	35		Vedz (kN)	24,16								
8		Ancho nave (m)	16		L (m)	7,5								
9		Tipo de nave			Lken y	2								
10		Parapetos (Si o No)	NO		Lken y	15								
11		Ancho de carga (m)	5		Lken z	0,7								
12		Inclinación (°)	0		Lken z	5,25								
13		Zona climática nieve	2		f _{yd}	1,05								
14		qb (Zona viento) (kN/m ²)	0,42		C _{my}	1								
15		Grado de aspereza (1,2...)	4		C _{mz}	1								
16		Sobrecarga de uso (kN/m ²)	0,4		a _y	0,8								
17		Peso propio (kN/m ²)	0,25		a _z	0,8								
18		coef parcial seguridad permanente desfavorable	1,35		e _{ny}	0								
19		coef parcial seguridad permanente favorable	0,8		e _{nz}	0								
20		coef parcial seguridad variable desfavorable	1,5		χ _{lt}	1								
21		coef parcial seguridad variable favorable	0											
22		coef simultaneidad SU	0											
23		coef simultaneidad nieve	0,5											
24		coef simultaneidad viento	0,6											
25		Acero (Mpa)	275											
26		E (Gpa)	210											
27														
28														
29														
30														

Figura 5.3: Datos de entrada en la herramienta de predimensionamiento. Elaboración propia.

Gracias a estos datos de entrada, se pueden buscar en las tablas introducidas del CTE.

Cabe decir que, hay variables que no se han citado debido a que la herramienta está abierta a futuras mejoras y diferentes tipos de pórticos como puede ser el inclinado o a dos aguas.

5.6.2.- Tablas indexadas

Mediante funciones propias de la hoja de cálculo Excel como son BUCARV, BUSCARH, BUSCAR, COINCIDIR, ÍNDICE, MAX, MIN, REDONDEAR se ha buscado en las siguientes tablas:

- Coeficiente de pandeo
- Coeficiente de presión de cubierta plana y paramentos verticales
- Grado de aspereza
- Valor de μ
- Tablas de las características de los perfiles seleccionados

A continuación, se muestran algunas de las tablas utilizadas. En el caso de las tablas de coeficiente de pandeo y del coeficiente de presión de cubierta plana, hay cálculos auxiliares para realizar interpolaciones.

COEF PANDEO						
λ	a0	a	b	c	d	
0,2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
0,3	0,99	0,98	0,96	0,95	0,92	
0,4	0,97	0,95	0,93	0,90	0,85	
0,5	0,95	0,92	0,88	0,84	0,78	
0,6	0,93	0,89	0,84	0,79	0,71	
0,7	0,90	0,85	0,78	0,72	0,64	
0,8	0,85	0,80	0,72	0,66	0,58	
0,9	0,80	0,73	0,66	0,60	0,52	
1	0,73	0,67	0,60	0,54	0,47	
1,1	0,65	0,60	0,54	0,48	0,42	
1,2	0,57	0,53	0,48	0,43	0,38	
1,3	0,51	0,47	0,43	0,39	0,34	
1,4	0,45	0,42	0,38	0,35	0,31	
1,5	0,40	0,37	0,34	0,31	0,28	
1,6	0,35	0,32	0,31	0,28	0,25	
1,8	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	
2	0,23	0,22	0,21	0,20	0,18	
2,2	0,19	0,19	0,18	0,17	0,15	
2,4	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13	
2,7	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	
3	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09	

CÁLCULO PRELIMINAR					
CÁLCULO Xy			CÁLCULO Xz		
X superior	0,43	λ superior	1,3	X superior	0,31
X inferior	0,48	λ inferior	1,2	X inferior	0,35
Xy ponderado	0,442120954		Xz ponderado	0,312173509	

CÁLCULO ELEGIDO					
CÁLCULO Xy			CÁLCULO Xz		
X superior	0,54	λ superior	1,1	X superior	0,43
X inferior	0,60	λ inferior	1	X inferior	0,48
Xy ponderado	0,574377742		Xz ponderado	0,431990376	

Figura 5.4: Tabla de los coeficientes de pandeo. Elaboración propia.

ZONA							
λ Parapetos?	hp/h	Área	F	G	H	I	
NO		10	-1,8	-1,2	-0,7	0,2	
		1	-2,5	-2	-1,2	-0,2	
SI	0,025	10	-1,6	-1,1	-0,7	0,2	
		1	-2,2	-1,8	-1,2	-0,2	
	0,05	10	-1,4	-0,9	-0,7	0,2	
		1	-2	-1,6	-1,2	-0,2	
	0,1	10	-1,2	-0,8	-0,7	0,2	
		1	-1,8	-1,4	-1,2	-0,2	
b	35	d	16	e	15		
F	11,25						
G	41,25						
H	210						
I	297,5						
MAX	297,5	ZONA	I				

Figura 5.5: Tabla de los coeficientes de presión para cubierta plana. Elaboración propia.

CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES Y MECÁNICAS DE LA SERIE HEB																		
HEB	Dimensiones						Sección	Pare	Propiedades de la Sección									
	A	A	t _c	t _f	t _w	t _f			I _y	I _x	I _y	I _x	I _y	I _x	I _y	I _x		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴			
HEB 100	100	100	6	10	12	96	26	24,4	14,9	104,2	4,36	67	23,8	91,42	2,83			
HEB 120	120	120	7,5	11	12	74	24	21,7	114	146	10,2	9,04	210	72,9	16,97			
HEB 140	140	140	7	12	12	92	43	25,9	139	241	241	9,93	300	79,8	19,63			
HEB 160	160	160	8	12	10	104	54,3	42,4	2,490	311	394	7,79	319	111	19			
HEB 180	180	180	7,5	14	10	122	65,3	51,2	2,436	426	412	7,64	1.360	151	231			
HEB 200	200	200	9	10	11	124	71,1	61,3	3.700	970	642	1,34	2.800	200	280,3			
HEB 220	220	220	8,5	10	11	102	91	71,9	4.096	1.74	123	1,43	2.448	280	292,9			
HEB 240	240	240	10	17	21	164	106	13,2	12.204	939	1094	10,3	2.820	327	491,4			
HEB 260	260	260	10	17,5	24	177	111	93	14.820	1.006	1.332	11,2	3.108	398	482,2			
HEB 280	280	280	10,5	11	24	196	121	110	19.270	1.310	1824	12,1	4.390	471	712,1			
HEB 300	300	300	11	19	27	230	140	117	25.710	1.610	1668	13	4.804	571	876,1			
HEB 320	320	300	11,5	20,5	27	229	161	127	29.320	1.920	2400	13,9	5.240	616	926,1			
HEB 340	340	300	12	21,5	27	240	171	134	34.660	2.160	2400	14,6	5.690	646	1037			
HEB 360	360	300	12,5	22,5	27	241	181	142	40.390	2.400	2410	15,5	6.140	676	1152			
HEB 400	400	300	13,5	24	27	280	190	155	61.610	2.810	2240	17,1	10.020	721	1604			
HEB 450	450	300	14	24	27	344	210	171	79.980	3.990	2910	18,1	13.720	791	1990			
HEB 500	500	300	14,5	24	27	390	220	187	117.200	4.290	4020	21,2	18.420	842	2426			
HEB 550	550	300	15	29	27	420	254,3	199	126.641	4.970	3.600	23,2	20.877	872	2440			
HEB 600	600	300	16,5	29	27	486	279	232	181.041	5.790	4.420	25,2	23.290	902	2591			
HEB 650	650	300	16	31	27	524	291,3	229	220.636	6.400		27,1	25.914	932	2699			
HEB 700	700	300	17	32	27	612	306,4	241	298.110	7.240		29	34.441	963	2.817			
HEB 800	800	300	17,5	33	28	674	324,2	242	399.822	8.910		32,9	44.944	994	3.043			
HEB 900	900	300	18,5	33	28	770	375,7	241	494.992	10.610		35,9	58.786	1.026	3.281			
HEB 1000	1000	300	19	34	29	866	400	244	654.740	12.340		41,7	76.276	1.060	3.521			

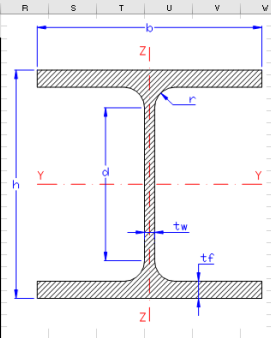


Figura 5.6: Tabla de las propiedades del perfil HEB. Elaboración propia.

5.6.3.- Cálculo de las cargas del pórtico

Una vez se pueden obtener todos los datos necesarios y asociando el cálculo a buscar valores en las tablas se obtiene de forma automática el cálculo de las cargas mediante las ecuaciones expuestas en el capítulo del cálculo analítico.

	A	B	C	D	E	F
1						
2		A) CARGAS SUPERFICIALES (kN/m ²)				
3		1) Sobrecarga de uso				
4		qsu (kN/m ²)	0,4			
5		2) Peso propio				
6		qG (kN/m ²)	0,25			
7		3) Nieve				
8		s ₁	1			
9		sk inferior (kN/m ²)	0,9	h inferior (m)	600	
10		sk superior (kN/m ²)	1	h superior (m)	700	
11		sk interpolado (kN/m ²)	0,916			
12		qN (kN/m ²)	0,916			
13		4) Viento				
14		qb	0,42			
15		Ce inferior	1,4	h inferior	6	
16		Ce superior	1,7	h superior	9	
17		Ce interpolado	1,55			
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						

Figura 5.7: Cálculo de las cargas de viento. Elaboración propia.

	A	B	C	D	E	F	G
31							
32		4.1) Dintel					
33							
34		DINTEL UNICO (CUBIERTA PLANA)	Cp	0,2			
35		HASTA 5° DE INCLINACIÓN	Cp	-0,2			
36							
37		qvt1 (kN/m2)		0,1302			
38		qvt2 (kN/m2)		-0,1302			
39							
40		DINTEL IZQ	Cp superior	0	α	5	
41			Cp inferior	0	α	-5	
42			Cp ponderado	0			
43			Cp superior	-0,6	α	5	
44			Cp inferior	-0,8	α	-5	
45			Cp ponderado	-0,7			
46		DINTEL DERECHO	Cp superior	0	α	5	
47			Cp inferior	0,2	α	-5	
48			Cp ponderado	0,1			
49			Cp superior	0,2	α	5	
50			Cp inferior	0,2	α	-5	
51			Cp ponderado	0,2			
52							
53		NOTA: ESTAS SOLO EXISTEN PARA 2 AGUAS					
54							
55		qvto1 (kN/m2)					
56		qvto2 (kN/m2)					
57		qvto3 (kN/m2)					
58		qvto4 (kN/m2)					

Figura 5.8: Cálculo de las cargas de viento. Elaboración propia.

59							
60		4.2) Paramentos verticales					
61							
62		PILAR A	Cp inferior	0,7	h/d inferior	0,25	
63		ZONA D	Cp superior	0,8	h/d superior	1	
64			Cp ponderado	0,729166667	h/d real	0,46875	
65							
66							
67		PILAR B	Cp inferior	-0,3	h/d inferior	0,25	
68		ZONA E	Cp superior	-0,5	h/d superior	1	
69			Cp ponderado	-0,358333333	h/d real	0,46875	
70							
71							
72		qvtoA		0,4746875			
73		qvtoB		0,233275			
74							
75							

Figura 5.9: Cálculo de las cargas de viento. Elaboración propia.

Multiplicando por el ancho de carga se consigue la conversión de cargas superficiales a cargas lineales que son las necesarias para establecer el cálculo de las leyes.

G	H	I	J	K	L	M	N	O	F
		B) CARGAS LINEALES (Kn/m2)							
		Ancho de carga (m)	5						
		CARGAS	kN/m2	Gravitatoria					
		Qsu	2,00	SI					
		QG	1,25	SI					
		QN	4,58	SI					
		Qwt1	0,65	NO					
		Qwt2	-0,65	NO					
		Qwt3		NO					
		Qwt4		NO					
		QwtA	2,37	NO					
		QwtB	1,17	NO					
		NOTA: Las cargas lineales negativas representan succión							
		C) CARGAS LINEALES PERPENDICULARES AL DINTEL. SOLO PARA CUBIERTAS INCLINADAS							
		CARGAS	kN/m2						
		Qsu	2,00						
		QG	1,25						
		QN	4,58						
		Qwt1	0,65						
		Qwt2	-0,65						
		Qwt3							
		Qwt4							
		QwtA	2,37						
		QwtB	1,17						
		IONES ELU	COEF PANDEO	GRADO ASPEREZA	NIEVE	UPN	HEB	HEA	

Figura 5.10: Cálculo de las cargas de viento. Elaboración propia.

5.6.4.- Cálculo de las combinaciones

En este punto, gracias al cálculo analítico en función de todas las longitudes y distancias de la estructura y mediante los coeficientes parciales introducidos se calculan las combinaciones indicando cual es la pésima.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2			DINTEL		PILAR A			PILAR B			Combinación 1: Sobrecarga de uso principal (para no concomitante, que en nuestro caso lo va a ser) $q = 1.35G + 1.5s_u$ Combinación 2: Nieve principal y viento 1 (desfavorable) $q = 1.35G + 1.5N_v + 0.6 * 1.5 * V_{to1}$ Combinación 3: Nieve principal y viento 2 (favorable) $q = 1.35G + 1.5N_v$ Combinación 4: Viento 1 principal y nieve (desfavorable) $q = 1.35G + 1.5V_{to1} + 0.5 * 1.5 * N_v$ Combinación 5: Viento 2 principal y nieve (favorable) $q = 0.8G + 1.5V_{to2}$					
3	HIPÓTESIS	Ved (kN)	Med (kNm)	Ned (kN)	Ved (kN)	Med (kNm)	Ned (kN)	Ved (kN)	Med (kNm)							
4	Qg	10,00	40,00	10,00	0,00	0,00	10,00	0,00	0,00							
5	Qsu	16,00	64,00	16,00	0,00	0,00	16,00	0,00	0,00							
6	QN	36,64	146,56	36,64	0,00	0,00	36,64	0,00	0,00							
7	Qvto1 ó QvtoA	5,21	20,83	5,21	16,10	-54,02	5,21	10,45	-45,54							
8	Qvto2 ó QvtoB	-5,21	-20,83	-5,21	16,10	-54,02	-5,21	10,45	-45,54							
9																
10			DINTEL		PILAR A			PILAR B								
11	COMBINACIONES	Ved (kN)	Med (kNm)	Ned (kN)	Ved (kN)	Med (kNm)	Ned (kN)	Ved (kN)	Med (kNm)							
12	C1	37,50	150,00	37,50	0,00	0,00	37,50	0,00	0,00							
13	C2	73,15	292,59	73,15	14,49	-48,62	73,15	9,40	-40,98							
14	C3	68,46	273,84	68,46	0,00	0,00	68,46	0,00	0,00							
15	C4	48,79	195,17	48,79	24,16	-81,03	48,79	15,67	-68,30							
16	C5	0,19	0,75	0,19	24,16	-81,03	0,19	15,67	-68,30							
17	MAX	73,15	292,59	73,15	24,16	-81,03	73,15	15,67	-68,30							
18																
19	COMBINACIONES	q	p1	p2												
20	C1	4,69	0,00	0,00												
21	C2	9,14	2,14	1,05												
22	C3	8,56	0,00	0,00												
23	C4	6,10	3,56	1,75												
24	C5	0,02	3,56	1,75												
25	MAX	9,14	3,56	1,75												

Figura 5.11: Cálculo de las combinaciones. Elaboración propia.

5.6.5.- Comprobación a ELU

Al tener los esfuerzos máximos ya se pueden comprobar las secciones según se explica en el apartado 5.5.

Primeramente, se hace un cálculo a flexión y se obtiene el número de cada uno de los 5 perfiles. Una vez obtenido este, se buscan sus propiedades y se comprueba a cortante.

Así, se elige que tipo de perfil queremos comprobar a flexocompresión con ese número de perfil calculado. Se indican en las tablas los valores necesarios para el cálculo y si cumple o no el perfil.

En definitiva, es una manera cómoda de poder calcular un número grande de tipos de perfiles y de alturas una vez se tiene automatizado y diseñado el cálculo asistido por hoja de cálculo Excel.

5.7.- Resultados obtenidos del cálculo analítico mediante hoja de cálculo

A continuación, se exponen los perfiles obtenidos para las alturas comprendidas entre los 3 y 7,5 metros con incremento de 0,3 en cada iteración. Los datos exactos (número de perfil, área del perfil, volumen del soporte y peso) del cálculo se encuentran en el anejo 2.

Cabe decir que los coeficientes de pandeo (β) introducidos han sido 2 en el eje “y” (ménsula) y 0,7 en el eje “z” (empotrada articulada).

Se puede observar que, como cabía esperar, a mayor longitud del soporte, mayores son las cargas que ha de resistir y mayor es la longitud de pandeo por lo que es necesario un perfil mayor cada vez que se aumenta considerablemente la longitud.

También es interesante ver la comparación entre perfiles para poder estimar cual de todos va a suponer un mayor gasto de acero en el predimensionamiento.

5.7.1.- Perfil IPN



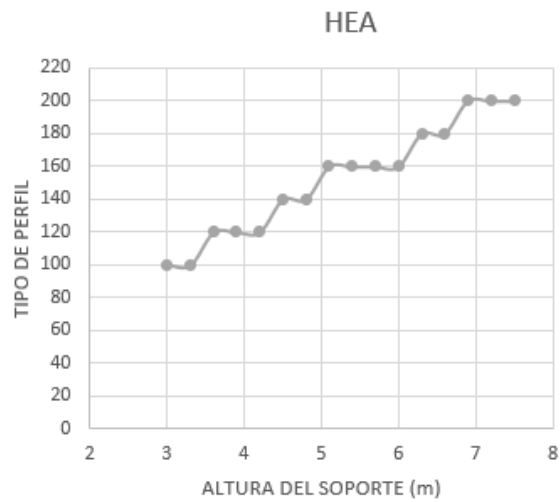
Gráfica 5.1: Resultado del número de perfil IPN en función de la altura. Elaboración propia.

