



**ESCUELA DE INGENIERÍA AGRARIA Y FORESTAL**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

**GRADO EN INGENIERÍA AGRARIA**

**INFLUENCIA DE LA CARGA DE NIEVE EN EL COSTE DE LA  
ESTRUCTURA METÁLICA EN NAVES AGROINDUSTRIALES.**

**INFLUENCE OF THE SNOW LOAD ON THE COST OF THE METALLIC  
STRUCTURE IN AGROINDUSTRIAL UNITS.**

**ALBA CUADRADO ABRIL**

**TUTOR: MANUEL IGNACIO GUERRA ROMERO**

**LEÓN, FEBRERO 2021**



**ANEXO 9. HOJA DE CONFORMIDAD**  
**TRABAJOS DE CARÁCTER CIENTÍFICO O TÉCNICO**Título: INFLUENCIA DE LA CARGA DE NIEVE EN EL COSTE DE LA ESTRUCTURA METALICA EN NAVES  
AGROINDUSTRIALES

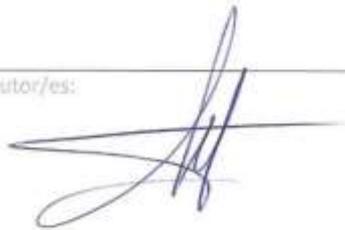
Autor: ALBA CUADRADO ABRIL

**ELEMENTOS DE OBLIGADA APARICIÓN**

- Resumen.** De 400 palabras como máximo.
- Introducción.** Debe incluir los motivos por los que se realiza el trabajo y los antecedentes o estudios previos sobre el mismo.
- Objetivos.** Se detallarán de forma clara y concisa los objetivos que se pretenden alcanzar.
- Material y Métodos / Metodología.** Descripción de las técnicas, los materiales empleados, y los métodos de análisis de datos, de forma que se garantice la repetibilidad de los mismos.
- Resultados / Análisis / Diagnóstico.** La información obtenida con el estudio se presentará de forma sistemática, preferentemente mediante tablas y figuras que deberán ser en todo caso autoexplicativas, y deberán aparecer debidamente numeradas y referenciadas en un índice propio.
- Discusión.** Los resultados propios del trabajo deberán ser discutidos relacionándolos, en su caso, con otros de estudios precedentes.
- Conclusiones.** Deberán ser claras, concisas, y coherentes con los objetivos propuestos. En el caso planes de ordenación de recursos forestales, propuestas concretas con objetivos, líneas y medidas.
- Planos / Mapas.** Serán obligatorios en trabajos topográficos, estudios de implantación de cultivos o transformaciones de explotaciones, y en general, cualquier trabajo técnico o científico asociado a áreas, parcelas, o territorios determinados.
- Bibliografía.** Listado de las fuentes de información utilizadas debidamente referenciadas y ordenadas.

OBTENIDA LA CONFORMIDAD DENEGADA LA CONFORMIDAD  
(No se autoriza la presentación) 

El tutor/es:



Fdo

Manuel I. Guerra Romero

## RESUMEN

En el presente estudio se ha analizado la influencia de la carga de nieve en coste de estructura metálica de una nave tipo. Con el programa informático "CYPE" se ha calculado la estructura, evaluado los resultados obtenidos para diferentes ubicaciones de Castilla y León, y a su vez a distintas altitudes en la zona del noroeste peninsular. A su vez, se han realizado los cálculos con dos tipologías de apoyos, articulado y empotrado. Analizando los resultados obtenidos, se puede afirmar que la carga de nieve aumenta el coste de la estructura, obteniendo la nave de mayor coste en la provincia de León.

Palabras clave: carga de nieve, coste, estructura metálica, nave industrial, pórtico.

## ABSTRACT

This study analyzes the influence of snow load on the cost of a typical industrial building. The structure is calculated using the computer program "CYPE", as so are the obtained results for different locations and altitudes Castilla y León and the north west of the peninsula. The calculations are made with two types of support systems: articulated and embedded. By analyzing the obtained results, it can be stated that the snow load increases the structure's cost, resulting in the highest priced facility in the province of León

Keywords: cost, industrial building, snow load, steel framed, structure.

## ÍNDICE GENERAL

1	Introducción .....	1
1.1	Características generales de las nevadas .....	2
1.2	Densidad de la nieve .....	3
1.3	La nieve en la península ibérica .....	4
1.4	Influencia del cambio climático en la climatología .....	6
1.5	Influencia de la nieve sobre las construcciones .....	7
2	Objetivos .....	9
3	Metodología .....	10
3.1	Nave tipo .....	11
3.1.1	Tipología estructural .....	11
3.1.2	Material de cobertura .....	12
3.1.3	Cerramientos laterales .....	12
3.2	Normativa.....	14
3.3	Acciones consideradas para el cálculo .....	14
3.3.1	Acciones permanentes .....	14
3.3.2	Acciones variables .....	14
3.4	Cálculo de las estructuras .....	17
3.4.1	Datos generales.....	17
3.4.2	Sobrecarga viento .....	19
3.4.3	Sobrecarga de nieve.....	19
3.4.4	Edición de correas de cubiertas.....	20
3.5	Cálculos en CYPE 3D .....	22
3.5.1	Descripción de barras.....	23
3.5.2	Introducción de pandeos .....	23
3.6	Valoración de los pórticos .....	29
3.7	Componente teórica .....	30
3.7.1	Verificación de ELU.....	30
3.7.2	Resistencia de las barras a compresión.....	33
3.7.3	Barras a flexión: Pandeo lateral.....	35
3.7.4	INTERACCION ESFUERZOS EN BARRAS.....	38
4	Resultados y discusión .....	40
4.1	Perfiles obtenidos en el dimensionamiento de los pórticos:.....	40
4.2	Peso de los pórticos y de las correas.....	42
4.3	Estimación del coste de la estructura .....	45

5	Conclusiones.....	50
6	Bibliografía .....	51
7	Anejos.....	53
7.1	Anejo nº 1.....	53
7.2	Anejo nº 2.....	55
7.3	Anejo nº 3.....	56

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la conservación y la evaluación de la seguridad de las estructuras de acero se han convertido en una preocupación creciente, probablemente como consecuencia de algunos eventos dramáticos registrados (Altunişik *et al.*, 2017). Recientemente, se han producido colapsos repentinos de algunas estructuras como “Los techados de pabellones y naves industriales en el Bajo Aragón y el Matarraña” hundidos por la acumulación de nieve (Rajadel, 2020). Ver Figura 1 y Figura 2.



**Figura 1. El techo del pabellón de Escucha, hundido por la nieve (Rajadel, 2020).**



**Figura 2. Hundimiento del tejado de una nave industrial de Fuentespalda (Rajadel, 2020).**

En las zonas en las que suele nevar, hay que diseñar los edificios para que resistan, entre otras cargas, la correspondiente al peso de la nieve. La nieve se acumula en los techados, y su peso puede provocar el hundimiento de la cubierta. Conocer el valor de la carga de nieve, la máxima

que podría caer en cualquier edificio a lo largo de su vida útil, es un dato importante para hacer los cálculos estructurales del proyecto técnico. El problema es que no se puede saber con certeza cuál es el valor de esa carga. Hay que recurrir a datos estadísticos de las nevadas del lugar o bien a normas técnicas que indiquen esos valores.

En España, el valor de la carga de nieve se encuentra publicado en el Documento Básico SE-AE “DB SE-AE” (España. Ministerio de la Vivienda, 2006). Los valores que figuran en este documento básico tienen un nivel de confianza del 95 %; esto quiere decir que la probabilidad de que pueda ser superado cualquier valor es inferior a 0.05. La carga de nieve no solo depende de la altitud topográfica, sino también del propio lugar: para una misma altitud hay diferentes valores de la carga de nieve según la región.

### 1.1 Características generales de las nevadas

Las precipitaciones se producen cuando se agregan las pequeñas gotas que forman las nubes, ya sea en forma sólida (como la nieve o el granizo) o líquida (como la lluvia), según las condiciones existentes. Las precipitaciones en forma sólida, se originan por la formación de pequeños cristales de hielo en las nubes, cuando la temperatura es inferior a 0 °C y una humedad relativa concreta en la atmósfera. Estos cristales se unen entre sí formando los copos de nieve y cuando alcanzan el tamaño adecuado, debido a la acción de la gravedad, dan lugar a la precipitación sólida (Rodríguez Jiménez *et al.*, 2004).

Las propiedades físicas de la nieve están determinadas por el tipo de cristal que precipita y la forma en la que se depositan. Existen numerosos tipos de cristales de nieve. La formación de los mismos viene determinada, entre otros factores, por la temperatura, la humedad y la presión atmosférica en la cual se han formado (Ferraz Campo, 1982). Ver Tabla 1.

**Tabla 1. Clasificación de los copos de nieve (Portillo, 2008).**

Clasificación de los copos de nieve en función de la temperatura del aire	
Entre 0 °C y -4 °C	Placas y estrellas hexagonales delgadas.
Entre -6 °C y -10 °C	Columnas huecas
Entre -4 °C y -6 °C	Agujas
Entre -10 °C y -12 °C	Placas
Entre -12 °C y -16 °C	Dendritas
A partir de -16 °C	Combinaciones de placas y columnas

Debido a las diferentes condiciones de formación de los cristales, se pueden formar numerosos cristales de nieve. En la naturaleza los más comunes son los reflejados en la Figura 3.



**Figura 3. Cristales de nieve más comunes en la naturaleza (Portillo, 2008).**

Cuando se produce una precipitación nivosa, si las condiciones son las adecuadas se forma una capa con unas características morfológicas, termodinámicas y mecánicas concretas. Si la temperatura es cercana a los 0 °C, la nieve será húmeda, presentando un alto grado de cohesión. Por el contrario, si las temperaturas son muy bajas la nieve será muy seca, lo que aumenta la probabilidad de deslizamientos. Cuando la nieve se deposita sobre una superficie, o incluso antes, comienza su proceso de transformación. Las altas temperaturas, el viento y la insolación, entre otros factores, modifican las características iniciales de tamaño y forma del hielo (Portillo, 2008).

## 1.2 Densidad de la nieve

La densidad de la nieve está directamente relacionada con el tipo de cristal y la meteorología. La densidad más baja es de 40-90  $\frac{kg}{m^3}$  para la nieve seca (cristales de tipo dendrítico, como estrellas y partículas irregulares) a una temperatura inferior de -5 °C. Cuando la temperatura es próxima a 0 °C, los cristales de hielo se fusionan, aglomerándose en copos ligeramente humedecidos llegando a tener una densidad comprendida entre 90-130  $\frac{kg}{m^3}$ . La acción mecánica del viento produce una dislocación en los sistemas dendríticos, ya que en su transporte pueden llegar a chocarse y reducirse a partículas finas. Estas partículas quedan compactadas y dan lugar

a la formación de placas, aumentando la densidad de la nieve a 140-290  $\frac{kg}{m^3}$  (Ferraz Campo, 1982).

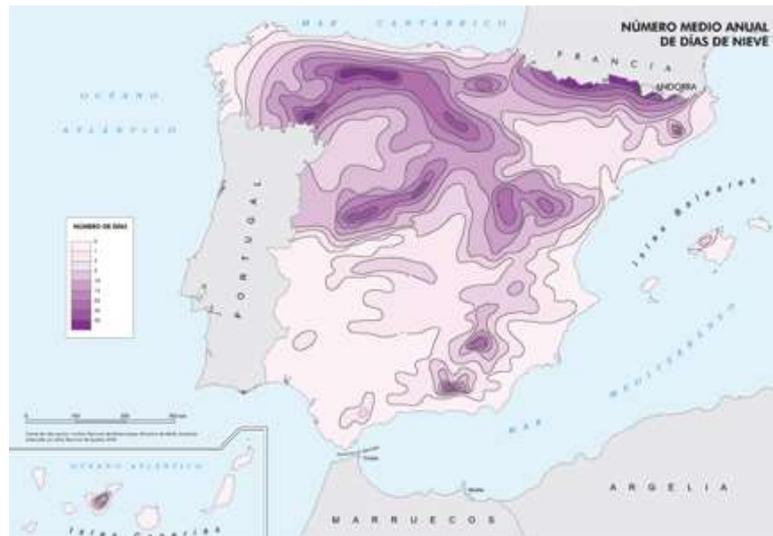
En el DB SE-AE, apartado 4 del punto “3.5.2 Carga de nieve sobre un terreno horizontal” se puntualiza la variedad del peso específico de la nieve acumulada: 1,2  $\frac{kN}{m^3}$  para la recién caída, 2,0  $\frac{kN}{m^3}$  para la prensada o empapada y 4,0  $\frac{kN}{m^3}$  para la mezclada con granizo (España. Ministerio de la Vivienda, 2006).

Al mismo tiempo, la velocidad de densificación de la nieve está relacionada con el asentamiento de la misma, siendo directamente proporcional la resistencia al asentamiento de la nieve (Ferraz Campo, 1982).

### 1.3 La nieve en la península ibérica

Puesto que el estudio se va a realizar en la península ibérica, es elemental conocer las características de las nevadas en la misma. Capel Molina (2000) afirma que hay factores fundamentales, además de los citados, que se deben tener en cuenta, como son: la geografía, la latitud, la longitud, la continentalidad y la altitud, junto con su interacción en el espacio ibérico.

En el caso de la península ibérica, las precipitaciones nivosas están asociadas esencialmente a frontogénesis junto con temperaturas superficiales bajas y por la altitud. La frontogénesis es formación o intensificación de un frente o sistema frontal por influencias físicas -como puede ser la radiación- o dinámicas -como puede ser el movimiento del aire-. En los meses invernales se intensifica la formación de frentes en altitudes superiores 900-1000 m, al norte del paralelo 40 °N. En la Figura 4, se muestra el promedio de días anuales de nevadas en la península.



**Figura 4. Número medio anual de nieve en la península ibérica (Instituto Geográfico Nacional, 2007).**

La distribución espacial de la nieve en la península ibérica está influenciada por los siguientes factores:

- Temperaturas bajas superficiales
- Altitud sobre el nivel del mar
- Latitud geográfica
- Continentalidad
- Mecanismos dinámico-atmosféricos que provocan el ascenso y la condensación en un medio frío y húmedo.

Los temporales de nieve se concentran en los meses de invierno, entre noviembre y abril. Su distribución se ajusta a las siguientes pautas (Ver Figura 5):

1. Aumento de las nevadas hacia el norte peninsular.
2. Frecuencia mayor de nevadas en la Submeseta Septentrional en relación con la Submeseta Meridional.
3. Incremento de las nevadas desde las zonas costeras hacia la meseta central, al aumentar la altitud.
4. Concentración de precipitaciones nivosas en el solsticio de invierno.
5. Mayor porcentaje de nevadas en altitudes superiores a los 2000 m. en las cordilleras ibéricas.
6. Ausencia de nevadas en el litoral mediterráneo al sur del cabo de San Antonio y en el litoral atlántico del golfo de Cádiz y el Algarve.



Figura 5. El relieve de España (Instituto Geográfico Nacional, 2007).

