



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

# **MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

## **ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

### **UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

#### **TRABAJO FIN DE MÁSTER**

#### **REFORMADO TÉCNICO DE UNA CUBIERTA INDUSTRIAL INCLUYENDO ASPECTOS NORMATIVOS Y MEDIOAMBIENTALES.**

Autor: D. Bruno Cuadrado Matas  
Tutor: D. Antolín Lorenzana Ibán

Valladolid, junio, 2021



Trabajo de Fin de Máster

# REFORMADO TÉCNICO DE UNA CUBIERTA INDUSTRIAL, INCLUYENDO ASPECTOS NORMATIVOS Y MEDIOAMBIENTALES

AUTOR: Bruno Cuadrado Matas

TUTORES: Antolín Lorenzana Ibán

DEPARTAMENTO: Construcciones arquitectónicas,  
ingeniería del terreno y mecánica de los medios  
continuos y teoría de estructuras.

AÑO ACADÉMICO: 2020/2021



## RESUMEN

El presente trabajo de fin de máster ofrecerá una serie de alternativas a la cubierta de una nave proyectada inicialmente con elementos de hormigón prefabricado.

Este reformado técnico se basará en criterios económicos y de sostenibilidad, intentando dar una solución que satisfaga todos y cada uno de los criterios técnicos que sean de aplicación. Los materiales elegidos para el diseño de estas alternativas son el acero y la madera.

El diseño de las alternativas se realizará de forma iterativa, hasta encontrar una solución que resista las necesidades constructivas.

Una vez se hayan establecido los diseños se procederá a comparar el coste de su construcción para, finalmente, realizar un estudio comparativo de los recursos necesarios para su puesta en obra, incluyendo los medios auxiliares y el impacto ambiental.

Palabras Clave:

“Nave industrial” “Reformado técnico” “Cubierta” “Dlubal” “Ingeniería”

## ABSTRACT

This master's thesis will offer a series of alternatives to the roof of a warehouse projected in the first place with precast concrete pieces.

This technical refurbishment is based on economics and sustainability criteria. In addition, it will try to give a solution that satisfies all the technical criteria of implementation. Materials chosen for the design of these alternatives are steel and wood.

The alternative design will be carried out in an iterative way, until a solution is found that resists the construction needs.

Once the designs are established, the construction cost will be compared to, finally, carry out a comparative study on the resource needs for commissioning, including auxiliary resources and environmental impact.



## Índice

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1.   | INTRODUCCIÓN .....  | 1  |
| 2.   | OBJETIVOS .....   | 3  |
| 3.   | ESTRUCTURA PROYECTADA. HORMIGÓN PREFABRICADO .....                | 5  |
| 4.   | ALTERNATIVAS .....  | 9  |
| 4.1. | <b>Hormigón prefabricado</b> .....                                | 10 |
| 4.2. | <b>Procedimiento</b> .....  | 12 |
| 4.3. | <b>Acero</b> .....  | 13 |
| 4.4. | <b>Madera</b> .....   | 33 |
| 4.5. | <b>Resumen</b> .....  | 47 |
| 4.6. | <b>Resistencia al fuego</b> .....                                 | 49 |
| 5.   | ESTUDIO ECONÓMICO .....   | 59 |
| 5.1. | <b>Acero</b> .....  | 60 |
| 5.2. | <b>Madera</b> .....   | 61 |
| 5.3. | <b>Cerramiento</b> .....  | 62 |
| 5.4. | <b>Consideraciones sobre el transporte de los elementos</b> ..... | 63 |
| 5.5. | <b>Resumen</b> .....  | 64 |
| 6.   | ESTUDIO DE SOSTENIBILIDAD .....                                   | 65 |
| 6.1. | <b>Hormigón</b> .....   | 66 |
| 6.2. | <b>Acero</b> .....  | 67 |
| 6.3. | <b>Madera</b> .....   | 69 |
| 6.4. | <b>Residuos</b> .....   | 70 |
| 6.5. | <b>Otras consideraciones</b> .....                                | 71 |
| 7.   | ELECCIÓN .....  | 75 |
| 8.   | CONCLUSIÓN .....  | 79 |
|      | BIBLIOGRAFÍA .....  | 81 |
|      | <b>Documentos</b> .....   | 81 |
|      | <b>Referencias de fuentes electrónicas</b> .....                  | 81 |
|      | <b>ANEXOS</b> .....   | 83 |
| •    | Software .....  | 85 |
| •    | Primera aproximación de la delta de madera.....                   | 87 |
| •    | Catálogo de correas de acero .....                                | 89 |