5.7.2.- Perfil UPN



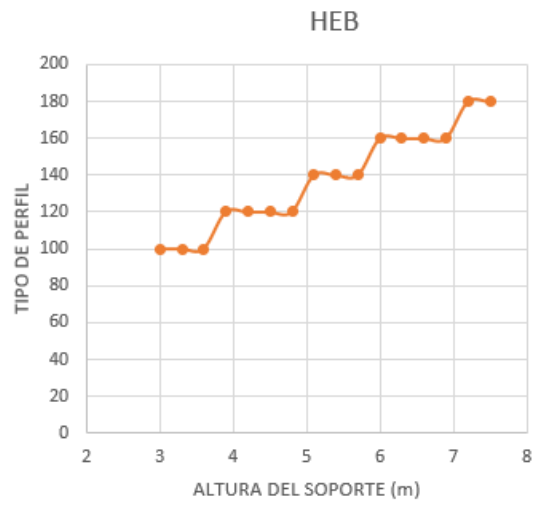
Gráfica 5.2: Resultado del número de perfil UPN en función de la altura. Elaboración propia.

5.7.3.- Perfil HEA



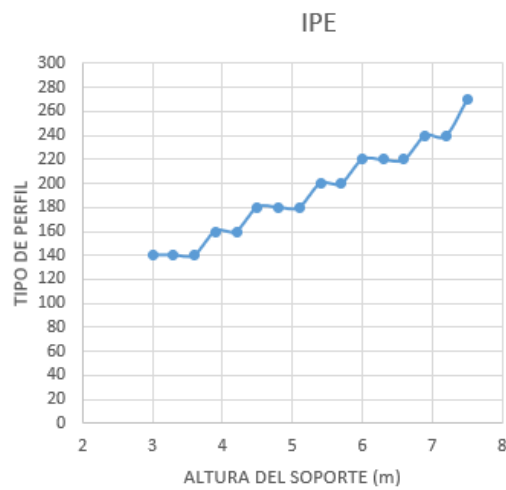
Gráfica 5.3: Resultado del número de perfil HEA en función de la altura. Elaboración propia.

5.7.4.- Perfil HEB



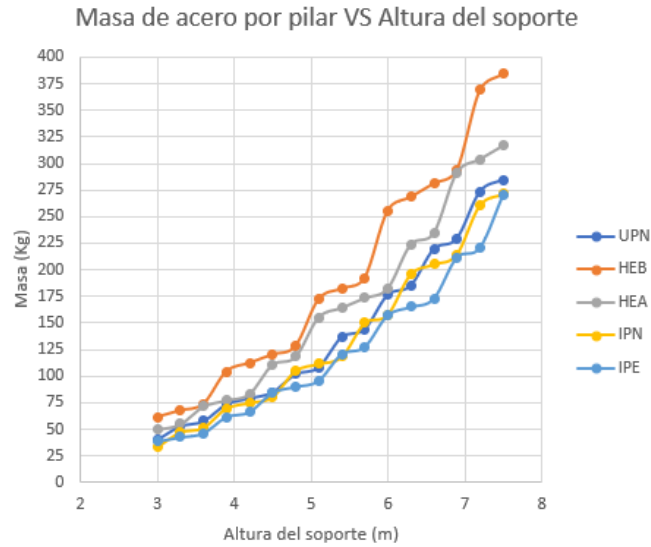
Gráfica 5.4: Resultado del número de perfil HEB en función de la altura. Elaboración propia.

5.7.5.- Perfil IPE



Gráfica 5.5: Resultado del número de perfil IPE en función de la altura. Elaboración propia.

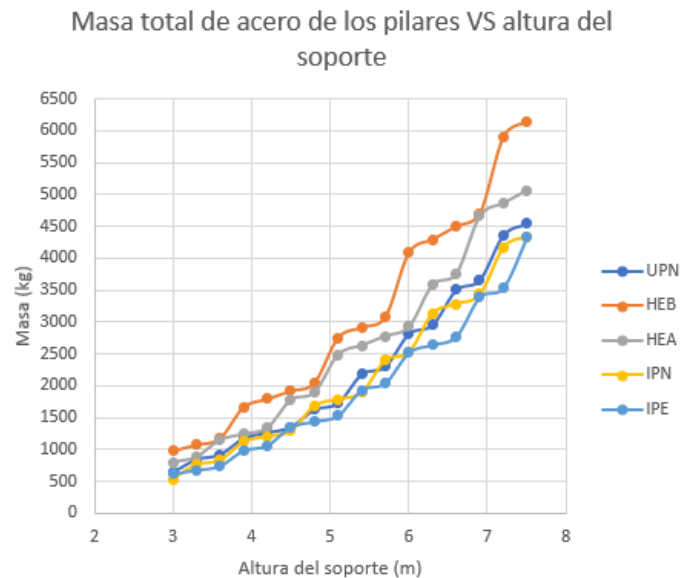
5.7.6.- Comparativa de pesos por soporte



Gráfica 5.6: Comparativa de pesos según el perfil y la altura por soporte. Elaboración propia.

5.7.7.- Comparativa de pesos teniendo en cuenta todos los soportes de pórtico

Para el cálculo se consideran 16 pilares, 8 a cada lado de la estructura.



Gráfica 5.7: Comparativa de pesos según el perfil y la altura por número total de soportes. Elaboración propia.

5.8.- Análisis de los resultados del predimensionamiento

Se puede observar, de los resultados mostrados en las comparativas, que en general los perfiles con más necesidad de masa de acero van a ser el HEA y HEB y que a mayor altura del soporte, mayor será el peso que les separa del resto de perfiles estudiados.

Respecto de los otros tres tipos cabe decir que no se diferencian demasiado respecto al peso para casi todas las alturas estando siempre por debajo el perfil IPE, mientras que los perfiles UPN e IPN fluctúan, siendo cada vez mayor dicha fluctuación con el aumento de la altura.

Así bien, todos estos datos tendrán que ser validados y comprobados mediante una herramienta de cálculo por ordenador que tenga en cuenta otros factores que en el predimensionamiento se obvian. Además, tendrá que simular la estructura completa, teniendo en cuenta otros elementos que conforman la nave como pueden ser las correas o los pilares hastiales.

Este capítulo y el pórtico biempotrado articulado también sirve como punto de partida debido a la falta de experiencia en obra. Así pues, sirve de guía para interpretar los datos que devolverá CYPE, expuestos en el capítulo 6, tras el cálculo estructural que haga. Además, tiene como fin poder controlar las cargas que sufre el pórtico y la perfilería que nos indica el software que, generalmente, deberá estar por encima del número de perfil calculado en el predimensionamiento.

Capítulo 6

Cálculo en software CYPE

6.- CÁLCULO EN SOFTWARE CYPE

Para el cálculo en el software se ha escogido simular 3 alturas distintas con 3 perfiles distintos en cada disposición.

Las alturas escogidas han sido la mínima, 3 metros, una intermedia, 5 metros, y la máxima, 7,5 metros.

Los perfiles seleccionados para el cálculo en CYPE han sido HEB, IPE y UPN ya que entre ellos se diferencian más que los demás como se ha observado en capítulo anterior. Respecto del IPN cabe decir que tiene unas características geométricas y de inercia relativamente parecidas al IPE al igual que su comportamiento. La principal diferencia reside en el espesor de las alas de la sección, ya que en el perfil IPE es constante mientras que en el IPN no.

Además de la disposición articulada calculada en el capítulo anterior, se ha simulado un pórtico reticulado biempotrado y un pórtico reticulado biapoyado con las alturas y perfiles que se han comentado en los párrafos anteriores.

Así pues, con las variaciones planteadas, obtenemos de la simulación 27 estructuras, 9 para cada disposición.

Para finalizar, hay que dar material a toda la estructura que será el acero S275JR.

6.1.- Consideraciones en el generador de pórticos

Antes de empezar la simulación estructural en CYPE 3D, hay que introducir un pórtico tipo en el generador de pórticos. En dicha pestaña, se declaran variables como las longitudes características del pórtico, número y separación de vanos, las cargas a las que va a estar solicitado indicando la ubicación, los muros laterales y las correas. [N9]

Además, hay que definir el tipo de cubierta ya sea a un agua, a dos o con celosía eligiendo alguno de los tipos que tiene precargados en la biblioteca el programa.

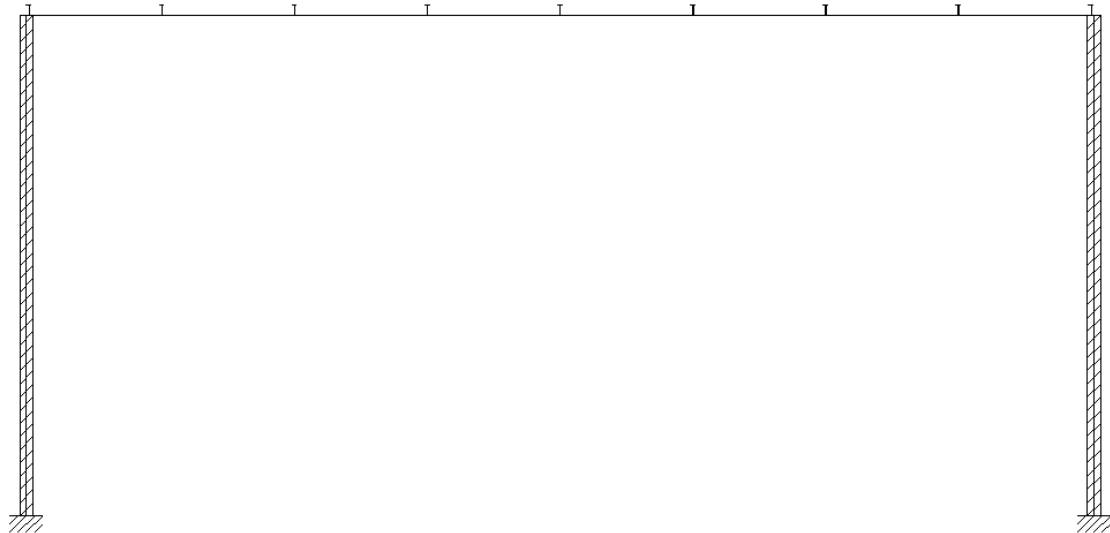


Figura 6.1: Pórtico tipo utilizado para la exportación a CYPE 3D. Elaboración propia.

Se ha definido el pórtico a un agua, con las longitudes características comentadas en el capítulo anterior, con 7 vanos de 5 metros con una carga en el cerramiento en cubierta de $0,25 \text{ kN/m}^2$ y cerramiento lateral con muro.

Las correas, se van a distanciar 2 metros entre ellas y deben cumplir que la flecha máxima debe ser menor a su longitud dividida entre 250. Del cálculo iterativo del programa, imponiendo un tipo de acero S275 y una distancia de 2 metros, se obtiene un tipo de perfil IPE 160. [N9]

El coeficiente de aprovechamiento de las correas a tensión es del 76,21% y la flecha del 43,61%.

6.2.- Consideraciones en el cálculo en 3D

Al realizar la exportación se ha declarado que los pórticos son considerados intraslacionales en su plano debido a que tienen cerramiento lateral mediante un muro.

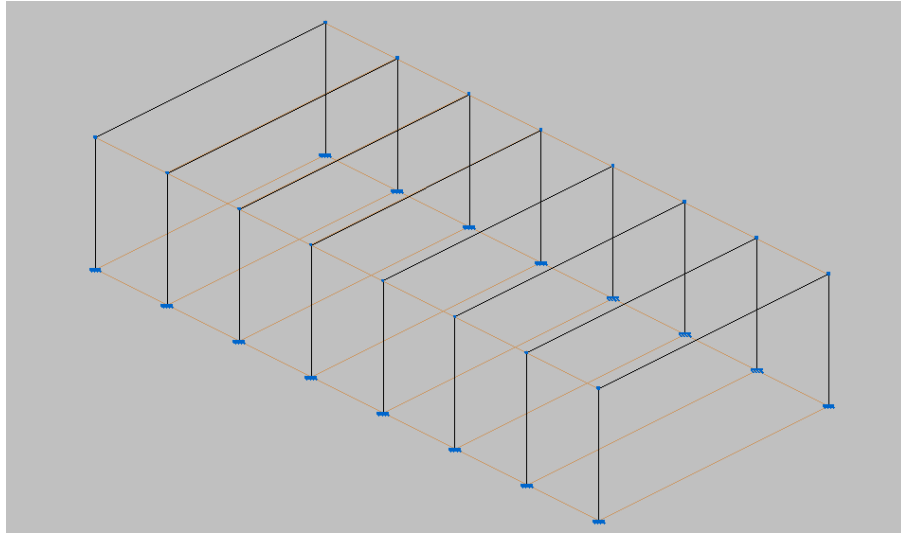


Figura 6.2: Nave exportada desde el generador de pórticos a CYPE 3D. Elaboración propia.

Los pórticos se han de arriostrar mediante vigas de atado que unan todos los pórticos. Así bien, para otorgar a la estructura rigidez en el plano perpendicular al plano, se ha optado por generar cruces de San Andrés tanto en el primer vano como en el último.

Además, en el primer y último pórtico, se han utilizado pilares hastiales separados entre ellos 4 metros.

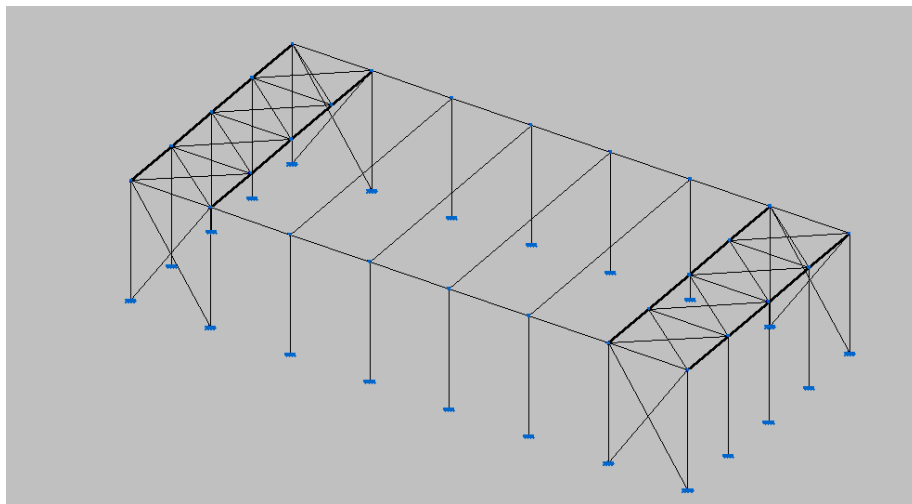


Figura 6.3: Nave completa en CYPE 3D. Elaboración propia

Tras este paso, se ha de agrupar las barras para que el número de perfiles a utilizar sean los mínimos posibles. [N9]

Así, se ha decidido agrupar de la siguiente manera:

1. Todos los dinteles serán del mismo número de perfil comentado anteriormente
2. Los pilares laterales de ambos lados serán del mismo número de perfil
3. Los pilares hastiales serán del mismo tipo de perfil que los laterales, pero podrán ser de distinto número que los laterales.
4. Las vigas de atado serán todas iguales
5. Los cables de las cruces de San Andrés serán todos del mismo diámetro.

También, y para que trabajen de mejor manera y el aprovechamiento sea mayor, la orientación de los pilares hastiales se girarán 90 grados con respecto a los laterales. Así, el eje fuerte del perfil trabajará en plano de mayor sollicitación.

La simulación es iterativa debido a que se va probando con la perfilería escogida hasta alcanzar el máximo aprovechamiento posible en todas las barras de la nave. Este proceso de elección no lo realiza el ordenador, sino que hay que indicarle que número de perfil debe escoger.

Debido a esto, el predimensionamiento es muy importante ya que no se consume tiempo en realizar iteraciones de más si ya se sabe de manera aproximada que tipo y que número de perfil se ha de utilizar aproximadamente.

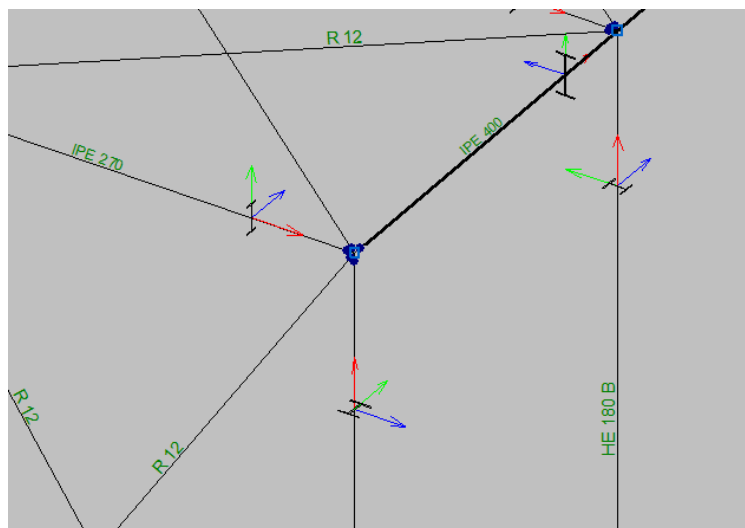


Figura 6.4: Disposición final de las orientaciones de los perfiles. Elaboración propia.

Cabe decir que los coeficientes de pandeo (β) que genera el programa están dentro de los rangos establecidos ya que para el eje “y” su valor es 0, debido al muro que se les

impone a los soportes de ambos lados en el generador de pórticos, y para el eje “z” el valor se mueve entre el 0,5 (soporte biempotrado) y el 0,65 (soporte empotrado articulado)

Dentro de CYPE 3D, también se han simulado y calculado las zapatas y vigas de atado de todos los soportes de la nave industrial.

Así pues, se ha elegido utilizar zapatas cuadrada de hormigón armado con 10 centímetros de hormigón de limpieza. El hormigón empleado para el cálculo es el HA-25 N/mm² y el acero del armado el B-400-S.

El cálculo elegido es el iterativo, que calcula 3 veces las zapatas y las vigas para optimizarlas lo máximo posible. [N9]

Como ayuda para interpretación de las medidas expuestas en el anejo B, memoria de cálculo de CYPE, se explica la notación de los nodos en las cimentaciones realizadas.