#### 1.4 Influencia del cambio climático en la climatología

Los cambios climatológicos a lo largo de la historia de la Tierra se debieron tanto a la interacción de la energía del Sol a la Tierra como al equilibrio formado por tierra-océano-atmósfera. Según su procedencia los cambios climatológicos podían ser: de origen natural externo, (variaciones en la excentricidad de la órbita terrestre, cambios en la actividad solar, modificaciones del eje de rotación de la tierra) o de origen natural interno (erupciones volcánicas, corrientes oceánicas, distribución de la tierra y el mar). En la Figura 6, se puede ver cómo en la actualidad se está dando el mayor incremento de la temperatura desde el siglo XIX y el más rápido a escala global desde la última época glacial. (Rodríguez Jiménez *et al.*, 2004).

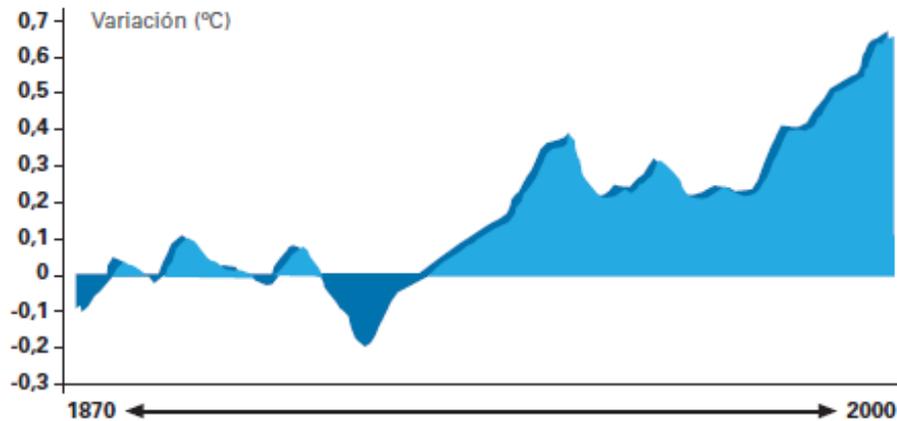


Figura 6. Variación de la temperatura respecto a la media global (Rodríguez Jiménez et al., 2004, p. 80).

Actualmente, prevalece el consenso científico que afirma la existencia de un cambio climático global derivado de causas antropogénicas. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (*IPCC*, acrónimo en inglés), por medio de un modelo climático simple, ha evaluado la temperatura desde 1960 hasta la actualidad. Según la estimación, se corrobora el aumento de la temperatura de la tierra en 1,5 °C o incluso más, si continúa la tasa actual de calentamiento. Esto provocaría un aumento de la temperatura terrestre y oceánica, intensificándose los fenómenos meteorológicos extremos y su duración, con aumentos de la intensidad y/o precipitaciones intensas en varias regiones (Allen *et al.*, 2018).

Por su parte, Viana Jiménez y Calvo Sánchez (2019), reconocen la dificultad de la medición de la precipitación en forma de nieve, debido a la infraestimación sistemática producida en cualquier pluviómetro con el aumento de la velocidad del viento.

### 1.5 Influencia de la nieve sobre las construcciones

Como se ha señalado anteriormente, la nieve sufre un proceso de transformación durante la precipitación y posteriormente. Este proceso es determinante en la evolución y depósito de la nieve, ya que si existen bajas temperaturas tendrá poca adherencia y se podrían producir deslizamientos (Portillo, 2008). Según la orientación de la construcción, este fenómeno puede tomar mayor relevancia. Si la cubierta de la nave recibe poca incidencia de los rayos solares, parcial o totalmente, no se producirá la transformación del manto nivoso y por consiguiente no se producirá su adherencia a la cubierta. La inclinación de la cubierta recibe un papel primordial, permaneciendo la nieve inmóvil si las fuerzas de tracción (peso de la nieve e inclinación) se

compensan con las fuerzas de resistencia (adherencia del manto de nieve al revestimiento)(Heilig, 2019).

Pero hay dificultades para evaluar el riesgo de la sobrecarga de nieve sobre las estructuras por falta de información. Diferentes autores (Tanner *et al.*, 2004) evaluaron la carga de nieve sobre las superficies horizontales. Basándose en el número medio anual de días de nieve, desarrollaron mapas de sobrecarga de nieve esperados en función de la altitud geográfica, y dentro de una región concreta.

Como se ha señalado anteriormente, en España el DB SE-AE; recoge las cargas de nieve que hay que considerar en los cálculos de los edificios en el territorio nacional, especificando las zonas, y valores a aplicar en función de la influencia (España. Ministerio de la Vivienda, 2006). Sin embargo, el valor de la carga de nieve y su incidencia en las construcciones, sigue siendo un tema de estudio. La influencia de la nieve y el viento son analizadas por (Serna Jara *et al.*, 2016) en función de la altitud, obteniendo un incremento del peso de las correas en cotas de nieve superior a 1000 metros.

En consecuencia este estudio, se focaliza en el efecto de la carga variable de la nieve, sobre la estructura. Analizando los costes de un pórtico tipo, en función de la ubicación.

**OBJETIVOS**

El objetivo de este estudio es analizar la relación de la carga nieve en el coste estructural en la misma región climática, formada por el Macizo Galaico, Cordillera Cantábrica, Montes de León y Montes Vascos, en comparación con otras ciudades de Castilla y León. Para ello se analizó la influencia entre las cargas de nieve, o la altitud y el coste de la estructura.

## METODOLOGÍA

En este apartado se describe la metodología seguida en este trabajo de investigación. En el cálculo de la estructura se han considerado las acciones climáticas –viento y nieve– correspondientes a cada una de las nueve capitales de Castilla y León (véase la Tabla 2). Además, se volvió a calcular la estructura a altitudes variables cada 100 m (véase la Tabla 3), suponiendo que se encuentra situada en la zona climática invernal 1, a efectos de nieve, y zona B, a efectos del viento.

**Tabla 2. Altitud y carga de nieve de las ciudades de Castilla y León donde se han tomado los datos de nieve para este trabajo.**

Ubicación	Altitud (metros)	Valor de sobrecarga ( $\frac{kN}{m^2}$ )	Zona de clima invernal
<i>Ponferrada</i>	512	0,7	Zona 1
<i>Zamora</i>	652	0,4	Zona 3
<i>Valladolid</i>	698	0,4	Zona 3
<i>Salamanca</i>	802	0,5	Zona 3
<i>León</i>	837	1,2	Zona 1
<i>Burgos</i>	856	0,6	Zona 3
<i>Segovia</i>	1005	0,7	Zona 3
<i>Soria</i>	1063	0,9	Zona 3
<i>Ávila</i>	1132	1,0	Zona 3

**Tabla 3. Elaboración propia, teniendo en cuenta el valor característico de la sobrecarga de nieve en un terreno horizontal, en la zona climática invernal 1 indicada en el DB SE-AE, tabla E.2. Datos en kN/m<sup>2</sup>.**

Ubicación	Altitud (metros)	Valor de sobrecarga ( $\frac{kN}{m^2}$ )
<i>Zona climática invernal 1</i>	200	0,5
	400	0,6
	600	0,9
	800	1,2
	1000	1,7
	1200	2,3
	1400	3,2
	1500	3,7

## 1.6 Nave tipo

Con el fin de establecer un prototipo de nave común en la región, se ha procurado que las dimensiones de la nave sean lo más estándar posible. Por ello la nave tipo es diáfana de 20 m. de ancha por 40 m. de longitud, con una superficie total de 800 m<sup>2</sup>.

### 1.6.1 *Tipología estructural*

En la nave tipo, la estructura está formada por pórticos de acero a dos aguas, separados entre sí 5 metros. La altura de los pilares es de 6 metros siendo la altura de la cumbrera 7,5 metros, lo que le proporciona versatilidad.

La pendiente de la cubierta es del 15 % siendo adecuada para el material de cubierta. Tanto en los pilares como en los dinteles se emplean perfiles del tipo IPE-S275 JR. Sobre los pórticos, descansan las correas tipo C de acero S235-JR, adecuadas para cubiertas de menos de un 20 % de pendiente. En el Anejo nº 1, se puede ver el catálogo comercial, con los parámetros más relevantes de este tipo de correas. La separación entre correas es de 1,70 m.

1.6.2 Material de cobertura

Para el diseño de la cubierta se ha optado por un panel tipo sándwich de 50 mm de espesor, compuesto por dos chapas de acero galvanizadas de 0,5 mm de espesor, unidas entre sí mediante un núcleo central, en este caso espuma de poliuretano expandido. Este tipo de paneles son muy utilizados en las cubiertas de las naves industriales, debido a su facilidad de montaje y a sus características, entre las que destacan un peso muy reducido y su buena condición de aislantes térmicos.

Tabla 4. Catálogo comercial panel sándwich (Panelais Producciones, 2016, p. 7).

CARGA ENTRE EJES: ACERO/ACERO ST/ST			PORTEES ENTRE APPUIS: ACIER/ACIER ST/ST									
Espesor mm	U W/m <sup>2</sup> °K	st/st Peso Kg/m <sup>2</sup>	Carga Max. uniforme kg/m <sup>2</sup> con flecha ≤1/200									
			80	120	150	200	250	80	120	150	200	250
			Distancia máxima 2 apoyos (m.)					Distancia máxima 4 apoyos (m.)				
30	0,58	6,65	2,28	1,95	1,79	1,55	1,33	2,67	2,29	2,09	1,87	1,63
40	0,46	7,05	2,63	2,25	2,06	1,82	1,68	3,05	2,63	2,44	2,17	1,94
50	0,38	7,45	2,96	2,56	2,36	2,10	1,82	3,43	2,98	2,75	2,48	2,21
60	0,32	7,85	3,31	2,87	2,63	2,31	2,06	3,82	3,32	3,06	2,74	2,48
80	0,25	8,65	3,93	3,39	3,13	2,79	2,48	4,54	3,93	3,63	3,25	2,89
100	0,19	9,45	4,42	3,81	3,45	3,12	2,82	5,02	4,47	3,96	3,58	3,19
120	0,16	10,25	4,98	4,35	3,86	3,38	3,02	5,67	4,98	4,43	3,93	3,47

El peso del panel en proyección horizontal tenido en cuenta en los cálculos es el siguiente:

- Peso inicial →  $7,45 \frac{kg}{m^2}$
- Pendiente del 15 % →  $\alpha = 8,53^\circ$
- Se incrementa un 10 % por tornillería y solapamientos → 1,10
- $g \rightarrow 9,8 \frac{m}{s^2}$

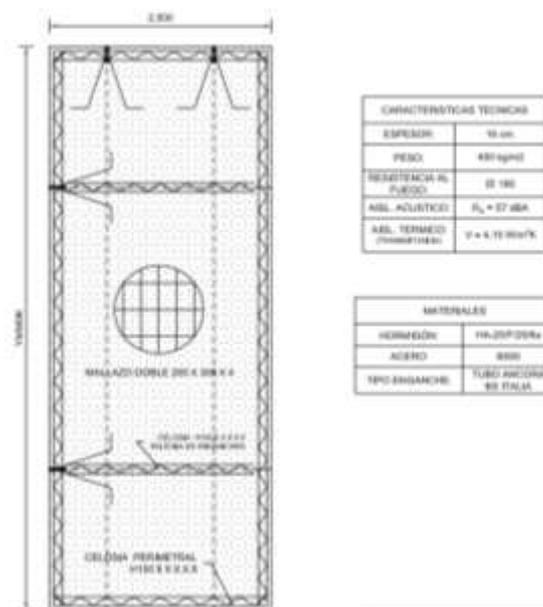
$$Peso\ del\ panel\ \left(\frac{kN}{m^2}\right) = \frac{\left[7,45 \times \frac{1}{\cos(8,53)} \times 1,1 \times 9,8\right]}{1000} = 0,0812 \frac{kN}{m^2}$$

1.6.3 Cerramientos laterales

Se ha optado por paneles prefabricados de hormigón HA-25 de 16 cm de espesor como, se puede ver en la Figura 7. El cerramiento de hormigón prefabricado cerrará los cuatro laterales verticales de la nave, desde la cimentación hasta el alero. Los paneles quedan anclados al pilar

mediante grapas en cuatro puntos, cubriendo todo el perímetro de la nave. Las juntas de los paños de hormigón coincidirán con los ejes de los pilares, y a su vez los paneles se apoyarán directamente sobre las zapatas y vigas riostras de atado, haciendo que el peso de los paneles ayude a estabilizar las zapatas frente a los esfuerzos generados por los pilares.

Las piezas que conforman los paneles son machihembradas quedando encajadas entre sí y serán selladas posteriormente en todas las juntas con productos elásticos de silicona (tanto interior como exteriormente). En este caso se propone el “Sikaflex PRO 3”, del mismo color del muro permaneciendo un acabado más pulido. Cabe destacar que en este tipo de cerramientos, los paneles son diseñados en función de la nave, dejándose los huecos pertinentes para ventanas y puertas. En el Anejo nº 3 se puede ver el planos de la nave tipo, en la provincia de León.



**Figura 7. Características técnicas panel de hormigón HA-25 de 16 cm (Aljema S.L., 2017).**

## 1.7 Normativa

En la realización de los cálculos llevados a cabo en este trabajo se han tenido en cuenta las siguientes normas técnicas:

- Real Decreto 751/2011, de 27 de mayo, por el que se aprueba la Instrucción de Acero Estructural (EAE).
- Documentos básicos del Código Técnico de la Edificación a seguir:
  - Documento Básico DB-SE: Seguridad estructural.
  - Documento Básico DB-SE-AE: Acciones en la edificación.
  - Documento Básico DB-SE-A: Acero.
- UNE-EN 1993-1-1, mayo 2008. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificios.

## 1.8 Acciones consideradas para el cálculo

En el cálculo de los pórticos se han tenido en cuenta las siguientes acciones tomadas del Documento Básico SE-AE (España. Ministerio de la Vivienda, 2006). Recuerda cambiar

### 1.8.1 *Acciones permanentes*

Cargas permanentes: El peso propio de la estructura, que lo introduce directamente el programa CYPE 3D, y el peso del panel de cubierta  $0,0812 \frac{kN}{m^2}$ .

### 1.8.2 *Acciones variables*

En los cálculos se han tenido en cuenta las siguientes sobrecargas:

- Sobrecarga de uso en la cubierta:
  - Carga uniforme de  $0,4 \frac{kN}{m^2}$ , en la proyección horizontal.
  - Carga concentrada de  $1 kN$  en el punto más desfavorable.
- Sobrecarga debida a instalaciones en la cubierta:
 

Se ha considerado un valor genérico de  $0,2 \frac{kN}{m^2}$  que puede cubrir el peso de una instalación de paneles solares en la cubierta o de otro tipo.
- Sobrecarga de nieve
 

El apartado 3.5.1 "Determinación de la carga de nieve" del DB SE-AE, establece el cálculo de la carga de nieve en la proyección en la horizontal:

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

$q_n$ : Carga de nieve en proyección horizontal.

$\mu$  : Coeficiente de forma de la cubierta; como la pendiente es inferior a 30°, este valor es 1.

$s_k$  : Valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal. Este valor viene dado en la (Tabla 5) en función de las capitales y ciudades autónomas.