# 1. INTRODUCCIÓN

Se enfoca este TFM bajo la suposición de ser la empresa CORESA. Se dedica a la construcción y rehabilitación de cubiertas, tanto industriales como residenciales.

El presente reformado técnico se ha realizado en base a la petición de un cliente que ha adquirido una nave industrial de una promoción que se va a construir. Esta promoción consiste en una serie de naves adosadas, las cuales solo se encuentran en fase de proyecto.

La finalidad que quiere dar el cliente a la nave es la de crear un mercado minorista en su interior.

La estructura de la nave está proyectada con elementos de hormigón prefabricado. La parte de la cubierta consta de vigas tipo delta que apoyan sobre los pilares laterales de la nave sin ningún apoyo intermedio. Sobre las vigas descansan las correas y el cerramiento de la cubierta se realizará con paneles tipo sándwich.

Para el aspecto interior, pensando en crear un entorno más estético y amigable para las personas que acudan, el cliente quiere cambiar los elementos de hormigón de la cubierta iniciales por otra solución.

Por otro lado, la estética exterior de la nave no puede modificarse, ya que, al tratarse todas las naves de una misma promoción, los requerimientos urbanísticos requieren que todas sean iguales.

Las soluciones que se proporcionarán tendrán en cuenta la finalidad que el cliente quiere dar al emplazamiento y a la vez, las mismas prestaciones que la proyectada originalmente.

También se tratará de que el coste de las opciones dadas sea, como máximo, el mismo que el coste proyectado, pero siempre intentando bajarle lo máximo posible.

Sin interferir con lo anterior, se prestará atención al impacto medioambiental que puedan tener. Así pues, se analizarán los recursos necesarios para la fabricación de los elementos necesarios y los residuos tanto generados en dicho proceso, como en el fin del ciclo de vida útil.

A continuación, se expondrán las alternativas que se proponen y, además de los criterios seguidos para la elección de la solución final.



## 2. OBJETIVOS

Se pueden clasificar los objetivos en 2 grupos. Por una parte, siendo este documento un TFM, se persiguen objetivos formativos y académicos que demuestren las competencias adquiridas durante la titulación. En este sentido se ha abordado el uso de un nuevo software y se ha profundizado en aspectos constructivos, organizativos y normativos respecto a ingeniería de la construcción. Por otra parte, respecto al contenido concreto del trabajo, se ha planteado un reformado técnico, labor típica de ingenierías y consultorías del ámbito de la ingeniería industrial.

Con vistas a esta última meta, proyectada la nave en hormigón prefabricado, el objetivo será el aportar alternativas viables a la estructura de la cubierta.

Estas alternativas serán, básicamente, el uso de otros materiales tales como el acero y la madera para la construcción de los elementos portantes necesarios para sustituir a las vigas delta proyectada en un principio.

Otro objetivo es la resistencia de la cubierta. Entendemos que la nave proyectada cumple con los requisitos de estados límite últimos, de servicio y de estabilidad. Por este motivo, las alternativas propuestas deberán soportar las mismas cargas, tanto las acciones medioambientales como el hipotético caso de un incendio en su interior.

Por último, se realizará un análisis económico para comprobar que las alternativas propuestas ofrecen ventajas competitivas, además de la estética perseguida, que, en el caso de optar por ellas, repercutirán en el presupuesto final del proyecto.



### 3. ESTRUCTURA PROYECTADA. HORMIGÓN PREFABRICADO

Como se ha mencionado anteriormente, la estructura original proyectada es una estructura de hormigón prefabricado, siendo el cerramiento de la cubierta de panel sándwich. La imagen 1 muestra esta estructura.