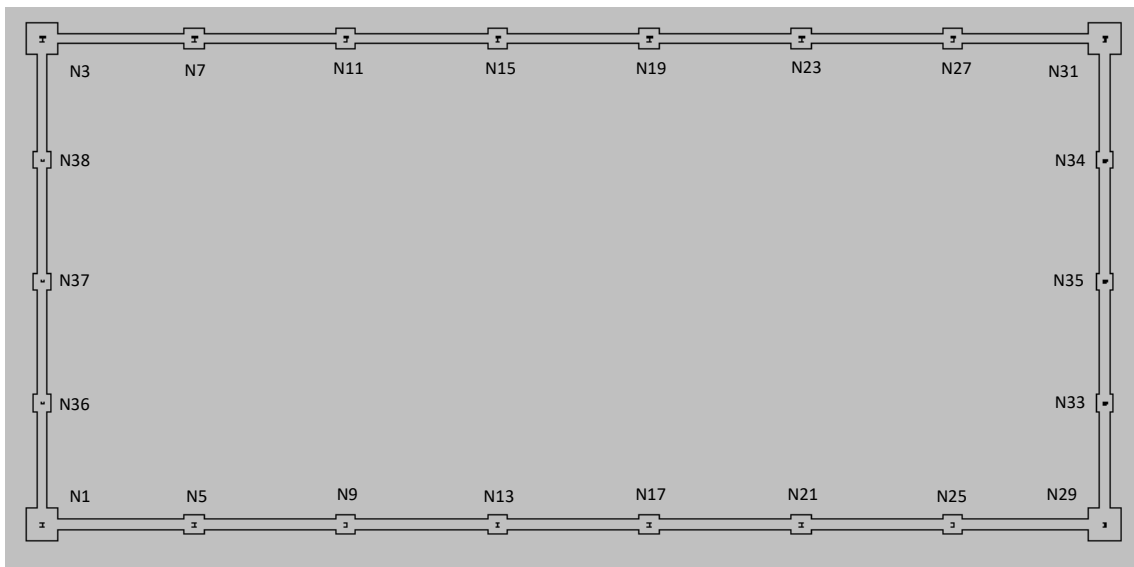


Figura 6.5: Disposición de los nodos de las cimentaciones. Elaboración propia.

6.3.- Nave de pórtico articulado biempotrado en la base

Como se puede ver en las tablas, el que menor peso tanto de hormigón como de acero necesita es el HEB seguido muy de cerca por el IPE.

Respecto del perfil UPN, cabe decir que al ser un perfil abierto tiene menor resistencia a la sollicitación y necesita un número de perfil mucho más alto que el HEB,

pero en peso no se aleja demasiado incrementándose esta distancia según aumenta la altura del soporte.

ALTURA (m)	TIPO DE PERFIL		
	HEB	IPE	UPN
3	100	160	140
5	140	240	240
7,5	200	360	400

Tabla 6.1: Resultado de la perfilería en pórtico articulado biempotrado. Elaboración propia.

ALTURA (m)	PESO ACERO(Kg)		
	HEB	IPE	UPN
3	13532,69	13227,02	13242,56
5	15692,85	15728,18	16232,93
7,5	21912,43	23194,73	23174,71

Tabla 6.2: Resultado del peso de acero en pórtico articulado biempotrado. Elaboración propia.

En la tabla de siguiente, vemos que la cantidad de hormigón crece lentamente en el primer incremento de altura. Después, en el segundo, se ve una gran diferencia debido a que aumenta considerablemente la altura y por tanto la base del soporte estará más solicitado a flexión.

ALTURA (m)	PESO HORMIGÓN (Kg)		
	HEB	IPE	UPN
3	1033,06	1063,6	1049,74
5	1646,14	1722,92	1723,35
7,5	2653,32	2901,28	2751,9

Tabla 6.3: Resultado del peso de hormigón en pórtico articulado biempotrado. Elaboración propia.

6.4.- Nave de pórtico reticulado biempotrado en la base

Se observa que sigue un esquema parecido en cuanto crecimiento al pórtico articulado biempotrado.

Sin embargo, son necesarios mayores perfiles de IPE y UPN debido a que es reticulado y por tanto hay un incremento del peso para todas las alturas con respecto al anterior tipo de pórtico.

El perfil HEB se comporta de manera distinta a los ya citados necesitando menos perfiles para cubrir el intervalo de altura impuesto. Por tanto, a menor altura necesita mayor perfil que en el anterior caso. Si la altura se acerca al límite del intervalo, tanto perfil como peso se igualan.

Para una altura de 7,5 metros, la perfilería UPN empleada en los soportes es incapaz de resistir en la simulación por lo que no se obtiene ningún dato válido para el estudio.

ALTURA (m)	TIPO DE PERFIL		
	HEB	IPE	UPN
3	160	300	320
5	160	360	400
7,5	180	450	-

Tabla 6.4: Resultado de la perfilería en pórtico reticulado biempotrado. Elaboración propia.

ALTURA (m)	PESO ACERO(Kg)		
	HEB	IPE	UPN
3	16035,9	19470,59	20303,79
5	17839,35	22812,02	24296,45
7,5	22096,18	30627,11	-

Tabla 6.5: Resultado del peso de acero en pórtico reticulado biempotrado. Elaboración propia.

En cuanto a la cantidad de hormigón necesaria cabe decir que es muy parecida a la anterior debido a que ambos pórticos están empotrados en la base de los soportes.

ALTURA (m)	PESO HORMIGÓN (Kg)		
	HEB	IPE	UPN
3	1100,68	1182,28	1232,44
5	1291,58	1347,01	1441,1
7,5	2588,47	2679,78	-

Tabla 6.6: Resultado del peso de hormigón en pórtico reticulado biempotrado. Elaboración propia.

6.5.- Nave de pórtico reticulado biapoyado en la base

Sigue el mismo esquema de perfiles que en el caso del pórtico reticulado biempotrado. En contraposición el peso total de acero de la estructura aumenta considerablemente debido al resto de componentes.

ALTURA (m)	TIPO DE PERFIL		
	HEB	IPE	UPN
3	160	300	320
5	160	360	400
7,5	200	450	-

Tabla 6.7: Resultado de la perfilería en pórtico reticulado biapoyado. Elaboración propia.

ALTURA (m)	PESO ACERO(Kg)		
	HEB	IPE	UPN
3	17764,16	19470,59	20303,79
5	17839,35	22812,02	24296,45
7,5	26886,19	32837,67	-

Tabla 6.8: Resultado del peso de acero en pórtico reticulado biapoyado. Elaboración propia.

Este tipo de pórtico es el que menos cantidad de hormigón necesita en la cimentación debido a que no tiene que soportar momento en la base porque tiene un apoyo en lugar de un empotramiento. En conclusión, es necesario utilizar algo menos de la mitad de la cantidad que se utiliza en los otros dos casos.

ALTURA (m)	PESO HORMIGÓN (Kg)		
	HEB	IPE	UPN
3	758,04	770	755,81
5	907,64	861,4	834,05
7,5	1294,48	1256,94	-

Tabla 6.9: Resultado del peso de hormigón en pórtico reticulado biapoyado. Elaboración propia.

Capítulo 7

Análisis económico y ambiental

7.- ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL

En este capítulo se tratarán los datos resultantes del cálculo estructural en CYPE para ponerlos en contexto tanto económico como ambiental.

Estos son factores determinantes a la hora de apostar por un tipo u otro de estructura, aunque no hay que olvidar que tipos de perfiles pueden favorecer el montaje o el reciclaje.

De aquí en adelante la notación en las gráficas será la siguiente:

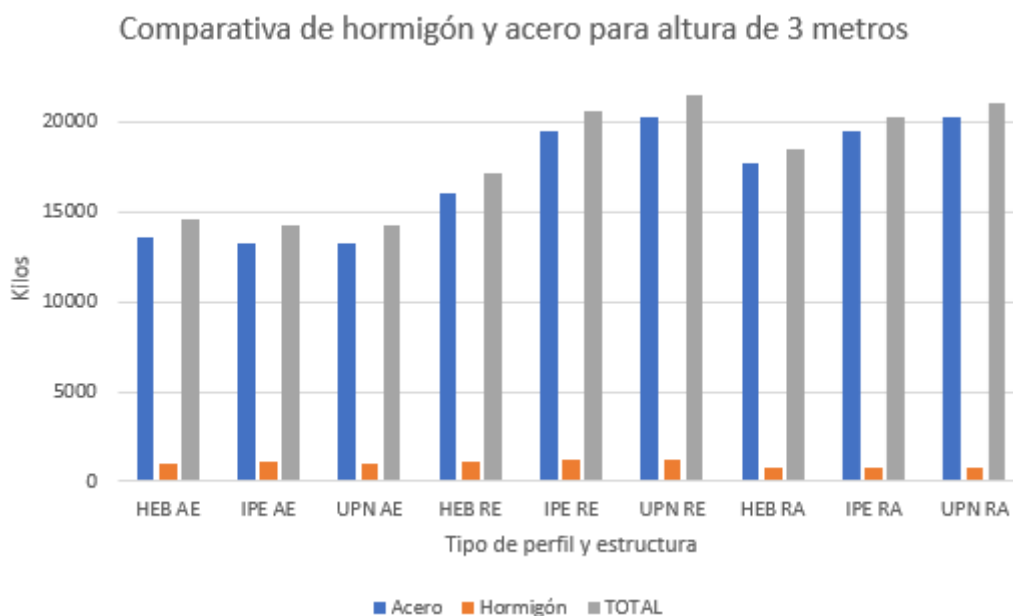
YYY XX, donde

YYY: Es el tipo de perfil (HEB, IPE, UPN)

XX: Es el tipo de pórtico.

1. AE: Articulado biempotrado
2. RE: Reticulado biempotrado
3. RA: Reticulado biapoyado

Primeramente, se exponen los datos comparativos de peso de acero, de hormigón y total por tipo de perfil y estructura, y altura.

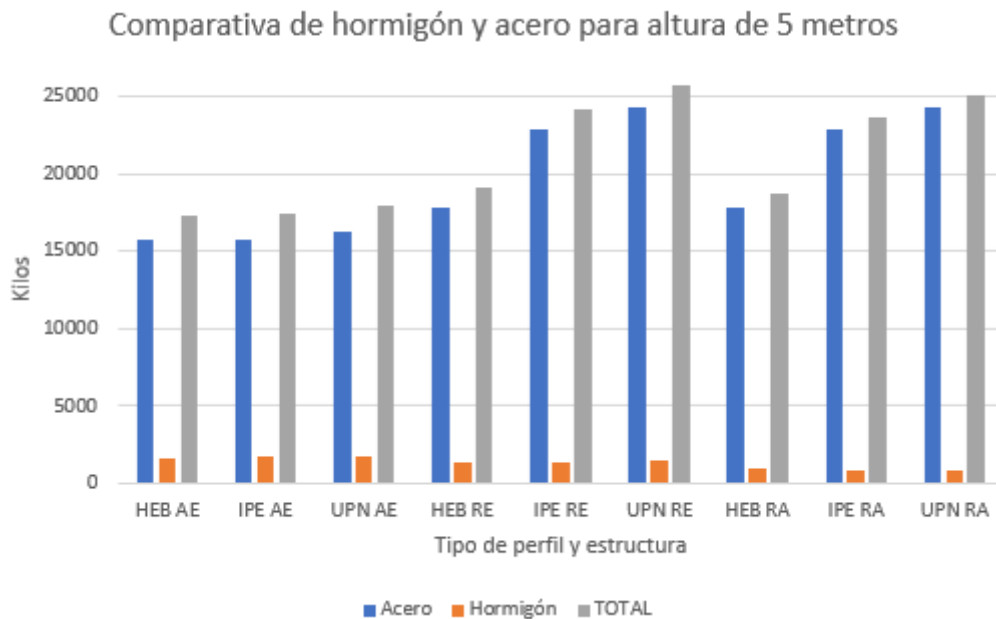


Gráfica 7.1: Comparativa de pesos para una altura de soporte de 3 metros. Elaboración propia.

	Acero	Hormigón	% respecto al menor peso
HEB AE	93%	7%	2%
IPE AE	93%	7%	0%
UPN AE	93%	7%	0%
HEB RE	94%	6%	20%
IPE RE	94%	6%	45%
UPN RE	94%	6%	51%
HEB RA	96%	4%	30%
IPE RA	96%	4%	42%
UPN RA	96%	4%	47%

Tabla 7.1: Porcentaje de acero y hormigón utilizado y aumento de peso respecto a la estructura más ligera para 3 metros.
Elaboración propia.

Se observa que el porcentaje de hormigón, para esta altura nunca excede el 7%, por lo que la mayor carga de peso proviene del acero. Así, las estructuras apoyadas tienen un porcentaje menor de hormigón global respecto a las demás, pero su peso total es mucho mayor que la más liviana que es del tipo empotrada en la base y articulada en la unión pilar-dintel.

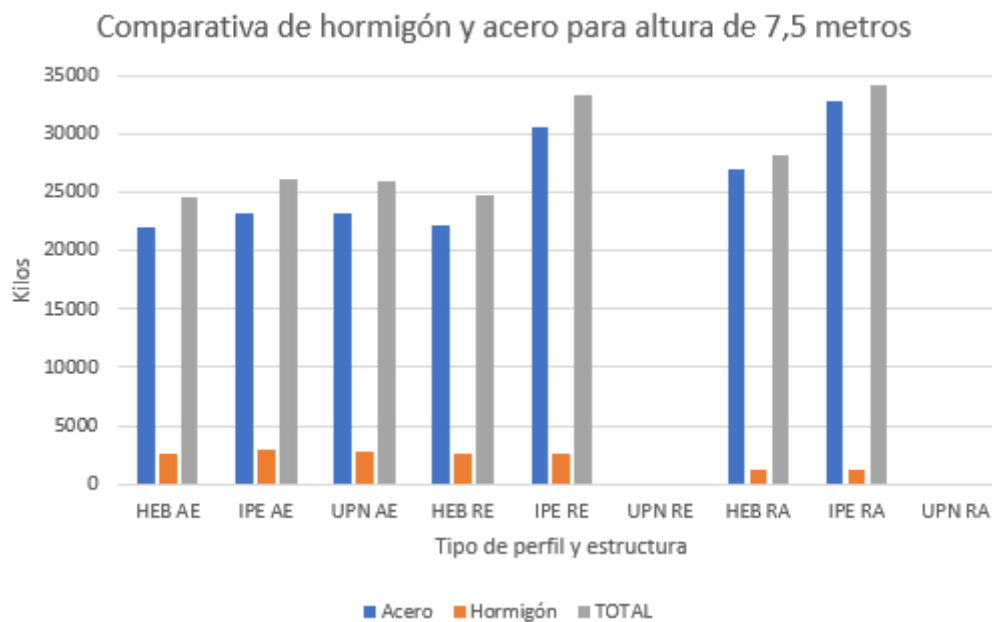


Gráfica 7.2: Comparación de pesos para una altura de 5 metros. Elaboración propia.

	Acero	Hormigón	% respecto al menor peso
HEB AE	91%	9%	0%
IPE AE	90%	10%	1%
UPN AE	90%	10%	4%
HEB RE	93%	7%	10%
IPE RE	94%	6%	39%
UPN RE	94%	6%	48%
HEB RA	95%	5%	8%
IPE RA	96%	4%	37%
UPN RA	97%	3%	45%

Tabla 7.2: Porcentaje de acero y hormigón utilizado y aumento de peso respecto a la estructura más ligera para 5 metros. Elaboración propia.

Se sigue la misma tendencia comentada anteriormente para una altura de 5 metros con la excepción que el porcentaje de hormigón se mantiene relativamente estable en todas las estructuras salvo en las biempotradas articuladas que aumenta su porcentaje en un 3%. También se empieza a observar una mejora en el comportamiento de la perfilería HEB siendo el mejor perfil en todos los tipos de estructuras.



Gráfica 7.3: Comparación de pesos para una altura de 7,5 metros. Elaboración propia.

	Acero	Hormigón	% respecto al menor peso
HEB AE	89%	11%	0%
IPE AE	89%	11%	6%
UPN AE	89%	11%	6%
HEB RE	90%	10%	0%
IPE RE	92%	8%	36%
UPN RE	-	-	-
HEB RA	95%	5%	15%
IPE RA	96%	4%	39%
UPN RA	-	-	-

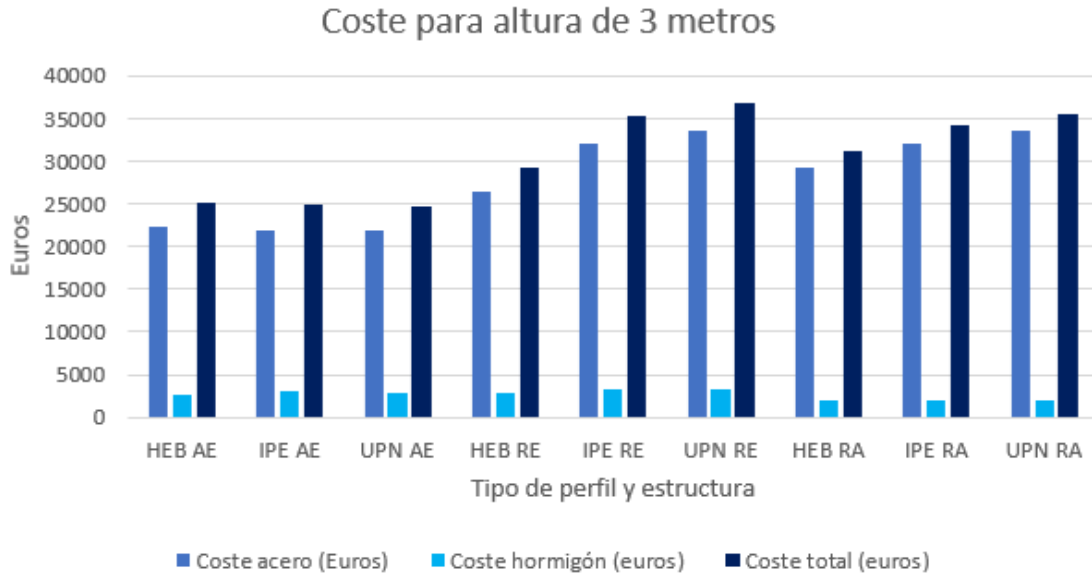
Tabla 7.3: Porcentaje de acero y hormigón utilizado y aumento de peso respecto a la estructura más ligera para 7,5 metros.
Elaboración propia.

Para una altura de 7,5 metros sigue creciendo ligeramente el porcentaje de hormigón de las estructuras biempotradas articuladas mientras que en las biempotradas reticuladas se produce un aumento de entorno al 4%. El perfil UPN no aguanta la sollicitación para esta altura para todas las estructuras salvo para la biempotrada articulada.

Se observa una tendencia de menor uso de material para perfiles HEB en todas las alturas y tipos de pórtico y que la estructura más óptima en cuanto a pesaje es la articulada biempotrada.