**Tabla 5. Valor de  $s_k$  en relación con las capitales y las ciudades autónomas (España. Ministerio de la Vivienda, 2006, p. 11).**

Capital	Altitud m	$s_k$ kN/m <sup>2</sup>	Capital	Altitud m	$s_k$ kN/m <sup>2</sup>	Capital	Altitud m	$s_k$ kN/m <sup>2</sup>
Albacete	690	0,5	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	470	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	SanSebas- tián/Donostia	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	1.000	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Segovia	10	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	150	0,5	Sevilla	1.090	0,2
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Logroño	380	0,6	Soria	0	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Tarragona	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tenerife	950	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Teruel	550	0,9
Castellón	0	0,2	Málaga	40	0,2	Toledo	0	0,5
Ciudad Real	640	0,6	Murcia	130	0,2	Valencia/València	690	0,2
Córdoba	100	0,2	Orense / Ourense	130	0,4	Valladolid	520	0,4
Coruña / A Coruña	0	0,2	Oviedo	230	0,5	Vitoria / Gasteiz	650	0,7
Cuenca	1.010	1,0	Palencia	740	0,4	Zamora	210	0,4
Gerona / Girona	70	0,4	Palma de Mallorca	0	0,2	Zaragoza	0	0,5
Granada	690	0,5	Palmas, Las	0	0,2	Ceuta y Melilla	0	0,2
			Pamplona/Iruña	450	0,7			

- Sobrecarga de viento

El DB SE-AE señala que: “La distribución y el valor de las presiones que ejerce el viento sobre un edificio y las fuerzas resultantes dependen de la forma y de las dimensiones de la construcción, de las características y de la permeabilidad de su superficie, así como de la dirección, de la intensidad y del racheo del viento” (España. Ministerio de la Vivienda, 2006, p. 8). En función de lo anteriormente descrito, se calcula la acción del viento, también denominada presión estática  $q_e$ , generalmente perpendicular a la superficie, mediante la siguiente fórmula:

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

$q_b$ : Presión dinámica del viento, en función del emplazamiento geográfico (Figura 8).

$c_e$ : Coeficiente de exposición, que varía con la altura del punto seleccionado en función de la aspereza del entorno. Su valor se puede encontrar en la Tabla 6.

$c_p$ : El coeficiente eólico o de presión que depende de la forma y orientación de la superficie respecto al viento. Valor calculado por el CYPE.

En este caso, el grado de aspereza es IV, zona industrial. Como la altura a la cumbre es de 7,5 metros, se ha interpolado para calcular el valor del coeficiente de exposición. Tomando el valor inmediatamente superior e inferior a esta altura, se obtuvo un coeficiente de exposición de 1,5 (Ver Tabla 6).

**Tabla 6. Interpolación para cálculo de coeficiente de exposición.**

Altura del punto considerado en metros	Coeficiente de exposición
6	1,4
7,5	1,5
9	1,7



**Figura 8. Valores de la velocidad del viento (m/s) en función del emplazamiento geográfico (España. Ministerio de la Vivienda, 2006, p. 23).**

**Tabla 7. Coeficiente de exposición al viento (España. Ministerio de la Vivienda, 2006, p. 8).**

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,8	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

## 1.9 Cálculo de las estructuras

Para el cálculo de las estructuras se han usado los módulos “Generador de pórticos” y “CYPE 3D” del programa CYPE (CYPE Ingenieros, 2020). En primer lugar, se ha hecho el cálculo de la estructura considerando las acciones climáticas –viento y nieve– de cada una de las nueve capitales de Castilla y León. De esta manera se pretende conocer la influencia que estos dos meteoros, viento y nieve, tienen en el gasto de acero de la edificación. Posteriormente, se ha vuelto a calcular la estructura a las altitudes que van de 200 a 1500 metros sobre el nivel del mar, tomando en todos los casos los valores del viento de la zona B. Con estos cálculos se pretende conocer la influencia que tiene la altitud de un emplazamiento – como consecuencia de la carga de nieve– en el gasto de acero de esta edificación.

En el módulo “Generador de pórticos”, se diseñó la geometría del pórtico tipo. Se generaron: las acciones climáticas y se dimensionaron las correas siguiendo los criterios de Estado Limite Últimos (ELU) y Estado Limite de Servicio (ELS) de la norma.

El procedimiento seguido con el Generador de pórticos fue el siguiente: se creó una nueva obra, introduciendo la descripción y el nombre de la misma. Este proceso se ha repetido para cada una de las ubicaciones del estudio (ver Figura 9).

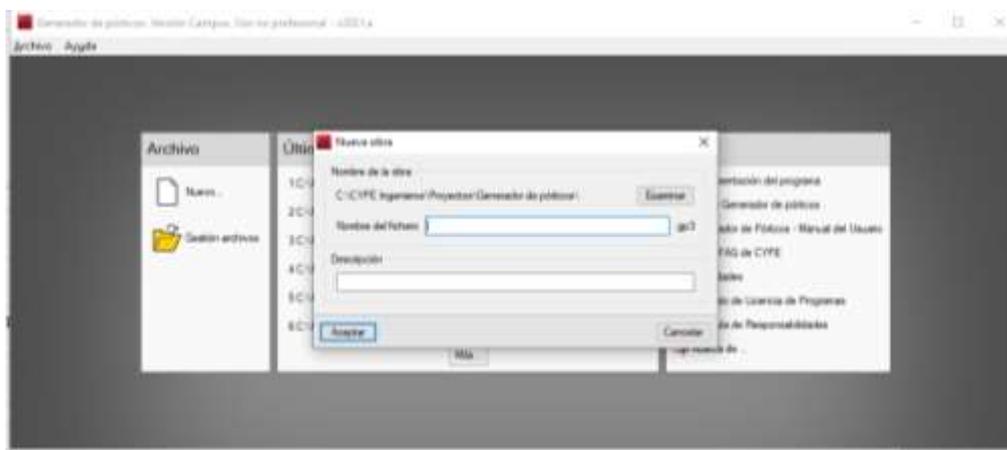


Figura 9. Nueva obra en generador de pórticos (CYPE Ingenieros, 2020).

### 1.9.1 Datos generales

Como se puede ver en la Figura 10, en menú de edición, se ha seleccionado un nuevo pórtico a dos aguas, y se han introducido los datos previamente determinados: tipo de cubierta, altura, altura a cumbre y ancho.

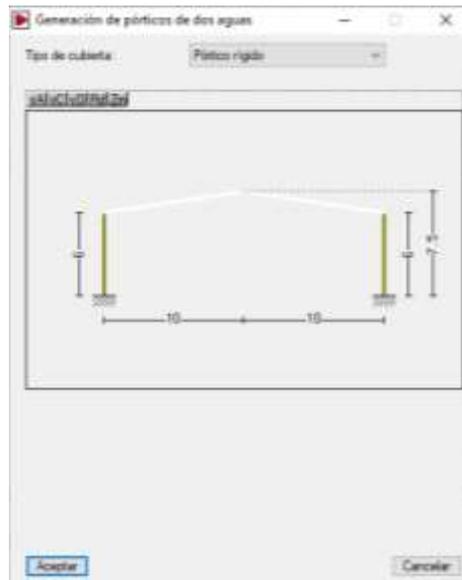


Figura 10. Vista previa, generador de pórticos (CYPE Ingenieros, 2020).

En datos generales, datos generales de obra, como se observa en la Figura 11, se han introducido los siguientes valores:



Figura 11. Datos generales de obra (CYPE Ingenieros, 2020).

- Separación entre pórticos: 5 metros. En consecuencia, el número de vanos son 8, alcanzando así, los 40 metros de largo de la nave.
- Cerramiento de cubierta donde el peso del cerramiento es  $0,08 \frac{kN}{m^2}$ .

- Sobrecarga cerramiento:  $0,2 \frac{kN}{m^2}$  peso adicional de placas solares.
- Cerramiento en laterales, al no apoyar en la estructura  $0 \frac{kN}{m^2}$

### 1.9.2 Sobrecarga viento

Según la normativa, DB SE-AE, las ciudades seleccionadas se encuentran situadas en dos zonas eólicas, zona A y B. En cuanto al grado de aspereza, al tratarse de naves, situadas en zonas industriales es el grado IV.

### 1.9.3 Sobrecarga de nieve.

Nuevamente los datos fueron introducidos, según lo estipulado en el DB SE-AE, en función de la posición geográfica y la altitud.



Figura 12. Mapa de zonas de clima invernal (España. Ministerio de la Vivienda, 2006, p. 42)

Según los datos del emplazamiento, ubicación y la altitud de la misma, se ajusta por un lado la zona invernal a la que pertenece (ver Tabla 2) y por otro la altitud, calculando el programa la sobrecarga de nieve que tendría un terreno horizontal en  $\frac{kN}{m^2}$ , en función de lo estipulado en la (Tabla 8). La exposición al viento se ha tomado como normal.

Tabla 8. Sobrecarga de nieve, en función de la zona de clima y la altitud (España. Ministerio de la Vivienda, 2006, p. 42).

**Tabla E.2 Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal (kN/m<sup>2</sup>)**

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

- Categorías de uso

Según la normativa seleccionada, de acero laminado y conformado, Eurocódigos 3 y 4, se selecciona “H. cubiertas”.

1.9.4 Edición de correas de cubiertas.

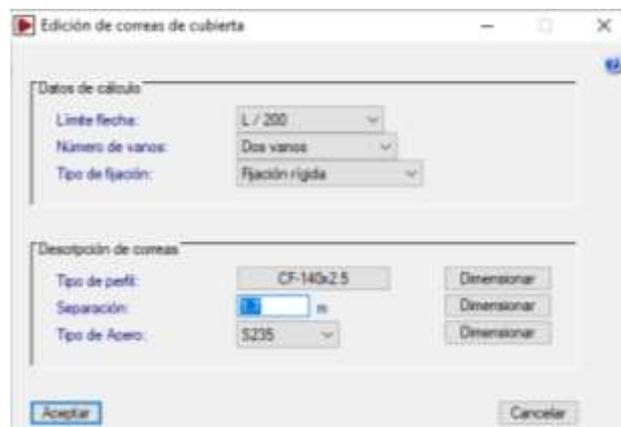


Figura 13 .Edición de correas de cubierta (CYPE Ingenieros, 2020).

Las correas soportan el peso del cerramiento de la cubierta y unen los pórticos. Transmiten el peso a las vigas, y estas a su vez a los pilares, los cuales transmitirán la carga a las cimentaciones. En la Figura 13, se pueden visualizar los datos introducidos para el cálculo y la descripción de correas.

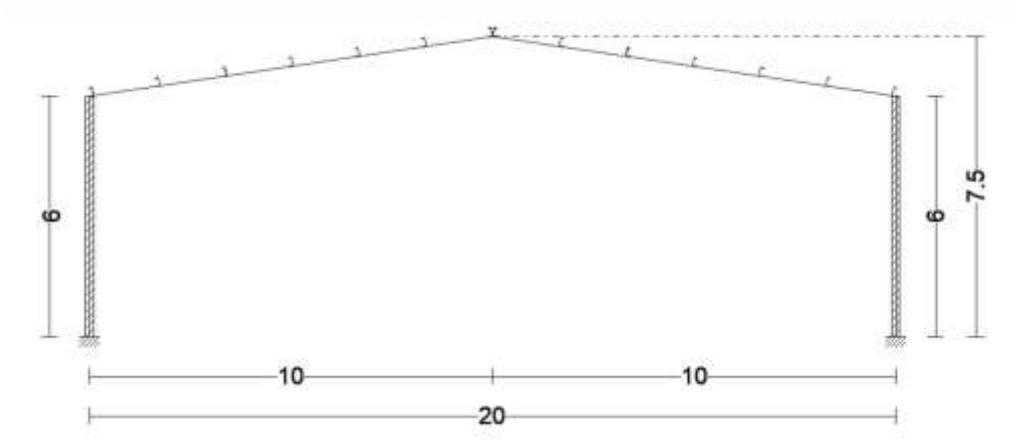
Datos de cálculo:

- Límite flecha  
Se ha seleccionado  $L/200$ , valor adecuado para pendientes superiores al 3 %.
- Número de vanos  
Seleccionamos dos vanos, 10 metros.
- Tipo de fijación  
Se utilizará una fijación rígida.

#### Descripción de las correas

El perfil utilizado es de tipo C, de acero conformado. Las dimensiones de las diferentes correas, calculadas para cada ubicación, las genera el programa en función de la separación y el tipo de acero seleccionado. El programa comprueba los estados límite últimos (ELU) y el estado límite de servicio (ELS).

La separación de las correas es de 1,7 metros, de acuerdo con las especificaciones técnicas del catálogo comercial del material de la cubierta.



**Figura 14. Pórtico tipo mediante generador de pórticos (CYPE Ingenieros, 2020).**

Una vez generado el pórtico, como muestra la Figura 14, se exportó a CYPE 3D, donde se configuró lo siguiente:

- Tipo de apoyos en los pilares: biarticulados o biempotrados; se seleccionó el tipo de apoyo correspondiente.
- Opciones de pandeo: pandeo en pórticos intranslacionales.
- Tipo de generación: pórtico aislado (2D). Se seleccionó el quinto pórtico.
- Opciones de agrupación: agrupar centrales y finales.

### 1.10 Cálculos en CYPE 3D

Una vez exportado el pórtico, hay que indicar al programa si la altitud es superior a los 1000 m.

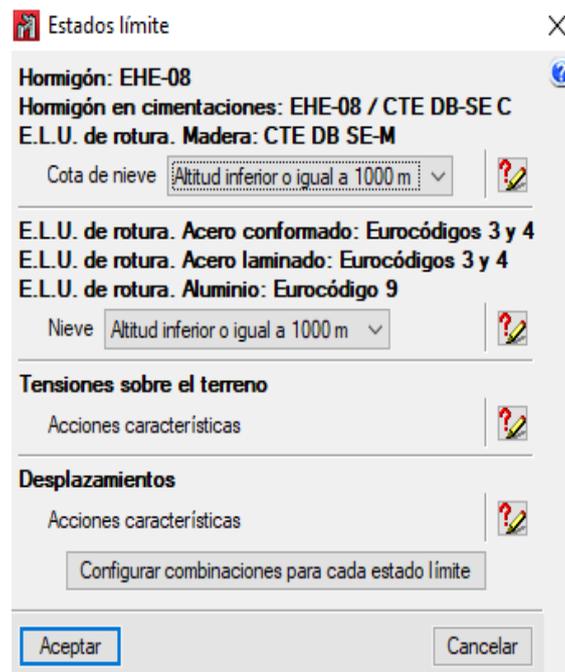


Figura 15. Selección de la altitud (CYPE Ingenieros, 2020).

Posteriormente se generó una nueva obra, manteniendo el nombre y la descripción asignados en el Generador de Pórticos. Para facilitar el manejo gráfico, se abrió una ventana con una vista del pórtico en 2D (Figura 16).