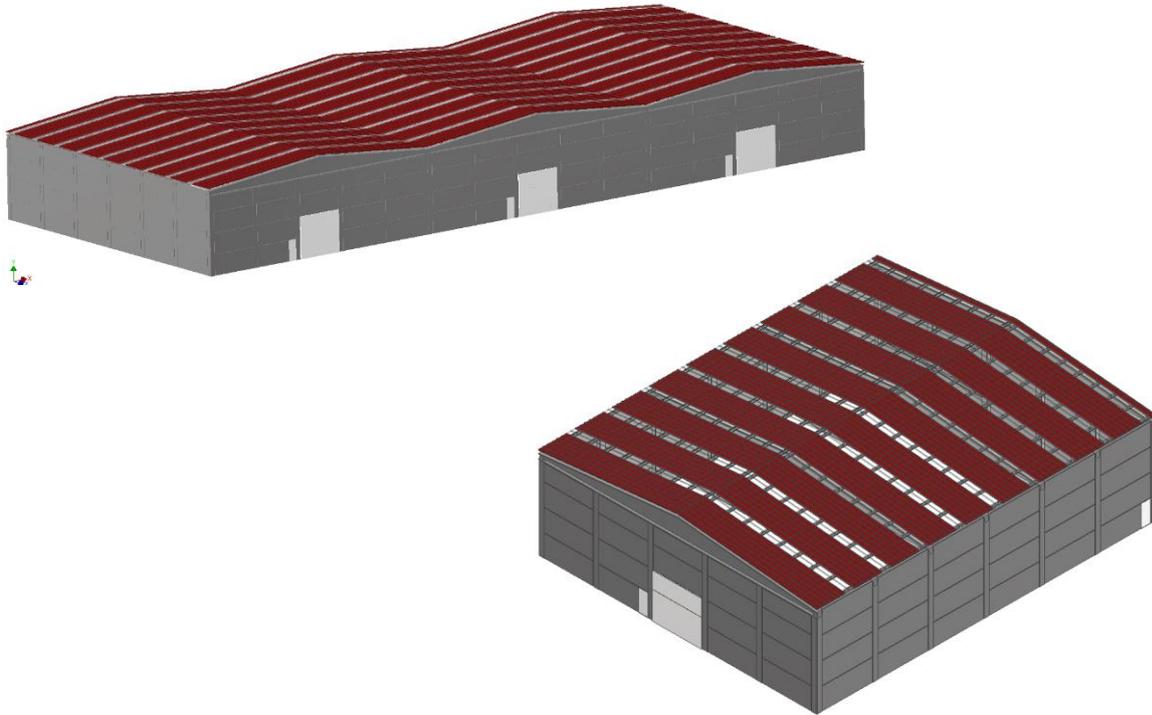


Imagen 1: Nave proyecto.

Esta nave está compuesta por 7 pórticos (2 hastiales y 5 centrales) de 30 metros de luz, con un módulo de 6 metros entre ellos y una altura de pilares de 9 metros, obteniendo así una altura hasta la cumbrera de 11,1 metros desde el nivel del suelo.

La unión de los pilares a la cimentación se realizará mediante empotramientos de caliz (ver imagen 2), mediante la inserción de parte de los pilares en oquedades predispuestas anteriormente.

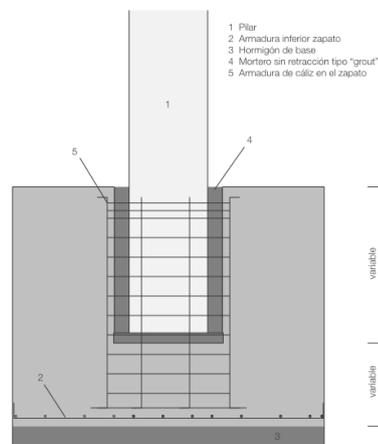


Imagen 2: Detalle del empotramiento tipo caliz

Como el fin de la nave es el almacenamiento de materiales diversos, pudiendo usarse las propias paredes como muros de contención para amontonar sobre ellos material granular, se entiende que el cálculo tanto de los pilares como del cerramiento perimetral ha tenido en cuenta esto y no hay la necesidad de optimizar estos elementos.