7.1.- Factores económicos

Los valores de precio por kilo, tanto de acero como de hormigón, han sido obtenidos mediante un banco de precios abierto por lo que es orientativo. El precio por kilo de acero empleado en perfilería (IPE, IPN, HEA, HEB, HEM, UPN) es de 1,65 euros mientras que el precio por metro cubico de hormigón armado de las cimentaciones es de 86,38 euros.
[15]

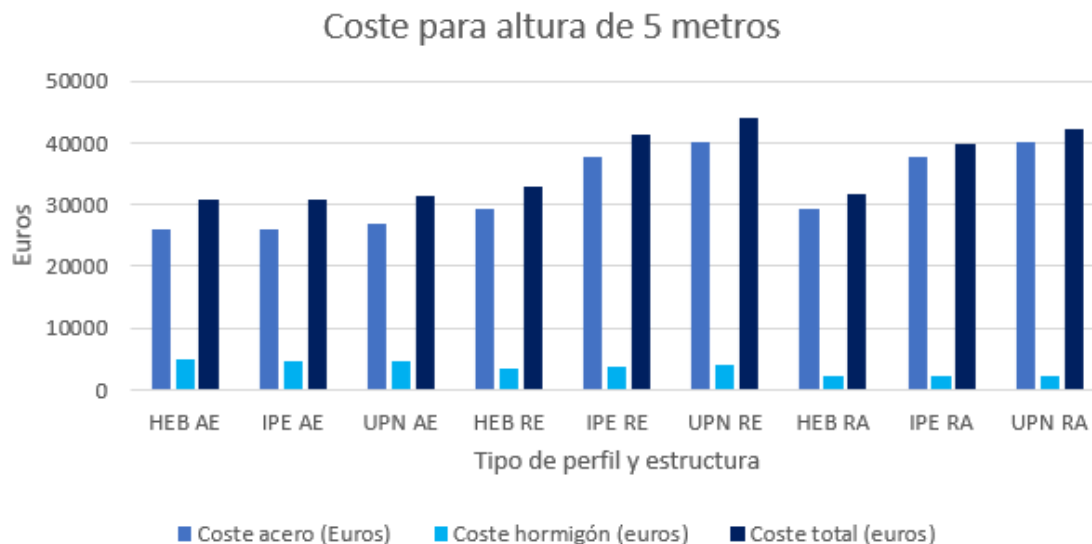


Gráfica 7.4: Comparación de precios para una altura de 3 metros. Elaboración propia.

	% coste acero	% coste hormigón	% respecto al menor
HEB AE	89%	11%	1%
IPE AE	88%	12%	0%
UPN AE	88%	12%	0%
HEB RE	90%	10%	18%
IPE RE	91%	9%	43%
UPN RE	91%	9%	48%
HEB RA	94%	6%	26%
IPE RA	94%	6%	38%
UPN RA	94%	6%	43%

Tabla 7.4: Porcentaje de inversión necesaria y aumento respecto a la estructura más ligera para 3 metros. Elaboración propia.

Respecto para una altura de 3 metros, se comprueba que el perfil HEB es el más económico para cualquier tipo de disposición a pesar de que la cimentación cuesta más. La diferencia de coste entre tipos de estructura para un perfil HEB está en un intervalo de algo más de 5.000 euros viéndose en la tabla porcentual que es la mejor perfilería económicamente hablando. En caso de utilizar otro tipo de perfil la mejor disposición es la articulada empotrada. La diferencia máxima entre el coste mínimo y máximo es de algo más de 10.000 euros.



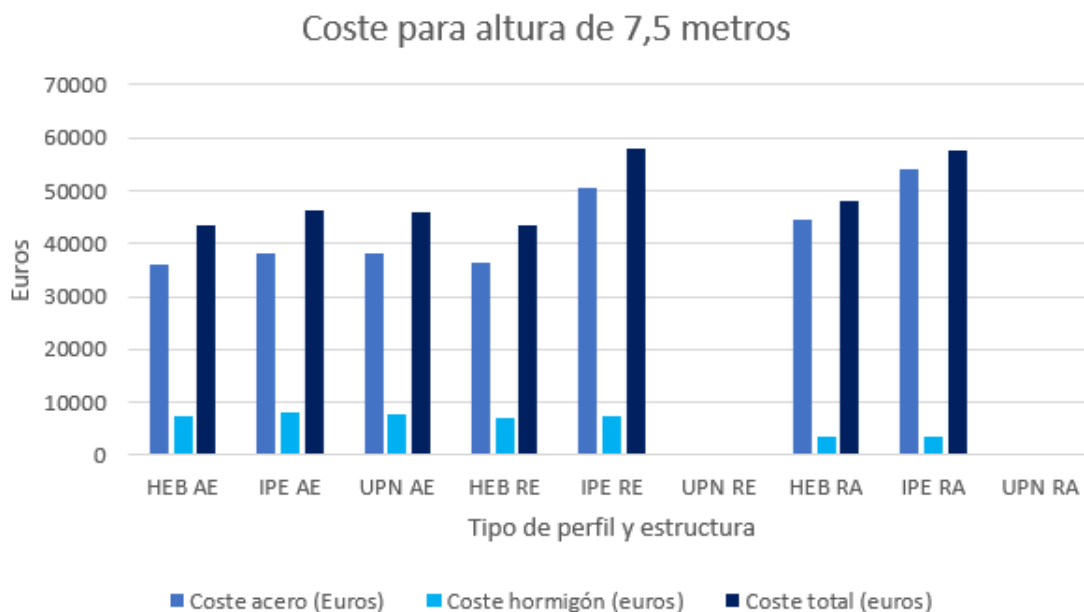
Gráfica 7.5: Comparación de precios para una altura de 5 metros. Elaboración propia.

	% coste acero	% coste hormigón	% respecto al menor
HEB AE	84%	16%	1%
IPE AE	85%	15%	0%
UPN AE	85%	15%	3%
HEB RE	89%	11%	7%
IPE RE	91%	9%	35%
UPN RE	91%	9%	43%
HEB RA	93%	7%	3%
IPE RA	94%	6%	30%
UPN RA	95%	5%	38%

Tabla 7.5: Porcentaje de inversión necesaria y aumento respecto a la estructura más ligera para 5 metros. Elaboración propia.

Para una altura de soporte de 5 metros se observa la misma tendencia anterior y la diferencia máxima de precio sigue manteniéndose en unos 10.000 euros. La diferencia para un perfil HEB para distintas estructuras se reduce considerablemente respecto de la altura anterior llegando a unos 2.000 euros, que en porcentaje es alrededor de un 7% más respecto de la más ligera.

Por otro lado, se observa un aumento considerable del porcentaje, en torno al 5%, de coste del hormigón en estructuras biempotradas articuladas mientras que las demás se mantienen estables.



Gráfica 7.6: Comparación de precios para una altura de 7,5 metros. Elaboración propia.

	% coste acero	% coste hormigón	% respecto al menor
HEB AE	83%	17%	0%
IPE AE	83%	17%	6%
UPN AE	83%	17%	6%
HEB RE	84%	16%	0%
IPE RE	87%	13%	33%
UPN RE	-	-	-
HEB RA	93%	7%	10%
IPE RA	94%	6%	32%
UPN RA	-	-	-

Tabla 7.6: Porcentaje de inversión necesaria y aumento respecto a la estructura más ligera para 7,5 metros. Elaboración propia.

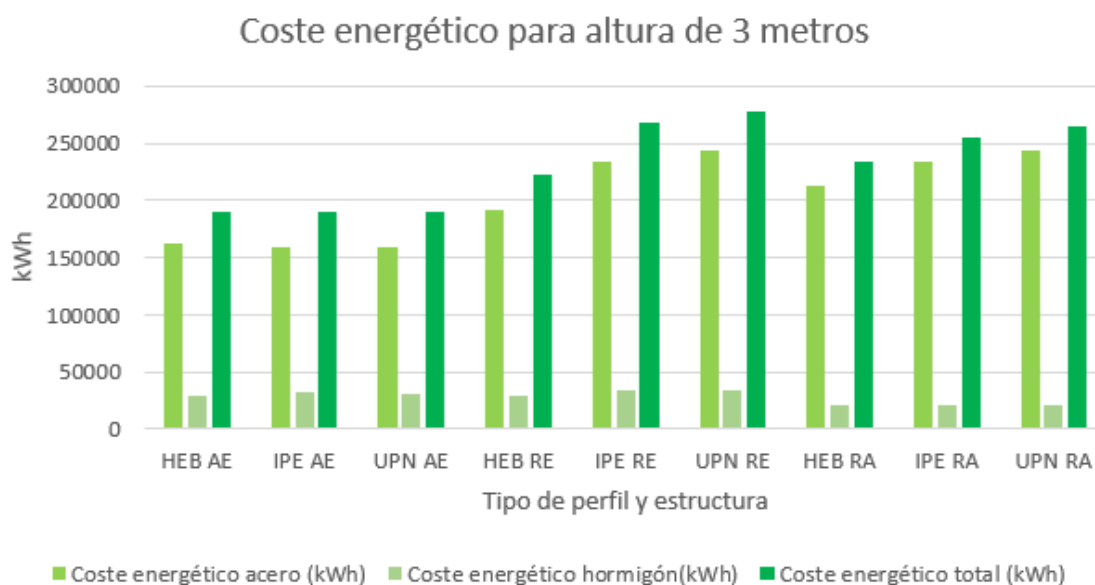
En el caso de 7,5 metros se sigue la misma tendencia y se observa que la diferencia en el precio de hormigón entre las estructuras biempotradas y biapoyadas crece notablemente. Así bien, se confirma que el mejor perfil económicamente es el HEB y el mejor tipo de estructura la biempotrada articulada.

7.2.- Factores ambientales

En este apartado se van a comentar los factores energéticos y de contaminación que producen las distintas estructuras para cada altura estudiada. Cabe decir que, como en el apartado anterior, son valores aproximados y orientativos pero útiles de cara a la valoración de los soportes.

7.2.1.- Factor energético

Para medir la energía que necesita cada estructura se ha utilizado el kWh que es la medida de facturación. Por cada kilo de acero de perfilería producido se necesitan 11,99 kWh mientras que para un producir un metro cúbico de hormigón armado para cimentación son necesarios 903,15 kWh. [15]



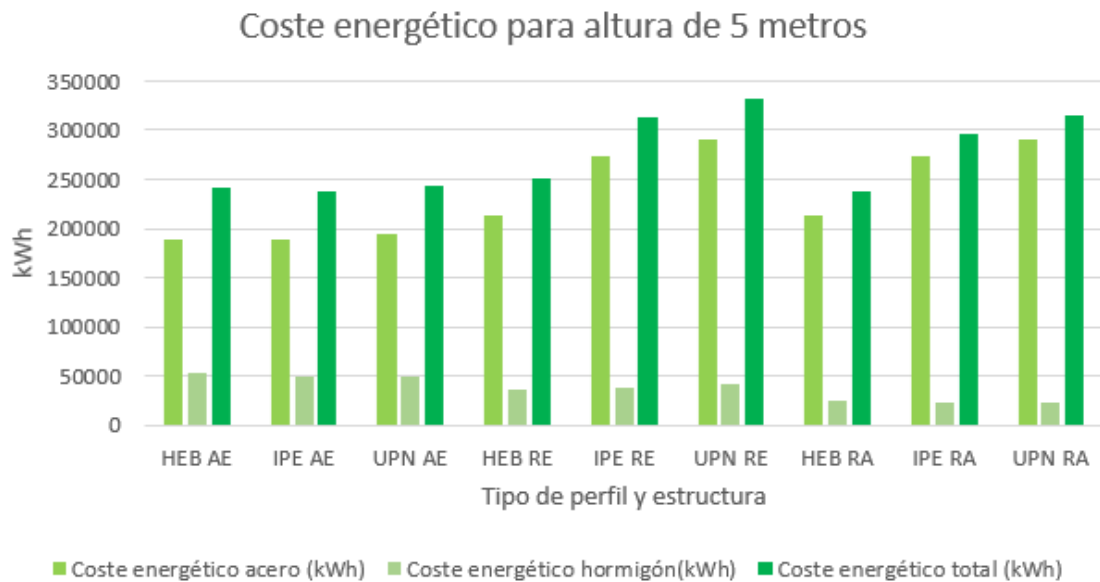
Gráfica 7.7: Comparación de gasto de energético para una altura de 3 metros. Elaboración propia.

	% energía acero	% energía hormigón	% respecto al menor
HEB AE	85%	15%	1%
IPE AE	83%	17%	1%
UPN AE	84%	16%	0%
HEB RE	87%	13%	17%
IPE RE	87%	13%	41%
UPN RE	88%	12%	47%
HEB RA	91%	9%	23%
IPE RA	92%	8%	34%
UPN RA	92%	8%	40%

Tabla 7.7: Porcentaje de energía necesaria y aumento respecto a la estructura más eficiente energéticamente para 3 metros. Elaboración propia.

Como cabía esperar después del análisis de los apartados anteriores, el perfil que menos energía utiliza es el HEB y el tipo de estructura la articulada biempotrada. Los perfiles que más energía consumen son los IPE y los UPN para una estructura reticulada

biempotrado y biapoyado teniendo en torno a un 40% más de consumo energético respecto del menor. Así, la mayor diferencia entre el mínimo y máximo de energía que se emplea es de algo más de 75.000 kWh.



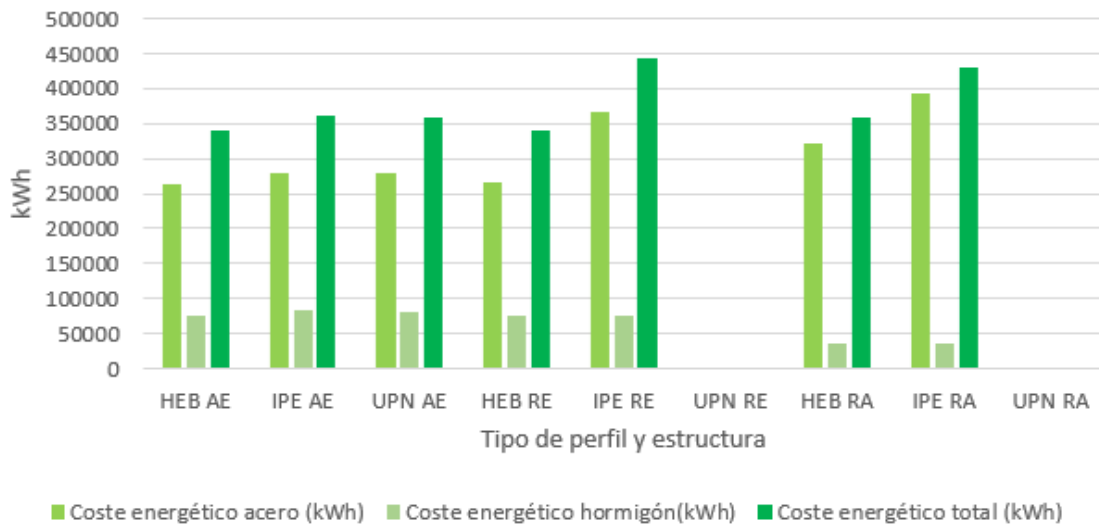
Gráfica 7.8: Comparación de gasto de energético para una altura de 5 metros. Elaboración propia.

	% energía acero	% energía hormigón	% respecto al menor
HEB AE	78%	22%	1%
IPE AE	79%	21%	0%
UPN AE	80%	20%	3%
HEB RE	85%	15%	5%
IPE RE	88%	12%	31%
UPN RE	88%	12%	40%
HEB RA	90%	10%	0%
IPE RA	92%	8%	24%
UPN RA	93%	7%	32%

Tabla 7.8: Porcentaje de energía necesaria y aumento respecto a la estructura más eficiente energéticamente para 5 metros. Elaboración propia.

Para una altura de 5 metros la tendencia es parecida a la anterior, notándose un aumento de la energía consumida por parte del hormigón en todos los tipos de perfiles de la disposición biempotrada articulada. Además, se empieza a observar el buen rendimiento energético del HEB. Así bien, las diferencias en porcentaje se reducen entre la estructura que más consume y la que menos pasando de un 47% a un 40%.

Coste energético para altura de 7,5 metros



Gráfica 7.9: Comparación de gasto de energético para una altura de 7,5 metros. Elaboración propia.

	% energía acero	% energía hormigón	% respecto al menor
HEB AE	77%	23%	0%
IPE AE	77%	23%	7%
UPN AE	78%	22%	6%
HEB RE	78%	22%	0%
IPE RE	83%	17%	31%
UPN RE	-	-	-
HEB RA	90%	10%	6%
IPE RA	92%	8%	26%
UPN RA	-	-	-

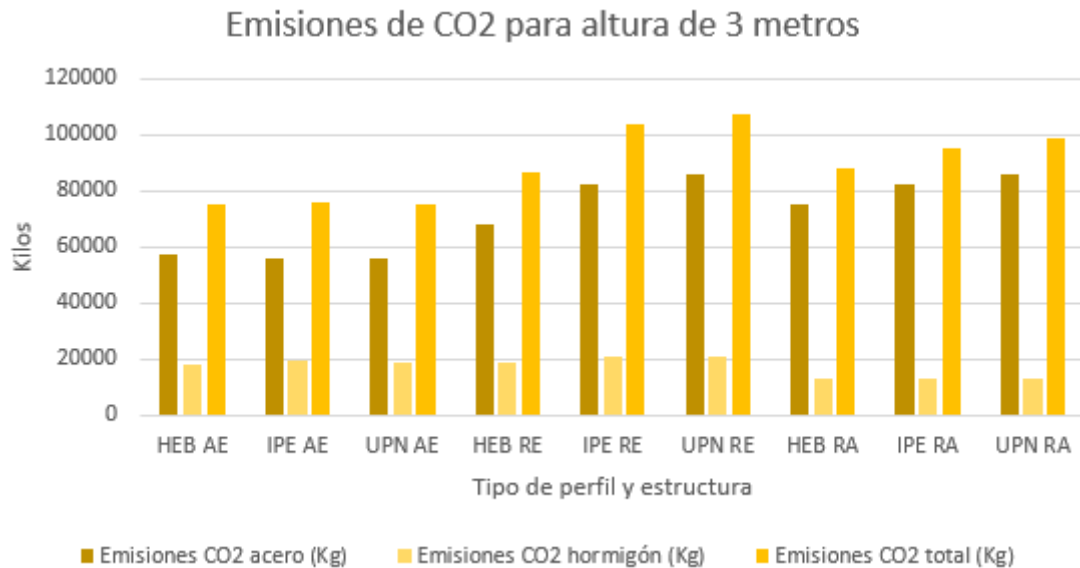
Tabla 7.9: Porcentaje de energía necesaria y aumento respecto a la estructura más eficiente energéticamente para 7,5 metros. Elaboración propia.