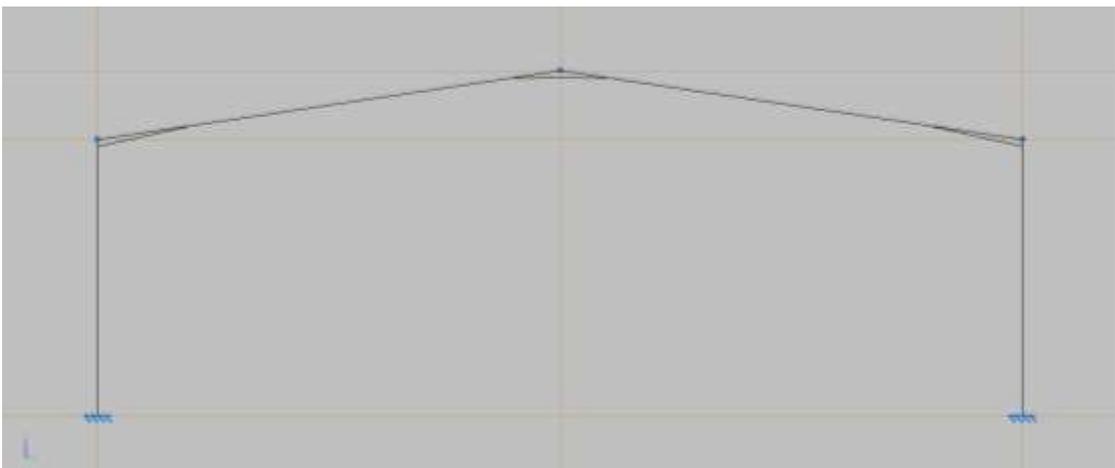


Figura 16. Vista de pórtico en 2D (CYPE Ingenieros, 2020).

A continuación se procedió a agrupar elementos; por un lado los pilares y por otro, los dinteles.

### 1.10.1 Descripción de barras

El tipo de perfil utilizado, tanto para pilares como para dinteles, es IPE de acero laminado. Seleccionando en los pilares por un perfil simple y en los dinteles un perfil simple con cartelas inferiores, de 2 metros en la inicial, lo que supone un 10 % de la luz de la nave (correspondiente a la unión del pilar con el dintel) y 1 metro en la final (correspondiente al nudo de cumbrera).

### 1.10.2 Introducción de pandeos

Pandeo en los dinteles

#### **Pórticos biarticulados**

La longitud de pandeo en el plano  $xy$  es 1,70 metros. Se ha considerado que las correas sirven de arriostramiento al dintel en el plano de la cubierta.

En el plano  $xz$  se ha adoptado el coeficiente de pandeo  $\beta = 1,1$  calculado por el programa CYPE 3D para pórticos intraslacionales, según lo establecido en el Anejo 5, figura A5.2.a de la EAE. En la Figura 17 se muestra el cuadro de diálogo del CYPE 3D con los valores  $\beta$  de pandeo asignados a los dinteles de los pórticos biarticulados.

#### **Pórticos biempotrados**

Se mantiene la misma longitud de pandeo en el plano  $xy$  de 1,70 metros, por las mismas razones. En el otro plano  $-xz-$  se pone el valor calculado por el programa CYPE 3D para pórticos intraslacionales, de acuerdo con el Anejo 5, figura A5.2.a, de la EAE.

En la Tabla 9, se muestra el cuadro de diálogo del CYPE 3D con los valores  $\beta$  de pandeo asignados a los dinteles de los pórticos biarticulados.

En cuanto al coeficiente de momentos  $c_m$ , se ha tomado en todos los casos el valor conservador de 0,9 propuesto por en el DB SE-A apartado 6.3.4.2: “En las barras de pórticos de estructuras sin arriostrar con longitudes de pandeo superiores a la de las propias barras debe tomarse:  $c_m = 0,9$ ” (España. Ministerio de la Vivienda, 2008).

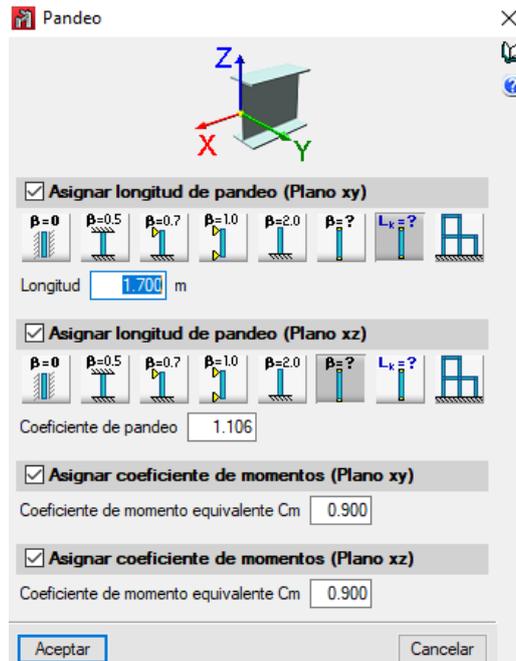


Figura 17. Cuadro de diálogo de CYPE 3D con los valores adoptados en los coeficientes de pandeo en los dinteles (CYPE Ingenieros, 2020).

Tabla 9. Coeficientes del momento equivalente (España. Ministerio de la Vivienda, 2008, p. 51).

Factor de momento flector	Eje de flexión	Puntos arriostrados en dirección
$C_{m,y}$	y-y	Z - Z
$C_{m,z}$	Z - Z	y-y
$C_{m,LT}$	y - y	y-y
<b>Diagrama de Fletores</b>		<b>Factor de momento uniforme equivalente</b>
		$C_{m,i} = C_{m,i} (i = y)$
		$C_{m,i} = C_{m,i} (i = z)$
		$C_{m,i} = C_{m,i} (i = LT)$
Momentos de extremo 		$C_{m,i} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$
Momento debido a cargas laterales coplanarias 		$C_{m,i} = 0,9$
Momentos debidos a cargas laterales y momentos de extremos 		$C_{m,i} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4$ si $-1 \leq \alpha \leq 0$ $C_{m,i} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4$ si $0 \leq \alpha \leq 1$
		$C_{m,i} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_{h1}$ con $-1 \leq \alpha_{h1} \leq 1$

Tabla 10. Valor del factor C1 (España. Ministerio de la Vivienda, 2008, p. 44).

Tabla 6.7 Valor del factor  $C_1$  correspondiente a los valores del factor  $k_\psi$  ( $k_w=1$ )

Condiciones de apoyo y tipo de sollicitación	Diagrama de momentos flectores	$C_1$
	$\psi=+1$ 	1
	$\psi=+3/4$ 	1,14
	$\psi=+1/2$ 	1,32
	$\psi=+1/4$ 	1,56
	$\psi=0$ 	1,88
	$\psi=-1/4$ 	2,28
	$\psi=-1/2$ 	2,7
	$\psi=-3/4$ 	2,93
	$\psi=-1$ 	2,75

Diagrama de un elemento estructural con momentos  $M$  y  $\psi M$  aplicados en los extremos.

Pandeo en los pilares

Los pilares tienen impedido el pandeo en el plano xy debido al cerramiento lateral. Esto es aplicable tanto en los pórticos biempotrados como en los biarticulados: se adopta en el programa  $\beta=0$ .

En el plano de la estructura -xz- se han considerado los coeficientes calculados por el propio programa CYPE 3D:

- Pórticos biarticulados, pilares articulados en la base:  $\beta=0,87$
- Pórticos biempotrados, pilares empotrados en la base:  $\beta=0,65$

En la Figura 18, se muestra el cuadro de diálogo del CYPE 3D con los valores  $\beta$  de pandeo asignados a los pilares de los pórticos biarticulados y biempotrados.

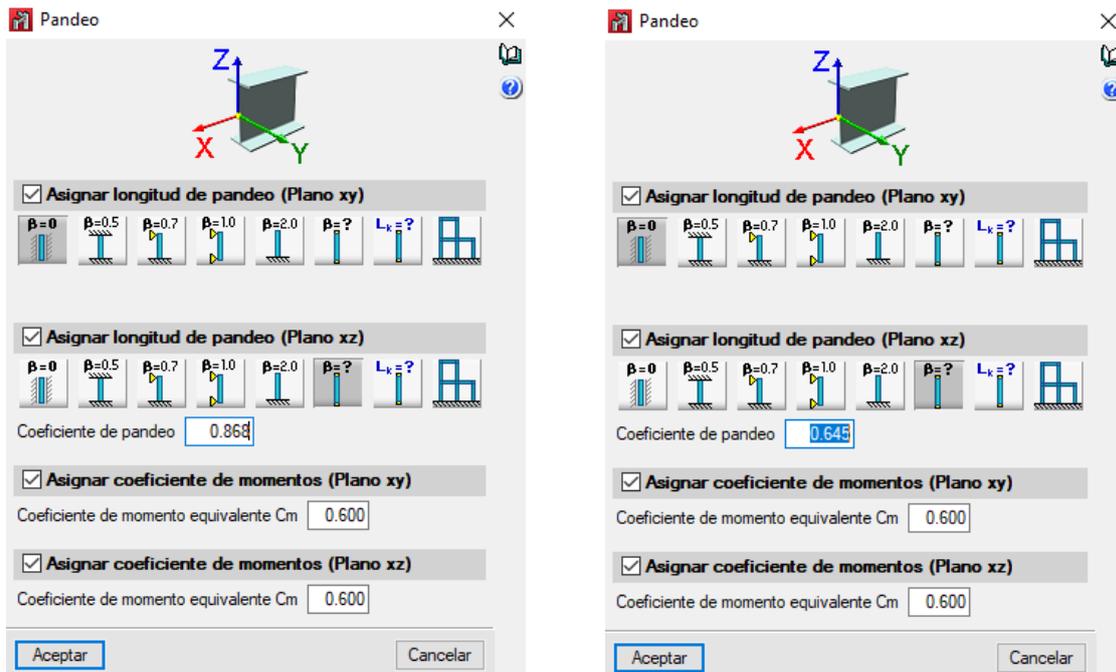


Figura 18. Pandeo en los pilares con el apoyo articulado (izq.) y empotrado (der.) (CYPE Ingenieros, 2020).

Pandeo lateral en los dinteles

El programa adopta un valor de  $C_1$  para el ala superior y otro para el ala inferior. El pandeo lateral solo afecta al ala comprimida. En la zona del dintel solicitada a flexión positiva, el ala comprimida es la superior. En este caso se ha considerado que las correas, que están apoyadas en el ala superior, pueden servir de arriostramiento; por eso se ha considerado que la longitud de pandeo lateral es la separación entre correas: 1,70 m.

En la zona del dintel solicitada a flexión negativa –el extremo que se une al pilar–, el ala comprimida es la inferior. Se ha adoptado la misma longitud de pandeo, 1,70 m, que con el ala superior. En este caso, el arriostramiento del ala inferior se consigue mediante tornapuntas entre el ala y las correas. En resumen: la longitud de pandeo lateral en ambos cordones del dintel es 1,70 m, la separación entre correas (véase la Figura 19).

En cuanto al coeficiente de momentos  $c_m$ , se ha tomado el valor conservador de 0,9 propuesto en el DB SE-A apartado 6.3.4.2: “En las barras de pórticos de estructuras sin arriostrar con longitudes de pandeo superiores a la de las propias barras debe tomarse:  $c_m = 0,9$ ” (España. Ministerio de la Vivienda, 2008).

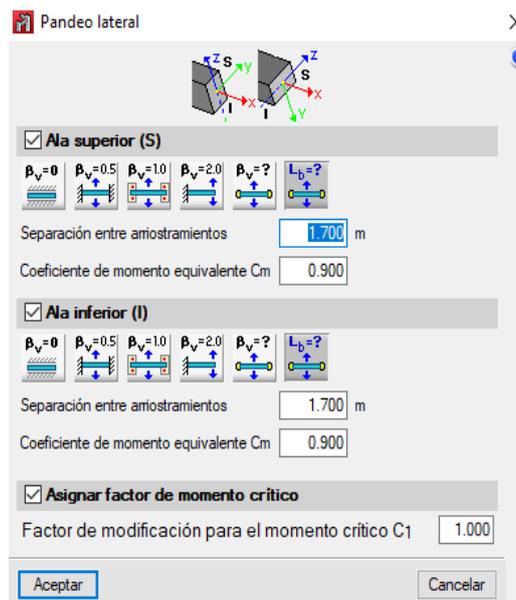


Figura 19 . Cuadro de diálogo del CYPE 3D para el pandeo lateral en los dinteles (CYPE Ingenieros, 2020).

### Pandeo lateral en los pilares que están articulados en la base (pórticos biarticulados)

En estos pilares, la ley de momentos es nula en la base –en la articulación– y máxima en el extremo superior. Los momentos son negativos, lo que implica que el ala comprimida es la interior, y puede pandear. En cambio, el ala exterior no va a pandear. Con el fin de limitar la longitud de pandeo en el pilar se ha colocado un punto de arriostramiento en la mitad, de manera que la ley de momentos queda dividida en una ley triangular, en la parte inferior, y otra trapezoidal en la superior. Basándose en la ley trapezoidal, los coeficientes  $C_1$  y  $C_m$  adoptados son:

$$c_1 = 1,31$$

Tabla 10 del DB SE-A, valor correspondiente a una ley trapezoidal de momentos

$$\psi = 0,5$$

Tabla 9 del DB SE-A, valor correspondiente a una ley trapezoidal de momentos

$$c_m = 0,6 + 0,4 \times \psi = 0,6 + 0,4 \times 0,5 = 0,8$$

La longitud de pandeo lateral en los pilares es la separación ente arriostramientos:

$$L_c = 3,00 \text{ m}$$

**Pandeo lateral en los pilares que están articulados en la base (pórticos biarticulados)**

En estos pilares, la ley de momentos es nula en la base –en la articulación– y máxima en el extremo superior. Los momentos son negativos, lo que implica que el ala comprimida es la interior, y puede pandear. En cambio, el ala exterior no va a pandear. Con el fin de limitar la longitud de pandeo en el pilar se ha colocado un punto de arriostamiento en la mitad, de manera que la ley de momentos queda dividida en una ley triangular, en la parte inferior, y otra trapezoidal en la superior. Basándose en la ley trapezoidal, los coeficientes  $c_1$  y  $c_m$  adoptados son:

$$c_1 = 1,31$$

Tabla 10 del DB SE-A, valor correspondiente a una ley trapezoidal de momentos:

$$\psi = 0,5$$

Tabla 9 del DB SE-A, valor correspondiente a una ley trapezoidal de momentos:

$$c_m = 0,6 + 0,4 \times \psi = 0,6 + 0,4 \times 0,5 = 0,8$$

La longitud de pandeo lateral en los pilares es la separación ente arriostamientos:

$$L_c = 3,00 \text{ m}$$

**Pandeo lateral en los pilares que están empotrados en la base (pórticos biempotrados)**

En estos pilares, la ley de momentos es positiva en la base y negativa en el extremo superior. Se puede considerar que esta ley está formada por dos triángulos similares, uno positivo abajo y otro negativo arriba. Esto hace que en la base del pilar, el cordón comprimido sea el exterior y en la parte superior sea el interior. El cordón exterior se considera arriostado por el muro, así que únicamente es susceptible de pandeo lateral el cordón interior. Este cordón está arriostado en los dos extremos del pilar y en el medio, a 3 m. Por lo tanto la longitud de pandeo lateral en los pilares es de 3 m. Tanto el coeficiente  $c_1$  como el  $c_m$  dependen de la forma de la ley de momentos. Para simplificar el problema, se ha supuesto una ley de momentos triangular para todas las hipótesis de cargas. Los valores de  $c_1$  y  $c_m$  que se han propuesto, del lado de la seguridad, son:

$$c_1 = 1,31$$

Tabla 10 del DB SE-A, valor correspondiente a una ley triangular de momentos:

$$\psi = 0$$

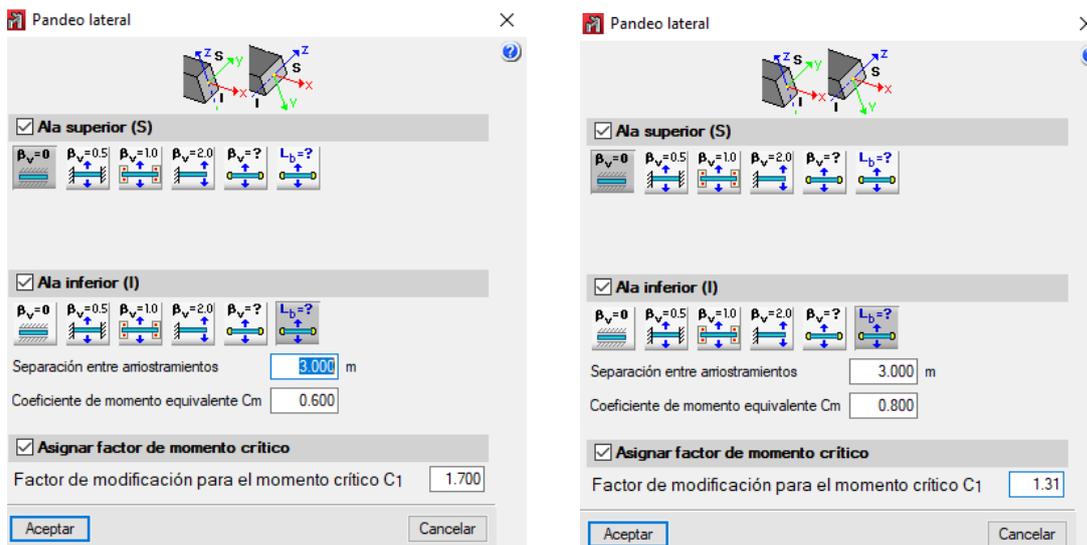
Tabla 9 del DB SE-A, valor correspondiente a una ley triángular de momentos:

$$c_m = 0,6 + 0,4 \times \psi = 0,6$$

La longitud de pandeo lateral en los pilares es la separación ente arriostramientos:

$$L_c = 3,00 \text{ m}$$

En la (Figura 20) se muestra el cuadro de diálogo del CYPE 3D donde se han introducido estos datos.