Para esta altura, el consumo de energía es muy parecido para todos los tipos de perfiles y estructuras simulados a excepción del perfil IPE en estructuras reticuladas. Así, al estar disponible la perfilería de tipo UPN la variación porcentual entre el máximo y el mínimo se reduce hasta el 31% (perfil IPE). En definitiva, para una altura de 7,5 metros se puede elegir cualquier tipo de disposición y de perfil a excepción del IPE en estructuras reticuladas.

7.2.2.- Emisiones de CO₂

Para cuantificar la contaminación se ha decidido realizar un estudio sobre los kilos de CO₂ que son expulsados a la atmósfera por kilo de acero y de hormigón armado. Por

cada kilogramo de acero empleado en perfilería se producen 4,22 kilogramos de CO₂ mientras que, por cada metro cúbico de hormigón armado utilizado tanto en zapatas como en vigas de atado, se producen 566,27 kilos de CO₂. [15]

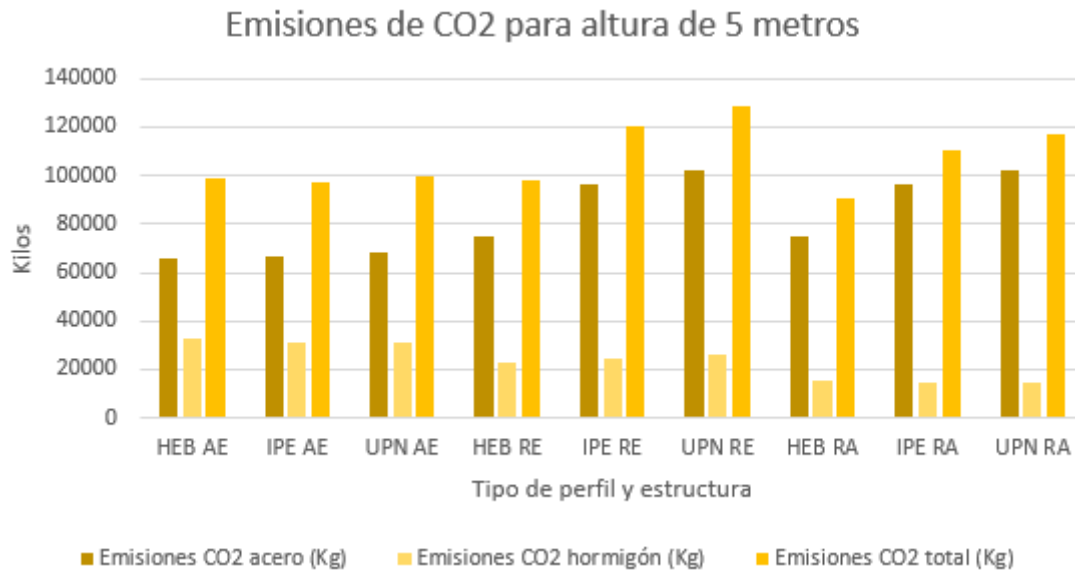


Gráfica 7.10: Comparación de las emisiones de CO₂ para una altura de 3 metros. Elaboración propia.

	% CO ₂ acero	% CO ₂ hormigón	% respecto al menor
HEB AE	76%	24%	0%
IPE AE	74%	26%	1%
UPN AE	75%	25%	0%
HEB RE	79%	21%	15%
IPE RE	80%	20%	38%
UPN RE	80%	20%	43%
HEB RA	85%	15%	17%
IPE RA	86%	14%	27%
UPN RA	87%	13%	32%

Tabla 7.10: Porcentaje de CO₂ emitido y aumento respecto a la estructura menos contaminante para 3 metros. Elaboración propia.

Como ya hemos visto en las anteriores gráficas, el mejor perfil es el HEB mientras que la mejor estructura es la articulada biempotrada. Además, podemos ver que el hormigón tiene un mayor impacto en cuanto a CO₂ que en las demás comparativas que se han realizado (precio, peso y energía).

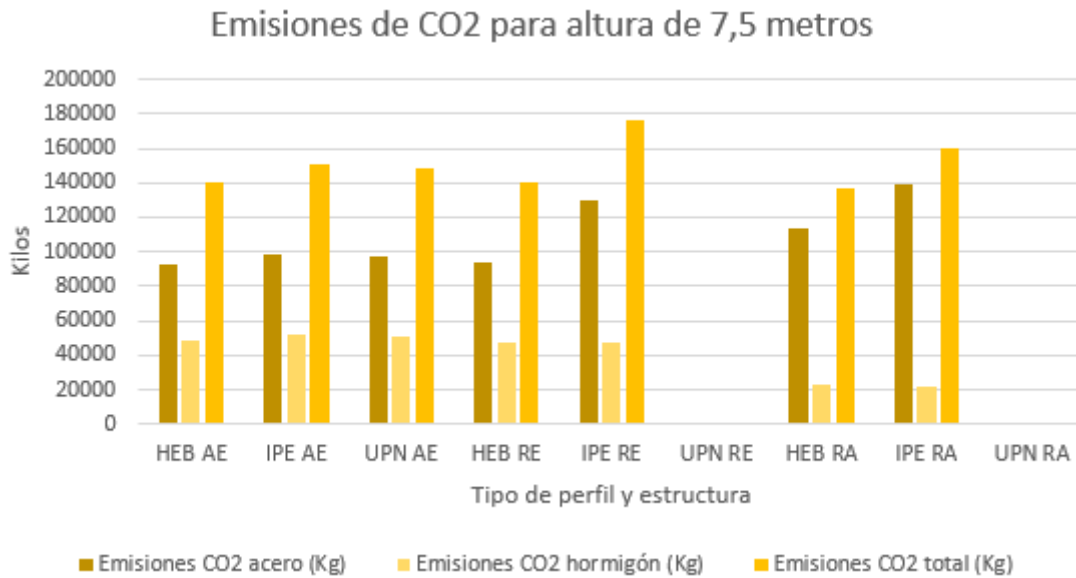


Gráfica 7.11: Comparación de las emisiones de CO₂ para una altura de 5 metros. Elaboración propia.

	% CO2 acero	% CO2 hormigón	% respecto al menor
HEB AE	67%	33%	10%
IPE AE	68%	32%	8%
UPN AE	69%	31%	10%
HEB RE	77%	23%	9%
IPE RE	80%	20%	33%
UPN RE	80%	20%	42%
HEB RA	83%	17%	0%
IPE RA	87%	13%	22%
UPN RA	88%	12%	29%

Tabla 7.11: Porcentaje de CO₂ emitido y aumento respecto a la estructura menos contaminante para 5 metros. Elaboración propia.

Con el aumento de altura en las estructuras biempotradas, especialmente en la articulada, se nota un gran crecimiento del factor de CO₂ en el hormigón. Es decir, vemos que, para una mayor altura, se ha de tener más en cuenta el hormigón a la hora de las emisiones nocivas. Así pues, el crecimiento es de entorno al 10% en las disposiciones biempotradas articuladas.



Gráfica 7.12: Comparación de las emisiones de CO₂ para una altura de 7,5 metros. Elaboración propia.

	% CO ₂ acero	% CO ₂ hormigón	% respecto al menor
HEB AE	66%	34%	3%
IPE AE	65%	35%	10%
UPN AE	66%	34%	9%
HEB RE	67%	33%	3%
IPE RE	73%	27%	29%
UPN RE	-	-	-
HEB RA	83%	17%	0%
IPE RA	86%	14%	17%
UPN RA	-	-	-

Tabla 7.12: Porcentaje de CO₂ emitido y aumento respecto a la estructura menos contaminante para 7,5 metros. Elaboración propia.

Se confirma la tendencia ascendente de las emisiones de CO₂ por la influencia del hormigón armado, llegando a constituir alrededor de la mitad de la que produce el acero en la mayoría de los casos a excepción de las estructuras biapoyadas. Es por ello, por lo que la estructura que menos contamina, en niveles de CO₂, es la reticulada biapoyada con perfilaría del tipo HEB.

7.3.- Reutilización y reciclaje

Otros factores a tener en cuenta a la hora de la realización de una nave industrial o de simplemente, plantear y diseñar los soportes, es la posible reutilización de otros elementos de naves industriales inutilizadas que cumplan las especificaciones de diseño.

De esta manera, el precio del proyecto disminuye y el gasto energético y la contaminación también.

Esto, como se ha comentado en capítulos anteriores, es parte del futuro ya que las estructuras futuras estarán pensadas y diseñadas por módulos desmontables para un posible reaprovechamiento.

En el caso de que los elementos estuvieran dañados o no cumplieran la solicitud siempre existe la posibilidad de llevarlos a una fundición, donde se les otorgue de nuevo las propiedades características necesarias y el tipo de perfil que se necesite.

Capítulo 8

Presupuesto

8.- PRESUPUESTO

Este proyecto, ha sido un estudio de evaluación de uno de los elementos que conforman una nave industrial por lo que el presupuesto se basará en lo empleado para realización de este. Por otro lado, el número de horas empleadas han sido 300, que es el equivalente a las horas de TFG.

Así bien, se ha utilizado exclusivamente un ordenador, dos programas informáticos y un puesto de trabajo en el que se integran otros elementos como luz, conexión a la red, teléfono, etc.

Este puesto de trabajo podría asemejarse a un puesto flexible de un espacio de coworking.

Para el coste por hora de cada elemento se ha estimado una jornada laboral de 8 horas diarias y 5 días a la semana.

Esto da lugar a 260 días laborables al año que restándole 30 días entre festivos y vacaciones hacen un total de 230 días laborables al año.

Elemento	Coste (euros)	Tiempo de licencia/utilización por coste	Coste (euros)/hora	TOTAL (euros)
Ordenador HP	750,00	3 años	0,14	40,76
Licencia paquete Office	10,50	1 mes	0,07	20,54
Licencia completa CYPE	5398,00	1 año	2,93	880,11
Puesto de trabajo	150,00	1 mes	0,98	293,48
Ingeniería	-	-	25,00	7500,00
TOTAL				8734,89
IRPF	15%			-1310,23
IVA	21%			1834,33
TOTAL				9258,98

Tabla 8.1: Desglose del presupuesto del estudio. Elaboración propia.

Desglosando el presupuesto se obtiene lo siguiente:

1. El ordenador se estima que tendrá una vida de 3 años por lo que no es exclusivo de este proyecto y se calcula el coste por hora de utilización.
2. Al igual que el ordenador, las licencias de los programas informáticos no son de uso exclusivo de este proyecto. Así, se obtiene un precio mensual de 10,50 euros por el paquete Office (Word, Excel, PowerPoint, OneDrive, ...) y de 5398 euros por el paquete anual completo de CYPE.

3. El puesto de trabajo es un pago mensual.
4. Al total, incluyendo las horas de ingeniería, se le debe considerar los impuestos como son el IRPF y el IVA del proyecto para tener el presupuesto totalmente completo.

Por tanto, el precio final del estudio es de **nueve mil doscientos cincuenta y ocho euros y noventa y ocho céntimos.**

Cabe resaltar que, en caso de llegar a realizarse la obra al completo, se debería presupuestar la construcción entera, indicando el precio de cada elemento por separado y las unidades empleadas para la realización del presupuesto de la obra completa teniendo en cuenta el movimiento de tierras, el transporte, la mano de obra de los operarios y el precio del suelo.

Capítulo 9

Conclusiones

9.- CONCLUSIONES

En este estudio, se ha desarrollado una evaluación acerca de los soportes de una nave industrial en un emplazamiento primeramente mediante predimensionamiento y después mediante el cálculo en software.

Del predimensionamiento se puede discernir qué tipo de perfil será óptimo, pero no podemos asegurarlo debido a que no se tiene en cuenta toda la estructura. Así pues, se puede tener un menor peso total en los soportes, pero la estructura globalmente ser más pesada que en un caso en el que el peso de los soportes sea mayor.

El predimensionamiento da lugar a un número de perfil que servirá como punto de partida a la hora de dimensionar en el software correspondiente, evitando así iteraciones no sustanciales. Es por ello, por lo que se ha desarrollado una herramienta que calcula las cargas que soportará el pórtico y obtiene los esfuerzos máximos y sus combinaciones para un pórtico biempotrado articulado de cubierta plana y así poder obtener un primer tipo y número de perfil.

De nuestras 3 disposiciones podemos decir que en función de los requisitos de la nave se elegirá una u otra pero que, en general, las mejores disposiciones son la articulada biempotrada y la reticulada biapoyada. Es decir, las estructuras en las que sus soportes solo están solicitadas a momento en uno de sus dos extremos.

De la perfilería de los soportes, el que mejor se comporta a flexocompresión y a pandeo es el perfil HEB y HEA en el predimensionamiento debido a que sus momentos de inercia tanto en el eje “y” como en el “z” están bastante equilibrados entre ellos a pesar de que el eje fuerte es el “y”. Seguido de estos están los perfiles IPE e IPN que son bastante parecidos entre si como ya se ha comentado y se diferencian de los HE en la longitud de sus alas.

Del programa se desprende algo parecido a lo que se obtiene en el predimensionado a pesar de que la distancia entre el perfil HEB e IPE se reduce bastante. Algo a tener en cuenta, es la elección de que todos los elementos de la estructura metálica sean del mismo tipo de perfil lo cual es una simplificación que se puede tener en cuenta sin ser algo determinante.

Un factor importante también es el dimensionado de las zapatas que se ha realizado ya que en función de cómo sea el terreno sobre el que se asentará la nave es clave. Así,

se ha podido observar que para una menor cimentación es necesario elegir un pórtico biapoyado en lugar de un biempotrado generalmente. Por tanto, si el terreno no es idóneo para aguantar grandes esfuerzos se tenderá a reforzar la cimentación incrementando el volumen de hormigón utilizado. También, se podrá utilizar apoyos en las bases de los soportes para que la cimentación no sea excesiva y así no encarecer el presupuesto ni aumentar la complejidad del desarrollo de la obra.

Respecto del análisis económico y ambiental se desprende que el mejor tipo de perfil es el HEB y que la cantidad de hormigón armado no es realmente significativa frente al acero en el aspecto económico. Sin embargo, en el estudio ambiental, se observa un aumento de la importancia de la cantidad de hormigón en la cantidad de energía que se consume y de la cantidad de CO₂ que se emite en su producción.

Capítulo 10

Línea de trabajos futuros

10.- LÍNEA DE TRABAJOS FUTUROS

A partir de este estudio, las líneas de trabajo que se podrían seguir son las siguientes:

- Análisis de la influencia de más plantas en la edificación en los soportes.
- Implementación de otros tipos de pórticos a un agua o a un agua inclinado en la herramienta de predimensionamiento y análisis posterior en CYPE.
- Implementación de pórticos de dos aguas en la herramienta de predimensionamiento y análisis posterior en CYPE.
- Implementación de pórticos con celosía en la herramienta de predimensionamiento y análisis posterior en CYPE.
- Análisis de las uniones en función de los soportes empleados en una nave industrial.
- Influencia de los soportes en los tipos de cimentación.
- Diseño y cálculo de otros elementos de una nave industrial en función de los soportes.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]: Instituto Técnico de la Estructura en Acero. “Construcciones en acero. Factores económicos y comerciales”. *Guía de Diseño para edificios con estructura de acero*. ITEA, ORDIZIA, 1997.
- [2]: Labein-Tecnalia. *Buenas prácticas para la Construcción en Acero. Edificación Industrial*. Documento técnico del Proyecto Euro-Build in Steel. Proyecto desarrollado. 2008.
- [3]: ACIES-ED. “El potencial creativo de la estructura”. <http://www.acies-ed.com/?q=node/8>. (acceso: 20 de marzo de 2019)
- [4]: APTA. “El acero en la construcción”. APTA. http://www.apta.com.es/index.php?option=com_content&task=view&id=154&Itemid=35. (acceso: 22 de marzo de 2019)
- [5]: A. Guardiola Vílora, L. Basser Salom, “Evolución histórica del soporte como elemento estructural fundamental en arquitectura”, Dpto. de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12872/soportes.pdf;sequence=5>.
- [6]: R. Argüelles Álvarez. *La estructura metálica de hoy*. Ed: Librería Técnica Bellisco. Segunda edición. 1975.
- [7]: J. Monfort Leonart. *Estructuras metálicas para edificación: adaptado al CTE*. Ed: UPV. 2006.
- [8]: A. Cortés Sanhueza. “Ventajas del acero en la arquitectura y construcción”. EMB. <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=3799&edi=175&xit=ventajas-del-acero-en-la-arquitectura-y-construccion>. (acceso: 1 de abril de 2019). REVISADA
- [9]: CYPE 3D. Ejemplo práctico. Página web del software comercial CYPE Ingenieros. http://www.cype.net/cype_3d/CYPE3D_Ejemplo.pdf (5/02/2019)
- [10]: Código Técnico de la Edificación. “¿Qué es el CTE?”. www.codigotecnico.org (acceso: 30 de marzo de 2019)
- [11]: E. Torroja Miret. *Razón y ser de los tipos estructurales*. 3ªed: 2010, Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Textos universitarios.

- [12]: J. Heyman. *Vigas y pórticos*. Ed: Instituto Juan de Herrera, 2002, Madrid.
- [13]: Alfredo Arnedo Pena. “Naves industriales con acero”, presentada en Montevideo, 5 de julio de 2016.
- [14]: *Sede Electrónica del Catastro*. www.sedecatastro.gob.es (acceso: 20 de febrero de 2019)
- [15]: ITEC. *BEDEC - Base de dades amb informació de productes de la construcció*. <https://itec.es/servicios/bedec/> (20/5/2019)
- [16]: Tectonica. “Naturalidad del acero”.
https://www.tectonica.es/arquitectura/acero/naturalidad_del_acero.html. (Acceso: 5 de abril de 2019)
- [17]: Tectonica. “En seco”.
https://www.tectonica.es/arquitectura/junta/seca/en_seco.html. (acceso: 5 de abril de 2019)

Normativa

- [N1]: Jefatura del Estado. Ley 38/1999-LOE. Núm. 266, de 06/11/1999.
- [N2]: Ministerio de Fomento. Documento Básico Seguridad Estructural, abril 2009. Código Técnico de la Edificación
- [N3]: Ayuntamiento de Casarrubios del Monte. Plan Parcial de la Actuación Industrial Monte Boyal.
- [N4]: Ministerio de la presidencia. Real decreto 751/2011, de 27 de mayo de 2011 por el que se aprueba la instrucción de acero estructural (EAE). Núm. 149, 23 de junio de 2001, páginas 67148 a 67846.
- [N5]: Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08). Núm. 203, de 22 de agosto de 2008, páginas 35176 a 35178.

Imágenes

- [I 1]: Es.wikipedia.org. (2019). <https://es.wikipedia.org/>
- [I 2]: www.yosoynoticia.es (2019): <https://www.yosoynoticia.es/>

Anejo A

**Datos extraídos de la herramienta
de predimensionamiento**

A.- DATOS EXTRAÍDOS DE LA HERRAMIENTA DE PREDIMENSIONAMIENTO.

1.1.- Datos del perfil IPN

Valores de IPN					
H (m)	Perfil	Área (cm ²)	Volumen (m ³)	Masa/pilar (kg)	Masa total (kg)
3	120	14,2	0,00426	33,44	535,06
3,3	140	18,3	0,006039	47,41	758,50
3,6	140	18,3	0,006588	51,72	827,45
3,9	160	22,8	0,008892	69,80	1116,84
4,2	160	22,8	0,009576	75,17	1202,75
4,5	160	22,8	0,01026	80,54	1288,66
4,8	180	27,9	0,013392	105,13	1682,04
5,1	180	27,9	0,014229	111,70	1787,16
5,4	180	27,9	0,015066	118,27	1892,29
5,7	200	33,5	0,019095	149,90	2398,33
6	200	33,5	0,0201	157,79	2524,56
6,3	220	39,6	0,024948	195,84	3133,47
6,6	220	39,6	0,026136	205,17	3282,68
6,9	220	39,6	0,027324	214,49	3431,89
7,2	240	46,1	0,033192	260,56	4168,92
7,5	240	46,1	0,034575	271,41	4342,62

Tabla A.1: Datos predimensionamiento IPN

1.2.- Datos del perfil UPN

Valores de UPN					
H (m)	Perfil	Área (cm ²)	Volumen (m ³)	Masa/pilar (kg)	Masa total (kg)
3	120	17	0,0051	40,04	640,56
3,3	140	20,4	0,006732	52,85	845,54
3,6	140	20,4	0,007344	57,65	922,41
3,9	160	24	0,00936	73,48	1175,62
4,2	160	24	0,01008	79,13	1266,05
4,5	160	24	0,0108	84,78	1356,48
4,8	180	27	0,01296	101,74	1627,78
5,1	180	27	0,01377	108,09	1729,51
5,4	200	32,2	0,017388	136,50	2183,93
5,7	200	32,2	0,018354	144,08	2305,26
6	220	37,4	0,02244	176,15	2818,46
6,3	220	37,4	0,023562	184,96	2959,39
6,6	240	42,3	0,027918	219,16	3506,50
6,9	240	42,3	0,029187	229,12	3665,89
7,2	260	48,3	0,034776	272,99	4367,87
7,5	260	48,3	0,036225	284,37	4549,86

Tabla A.2: Datos predimnsionamiento UPN

1.3.- Datos del perfil HEA

Valores de HEA					
H (m)	Perfil	Área (cm ²)	Volumen (m ³)	Masa/pilar (kg)	Masa total (kg)
3	100	21,2	0,00636	49,93	798,82
3,3	100	21,2	0,006996	54,92	878,70
3,6	120	25,3	0,009108	71,50	1143,96
3,9	120	25,3	0,009867	77,46	1239,30
4,2	120	25,3	0,010626	83,41	1334,63
4,5	140	31,4	0,01413	110,92	1774,73
4,8	140	31,4	0,015072	118,32	1893,04
5,1	160	38,8	0,019788	155,34	2485,37
5,4	160	38,8	0,020952	164,47	2631,57
5,7	160	38,8	0,022116	173,61	2777,77
6	160	38,8	0,02328	182,75	2923,97
6,3	180	45,3	0,028539	224,03	3584,50
6,6	180	45,3	0,029898	234,70	3755,19
6,9	200	53,8	0,037122	291,41	4662,52
7,2	200	53,8	0,038736	304,08	4865,24
7,5	200	53,8	0,04035	316,75	5067,96

Tabla A.3: Datos de predimensionamiento HEA

1.4.- Datos del perfil HEB

Valores de HEB					
H (m)	Perfil	Área (cm ²)	Volumen (m ³)	Masa/pilar (kg)	Masa total (kg)
3	100	26	0,0078	61,23	979,68
3,3	100	26	0,00858	67,35	1077,65
3,6	100	26	0,00936	73,48	1175,62
3,9	120	34	0,01326	104,09	1665,46
4,2	120	34	0,01428	112,10	1793,57
4,5	120	34	0,0153	120,11	1921,68
4,8	120	34	0,01632	128,11	2049,79
5,1	140	43	0,02193	172,15	2754,41
5,4	140	43	0,02322	182,28	2916,43
5,7	140	43	0,02451	192,40	3078,46
6	160	54,3	0,03258	255,75	4092,05
6,3	160	54,3	0,034209	268,54	4296,65
6,6	160	54,3	0,035838	281,33	4501,25
6,9	160	54,3	0,037467	294,12	4705,86
7,2	180	65,3	0,047016	369,08	5905,21
7,5	180	65,3	0,048975	384,45	6151,26

Tabla A.4: Datos de predimensionamiento HEB

1.5.- Datos del perfil IPE

Valores de IPE					
H (m)	Perfil	Área (cm ²)	Volumen (m ³)	Masa/pilar (kg)	Masa total (kg)
3	140	16,4	0,00492	38,62	617,95
3,3	140	16,4	0,005412	42,48	679,75
3,6	140	16,4	0,005904	46,35	741,54
3,9	160	20,1	0,007839	61,54	984,58
4,2	160	20,1	0,008442	66,27	1060,32
4,5	180	23,9	0,010755	84,43	1350,83
4,8	180	23,9	0,011472	90,06	1440,88
5,1	180	23,9	0,012189	95,68	1530,94
5,4	200	28,5	0,01539	120,81	1932,98
5,7	200	28,5	0,016245	127,52	2040,37
6	220	33,4	0,02004	157,31	2517,02
6,3	220	33,4	0,021042	165,18	2642,88
6,6	220	33,4	0,022044	173,05	2768,73
6,9	240	39,1	0,026979	211,79	3388,56
7,2	240	39,1	0,028152	220,99	3535,89
7,5	270	45,9	0,034425	270,24	4323,78

Tabla A.5: Datos de predimensionamiento IPE

Anejo B

Listados de resultados de CYPE

B.- LISTADOS DE RESULTADOS DE CYPE

1.- Listado de nave industrial con pórtico articulado biempotrado

1.1.- Altura del soporte: 7,5 metros

1.1.1.- Perfil HEB

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HE 200 B	120.000	165.000		0.937	1.231		7357.02	9663.74	
			HE 180 B	45.000			0.294			2306.72		
			IPE 400	128.000			1.082			8490.56		
			IPE 270	100.000			0.459			3603.15		
		IPE	R	R 12	174.561	228.000	0.020	1.541	154.98	12093.71		
					174.561	0.020	154.98					
					567.561	2.791	21912.43					

Tabla B.1: Medición de acero para pórtico articulado biempotrado. 7,5 metros. HEB.

Elemento	B 400 S, CN (kg)	Hormigón (m³)	
	Ø12	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N38, N36, N1, N29, N33, N34 y N31	8x70.31	8x2.21	8x0.44
Referencias: N37 y N35	2x56.23	2x1.62	2x0.36
Referencias: N5, N25, N27 y N7	4x94.56	4x2.91	4x0.53
Referencias: N9, N13, N17, N21, N23, N19, N15 y N11	8x131.25	8x3.75	8x0.63
Totales	2103.18	62.53	11.37

Tabla B.2: Medición de zapatas para pórtico articulado biempotrado. 7,5 metros. HEB.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N37-N38], C [N37-N36], C [N36-N1], C [N33-N29], C [N33-N35], C [N35-N34] y C [N34-N31]	8x4.62	8x16.81	171.44	8x0.30	8x0.08
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N13-N9], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N27-N23], C [N23-N19], C [N19-N15], C [N15-N11], C [N11-N7] y C [N7-N3]	14x6.35	14x20.70	378.70	14x0.45	14x0.11
Totales	125.86	424.28	550.14	8.70	2.18

Tabla B.3: Medición de vigas de atado para pórtico articulado biempotrado. 7,5 metros. HEB.

1.1.2.- Perfil IPE

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	IPE	IPE 360	120.000			0.872			6848.34		
			IPE 400	128.000			1.082			8490.56		
			IPE 500	45.000			0.522			4097.70		
			IPE 270	100.000			0.459			3603.15		
		R	R 12	174.561	393.000		0.020	2.935		154.98	23039.75	
					174.561			0.020			154.98	
					567.561			2.955			23194.73	

Tabla B.4: Medición de acero para pórtico articulado biempotrado. 7,5 metros. IPE.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N1, N29 y N31	4x70.31		4x2.21	4x0.44
Referencias: N38, N37, N36, N33, N35 y N34	6x107.80		6x3.17	6x0.58
Referencias: N5, N25, N27 y N7	4x94.56		4x2.91	4x0.53
Referencias: N9, N13, N17, N21, N23, N19, N15 y N11	8x131.25		8x3.75	8x0.63
Totales	2356.28		69.47	12.34

Tabla B.5: Medición de zapatas para pórtico articulado biempotrado. 7,5 metros. IPE.

Resumen de medición (se incluyen mermas de acero)

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N38-N37], C [N37-N36], C [N36-N1], C [N29-N33], C [N33-N35], C [N35-N34] y C [N34-N31]	8x4.04	8x16.81	166.80	8x0.28	8x0.07
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N27-N23], C [N23-N19], C [N19-N15], C [N15-N11], C [N11-N7] y C [N3-N7]	14x6.35	14x20.70	378.70	14x0.45	14x0.11
Totales	121.22	424.28	545.50	8.51	2.13

Tabla B.6: Medición de vigas de atado para pórtico articulado biempotrado. 7,5 metros. IPE.

1.1.3.- Perfil UPN

Para este tipo de nave y con el perfil indicada, con una altura de soporte de 7,5 metros, se ha tenido que cambiar el perfil de los pilares hastiales ya que con el máximo UPN que tiene el programa, UPN 400, no era capaz de aguantar la sollicitación. Así, se ha decidido utilizar un HEB 180.

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	UPN	UPN 400	120.000			1.098			8619.30		
			IPE 400	128.000	120.000			1.082	1.098	8490.56	8619.30	
			IPE 270	100.000			0.459			3603.15		
		IPE	HE 180 B	45.000	228.000		0.294	1.541		2306.72	12093.71	
		HEB	R 12	174.561	45.000		0.020	0.294		154.98	2306.72	
		R			174.561			0.020			154.98	
					567.561			2.952			23174.71	

Tabla B.7: Medición de acero. 7,5 metros para pórtico articulado biempotrado. UPN.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12		HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N1, N29 y N31	4x78.14		4x2.43	4x0.44
Referencias: N38, N36, N33 y N34	4x70.31		4x2.21	4x0.44
Referencias: N37 y N35	2x56.23		2x1.62	2x0.36
Referencias: N5, N25, N27 y N7	4x111.72		4x3.17	4x0.53
Referencias: N9, N13, N17, N21, N23, N19, N15 y N11	8x131.25		8x4.06	8x0.63
Totales	2203.14		66.97	11.37

Tabla B.8: Medición de zapatas para pórtico articulado biempotrado. 7,5 metros. UPN.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N38-N37], C [N37-N36], C [N36-N1], C [N33-N29], C [N33-N35], C [N35-N34] y C [N34-N31]	8x4.62	8x16.81	171.44	8x0.30	8x0.08
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N13-N9], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N23-N19], C [N19-N15] y C [N15-N11]	11x6.35	11x20.70	297.55	11x0.45	11x0.11
Referencias: C [N27-N23], C [N11-N7] y C [N7-N3]	3x5.78	3x20.81	79.77	3x0.42	3x0.10
Totales	124.15	424.61	548.76	8.61	2.15

Tabla B.9: Medición de vigas de atado para pórtico articulado biempotrado. 7,5 metros. UPN.

1.2.- Altura del soporte: 5 metros

1.2.1.- Perfil HEB

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HE 140 B	80.000	110.000		0.344	0.446	2700.40	3501.10		
			HE 120 B	30.000								800.70
		IPE	IPE 400	128.000	228.000		1.082	1.541	8490.56	12093.71		
			IPE 270	100.000								3603.15
		R	R 10	159.019	159.019		0.012	0.012	98.04	98.04		
				497.019			1.999			15692.85		

Tabla B.10: Medición de acero para pórtico articulado biempotrado. 5 metros. HEB.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12		HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N38, N36, N1, N29, N33, N35 y N31	8x36.34		8x1.09	8x0.27
Referencias: N7, N5, N25 y N27	4x47.87		4x1.54	4x0.34
Referencias: N37 y N34	2x26.36		2x0.74	2x0.21
Referencias: N9, N13, N17, N21, N23, N19, N15 y N11	8x68.55		8x2.10	8x0.42
Totales	1083.32		33.15	7.33

Tabla B.11: Medición de zapatas para pórtico articulado biempotrado. 5 metros. HEB.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N38-N37], C [N37-N36], C [N36-N1], C [N29-N33], C [N33-N34], C [N34-N35] y C [N35-N31]	8x5.19	8x16.81	176.00	8x0.38	8x0.09
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N25-N21], C [N25-N29], C [N27-N31], C [N27-N23], C [N23-N19], C [N19-N15], C [N15-N11], C [N11-N7] y C [N7-N3]	14x6.93	14x20.70	386.82	14x0.52	14x0.13
Totales	138.54	424.28	562.82	10.29	2.57

Tabla B.12: Medición de vigas de atado para pórtico articulado biempotrado. 5 metros. HEB.

1.2.2.- Perfil IPE

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	R	IPE 240	80.000			0.313			2455.48		
			IPE 400	128.000			1.082			8490.56		
			IPE 270	130.000			0.597			4684.10		
			R 10	159.019	338.000		1.991			15630.13		
				159.019			0.012	0.012			98.04	98.04
				497.019			2.004			15728.18		

Tabla B.13: Medición de acero. 5 metros para pórtico articulado biempotrado. IPE.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N7, N1, N5, N25, N29, N31 y N27	8x45.10		8x1.38	8x0.31
Referencias: N38, N37, N36, N33, N34 y N35	6x46.51		6x1.46	6x0.32
Referencias: N9, N13, N17, N21, N23, N19, N15 y N11	8x65.03		8x1.90	8x0.38
Totales	1160.10		34.98	7.44

Tabla B.14: Medición de zapatas para pórtico articulado biempotrado. 5 metros. IPE.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N38-N37], C [N37-N36], C [N36-N1], C [N29-N33], C [N34-N33], C [N34-N35] y C [N31-N35]	8x5.19	8x16.81	176.00	8x0.36	8x0.09
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N17-N13], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N27-N23], C [N23-N19], C [N19-N15], C [N15-N11], C [N11-N7] y C [N7-N3]	14x6.93	14x20.70	386.82	14x0.52	14x0.13
Totales	138.54	424.28	562.82	10.13	2.53

Tabla B.15: Medición de vigas de atado para pórtico articulado biempotrado. 5 metros. IPE.

1.2.3.- Perfil UPN

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	UPN	UPN 240	80.000	110.000	497.019	0.338	0.515	2.068	2656.44	4041.18	16232.93
			UPN 300	30.000			0.176			1384.74		
			IPE 400	128.000			1.082			8490.56		
		IPE	IPE 270	100.000	0.459		3603.15	12093.71				
			R 10	228.000	1.541		98.04					
				159.019	0.012		98.04					
R	159.019	0.012	98.04									

Tabla B.16: Medición de acero para pórtico articulado biempotrado. 5 metros. UPN.

Elemento	B 400 S, CN (kg)	Hormigón (m³)	
	Ø12	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N7, N1, N5, N25, N29, N31 y N27	8x45.10	8x1.38	8x0.31
Referencias: N38, N37, N36, N33, N34 y N35	6x46.51	6x1.46	6x0.32
Referencias: N9, N13, N17, N21, N23, N19, N15 y N11	8x65.03	8x1.90	8x0.38
Totales	1160.10	34.98	7.44

Tabla B.17: Medición de zapatas para pórtico articulado biempotrado. 5 metros. UPN.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N37-N36], C [N36-N1], C [N29-N33], C [N33-N34], C [N35-N34] y C [N35-N31]	7x5.19	7x16.81	154.00	7x0.36	7x0.09
Referencia: C [N38-N37]	5.20	16.87	22.07	0.35	0.09
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N17-N13], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N15-N11] y C [N11-N7]	10x6.93	10x20.70	276.30	10x0.52	10x0.13
Referencias: C [N27-N23], C [N23-N19], C [N19-N15] y C [N7-N3]	4x6.93	4x20.79	110.88	4x0.50	4x0.13
Totales	138.55	424.70	563.25	10.06	2.52

Tabla B.18: Medición de vigas de atado para pórtico articulado biempotrado. 5 metros. UPN.

1.3.- Altura del soporte: 3 metros

1.3.1.- Perfil HEB

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HE 100 B	66.000	66.000	443.098	0.172	0.172	1.724	1347.06	1347.06	13532.69
			IPE 400	128.000			1.082			8490.56		
			IPE 270	100.000			0.459			3603.15		
		IPE	R 10	228.000	1.541		91.92	12093.71				
				149.098	0.012		91.92					
			R	149.098	0.012		91.92					

Tabla B.19: Medición de acero para pórtico articulado biempotrado. 3 metros. HEB.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12		HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N38, N37, N36, N1, N5, N25, N29, N33, N34, N35, N31, N27 y N7	14x17.20		14x0.43	14x0.14
Referencias: N9, N13, N17, N21, N23, N19, N15 y N11	8x25.39		8x0.69	8x0.20
Totales	443.92		11.54	3.58

Tabla B.20: Medición de zapatas para pórtico articulado biempotrado. 3 metros. HEB.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N38-N37], C [N37-N36], C [N36-N1], C [N29-N33], C [N33-N34], C [N34-N35] y C [N31-N35]	8x6.35	8x16.76	184.88	8x0.50	8x0.11
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N27-N23], C [N23-N19], C [N19-N15], C [N15-N11], C [N11-N7] y C [N7-N3]	13x8.08	13x20.66	373.62	13x0.66	13x0.15
Referencia: C [N25-N21]	8.09	22.55	30.64	0.64	0.15
Totales	163.93	425.21	589.14	13.22	3.02

Tabla B.21: Medición de vigas de atado para pórtico articulado biempotrado. 3 metros. HEB.