**Figura 20. Cuadro de diálogo del CYPE 3D para el pandeo lateral. Izquierda pilares empotrados, derecha pilares articulados (CYPE Ingenieros, 2020).**

Para finalizar, se seleccionó la opción de “cálculo de dimensionamiento óptimo de perfiles”, obteniendo el perfil recomendable de la serie seleccionada (Perfil IPE).

### 1.11 Valoración de los pórticos

Calculados los diferentes perfiles y correas para las diferentes variables del estudio, se obtuvieron los pesos. Posteriormente, mediante el modulo “Generador de precios” de CYPE (CYPE Ingenieros, 2020), con los precios de unidad de obra correspondientes a los perfiles (1,76  $\frac{\text{€}}{\text{kg}}$ ) y a las correas (1,91  $\frac{\text{€}}{\text{kg}}$ ), se presupuestó el precio por metro cuadrado para cada ubicación. El presupuesto desglosado se puede ver en el Anejo nº 2.

### 1.12 Componente teórica

En el siguiente apartado se detallan las bases teóricas utilizadas para el cálculo de la estructura metálica, en función de lo establecido en el documento de “Diseño y cálculo de estructuras” (Guerra Romero, 2020) y en las normativas actuales: el Eurocódigo 3 “EC3” (Asociación Española de Normalización y Certificación., 2012), documentos regulados por el Código Técnico de la Edificación (España. Ministerio de la Vivienda, 2006 y 2008) y la Instrucción de Acero Estructural “EAE” (España. Ministerio de la Presidencia, 2011).

#### 1.12.1 Verificación de ELU

En el procedimiento de verificación de los Estados Límite Último se ha comprobado que los efectos de los esfuerzos son inferiores a la capacidad resistente de la estructura:

$$E_d \leq R_d$$

La resistencia de cálculo del acero se ha calculado teniendo en cuenta los coeficientes parciales de minoración, dados en el DB SE y EAE, y que se muestran en la Tabla 11.

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{Mk}}$$

**Tabla 11. Coeficientes parciales para la resistencia de ELU.**

		Tabla 15.3 EAE	Eurocodigo 3 (EC3)
<b>Resistencia de las secciones</b>	$\gamma_{M0}$	1,05	1,00
<b>Resistencia frente al pandeo</b>	$\gamma_{M1}$	1,05	1,00
<b>Resistencia de las uniones</b>	$\gamma_{M2}$	1,25	1,25

A continuación se indican los criterios de verificación seguidos en este estudio y las fórmulas utilizadas para el cálculo de la resistencia de las secciones al esferuzo axil y al momento flector. En este estudio no se han considerado los esfuerzos cortantes y los momentos torsores, por considerar que son de menor importancia en el dimensionamiento de los pórticos que se han analizado.

La resistencia a esfuerzo axil en los perfiles utilizados en este estudio, secciones de clase 1, 2 y 3, viene dada por la siguiente fórmula:

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Teniéndose que verificar que:

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd}$$

La resistencia a momento flector de los perfiles IPE y HEB, con los que se han diseñado los pórticos objeto de este estudio, viene dada por las fórmulas que figuran en la Tabla 11.

**Tabla 12. Resistencia de cálculo a flexión respecto a un eje principal. Fuente: 6.2.5 (AENOR, 2012), art.34.4 (España. Ministerio de la Presidencia, 2011).**

Tipo de secciones	Resistencia de la sección
<b>Resistencia plástica: secciones clase 1 y 2</b>	$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd}$
<b>Resistencia elástica: secciones clase 3</b>	$M_{el,Rd} = W_{el} \cdot f_{yd}$
<b>Resistencia secciones clase 4</b>	$M_{0,Rd} = W_{eff} \cdot f_{yd}$

La verificación de las secciones solicitadas a flexión simple (momento flector y esfuerzo cortante) se ha llevado a cabo siguiendo el criterio del EC3 y de la EAE. Se debe verificar la siguiente condición:

$$M_{Ed} \leq M_{V,Rd}$$

Siendo el momento flector  $M_{y,Ed}$ , y  $M_{y,V,Rd}$  el valor de cálculo de la resistencia plástica a flexión, reducida por la presencia de esfuerzo cortante .Véase la

Tabla 13.

Tabla 13. Fórmulas de interacción simplificadas. Obtenidas de: apartado 6.2.8 (España. Ministerio de la Vivienda, 2008) apartado 6.2.8 (AENOR, 2012) y art. 34.7.1(España. Ministerio de la Presidencia, 2011).

Tipo de secciones	Fórmulas	Comentarios
Secciones en I o H Cortante en z-z y momento en el eje y-y	$M_{y,V,Rd} = \left( W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_{vz}^2}{4t_w} \right) \cdot f_{yd}$	Siendo $\rho = \left( 2 \frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} - 1 \right)^2$
Si se cumple que:	$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$	No es necesario hacer la interacción M-V
<b>En ningún caso podrá ser que:</b> $M_{V,Rd} > M_{Rd}$		

La verificación de secciones solicitadas a flexión compuesta (momento flector y esfuerzo axial) se ha llevado a cabo siguiendo el criterio del EC3 y de la EAE. Para las secciones de clase 1 y 2 se debe verificar:

$$\left( \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right)^\beta \leq 1$$

Donde  $M_{N,y,Rd}$  es la resistencia plástica a flexión y los exponentes se obtienen de la Tabla 14.

Tabla 14. Exponentes en función de la sección.

Tipo de sección	$\alpha$	$\beta$
I, H	2	$5n \geq 1$

En presencia de un esfuerzo axial el cálculo de la resistencia plástica a flexión para perfiles laminados o armados en I o H viene determinado por:

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \left( 1 - \left( \frac{n - \alpha}{1 - \alpha} \right)^2 \right)$$

Donde n es el grado de aprovechamiento del esfuerzo axial:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

Y  $\alpha$  la proporción de área en toda la sección del perfil:

$$\alpha = \frac{A - 2bt_f}{A}$$

Para las secciones de clase 3 basta con que se cumpla la siguiente condición:

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

### 1.12.2 Resistencia de las barras a compresión.

Los pilares y dinteles de los pórticos que trabajan a compresión pueden pandear y se debe verificar que el esfuerzo axial ( $N_{Ed}$ ) es inferior a la resistencia a pandeo de la barra ( $N_{b,Rd}$ ):

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

En una sección constante, la resistencia de una barra a pandeo viene determinada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A: Área eficaz en los perfiles de clase 4.

X: Coeficiente de reducción por pandeo, obtenido por la esbeltez de la pieza y la curva de pandeo.

$f_{yd}$  : es la tensión admisible del acero.

Para calcular esta resistencia a pandeo se ha seguido el siguiente procedimiento en cada barra:

1. Se halla la longitud de pandeo de las barras:  $L_k = \beta L$ . En cada tipo de pórtico se ha determinado el coeficiente  $\beta$ , según se explica en el apartado anterior. Se ha considerado que en los dinteles las correas sirven de arriostamiento al pandeo y en los pilares que el cerramiento lo impide por completo en su plano.

2. Se halla la esbeltez mecánica:

$$\lambda_z = \frac{L_k}{i_z} \quad \lambda_y = \frac{L_k}{i_y}$$

- I. Cálculo de esbeltez relativa entre ejes.

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_E} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Siendo,

$$\lambda_E = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

1. Curva de pandeo entre los dos ejes principales de la sección y cálculo del coeficiente de reducción (véase la Tabla 15)
2. Se halla  $N_{b,Rd}$ .

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

Tabla 15. Valores del coeficiente de reducción por pandeo  $\chi$  (España. Ministerio de la Vivienda, 2008).

Tabla 6.3 Valores del coeficiente de pandeo ( $\chi$ )					
Esbeltez reducida	Curva de pandeo				
	$a_0$	a	b	c	d
Coeficiente ( $\alpha$ ) de imperfección	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76
$\leq 0,20$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,30	0,99	0,98	0,96	0,95	0,92
0,40	0,97	0,95	0,93	0,90	0,85
0,50	0,95	0,92	0,88	0,84	0,78
0,60	0,93	0,89	0,84	0,79	0,71
0,70	0,90	0,85	0,78	0,72	0,64
0,80	0,85	0,80	0,72	0,66	0,58
0,90	0,80	0,73	0,66	0,60	0,52
1,00	0,73	0,67	0,60	0,54	0,47
1,10	0,65	0,60	0,54	0,48	0,42
1,20	0,57	0,53	0,48	0,43	0,38
1,30	0,51	0,47	0,43	0,39	0,34
1,40	0,45	0,42	0,38	0,35	0,31
1,50	0,40	0,37	0,34	0,31	0,28
1,60	0,35	0,32	0,31	0,28	0,25
1,80	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21
2,00 <sup>(1)</sup>	0,23	0,22	0,21	0,20	0,18
2,20 <sup>(1)</sup>	0,19	0,19	0,18	0,17	0,15
2,40 <sup>(1)</sup>	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13
2,70 <sup>(2)</sup>	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11
3,00 <sup>(2)</sup>	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09

<sup>(1)</sup> esbeltez intolerable en los elementos principales  
<sup>(2)</sup> esbeltez intolerable incluso en elementos de arriostramiento

1.12.3 Barras a flexión: Pandeo lateral.

El cálculo de la resistencia de una barra a pandeo lateral se ha realizado siguiendo el siguiente procedimiento:

1. Se ha calculado el momento crítico (véase los términos de la fórmula en la **Tabla 16**):

$$M_{cr} = C_1 \cdot k_2 \frac{\pi}{L} \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_T} \sqrt{1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L^2 \cdot G \cdot I_T}}$$

Tabla 16. Terminología, fórmula cálculo de pandeo lateral.

$C_1$	Es el factor de momento equivalente que depende del diagrama de momentos flectores (Tabla 19).
$L$	Longitud de la barra entre puntos arriostrados a pandeo lateral
$I_z$	Momento de inercia de la sección respecto del eje débil.

$I_T$	Módulo de torsión.
$I_w$	Módulo de alabeo.
$k_2$	Coefficiente relativo a la posición de la carga respecto al centroide. El DB SE-A adopta por defecto la unidad.
$E, G$	Módulos de Yung y de rigidez del acero, siendo su valor de 210 y 80 GPa respectivamente.

2. Cálculo de la esbeltez adimensional:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

Donde:

$W_y$ : Módulo resistente de la sección correspondiente a su clase.

$f_y$ : Resistencia característica del acero (sin minorar).

$M_{cr}$ : Momento crítico de la viga.

3. Determinación de la curva de pandeo, según la Tabla 17.

**Tabla 17. Curva de pandeo y factor de imperfección.**

Elemento	Límites	Curva de pandeo	$\alpha_{LT}$
Perfil laminado con sección en doble T	$h/b \leq 2$	A	0,21
	$h/b > 2$	B	0,34

4. Coeficiente  $\chi$ . A partir de la esbeltez y la curva de pandeo se toma el valor de este coeficiente adimensional (ver Tabla 18).

5. Resistencia de la barra a pandeo lateral ( $M_{b,Rd}$ ):

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

En todos los casos se debe verificar la siguiente condición de ELU:

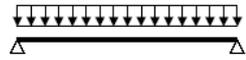
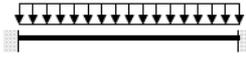
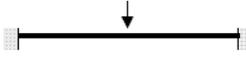
$$M_{y,Ed} \leq M_{b,Rd}$$

Tabla 18. Determinación del coeficiente  $\chi$  (España. Ministerio de la Vivienda, 2008).

$\bar{\lambda}$	$\chi$				
	Curva a <sub>0</sub>	Curva a	Curva b	Curva c	Curva d
0,21	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99
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	0,33	0,31	0,28	0,25
1,7	0,31	0,30	0,28	0,26	0,23
1,8	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21
1,9	0,26	0,24	0,23	0,21	0,19
2,0	0,23	0,22	0,21	0,20	0,18

*“Las barras con un perfil igual o superior a 2 son inadmisibles (DB-SE-A, 6.3.2.1)”*

Tabla 19. Valores comunes de C<sub>1</sub>.

Condiciones de carga y apoyo	Diagrama de momentos de flexión	C <sub>1</sub>
		1,127
		2,578
		1,348
		1,683

1.12.4 INTERACCION ESFUERZOS EN BARRAS.

Por último, las barras de los pórticos analizados en este estudio verifican las dos condiciones siguientes:

Pandeo en el plano débil del perfil (eje z-z):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

Pandeo en el plano fuerte del perfil (eje y-y):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

Los coeficientes de momento equivalente fueron mencionados en la Tabla 9 en función del diagrama de momentos flectores de la viga en cuestión, y los coeficientes  $k_{ij}$  figuran en la Tabla 20. En los dinteles se ha tomado por defecto  $C_{m,i} = 0,9$ , siguiendo la recomendación del DB SE-A.

Tabla 20. Coeficientes de interacción (España. Ministerio de la Presidencia, 2011)(AENOR, 2012).

Denominación EAE y EC3	Clase 1-2	Clase 3-4
$k_{yy}$	$C_{my} \left[ 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} \right]$ <p style="text-align: center;">o</p> $C_{my} \left[ 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} \right]$ <p style="text-align: center;">El menor de los dos</p>	$C_{my} \left[ 1 + 0,6\bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} \right]$ <p style="text-align: center;">o</p> $C_{my} \left[ 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} \right]$ <p style="text-align: center;">El menor de los dos</p>
$k_{yz}$	$0,6k_{zz}$	$k_{zz}$
$k_{zy}$	<p style="text-align: center;"><b>Para <math>\bar{\lambda}_z \geq 0,4</math></b></p> $\left[ 1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right]$ <p style="text-align: center;">o</p> $\left[ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right]$ <p style="text-align: center;">El mayor de los dos</p> <hr/> <p style="text-align: center;"><b>Para <math>\bar{\lambda}_z &lt; 0,4</math>:</b></p> <p style="text-align: center;"><math>[0,6 + \bar{\lambda}_z]</math></p> <p style="text-align: center;">o</p> $\left[ 1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right]$ <p style="text-align: center;">el menor de los dos</p>	$\left[ 1 - \frac{0,05\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right]$ <p style="text-align: center;">o</p> $\left[ 1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right]$ <p style="text-align: center;">El mayor de los dos</p>
$k_{zz}$	$C_{mz} \left[ 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right]$ <p style="text-align: center;">o</p> $C_{mz} \left[ 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right]$ <p style="text-align: center;">El menor de los dos</p>	$C_{mz} \left[ 1 + (0,6\bar{\lambda}_z) \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right]$ <p style="text-align: center;">o</p> $C_{mz} \left[ 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right]$ <p style="text-align: center;">El menor de los dos</p>

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1.13 Perfiles obtenidos en el dimensionamiento de los pórticos:

Calculados todos los pórticos para cada una de las ubicaciones, y en dos situaciones diferentes biempotrado y biarticulado, se han obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 21. Perfiles de los pórticos biarticulados en diferentes ubicaciones. Pórticos de 20 m. de luz, 6 m. de altura y 15 % de pendiente.**

Pórtico biarticulado					
Ubicación	Altitud (m)	Carga de nieve ( $\frac{kN}{m^2}$ )	Pilar	Dintel	Correas
Ponferrada	512	0,7	IPE 400	IPE 300	CF 160 x 2,5
Zamora	652	0,4	IPE 330	IPE 270	CF 140 x 2,5
Valladolid	698	0,4	IPE 330	IPE 270	CF 140 x 2,5
Salamanca	802	0,5	IPE 360	IPE 270	CF 140 x 2,5
León	837	1,2	IPE 450	IPE 360	CF 200 x 2,5
Burgos	856	0,6	IPE 360	IPE 270	CF 140 x 2,5
Segovia	1005	0,7	IPE 360	IPE 300	CF 160 x 2,5
Soria	1063	0,9	IPE 400	IPE 300	CF 180 x 2,5
Ávila	1132	1,0	IPE 400	IPE 330	CF 180 x 2,5

**Tabla 22. Perfiles de los pórticos biempotrados en diferentes ubicaciones. Pórticos de 20 m. de luz, 6 m. de altura y 15 % de pendiente.**

Pórtico biempotrado					
Ubicación	Altitud (m)	Carga de nieve ( $\frac{kN}{m^2}$ )	Pilar	Dintel	Correas
Ponferrada	512	0,7	IPE 360	IPE 270	CF 160 x 2,5
Zamora	652	0,4	IPE 300	IPE 220	CF 140 x 2,5
Valladolid	698	0,4	IPE 300	IPE 220	CF 140 x 2,5
Salamanca	802	0,5	IPE 300	IPE 240	CF 140 x 2,5
León	837	1,2	IPE 450	IPE 330	CF 200 x 2,5
Burgos	856	0,6	IPE 330	IPE 240	CF 140 x 2,5
Segovia	1005	0,7	IPE 360	IPE 270	CF 160 x 2,5
Soria	1063	0,9	IPE 360	IPE 270	CF 180 x 2,5
Ávila	1132	1,0	IPE 400	IPE 300	CF 180 x 2,5

En la Tabla 21, se pueden ver los perfiles obtenidos para el pórtico biarticulado. Los pórticos de Zamora y Valladolid tienen los mismos perfiles tanto para los pilares como para los

dinteles. Aunque ambas ciudades están situadas a diferente altitud, el valor de la sobrecarga de nieve es el mismo, al pertenecer a zonas invernales distintas. Esto mismo sucede en el pórtico de Burgos y Salamanca, que al igual que en el caso anterior debido a la proximidad de los valores de carga de nieve, cuentan con los mismos perfiles. Las ciudades situadas en mayores altitudes, Soria, Ávila y Segovia, tienen perfiles mayores, debido al incremento de la carga de nieve. No obstante Ponferrada, situada a 512 metros de altitud, cuenta con el mismo perfil que Soria, situada a 1063 metros; esto se debe a que ambas ciudades están en diferentes zonas climáticas, pero cuentan con valores de sobrecarga muy próximos. La mayor sobrecarga de nieve en la comunidad castellanoleonesa es la de la ciudad de León, situada a 837 metros de altitud y en la zona invernal 1. Los pórticos para esta ciudad son los que requieren los perfiles de mayor tamaño.

En el análisis de los datos obtenidos de los pórticos biempotrados en la Tabla 22, se muestran unos datos muy similares a los obtenidos en los pórticos empotrados. En todos los pórticos empotrados, hay una disminución de los perfiles, si se comparan con los pórticos articulados. De nuevo en la ciudad de León, situada zona invernal 1, se ha obtenido el perfil de mayores dimensiones.

Siguiendo la misma metodología, en la zona climática del noroeste peninsular, se dimensionaron las correas obteniéndose diferentes perfiles en función de la altitud.

**Tabla 23. Dimensiones pórtico biarticulado, situado en el noroeste peninsular. Pórticos de 20 m. de luz, 6 m. de altura y 15 % de pendiente.**

Altitud (m)	Carga de nieve ( $\frac{kN}{m^2}$ )	Pilar	Dintel	Correas
200	0,5	IPE 360	IPE 270	CF 120 x 3
400	0,6	IPE 360	IPE 300	CF 120 x 3
600	0,9	IPE 400	IPE 330	CF 160 x 2,5
800	1,2	IPE 450	IPE 360	CF 200 x 2.5
1000	1,7	IPE 500	IPE 360	CF 225 x 2.5
1200	2,3	IPE 550	IPE 400	CF 275 x 2,5
1400	3,2	HEB 400	IPE 450	CF 250 x 4
1500	3,7	HEB 450	IPE 500	CF 275 x 4

En los datos de los pórticos biarticulados de la Tabla 23, se puede observar cómo los perfiles van aumentando en función de la altitud. En la cota de 1400 y 1500 metros se ha tenido que

seleccionar otra tipología de perfil. En ambos casos se ha optado un perfil HEB, dado que el IPE y el HEA no cumplían las comprobaciones en los pilares.

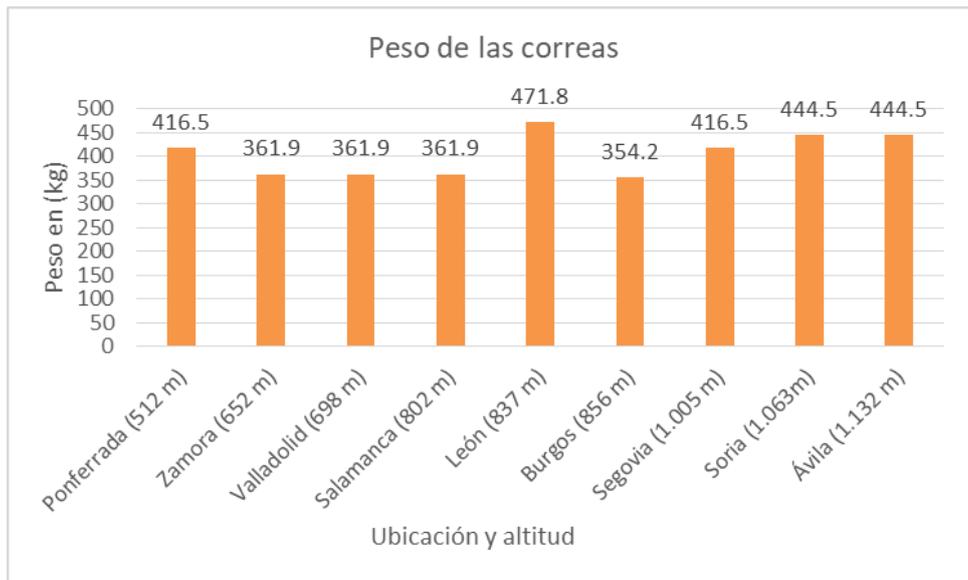
**Tabla 24. Perfiles para los pórticos biempotrados en función de la altitud, en la zona climática 1.**  
**Pórticos de 20 m. de luz, 6 m. de altura y 15 % de pendiente.**

Altitud (m)	Carga de nieve $\frac{kN}{m^2}$	Pilar	Dintel	Correas
200	0,5	IPE 300	IPE 240	CF 120 x 3
400	0,6	IPE 330	IPE 270	CF 120 x 3
600	0,9	IPE 400	IPE 300	CF 160 x 2,5
800	1,2	IPE 450	IPE 330	CF 200 x 2.5
1000	1,7	IPE 500	IPE 360	CF 225 x 2.5
1200	2,3	IPE 550	IPE 400	CF 275 x 2,5
1400	3,2	HEB 400	IPE 450	CF 250 x 4
1500	3,7	HEB 450	IPE 550	CF 275 x 4

Comparando los perfiles de la Tabla 24 con los de la Tabla 23 solo hay diferencia de perfiles en las cotas de 200 y 400 metros de altitud. En ambos casos los perfiles son menores para el pórtico biempotrado. De igual manera que para los cálculos del pórtico articulado, en las altitudes de 1400 y 1500 metros no se encontró ningún perfil de la serie IPE que cumpliera las comprobaciones; por ello se seleccionó un perfil HEB.

#### 1.14 Peso de los pórticos y de las correas

Con las dimensiones de las correas y los pórticos: se calcularon los pesos correspondientes. El peso de las correas es mayor en las ciudades con mayor carga de nieve, como se puede observar en la Figura 21.



**Figura 21. Variación del peso de las correas (kg) de un pórtico tipo, en las diferentes ciudades. Pórticos de 20 m. de luz, 6 m. de altura y 15 % de pendiente.**

La Figura 21 muestra una relación entre la altitud y el peso de las correas. Ciudades como Zamora, Valladolid y Salamanca, situadas en cotas próximas y en la misma zona invernal tienen correas con un peso idéntico. Esto mismo ocurre en Soria y Ávila. En la gráfica se puede observar que con el aumento de la altitud aumenta el peso de las correas; sin embargo, las correas de mayor perfil y por consiguiente peso se han dado en la ciudad de León. Aunque no es la ciudad de mayor altitud, al estar situada en una zona invernal con mayor carga de nieve supone un aumento del perfil.

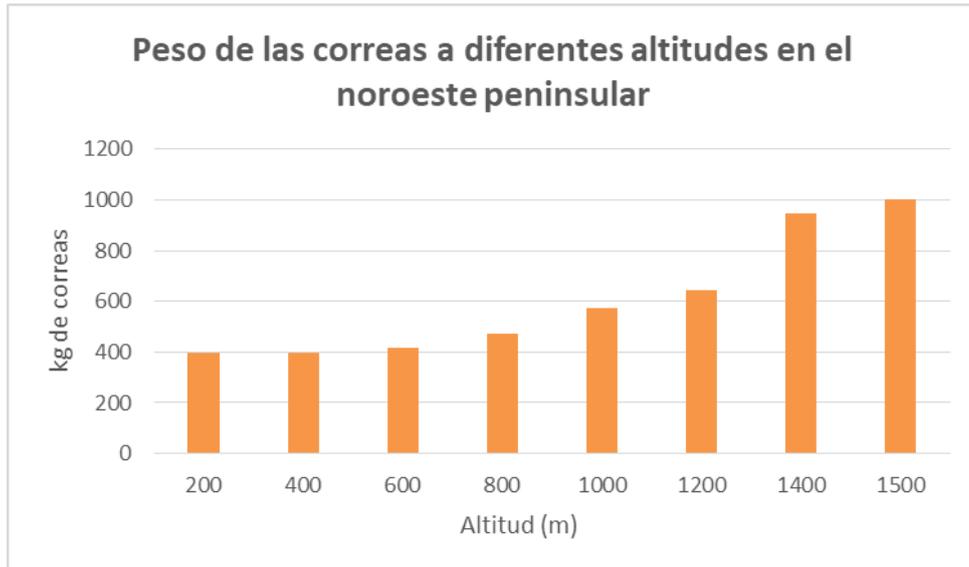


Figura 22. Variación del peso de las correas (Kg) de un pórtico tipo, en la zona invernal 1 (noroeste peninsular). Pórticos de 20 m. de luz, 6 m. de altura y 15 % de pendiente.

De igual manera, en la Figura 22 se puede ver como a mayor altitud, con el aumento de la carga de nieve, aumenta el peso de las correas.

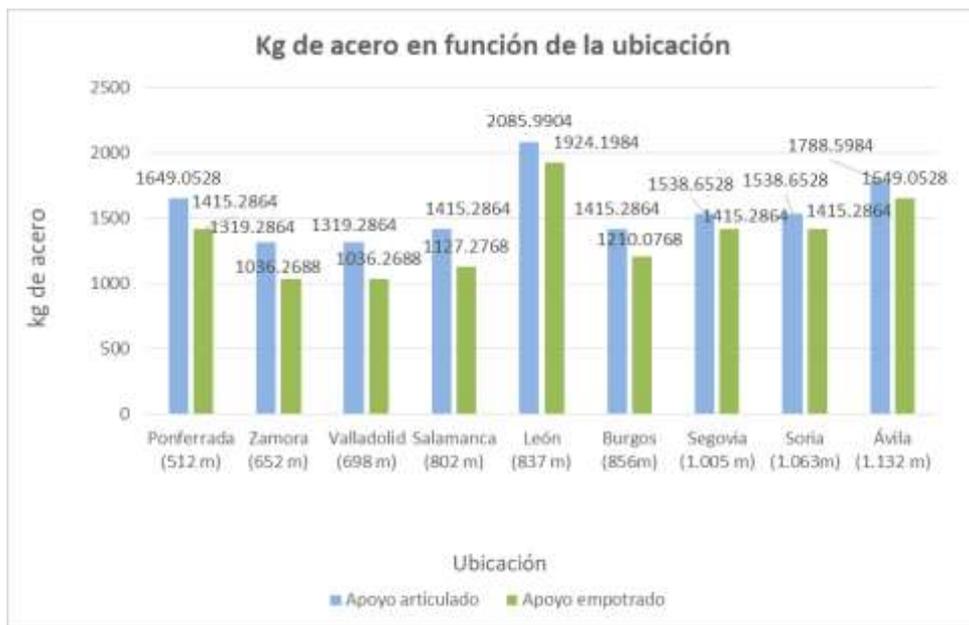
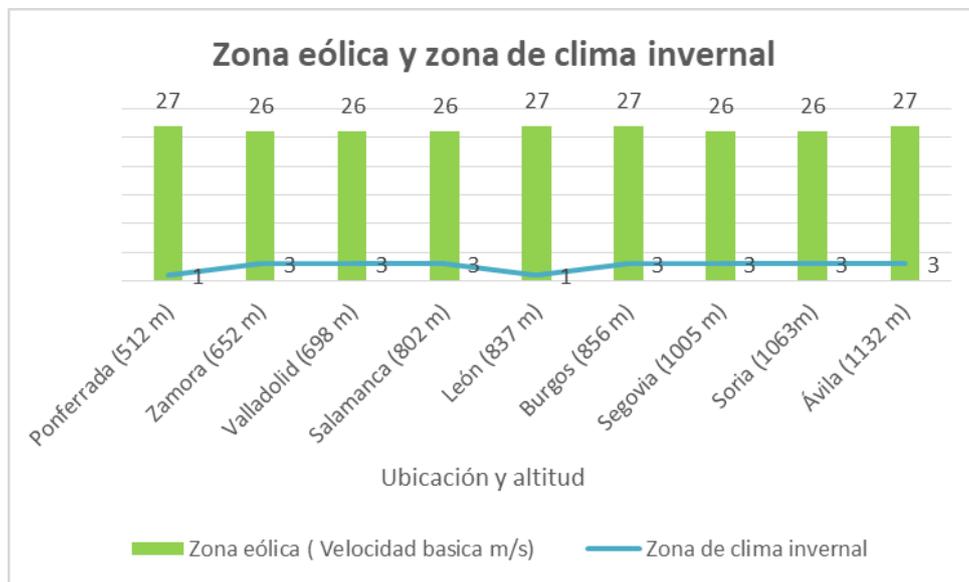


Figura 23. Peso en kg de acero de un pórtico tipo en distintas ciudades de Castilla y León. Pórticos de 20 m. de luz, 6 m. de altura y 15 % de pendiente.