1.3.2.- Perfil IPE

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	IPE	IPE 160	66.000			0.133			1041.38		
			IPE 400	128.000			1.082			8490.56		
			IPE 270	100.000			0.459			3603.15		
			R 10	149.098	294.000		1.673			13135.09		
			R	149.098	149.098		0.012			91.92	91.92	
					443.098		1.685			13227.02		

Tabla B.22: Medición de acero para pórtico articulado biempotrado. 3 metros. IPE.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12		HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N38, N37, N36, N1, N5, N25, N29, N33, N34, N35, N31, N27 y N7	14x18.74		14x0.59	14x0.17
Referencias: N9, N13, N17, N21, N23, N19, N15 y N11	8x27.32		8x0.90	8x0.23
Totales	480.92		15.48	4.17

Tabla B.23: Medición de zapatas para pórtico articulado biempotrado. 3 metros. IPE.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N38-N37], C [N36-N37], C [N36-N1], C [N33-N29], C [N33-N34], C [N35-N34] y C [N35-N31]	8x5.78	8x16.76	180.32	8x0.46	8x0.11
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N17-N13], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N27-N23], C [N23-N19], C [N19-N15], C [N15-N11], C [N11-N7] y C [N7-N3]	14x8.08	14x20.66	402.36	14x0.62	14x0.15
Totales	159.36	423.32	582.68	12.36	2.94

Tabla B.24: Medición de vigas de atado para pórtico articulado biempotrado. 3 metros. IPE.

1.3.3.- Perfil UPN

Resumen de medición													
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso			
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)	
Acero laminado	S275	UPN	UPN 140	66.000	66.000		0.135			1056.92	1056.92		
			IPE 400	128.000			1.082			8490.56			
			IPE 270	100.000			0.459			3603.15			
			IPE				228.000			1.541			12093.71
				R 10			149.098			0.012			91.92
			149.098	0.012	91.92								
				443.098		1.687				13242.56			

Tabla B.25: Medición de acero para pórtico articulado biempotrado. 3 metros. UPN.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12		HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N38, N37, N36, N1, N5, N25, N29, N33, N34, N35, N31, N27 y N7	14x17.95		14x0.55	14x0.16
Referencias: N9, N13, N17, N21, N23, N19, N15 y N11	8x26.36		8x0.84	8x0.21
Totales	462.18		14.38	3.87

Tabla B.26: Medición de zapatas para pórtico articulado biempotrado. 3 metros. UPN.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N37-N36], C [N1-N36], C [N33-N29], C [N33-N34], C [N34-N35] y C [N31-N35]	7x6.35	7x16.76	161.77	7x0.47	7x0.11
Referencia: C [N38-N37]	6.35	16.81	23.16	0.47	0.11
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N19-N15], C [N15-N11] y C [N7-N11]	11x8.08	11x20.66	316.14	11x0.63	11x0.15
Referencias: C [N27-N23], C [N23-N19] y C [N7-N3]	3x8.08	3x20.75	86.49	3x0.60	3x0.15
Totales	163.92	423.64	587.56	12.43	2.97

Tabla B.27: Medición de vigas de atado para pórtico articulado biempotrado. 3 metros. UPN.

2.- Listado de nave industrial con pórtico reticulado biempotrado

2.1.- Altura del soporte: 7,5 metros

2.1.1.- Perfil HEB

Resumen de medición													
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso			
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)	
Acero laminado	S275	HEB	HE 180 B	165.000	165.000		1.077			8457.98	8457.98		
			IPE 450	128.000			1.265			9927.42			
			IPE 270	100.000			0.459			3603.15			
			IPE				228.000			1.724			13530.57
				R 10			174.561			0.014			107.62
			174.561	0.014	107.62								
				567.561		2.815				22096.18			

Tabla B.28: Medición de acero para pórtico reticulado biempotrado. 7,5 metros. HEB.

Elemento	B 400 S, CN (kg)	Hormigón (m³)	
	Ø12	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N37, N1, N29, N35 y N34	6x70.31	6x2.21	6x0.44
Referencias: N38, N36, N33 y N31	4x56.23	4x1.62	4x0.36
Referencias: N5, N21, N25, N27 y N7	5x94.56	5x2.91	5x0.53
Referencias: N9, N13, N17, N23, N19, N15 y N11	7x131.25	7x3.75	7x0.63
Totales	2038.33	60.53	11.11

Tabla B.29: Medición de zapatas para pórtico reticulado biempotrado. 7,5 metros. HEB.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N38-N37], C [N37-N36], C [N36-N1], C [N29-N33], C [N33-N35], C [N35-N34] y C [N31-N34]	8x4.62	8x16.81	171.44	8x0.32	8x0.08
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N17-N13], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N27-N23], C [N23-N19], C [N19-N15], C [N15-N11], C [N11-N7] y C [N3-N7]	14x6.35	14x20.70	378.70	14x0.45	14x0.11
Totales	125.86	424.28	550.14	8.83	2.21

Tabla B.30: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biempotrado. 7,5 metros. HEB.

2.1.2.- Perfil IPE

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	IPE	IPE 450	120.000			1.186			9306.96		
			IPE 550	128.000			1.715			13464.32		
			IPE 500	45.000			0.522			4097.70		
			IPE 270	100.000			0.459			3603.15		
			R 12	174.561	393.000			0.020	3.882		154.98	30472.13
		R		174.561			0.020			154.98		
						567.561		3.902			30627.11	

Tabla B.31: Medición de acero para pórtico reticulado biempotrado. 7,5 metros. IPE.

Elemento	B 400 S, CN (kg)	Hormigón (m³)	
	Ø12	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N1, N29 y N31	4x80.08	4x2.31	4x0.46
Referencias: N38, N36, N33 y N34	4x82.02	4x2.42	4x0.48
Referencias: N37 y N35	2x107.80	2x3.17	2x0.58
Referencias: N5, N9, N13, N17, N21, N25, N27, N23, N19, N15, N11 y N7	12x105.47	12x3.04	12x0.55
Totales	2129.64	61.71	11.56

Tabla B.32: Medición de zapatas para pórtico reticulado biempotrado. 7,5 metros. IPE.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N38-N37], C [N37-N36], C [N36-N1], C [N29-N33], C [N33-N35], C [N35-N34] y C [N34-N31]	8x4.62	8x16.81	171.44	8x0.29	8x0.07
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N27-N23], C [N23-N19], C [N19-N15], C [N15-N11], C [N7-N11] y C [N7-N3]	14x6.35	14x20.70	378.70	14x0.44	14x0.11
Totales	125.86	424.28	550.14	8.50	2.12

Tabla B.33: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biempotrado. 7,5 metros. IPE.

2.1.3.- Perfil UPN

Este tipo de perfil no cumplía la solicitud de la nave por lo que no se han generado sus tablas.

2.2.- Altura del soporte: 5 metros

2.2.1.- Perfil HEB

Resumen de medición													
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso			
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)	
Acero laminado	S275	HEB	HE 160 B	80.000	110.000		0.434	0.536		3410.04	4210.74		
			HE 120 B	30.000			0.102			800.70			
			IPE 450	128.000			1.265			9927.42			
			IPE 270	100.000			0.459			3603.15			
			IPE	R 10			228.000			1.724			13530.57
				R			159.019			0.012			98.04
				159.019	0.012	98.04							
				497.019		2.273		17839.35					

Tabla B.34: Medición de acero para pórtico reticulado biempotrado. 5 metros. HEB.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12	HA-25, Control Estadístico	Limpieza	
Referencias: N3, N1, N9, N13, N17, N21, N29, N31, N23, N19, N15 y N11	12x37.49		12x1.16	12x0.29
Referencias: N7, N5, N25 y N27	4x27.32		4x0.79	4x0.23
Referencias: N38, N37, N36, N33, N34 y N35	6x26.36		6x0.74	6x0.21
Totales	717.32		21.44	5.63

Tabla B.35: Medición de zapatas para pórtico reticulado biempotrado. 5 metros. HEB.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N38-N37], C [N37-N36], C [N36-N1], C [N29-N33], C [N33-N34], C [N34-N35] y C [N35-N31]	8x5.78	8x16.76	180.32	8x0.40	8x0.10
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N27-N23], C [N23-N19], C [N19-N15], C [N15-N11], C [N11-N7] y C [N7-N3]	14x7.50	14x20.66	394.24	14x0.56	14x0.14
Totales	151.24	423.32	574.56	11.07	2.68

Tabla B.36: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biempotrado. 5 metros. HEB.

2.2.2.- Perfil IPE

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	IPE	IPE 360	80.000	338.000		0.582	2.893		4565.56	22713.98	
			IPE 550	128.000			1.715			13464.32		
			IPE 270	130.000			0.597			4684.10		
			R 10	159.019			0.012			98.04		
			R	159.019			0.012			98.04		
							497.019					

Tabla B.37: Medición de acero para pórtico reticulado biempotrado. 5 metros. IPE.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12		HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N1, N29 y N31	4x27.32		4x0.79	4x0.23
Referencias: N7, N5, N25 y N27	4x37.49		4x1.16	4x0.29
Referencias: N38, N36, N33, N34 y N35	5x35.16		5x1.02	5x0.26
Referencias: N37, N9, N13, N17, N21, N23, N19, N15 y N11	9x37.49		9x1.16	9x0.29
Totales	772.45		23.30	5.94

Tabla B.38: Medición de zapatas para pórtico reticulado biempotrado. 5 metros. IPE.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N38-N37], C [N37-N36], C [N36-N1], C [N33-N29], C [N33-N34], C [N31-N35] y C [N34-N35]	8x5.78	8x16.76	180.32	8x0.41	8x0.10
Referencias: C [N1-N5], C [N9-N5], C [N9-N13], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N27-N23], C [N19-N23], C [N19-N15], C [N15-N11], C [N11-N7] y C [N7-N3]	14x7.50	14x20.66	394.24	14x0.56	14x0.14
Totales	151.24	423.32	574.56	11.10	2.69

Tabla B.39: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biempotrado. 5 metros. IPE.

2.2.3.- Perfil UPN

Resumen de medición													
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso			
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)	
Acero laminado	S275	UPN	UPN 400	80.000	110.000		0.732	0.908		5746.20	7130.94		
			UPN 300	30.000			0.176			1384.74			
		IPE	IPE 550	128.000	228.000		1.715	2.174		13464.32	17067.47		
			IPE 270	100.000			0.459			3603.15			
		R	R 10		159.019	159.019		0.012	0.012		98.04	98.04	
								0.012					

Tabla B.40: Medición de acero para pórtico reticulado biempotrado. 5 metros. UPN.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12		HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N1, N29 y N31	4x27.32		4x0.90	4x0.23
Referencias: N7, N5, N9, N13, N17, N21, N25, N27, N23, N19, N15 y N11	12x43.74		12x1.30	12x0.29
Referencias: N38, N36, N33 y N35	4x35.16		4x1.02	4x0.26
Referencias: N37 y N34	2x46.51		2x1.46	2x0.32
Totales	867.82		26.22	6.04

Tabla B.41: Medición de zapatas para pórtico reticulado biempotrado. 5 metros. UPN.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N37-N36], C [N29-N33], C [N33-N34], C [N34-N35] y C [N35-N31]	6x5.77	6x16.81	135.48	6x0.39	6x0.10
Referencias: C [N38-N37] y C [N36-N1]	2x5.20	2x16.87	44.14	2x0.37	2x0.09
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N27-N23], C [N15-N11], C [N11-N7] y C [N3-N7]	12x7.50	12x20.70	338.40	12x0.54	12x0.14
Referencia: C [N23-N19]	6.93	20.59	27.52	0.53	0.13
Referencia: C [N19-N15]	6.93	20.81	27.74	0.53	0.13
Totales	148.88	424.40	573.28	10.67	2.67

Tabla B.42: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biempotrado. 5 metros. UPN.

2.3.- Altura del soporte: 3 metros

2.3.1.- Perfil HEB

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HE 160 B	48.000	66.000	443.098	0.261	0.307	2.043	2046.02	2413.40	16035.90
			HE 100 B	18.000			0.047			367.38		
		IPE	IPE 450	128.000	1.265		1.724	9927.42				
			IPE 270	100.000	0.459			3603.15				
			R 10	149.098	0.012			91.92				
		R		149.098	0.012		91.92					

Tabla B.43: Medición de acero para pórtico reticulado biempotrado. 3 metros. HEB.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12	HA-25, Control Estadístico	Limpieza	
Referencias: N3, N1, N29 y N31	4x18.74		4x0.51	4x0.17
Referencias: N38, N37, N36, N33, N34 y N35	6x17.20		6x0.43	6x0.14
Referencias: N5, N9, N13, N17, N21, N25, N27, N23, N19, N15, N11 y N7	12x27.94		12x0.69	12x0.20
Totales	513.44		12.85	3.89

Tabla B.44: Medición de zapatas para pórtico reticulado biempotrado. 3 metros. HEB.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N38-N37], C [N37-N36], C [N1-N36], C [N29-N33], C [N34-N33], C [N34-N35] y C [N31-N35]	8x6.35	8x16.76	184.88	8x0.49	8x0.11
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N25-N21], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N27-N23], C [N23-N19], C [N19-N15], C [N15-N11], C [N7-N11] y C [N7-N3]	14x8.08	14x20.66	402.36	14x0.65	14x0.15
Totales	163.92	423.32	587.24	13.02	2.95

Tabla B.45: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biempotrado. 3 metros. HEB.

2.3.2.- Perfil IPE

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	IPE	IPE 300	48.000	294.000	443.098	0.258	2.469	2.480	2027.18	19378.67	19470.59
			IPE 550	128.000			1.715			13464.32		
			IPE 160	18.000			0.036			284.01		
			IPE 270	100.000			0.459			3603.15		
		R	R 10	149.098	0.012		91.92					
				149.098	0.012		91.92					

Tabla B.46: Medición de acero para pórtico reticulado biempotrado. 3 metros. IPE.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12		HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N1, N29 y N31	4x17.20		4x0.43	4x0.14
Referencias: N38, N37, N36, N33, N34 y N35	6x18.74		6x0.59	6x0.17
Referencias: N5, N25, N27 y N7	4x35.16		4x1.02	4x0.26
Referencias: N9, N13, N17, N21, N23, N19, N15 y N11	8x35.16		8x1.02	8x0.26
Totales	603.16		17.57	4.66

Tabla B.47: Medición de zapatas para pórtico reticulado biempotrado. 3 metros. IPE.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N38-N37], C [N37-N36], C [N36-N1], C [N29-N33], C [N33-N34], C [N34-N35] y C [N35-N31]	8x6.35	8x16.76	184.88	8x0.48	8x0.11
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N27-N23], C [N23-N19], C [N19-N15], C [N15-N11], C [N11-N7] y C [N7-N3]	14x7.50	14x20.66	394.24	14x0.60	14x0.14
Totales	155.80	423.32	579.12	12.27	2.90

Tabla B.48: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biempotrado. 3 metros. IPE.

2.3.3.- Perfil UPN

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	UPN	UPN 320	48.000	66.000	443.098	0.364	0.401	2.586	2856.14	3144.40	20303.79
			UPN 140	18.000			0.037			288.25		
		IPE	IPE 550	128.000	1.715		13464.32					
			IPE 270	100.000	0.459		3603.15					
		R	R 10	149.098	0.012		91.92	17067.47				
				149.098	0.012		91.92	91.92				

Tabla B.49: Medición de acero para pórtico reticulado biempotrado. 3 metros. UPN.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12		HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N1, N29 y N31	4x16.63		4x0.33	4x0.11
Referencias: N38, N37, N36, N33, N34 y N35	6x17.95		6x0.55	6x0.16
Referencias: N5, N25, N27 y N7	4x39.36		4x1.09	4x0.27
Referencias: N9, N13, N17, N21, N23, N19, N15 y N11	8x39.36		8x1.09	8x0.27
Totales	646.54		17.67	4.65

Tabla B.50: Medición de zapatas para pórtico reticulado biempotrado. 3 metros. UPN.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N37-N38], C [N37-N36], C [N36-N1], C [N29-N33] y C [N35-N31]	6x6.35	6x16.76	138.66	6x0.49	6x0.11
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N19-N15], C [N11-N7] y C [N7-N3]	11x8.08	11x20.66	316.14	11x0.61	11x0.15
Referencia: C [N33-N34]	6.35	16.81	23.16	0.47	0.11
Referencia: C [N34-N35]	6.35	16.72	23.07	0.47	0.11
Referencias: C [N27-N23], C [N23-N19] y C [N15-N11]	3x7.50	3x20.79	84.87	3x0.54	3x0.13
Totales	162.18	423.72	585.90	12.17	2.91

Tabla B.51: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biempotrado. 3 metros. UPN.

3.- Listado de nave industrial con pórtico reticulado biapoyado

3.1.- Altura del soporte: 7,5 metros

3.1.1.- Perfil HEB

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HE 200 B	120.000	165.000	567.561	0.937	1.231	3.425	7357.02	9663.74	26886.19
			HE 180 B	45.000			0.294			2306.72		
			IPE 550	128.000			1.715			13464.32		
			IPE 270	100.000			0.459			3603.15		
		R	R 12	174.561	174.561		228.000	2.174		17067.47		
							0.020	154.98				
							0.020	154.98				
							0.020	154.98				

Tabla B.52: Medición de acero para pórtico reticulado biapoyado. 7,5 metros. HEB.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12		HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N1, N29 y N31	4x56.23		4x1.62	4x0.36
Referencias: N38, N36, N33 y N34	4x18.74		4x0.51	4x0.17
Referencias: N37 y N35	2x11.73		2x0.36	2x0.12
Referencias: N5, N25, N27 y N7	4x27.32		4x0.79	4x0.23
Referencias: N9, N13, N17, N21, N23, N19, N15 y N11	8x37.49		8x1.16	8x0.29
Totales	732.54		21.65	5.57

Tabla B.53: Medición de zapatas para pórtico reticulado biapoyado. 7,5 metros. HEB.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N38-N37], C [N37-N36], C [N1-N36], C [N29-N33], C [N33-N35], C [N35-N34] y C [N34-N31]	8x5.20	8x16.76	175.68	8x0.41	8x0.10
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N27-N23], C [N23-N19], C [N19-N15], C [N15-N11], C [N11-N7] y C [N3-N7]	14x6.93	14x20.66	386.26	14x0.54	14x0.13
Totales	138.62	423.32	561.94	10.91	2.62

Tabla B.54: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biapoyado. 7,5 metros. HEB.