Si se comparan las ciudades en función de sus zonas eólicas (velocidad básica del viento) y clima invernal (carga de nieve) (véase la Figura 24), León cuenta con las condiciones climáticas más adversas para el dimensionamiento de las estructuras; estas condiciones son: zona de clima invernal 1 y una velocidad del viento de 27 m/s. Estas dos acciones (viento y nieve) incrementan los esfuerzos sobre la estructura; a mayor esfuerzo mayor sección de pórticos y correas, como se puede ver en la Figura 23. La carga de nieve, aparte de la zona invernal, depende de la altitud; por ello Ponferrada, situada en la zona invernal 1 y a 512 m, cuenta con una situación de sobrecarga más favorable que Ávila que está, en la zona invernal 3 y a 1132 m.



**Figura 24. Zona eólica y zona de clima invernal. Datos obtenidos de: (DB SE-AE). Pórticos de 20 m. de luz, 6 m. de altura y 15 % de pendiente.**

### 1.15 Estimación del coste de la estructura

En este apartado se muestran los resultados de calcular el valor económico una estimación del coste, de la unidad estructural objeto de este estudio. Esta unidad estructural está formada por el coste de un pórtico interior y de las correas correspondientes a un vano. El coste se ha calculado multiplicando el peso de las barras de cada pórtico y de las correas por el precio unitario de la correspondiente unidad de obra.



Figura 25. Coste unitario (€/m<sup>2</sup>) de pórtico articulado, empotrado y diferencia entre ambos. En las ciudades de Castilla y León. Pórticos de 20 m. de luz, 6 m. de altura y 15 % de pendiente.

La Figura 25 muestra la diferencia del coste que hay entre el pórtico articulado, el empotrado y la diferencia entre ambos. En las ciudades situadas a mayor altitud hay menos diferencia de coste entre ambas tipologías. Esto pudiera ser porque los perfiles, al ser mayores soportan un mayor rango de cargas. Zamora, Valladolid y Salamanca son las ciudades donde es más económico el pórtico; por el contrario, las de mayor coste son León, Ávila, Ponferrada y Soria.

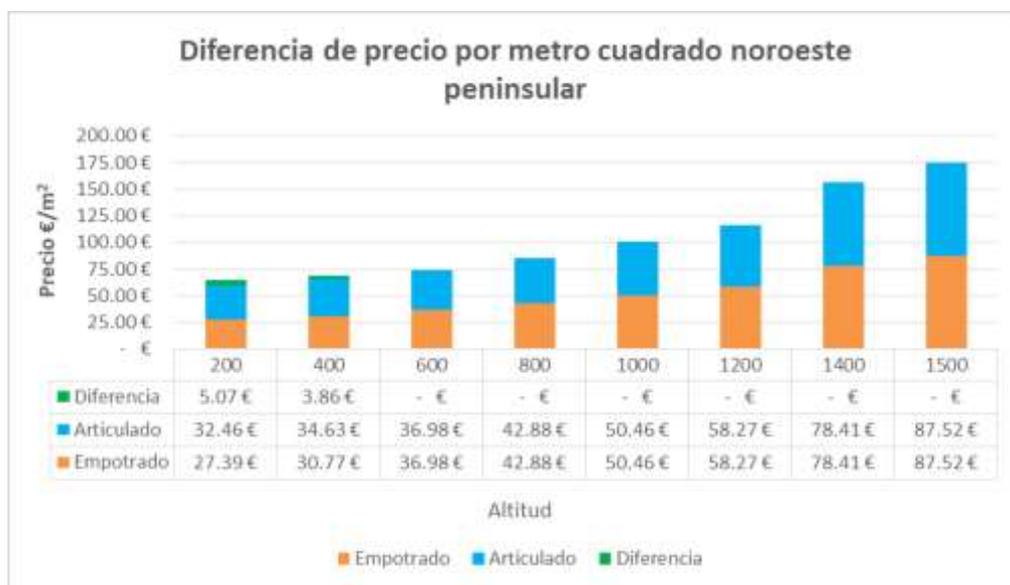


Figura 26. Coste unitario (€/m<sup>2</sup>) de pórtico articulado, empotrado y diferencia entre ambos. En la zona noroeste peninsular. Pórticos de 20 m de luz, 6 m de altura y 15 % de pendiente.

En la Figura 26 la diferencia del coste de pórtico articulado y empotrado, en el noroeste peninsular, es nula excepto en los pórticos situados a menor altitud. Aunque inicialmente el

pórtico articulado es más económico que el empotrado, en altitudes superiores a 400 metros se igualan los perfiles. Esto se justifica porque el mismo perfil cumple ampliamente con las necesidades de resistencia en el caso del pórtico empotrado, mientras que en el articulado cumple el mismo perfil pero al límite.



Figura 27. Valor de los pórticos en €/m<sup>2</sup> en las distintas ciudades de Castilla y León. Se muestran los pórticos biarticulados y biempotrados. Pórticos de 20 m de luz, 6 m de altura y 15 % de pendiente.

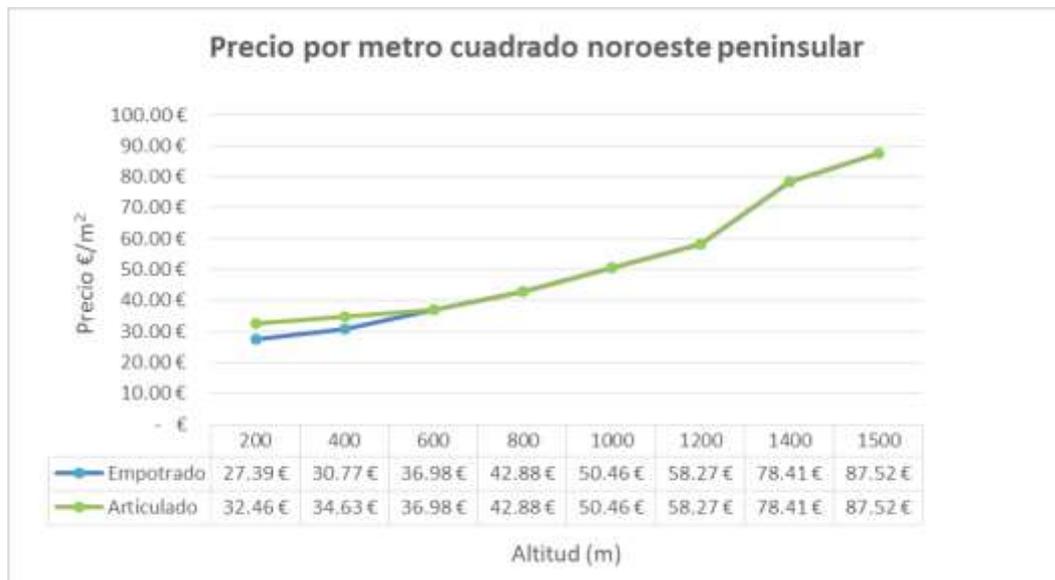


Figura 28. Valor de los pórticos en €/m<sup>2</sup> y su evolución en función de la altitud en la zona invernall 1. Pórticos de 20 m de luz, 6 m de altura y 15 % de pendiente.

Finalmente se ha obtenido por un lado el coste estimado por metro cuadrado en las diferentes ciudades, tal y como se muestra en la Figura 28. Las ciudades con menor coste por metro

cuadrado son Zamora y Valladolid. Por el contrario, las de mayor coste son León y Ávila. En las ciudades con mayor carga de nieve se han obtenido mayores perfiles.

En la zona invernal 1, donde se encuentra la ciudad de León, la Figura 28 muestra un aumento del coste con la altitud.

### CONCLUSIONES

A la vista de los resultados se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Con el incremento de la carga de nieve, aumentan los perfiles.
- León, Ávila, Soria y Ponferrada son las ciudades que tienen mayor coste por metro cuadrado en la estructura metálica.
- La ciudad de León tiene perfiles (correas, dinteles y pilares) superiores a la ciudad de Ponferrada, pese a estar situada en la misma zona invernal y eólica. De igual manera Ávila, la ciudad situada a mayor altitud, al estar situada en una zona invernal con menor incremento de carga de nieve, tiene menores perfiles.
- La carga de nieve aumenta con la altitud y con la zona invernal. En León es mayor que en las otras ciudades analizadas.
- En la zona invernal 1, donde se encuentran ubicadas las ciudades de León y Ponferrada, el coste de la estructura metálica por metro cuadrado aumenta con la altitud.
- El pórtico biempotrado es más económico que el pórtico biarticulado en las 9 ciudades analizadas en este estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

Allen, M. R., Babiker, M., Chen, Y., Coninck, H. de, Connors, S., van Diemen, R., Pauline Dube, O., Ebi, K. L., Engelbrecht, F., Ferrat, M., Ford, J. y Forster, P. (2018) "Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change,". Geneva, Switzerland: IPCC, World Meteorological Organization, p. 32.

Altunişik, A. C., Ateş, Ş. y Hüsem, M. (2017) "Lateral buckling failure of steel cantilever roof of a tribune due to snow loads", *Engineering Failure Analysis*, 72, pp. 67-78.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2012) *UNE-EN 1993-1-3:2012: Eurocodigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-3: Reglas generales. Reglas adicionales para perfiles y chapas de paredes delgadas conformadas en frío*. AENOR.

CYPE Ingenieros (2020) *CYPE 2021 (versión campus 2021.a) [Programa de ordenador]*. Alicante: CYPE Ingenieros.

España. Ministerio de la Presidencia (2011) "Real Decreto 751/2011, de 27 de mayo, por el que se aprueba la Instrucción de Acero Estructural (EAE).", *Boletín Oficial del Estado*, 23 de junio de 2011, 149, pp. 67148-67846.

España. Ministerio de la Vivienda (2006) *Documento basico SE-AE: seguridad estructural, acciones en la edificación*. Madrid: Ministerio de la vivienda.

España. Ministerio de la Vivienda (2008) *Documento basico SE-A: seguridad estructural, acero*. Madrid: Ministerio de la vivienda.

Ferraz Campo, J. (1982) "El manto nivoso", *Geographicalia*, 13-16, pp. 135-142.

Guerra Romero, M. I. (2020) *Diseño y calculo de estructuras de acero*. Documentación básica para el diseño y calculo de estructuras de acero en Ingeniería Agraria y Forestal. Universidad de León.

Heilig, A. (2019) *Cargas de nieve equilibradas y desequilibradas para cubiertas curvas según ASCE 7-16, Dlubal, Software de análisis y dimensionamiento de estructuras*. Disponible en: <https://www.dlubal.com/es/soporte-y-formacion/soporte/base-de-datos-de-conocimientos/001591> (Accedido: 23 de agosto de 2020).

Hierros y transformados S.A. (sin fecha) *Ficha Tecnica Correa Tipo C*.

Panelais Producciones (2016) *Catálogo panel sandwich*.

Portillo, G. (2008) *Los copos de nieve, ¿cómo se forman y de qué dependen sus tipos?* Disponible en: <https://www.meteorologiaenred.com/copos-de-nieve.html> (Accedido: 3 de noviembre de 2020).

Rajadel, L. (2020) "El peso de la nieve hunde el techo de pabellones y naves industriales en el Bajo Aragón y el Matarraña", *Heraldo*, 21 enero. Disponible en: <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/teruel/2020/01/21/el-peso-de-la-nieve-hunde-los-tejados-de-pabellones-y-de-naves-industriales-en-el-bajo-aragon-y-el-matarrana-1354538.html> (Accedido: 9 de diciembre de 2020).

Rodríguez Jiménez, R. M., Benito Capa, Á. y Portela Lozano, A. (2004) *Meteorología y climatología unidad didáctica : Semana de la Ciencia y la Tecnología 2004*. 1.ª ed. Madrid:

Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.

Serna Jara, L. M., Flores Yepes, J. A. y Baños Foss, A. (2016) "Análisis de las acciones variables de viento y nieve en construcciones industriales de pórticos metálicos.", *Técnica industrial*, 313(1), pp. 54-61.

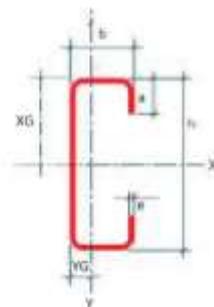
Tanner, P., Morata, A., Almarza Mata, C. y Luna Rico, M. Y. (2004) "Sobrecarga de nieve máxima sobre una superficie horizontal: diferencias regionales en España.", *El clima, entre el mar y la montaña.*, 4(1), pp. 85-94.

ANEJOS

1.16 Anejo nº 1

Catálogo comercial, correas tipo C adecuadas para cubiertas con menos de un 20 % de pendiente.

Tabla 25. Características de los perfiles tipo C desde C-80 hasta C-160 (Hierros y transformados S.A., sin fecha, p.5).



h = Altura del perfil  
 b = Anchura Ala  
 a = Altura Ala  
 e = Espesor.  
 YG = Distancia del centro de gravedad al ala inferior.  
 XG = Distancia del centro de gravedad a la cara exterior.