3.1.2.- Perfil IPE

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	IPE	IPE 450	120.000	393.000	567.561	1.186	4.163	4.183	9306.96	32682.69	32837.67
			IPE 600	128.000			1.997			15674.88		
			IPE 500	45.000			0.522			4097.70		
			IPE 270	100.000			0.459			3603.15		
		R	R 12	174.561	174.561		228.000	2.174		17067.47		
							0.020	154.98				
							0.020	154.98				
							0.020	154.98				

Tabla B.55: Medición de acero para pórtico reticulado biapoyado. 7,5 metros. IPE.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12		HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N1, N29 y N31	4x57.82		4x1.71	4x0.38
Referencias: N38, N36, N33 y N34	4x25.39		4x0.59	4x0.20
Referencias: N37 y N35	2x11.04		2x0.30	2x0.10
Referencias: N5, N9, N13, N17, N21, N25, N27, N23, N19, N15, N11 y N7	12x28.34		12x0.84	12x0.24
Totales	695.00		19.89	5.39

Tabla B.56: Medición de zapatas para pórtico reticulado biapoyado. 7,5 metros. IPE.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N38-N37], C [N37-N36], C [N36-N1], C [N29-N33], C [N33-N35], C [N35-N34] y C [N34-N31]	8x5.20	8x16.76	175.68	8x0.40	8x0.09
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N27-N23], C [N19-N23], C [N19-N15], C [N15-N11], C [N11-N7] y C [N7-N3]	14x6.93	14x20.66	386.26	14x0.54	14x0.13
Totales	138.62	423.32	561.94	10.73	2.56

Tabla B.57: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biapoyado. 7,5 metros. IPE.

3.1.3.- Perfil UPN

Este tipo de perfil no cumplía la solicitud de la nave por lo que no se han generado sus tablas.

3.2.- Altura del soporte: 5 metros

3.2.1.- Perfil HEB

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HE 160 B	80.000	110.000		0.434	0.536	2.273	3410.04	4210.74	17839.35
			HE 120 B	30.000			0.102			800.70		
			IPE 450	128.000			1.265			9927.42		
		IPE	IPE 270	100.000	0.459		3603.15					
			R 10	159.019	0.012		98.04					
			R	159.019	0.012		98.04					

Tabla B.58: Medición de acero para pórtico reticulado biapoyado. 5 metros. HEB.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12		HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N1, N29 y N31	4x27.32		4x0.79	4x0.23
Referencias: N7, N5, N25 y N27	4x10.05		4x0.24	4x0.08
Referencias: N38, N37, N36, N33, N34 y N35	6x7.66		6x0.22	6x0.07
Referencias: N9, N13, N17, N21, N23, N19, N15 y N11	8x15.62		8x0.36	8x0.12
Totales	320.40		8.33	2.63

Tabla B.59: Medición de zapatas para pórtico reticulado biapoyado. 5 metros. HEB.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N38-N37], C [N37-N36], C [N36-N1], C [N29-N33], C [N33-N34], C [N34-N35] y C [N35-N31]	8x6.35	8x16.76	184.88	8x0.49	8x0.11
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N27-N23], C [N23-N19], C [N19-N15], C [N15-N11], C [N11-N7] y C [N7-N3]	14x8.08	14x20.66	402.36	14x0.64	14x0.15
Totales	163.92	423.32	587.24	12.91	3.03

Tabla B.60: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biapoyado. 5 metros. HEB.

3.2.2.- Perfil IPE

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	R	IPE 360	80.000			0.582			4565.56		
			IPE 550	128.000			1.715			13464.32		
			IPE 270	130.000			0.597			4684.10		
			R 10	159.019	338.000		2.893			22713.98		
				159.019			0.012			98.04	98.04	
					497.019			2.906		22812.02		

Tabla B.61: Medición de acero para pórtico reticulado biapoyado. 5 metros. IPE.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N1, N29 y N31	4x27.32		4x0.79	4x0.23
Referencias: N7, N5, N9, N13, N17, N21, N25, N27, N23, N19, N15 y N11	12x10.05		12x0.24	12x0.08
Referencias: N38, N37, N36, N33, N34 y N35	6x7.38		6x0.19	6x0.06
Totales	274.16		7.22	2.26

Tabla B.62: Medición de zapatas para pórtico reticulado biapoyado. 5 metros. IPE.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N38-N37], C [N37-N36], C [N36-N1], C [N29-N33], C [N33-N34], C [N34-N35] y C [N35-N31]	8x6.35	8x16.76	184.88	8x0.49	8x0.11
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N29-N25], C [N31-N27], C [N27-N23], C [N23-N19], C [N19-N15], C [N15-N11], C [N11-N7] y C [N7-N3]	14x8.08	14x20.66	402.36	14x0.64	14x0.15
Totales	163.92	423.32	587.24	12.94	3.04

Tabla B.63: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biapoyado. 5 metros. IPE.

3.2.3.- Perfil UPN

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	UPN	UPN 400	80.000	110.000	497.019	0.732	0.908	3.095	5746.20	7130.94	24296.45
			UPN 300	30.000			0.176			1384.74		
		IPE	IPE 550	128.000	1.715		13464.32					
			IPE 270	100.000	0.459		3603.15					
			R 10	159.019	0.012		98.04					
R		159.019	0.012	98.04								

Tabla B.64: Medición de acero para pórtico reticulado biapoyado. 5 metros. UPN.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12		HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N1, N29 y N31	4x18.74		4x0.59	4x0.17
Referencias: N7, N5, N9, N13, N17, N21, N25, N27, N23, N19, N15 y N11	12x10.15		12x0.24	12x0.08
Referencias: N38, N37, N36, N33, N34 y N35	6x7.50		6x0.19	6x0.06
Totales	241.76		6.43	2.03

Tabla B.65: Medición de zapatas para pórtico reticulado biapoyado. 5 metros. UPN.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N38-N37], C [N29-N33] y C [N35-N31]	4x6.35	4x16.76	92.44	4x0.50	4x0.12
Referencias: C [N37-N36], C [N36-N1] y C [N33-N34]	3x6.93	3x16.83	71.28	3x0.55	3x0.13
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N23-N19], C [N19-N15] y C [N11-N15]	10x8.08	10x20.66	287.40	10x0.66	10x0.16
Referencia: C [N17-N13]	8.66	20.55	29.21	0.69	0.16
Referencia: C [N34-N35]	6.93	16.68	23.61	0.55	0.13
Referencias: C [N27-N23], C [N11-N7] y C [N7-N3]	3x8.66	3x20.79	88.35	3x0.70	3x0.16
Totales	168.56	423.73	592.29	13.58	3.20

Tabla B.66: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biapoyado. 5 metros. UPN.

3.3.- Altura del soporte: 3 metros

3.3.1.- Perfil HEB

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HE 160 B	48.000	66.000	443.098	0.261	0.307	2.263	2046.02	2413.40	17764.16
			HE 100 B	18.000			0.047			367.38		
		IPE	IPE 500	128.000	1.485		11655.68					
			IPE 270	100.000	0.459		3603.15					
			R 10	149.098	0.012		91.92					
R		149.098	0.012	91.92								

Tabla B.67: Medición de acero para pórtico reticulado biapoyado. 3 metros. HEB.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12		HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N1, N29 y N31	4x11.73		4x0.36	4x0.12
Referencias: N38, N37, N36, N33, N34 y N35	6x4.62		6x0.11	6x0.04
Referencias: N5, N9, N13, N17, N21, N25, N27, N23, N19, N15, N11 y N7	12x6.95		12x0.15	12x0.05
Totales	158.04		3.86	1.29

Tabla B.68: Medición de zapatas para pórtico reticulado biapoyado. 3 metros. HEB.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N38-N37], C [N37-N36], C [N36-N1], C [N29-N33], C [N33-N34], C [N34-N35] y C [N35-N31]	8x6.93	8x16.76	189.52	8x0.54	8x0.13
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N27-N23], C [N23-N19], C [N19-N15], C [N15-N11], C [N11-N7] y C [N7-N3]	14x8.66	14x20.66	410.48	14x0.70	14x0.16
Totales	176.68	423.32	600.00	14.08	3.30

Tabla B.69: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biapoyado. 3 metros. HEB.

3.3.2.- Perfil IPE

Resumen de medición													
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso			
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)	
Acero laminado	S275	IPE	IPE 300	48.000			0.258			2027.18			
			IPE 550	128.000			1.715			13464.32			
			IPE 160	18.000			0.036			284.01			
			IPE 270	100.000			0.459			3603.15			
		R	R 10		294.000			2.469			19378.67		
					149.098			0.012			91.92		
					149.098			0.012			91.92		
				443.098			2.480			19470.59			

Tabla B.70: Medición de acero para pórtico reticulado biapoyado. 3 metros. IPE.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12		HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N1, N29 y N31	4x9.92		4x0.30	4x0.10
Referencias: N38, N37, N36, N33, N34 y N35	6x6.72		6x0.15	6x0.05
Referencias: N5, N9, N13, N17, N21, N25, N27, N23, N19, N15, N11 y N7	12x7.50		12x0.19	12x0.06
Totales	170.00		4.39	1.46

Tabla B.71: Medición de zapatas para pórtico reticulado biapoyado. 3 metros. IPE.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N38-N37], C [N37-N36], C [N36-N1], C [N29-N33], C [N33-N34], C [N34-N35] y C [N35-N31]	8x6.93	8x16.76	189.52	8x0.54	8x0.13
Referencias: C [N5-N1], C [N5-N9], C [N13-N9], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N27-N23], C [N23-N19], C [N19-N15], C [N15-N11], C [N11-N7] y C [N7-N3]	14x8.66	14x20.66	410.48	14x0.70	14x0.16
Totales	176.68	423.32	600.00	14.08	3.30

Tabla B.72: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biapoyado. 3 metros. IPE.

3.3.3.- Perfil UPN

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	UPN	UPN 320	48.000	66.000	443.098	0.364	0.401	2.586	2856.14	3144.40	20303.79
			UPN 140	18.000			0.037			288.25		
		IPE	IPE 550	128.000	1.715		13464.32					
			IPE 270	100.000	0.459		3603.15					
			R 10	149.098	0.012		91.92					
		R		149.098	0.012		91.92					

Tabla B.73: Medición de acero para pórtico reticulado biapoyado. 3 metros. UPN.

Elemento	B 400 S, CN (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø12		HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3, N1, N5, N9, N13, N17, N21, N25, N29, N31, N27, N23, N19, N15, N11 y N7	16x7.73		16x0.22	16x0.07
Referencias: N38, N37, N36, N33, N34 y N35	6x4.93		6x0.13	6x0.04
Totales	153.26		4.23	1.41

Tabla B.74: Medición de zapatas para pórtico reticulado biapoyado. 3 metros. UPN.

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N3-N38], C [N36-N37], C [N33-N34] y C [N35-N31]	4x6.93	4x16.76	94.76	4x0.55	4x0.13
Referencias: C [N38-N37], C [N36-N1] y C [N29-N33]	3x7.50	3x16.81	72.93	3x0.57	3x0.13
Referencias: C [N1-N5], C [N5-N9], C [N9-N13], C [N13-N17], C [N17-N21], C [N21-N25], C [N25-N29], C [N31-N27], C [N23-N19], C [N19-N15], C [N15-N11] y C [N11-N7]	12x8.66	12x20.66	351.84	12x0.70	12x0.17
Referencia: C [N34-N35]	7.50	16.72	24.22	0.57	0.13
Referencias: C [N27-N23] y C [N7-N3]	2x8.65	2x20.75	58.80	2x0.70	2x0.17
Totales	178.94	423.61	602.55	14.31	3.38

Tabla B.75: Medición de vigas de atado para pórtico reticulado biapoyado. 3 metros. UPN.

Anejo C

**Tratamiento de datos de obtenidos
en CYPE. Precio, energía y
contaminación.**

C.- TRATAMIENTO DE DATOS OBTENIDOS EN CYPE. PRECIO, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN.

1.- Acero

1.1.- Altura del soporte: 7,5 metros

	Coste acero (Euros)	Coste energético acero (kWh)	Emisiones CO2 acero (Kg)
HEB AE	36155,5095	262730,0357	92470,4546
IPE AE	38271,3045	278104,8127	97881,7606
UPN AE	38238,2715	277864,7729	97797,2762
HEB RE	36458,697	264933,1982	93245,8796
IPE RE	50534,7315	367219,0489	129246,4042
UPN RE	-	-	-
HEB RA	44362,2135	322365,4181	113459,7218
IPE RA	54182,1555	393723,6633	138574,9674
UPN RA	-	-	-

Tabla C.1: Costes y emisiones del acero. 7,5 metros.

1.2.- Altura del soporte: 5 metros

	Coste acero (Euros)	Coste energético acero (kWh)	Emisiones CO2 acero (Kg)
HEB AE	25893,2025	188157,2715	66223,827
IPE AE	25951,497	188580,8782	66372,9196
UPN AE	26784,3345	194632,8307	68502,9646
HEB RE	29434,9275	213893,8065	75282,057
IPE RE	37639,833	273516,1198	96266,7244
UPN RE	40089,1425	291314,4355	102531,019
HEB RA	29434,9275	213893,8065	75282,057
IPE RA	37639,833	273516,1198	96266,7244
UPN RA	40089,1425	291314,4355	102531,019

Tabla C.2: Costes y emisiones del acero. 5 metros.

1.3.- Altura del soporte: 3 metros

	Coste acero (Euros)	Coste energético acero (kWh)	Emisiones CO2 acero (Kg)
HEB AE	22328,9385	162256,9531	57107,9518
IPE AE	21824,583	158591,9698	55818,0244
UPN AE	21850,224	158778,2944	55883,6032
HEB RE	26459,235	192270,441	67671,498
IPE RE	32126,4735	233452,3741	82165,8898
UPN RE	33501,2535	243442,4421	85681,9938
HEB RA	29310,864	212992,2784	74964,7552
IPE RA	32126,4735	233452,3741	82165,8898
UPN RA	33501,2535	243442,4421	85681,9938

Tabla C.3: Costes y emisiones del acero. 3 metros.

2.- Hormigón

2.1.- Altura del soporte: 7,5 metros

	Volumen de hormigón	Coste hormigón (euros)	Coste energético hormigón(kWh)	Emisiones CO2 hormigón (Kg)
HEB AE	84,78	7323,2964	76569,057	48008,3706
IPE AE	92,45	7985,831	83496,2175	52351,6615
UPN AE	89,1	7696,458	80470,665	50454,657
HEB RE	82,68	7141,8984	74672,442	46819,2036
IPE RE	83,89	7246,4182	75765,2535	47504,3903
UPN RE	-	-	-	-
HEB RA	40,75	3519,985	36803,3625	23075,5025
IPE RA	38,57	3331,6766	34834,4955	21841,0339
UPN RA	-	-	-	-

Tabla C.4: Costes y emisiones del hormigón. 7,5 metros.

2.2.- Altura del soporte: 5 metros

	Volumen de hormigón	Coste hormigón (euros)	Coste energético hormigón(kWh)	Emisiones CO2 hormigón (Kg)
HEB AE	58,1	5018,678	52473,015	32900,287
IPE AE	55,08	4757,8104	49745,502	31190,1516
UPN AE	55	4750,9	49673,25	31144,85
HEB RE	40,82	3526,0316	36866,583	23115,1414
IPE RE	43,03	3716,9314	38862,5445	24366,5981
UPN RE	45,6	3938,928	41183,64	25821,912
HEB RA	26,9	2323,622	24294,735	15232,663
IPE RA	25,46	2199,2348	22994,199	14417,2342
UPN RA	25,24	2180,2312	22795,506	14292,6548

Tabla C.5: Costes y emisiones del hormigón. 5 metros.

2.3.- Altura del soporte: 3 metros

	Volumen de hormigón (m3)	Coste hormigón (euros)	Coste energético hormigón(kWh)	Emisiones CO2 hormigón (Kg)
HEB AE	31,36	2708,8768	28322,784	17758,2272
IPE AE	34,95	3018,981	31565,0925	19791,1365
UPN AE	33,65	2906,687	30390,9975	19054,9855
HEB RE	32,71	2825,4898	29542,0365	18522,6917
IPE RE	37,4	3230,612	33777,81	21178,498
UPN RE	37,4	3230,612	33777,81	21178,498
HEB RA	22,53	1946,1414	20347,9695	12758,0631
IPE RA	23,23	2006,6074	20980,1745	13154,4521
UPN RA	23,33	2015,2454	21070,4895	13211,0791

Tabla C.6: Costes y emisiones del hormigón. 3 metros.

3.- Total

3.1.- Altura del soporte: 7,5 metros

	Coste total (euros)	Coste energético total (kWh)	Emisiones CO2 total (Kg)
HEB AE	43478,8059	339299,0927	140478,8252
IPE AE	46257,1355	361601,0302	150233,4221
UPN AE	45934,7295	358335,4379	148251,9332
HEB RE	43600,5954	339605,6402	140065,0832
IPE RE	57781,1497	442984,3024	176750,7945
UPN RE	-	-	-
HEB RA	47882,1985	359168,7806	136535,2243
IPE RA	57513,8321	428558,1588	160416,0013
UPN RA	-	-	-

Tabla C.7: Costes y emisiones totales. 7,5 metros.

3.2.- Altura del soporte: 5 metros

	Coste total (euros)	Coste energético total (kWh)	Emisiones CO2 total (Kg)
HEB AE	30911,8805	240630,2865	99124,114
IPE AE	30709,3074	238326,3802	97563,0712
UPN AE	31535,2345	244306,0807	99647,8146
HEB RE	32960,9591	250760,3895	98397,1984
IPE RE	41356,7644	312378,6643	120633,3225
UPN RE	44028,0705	332498,0755	128352,931
HEB RA	31758,5495	238188,5415	90514,72
IPE RA	39839,0678	296510,3188	110683,9586
UPN RA	42269,3737	314109,9415	116823,6738

Tabla C.8: Costes y emisiones totales. 5 metros.

3.3.- Altura del soporte: 3 metros

	Coste total (euros)	Coste energético total (kWh)	Emisiones CO2 total (Kg)
HEB AE	25037,8153	190579,7371	74866,179
IPE AE	24843,564	190157,0623	75609,1609
UPN AE	24756,911	189169,2919	74938,5887
HEB RE	29284,7248	221812,4775	86194,1897
IPE RE	35357,0855	267230,1841	103344,3878
UPN RE	36731,8655	277220,2521	106860,4918
HEB RA	31257,0054	233340,2479	87722,8183
IPE RA	34133,0809	254432,5486	95320,3419
UPN RA	35516,4989	264512,9316	98893,0729

Tabla C.9: Costes y emisiones totales. 3 metros.