PERFIL	DIMENSIONES				P Kg/m	A Cm <sup>2</sup>	YG cm	XG cm	EJE X			EJE Y		
	h mm	b mm	a mm	e mm					Ix cm <sup>4</sup>	Wx Cm <sup>3</sup>	ax cm	Iy cm <sup>4</sup>	Wy Cm <sup>3</sup>	ay cm
80x40	80	40	15	1,5	2,10	2,84	4,00	1,48	28,48	7,12	3,26	6,68	2,65	1,57
80x40	80	40	15	2,0	2,73	3,48	4,00	1,48	36,89	9,22	3,26	8,51	3,38	1,56
80x40	80	40	15	2,5	3,38	4,25	4,00	1,48	45,02	11,25	3,25	10,25	4,07	1,55
80x50	80	50	15	1,5	2,33	2,99	4,00	1,91	33,12	8,28	3,33	11,29	3,65	1,94
80x50	80	50	15	2,0	3,06	3,88	4,00	1,91	42,98	10,74	3,33	14,50	4,69	1,93
80x50	80	50	15	2,5	3,77	4,75	4,00	1,91	52,53	13,13	3,33	17,56	5,68	1,92
100x50	100	50	15	2,0	3,41	4,27	5,00	1,71	66,20	13,20	3,94	14,00	4,20	1,81
100x50	100	50	15	2,5	4,18	5,27	5,00	1,71	80,80	16,20	3,91	16,80	5,10	1,78
100x50	100	50	15	3,0	4,92	6,26	5,00	1,71	94,50	18,90	3,89	19,40	5,90	1,76
100x50	100	50	15	4,0	6,31	8,25	5,00	1,71	122,95	24,65	3,84	24,83	7,62	1,71
115x50	115	50	15	2,0	3,61	4,58	5,75	1,66	113,08	17,07	4,53	15,33	4,60	1,84
115x50	115	50	15	2,5	4,45	5,65	5,75	1,61	118,66	19,75	4,45	17,59	5,20	1,76
115x50	115	50	15	3,0	5,25	6,71	5,75	1,61	139,19	23,13	4,42	20,31	6,00	1,74
120x50	120	50	19	2,0	3,82	4,67	6,00	1,59	109,48	17,15	4,65	14,82	4,31	1,79
120x50	120	50	19	2,5	4,73	5,77	6,00	1,59	138,28	21,15	4,61	17,76	5,21	1,76
120x50	120	50	19	3,0	5,63	6,86	6,00	1,59	162,42	24,78	4,59	20,51	6,01	1,74
120x50	120	50	19	4,0	7,10	9,05	6,00	1,59	216,14	32,47	4,53	26,23	7,73	1,69
125x50	125	50	19	2,0	3,82	4,77	6,25	1,54	112,00	17,90	4,85	15,10	4,40	1,78
125x50	125	50	19	2,5	4,73	5,90	6,25	1,54	137,10	21,90	4,82	18,20	5,30	1,76
125x50	125	50	19	3,0	5,63	7,01	6,25	1,54	160,90	25,70	4,79	21,00	6,10	1,73
125x50	125	50	19	4,0	7,25	9,25	6,25	1,54	210,02	33,53	4,73	26,95	7,82	1,68
140x50	140	50	19	2,0	4,13	5,07	7,0	1,44	144,06	20,85	5,38	15,71	4,49	1,77
140x50	140	50	19	2,5	5,06	6,27	7,0	1,44	179,47	25,59	5,3	18,93	5,39	1,74
140x50	140	50	19	3,0	5,98	7,46	7,0	1,44	210,96	30,08	5,31	21,85	6,19	1,72
140x50	140	50	19	4,0	7,72	9,85	7,0	1,44	278,51	39,35	5,25	28,02	7,91	1,67
150x50	150	50	19	2,0	4,21	5,27	7,50	1,41	172,80	23,00	5,73	16,10	4,50	1,75
150x50	150	50	19	2,5	5,22	6,52	7,50	1,41	211,80	28,20	5,70	19,30	5,40	1,72
150x50	150	50	19	3,0	6,22	7,76	7,50	1,41	249,20	33,20	5,67	22,30	6,20	1,70
150x50	150	50	19	4,0	8,04	10,25	7,50	1,41	325,87	43,43	5,61	28,53	7,92	1,65
150x60	150	60	19	2,0	4,76	5,88	7,50	1,90	205,02	27,34	5,90	29,25	7,13	2,23
150x60	150	60	19	2,5	5,89	7,29	7,50	1,90	251,99	33,60	5,88	35,51	8,66	2,21
150x60	150	60	19	3,0	6,97	9,01	7,50	1,89	295,77	39,40	5,85	41,10	10,00	2,18
150x60	150	60	19	4,0	9,04	12,09	7,50	1,89	387,05	51,54	5,80	53,06	12,90	2,13
160x60	160	60	19	2,0	4,76	6,12	8,00	1,86	239,88	29,98	6,26	30,53	7,37	2,23
160x60	160	60	19	2,5	5,89	7,59	8,00	1,86	295,03	36,88	6,23	37,08	8,96	2,21
160x60	160	60	19	3,0	6,97	9,01	8,00	1,86	346,58	43,32	6,20	42,95	10,37	2,18
160x60	160	60	19	4,0	9,04	11,91	8,00	1,86	453,88	56,74	6,14	55,48	13,40	2,13

Tabla 26. Características de los perfiles tipo C desde C-175 hasta C-180 (Hierros y transformados S.A., sin fecha, p.6).

PERFIL	DIMENSIONES				P Kg/m	A Cm2	YG cm	XG cm	EJE X			EJE Y		
	h mm	b mm	a mm	e mm					Ix cm4	Wx Cm3	ix cm	Iy cm4	Wy Cm3	Iy Cm
175x50	175	50	19	2,0	4,60	5,98	8,75	1,40	264,30	30,21	6,65	19,83	5,51	1,82
175x50	175	50	19	2,5	5,71	7,41	8,75	1,40	324,92	37,13	6,62	23,97	6,66	1,80
175x50	175	50	19	3,0	6,81	8,80	8,75	1,40	381,35	43,58	6,58	27,60	7,67	1,77
175x50	175	50	19	4,0	8,70	11,63	8,75	1,40	499,10	57,03	6,51	35,45	10,48	1,72
175x60	175	60	19	2,0	4,90	6,38	8,75	1,75	294,23	33,63	6,79	30,73	7,23	2,20
175x60	175	60	19	2,5	6,06	7,91	8,75	1,76	362,12	41,39	6,77	37,32	8,80	2,17
175x60	175	60	19	3,0	7,21	9,40	8,75	1,75	425,73	49,66	6,73	43,20	10,16	2,14
175x60	175	60	19	4,0	9,29	12,43	8,75	1,75	557,94	65,60	6,67	55,79	14,50	2,08
180x60	180	60	19	2,0	5,10	6,52	9,00	1,75	316,40	35,16	6,97	31,69	7,46	2,20
180x60	180	60	19	2,5	6,32	8,09	9,00	1,76	389,54	43,28	6,94	38,50	9,08	2,18
180x60	180	60	19	3,0	7,47	9,61	9,00	1,75	458,15	50,91	6,90	44,60	10,49	2,15
180x60	180	60	19	4,0	9,70	12,71	9,00	1,75	600,65	66,74	6,83	57,63	13,55	2,10
180x75	180	75	19	2,0	5,57	7,07	9,00	2,29	326,27	39,18	7,13	52,81	7,13	2,73
180x75	180	75	19	2,5	6,91	8,77	9,00	2,29	401,62	48,18	7,10	64,37	12,36	2,70
180x75	180	75	19	3,0	8,22	10,46	9,00	2,29	474,68	57,08	7,08	75,41	14,50	2,68
180x75	180	75	19	3,5	10,64	13,85	9,00	2,29	623,47	75,00	7,03	98,10	22,38	2,63

Tabla 27. Características de los perfiles tipo C desde C-200 hasta C-350 (Hierros y transformados S.A., sin fecha, p.6).

PERFIL	DIMENSIONES				P Kg/m	A Cm2	YG cm	XG cm	EJE X			EJE Y		
	h mm	b mm	a mm	e mm					Ix cm4	Wx Cm3	ix cm	Iy cm4	Wy Cm3	Iy Cm
200x60	200	60	19	2,0	5,42	6,88	10,00	1,63	403,37	40,34	7,66	32,00	7,32	2,16
200x60	200	60	19	2,5	6,73	8,54	10,00	1,64	496,98	49,70	7,63	38,86	8,91	2,13
200x60	200	60	19	3,0	7,91	10,15	10,00	1,63	585,05	58,51	7,59	45,00	10,30	2,11
200x60	200	60	19	4,0	10,30	13,13	10,00	1,62	736,75	73,68	7,49	54,29	12,39	2,03
200x80	200	80	19	2,0	6,00	7,68	10,00	2,35	481,78	48,18	7,92	64,35	11,39	2,89
200x80	200	80	19	2,5	7,44	9,54	10,00	2,35	594,50	59,45	7,89	78,61	13,91	2,87
200x80	200	80	19	3,0	8,81	11,37	10,00	2,35	704,18	70,42	7,87	92,17	16,31	2,85
200x80	200	80	19	4,0	11,49	14,94	10,00	2,35	911,06	91,11	7,81	116,61	20,64	2,79
225x80	225	80	19	2,0	6,39	8,18	11,25	2,22	633,47	56,31	8,80	66,74	11,51	2,86
225x80	225	80	19	2,5	7,91	10,16	11,25	2,22	782,29	69,54	8,77	81,53	14,06	2,83
225x80	225	80	19	3,0	9,40	12,12	11,25	2,22	927,35	82,43	8,75	95,60	16,48	2,81
225x80	225	80	19	4,0	12,28	15,94	11,25	2,22	1201,90	106,84	8,68	120,96	20,86	2,75
250x60	250	60	19	2,0	6,15	7,88	12,50	1,44	687,71	55,02	9,34	34,06	7,47	2,08
250x60	250	60	19	2,5	7,63	9,79	12,50	1,44	848,71	67,90	9,31	41,36	9,07	2,06
250x60	250	60	19	3,0	9,07	11,65	12,50	1,44	1001,17	80,09	9,27	47,89	10,50	2,03
250x60	250	60	19	4,0	11,81	15,43	12,50	1,42	1316,05	105,27	9,20	61,85	13,56	1,98
250x80	250	80	19	2,0	6,78	8,68	12,50	2,09	810,72	64,86	9,66	68,86	11,65	2,82
250x80	250	80	19	2,5	8,42	10,79	12,50	2,10	1001,85	80,15	9,64	84,11	14,26	2,79
250x80	250	80	19	3,0	10,01	12,85	12,50	2,09	1184,20	94,74	9,60	98,10	16,60	2,76
250x80	250	80	19	4,0	13,03	16,73	12,50	2,07	1510,48	120,84	9,50	120,76	20,36	2,69
275x80	275	80	19	2,0	7,17	9,18	13,75	1,99	1015,10	73,83	10,52	70,74	11,77	2,78
275x80	275	80	19	2,5	8,89	11,41	13,75	1,99	1255,12	91,28	10,49	86,41	14,38	2,75
275x80	275	80	19	3,0	10,57	13,60	13,75	1,99	1484,61	107,97	10,45	100,78	16,77	2,72
275x80	275	80	19	4,0	13,85	17,73	13,75	1,97	1897,32	137,99	10,34	124,09	20,58	2,65
300x80	300	80	19	2,0	7,57	9,68	15,00	1,89	1248,16	83,21	11,36	72,43	11,85	2,74
300x80	300	80	19	2,5	9,42	12,04	15,00	1,89	1544,07	102,94	11,32	88,47	14,48	2,71
300x80	300	80	19	3,0	11,21	14,35	15,00	1,89	1827,51	121,83	11,29	103,19	16,89	2,68
300x80	300	80	19	4,0	14,63	18,73	15,00	1,87	2339,57	155,97	11,18	127,06	20,73	2,60
325x80	325	80	19	2,0	7,99	10,18	16,25	1,80	1511,47	93,01	12,19	73,95	11,93	2,70
325x80	325	80	19	2,5	9,87	12,66	16,25	1,80	1870,63	115,12	12,16	90,33	14,57	2,67
325x80	325	80	19	3,0	11,75	15,10	16,25	1,80	2215,24	136,32	12,22	105,35	16,99	2,64
325x80	325	80	19	4,0	15,42	19,73	16,25	1,79	2840,36	174,79	12,00	129,74	20,89	2,56
350x80	350	80	19	2,0	8,35	10,68	17,50	1,72	1806,59	103,23	13,01	75,33	11,99	2,66
350x80	350	80	19	2,5	10,36	13,29	17,50	1,73	2236,77	127,82	12,97	92,01	14,67	2,63
350x80	350	80	19	3,0	12,41	15,85	17,50	1,73	2650,15	151,44	12,93	107,31	17,11	2,60
350x80	350	80	19	4,0	16,20	20,73	17,50	1,71	3402,80	194,45	12,81	132,16	21,01	2,52

1.17 Anejo nº 2

Ejemplo del presupuesto de un pórtico tipo (20 metros de luz, 15 % de pendiente y 1,5 altura de cumbrera) incluyendo las correas.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA		PRECIO	
		UDS		UNITARIO	IMPORTE
1.1	<b>ACERO PERFILES LAM. EN CAL. EN UNIÓN ATORNILLADA</b> Fabricación de Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples S 275 JR (EN 10025-2), con parte proporcional de placa base, cartelas y rigidizadores. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones atornilladas en obra.	kg	2830.5728	1.19 €	
			<b>Subtotal materiales:</b>		<b>3,368.38 €</b>
1.1.1	<b>PREPARACIÓN DE PERFILES</b> Limpieza superficial de perfiles metálicos, mediante la proyección en seco de material abrasivo formado por partículas de silicato de aluminio, hasta alcanzar un grado de preparación Sa 2 ½ según UNE-EN ISO 8501-1, eliminando la capa de laminación, casi todo el óxido visible y las partículas extrañas del soporte, hasta quedar un 95% de la superficie limpia y de color blanco con algunas manchas y limpieza posterior con aspirador de polvo, aire comprimido limpio y seco o cepillo limpio, para proceder posteriormente a la aplicación de una protección antioxidante.	kg	2830.5728	0.15 €	
			<b>Subtotal materiales:</b>		<b>424.59 €</b>
1.1.2	<b>IMPRIMACIÓN ANTICORROSIVA A BASE DE RESINA EPOXI Y FOSFATO DE ZINC</b> Formación de capa de protección contra la oxidación en elementos de acero, mediante imprimación anticorrosiva a base de resina epoxi y fosfato de zinc, aplicada con brocha, rodillo de pelo corto o pistola, en dos manos, hasta alcanzar un espesor total de 100 µ. Incluso p/p de limpieza de la superficie soporte	kg	2830.5728	0.17 €	
			<b>Subtotal materiales:</b>		<b>481.20 €</b>
1.2	<b>ACERO S235JRC EN CORREAS METÁLICAS, CON PIEZAS SIMPLES DE PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE LAS SERIES C O Z, GALVANIZADO Y COLOCADO EN OBRA</b> Acero UNE-EN 10025 S235JRC, para correa formada por pieza simple, en perfiles conformados en frío de las series C o Z, galvanizado y colocado en obra con tornillos, con límite elástico 235 N/mm <sup>2</sup> , carga de rotura mínima 360 N/mm <sup>2</sup> , incluso accesorios, tornillería y elementos de anclaje.	kg	395.5	1.91 €	
			<b>Subtotal materiales:</b>		<b>755.41 €</b>
1.3	<b>TRANSPORTE Y MONTAJE</b> Transporte desde fábrica y montaje en obra. Incluyendo la mano de obra, alquiler de cesta elevadora con brazo articulado, y grúa autopropulsada de brazo telescópico.	kg	2830.5728	0.25 €	707.64 €
			<b>Subtotal</b>		<b>5,737.21 €</b>
		I.V.A	<b>21%</b>		<b>1,204.81 €</b>
	<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>				<b>6,942.03 €</b>

**1.18 Anejo nº 3**

Plano de la estructura metálica de un pórtico en la provincia de León, en archivo adjunto.