En cambio, se observa que la cubierta sólo está sometida a las acciones ambientales (además de las acciones accidentales...). Su utilidad será la de aislar el volumen del almacén de las inclemencias climatológicas externas, no teniendo solicitaciones tales como polipastos, grandes instalaciones ni tránsito habitual.

Conocidas las condiciones de trabajo que debe soportar la cubierta, se tiene la sospecha de que ésta puede optimizarse realizando una estructura mixta. En la imagen 3 se muestra la estructura de la cubierta.

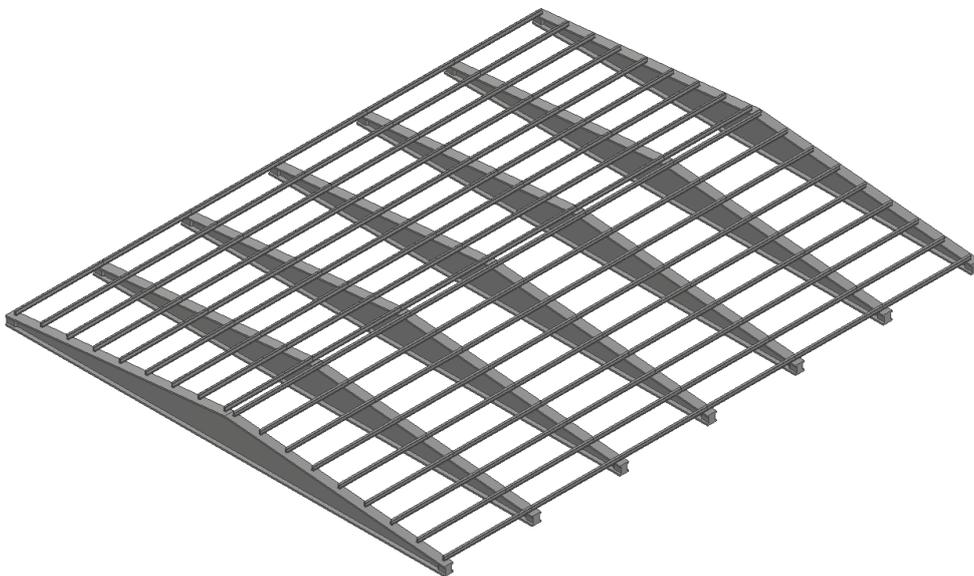


Imagen 3: Estructura de la cubierta proyectada.

La cubierta está formada por 7 vigas de canto variable (deltas), 108 viguetas (ambas de hormigón prefabricado pretensado) y 144 paneles sándwich. Las características de estos elementos se especifican a continuación:

- Vigas delta
  - Fabricante: Prefabricados Pujol
  - Denominación: Viga peraltada I-60
  - Luz: 30 m
  - Máximo canto: 2,1 m
  - Carga máxima: 15 kN/m (excluido el peso propio)
  - Peso propio: 6,49 kN/m
  
- Correas
  - Fabricante: Prefabricados Pujol
  - Denominación: Vigüeta VP-26
  - Longitud: 6 m
  - Canto: 260 mm

- Separación entre correas: 1,8 m
- Carga máxima sobre la vigueta: 2,1 kN/m<sup>2</sup> (excluido peso propio)
- Peso propio: 0,54 kN/m
- Número de correas: 108 uds.
- Paneles sándwich
  - Fabricante: Grupo Panel Sandwich
  - Denominación: Panel sándwich 3 grecas
  - Longitud: 7,6 m
  - Ancho: 1 m
  - Espesor: 60 mm
  - Carga máxima (apoyos a 1,8 m): 2,25 kN/m<sup>2</sup>
  - Peso propio: 0,11 kN/m<sup>2</sup>

La imagen 4 corresponde a la viga delta y a la vigueta. Las dimensiones están en milímetros:

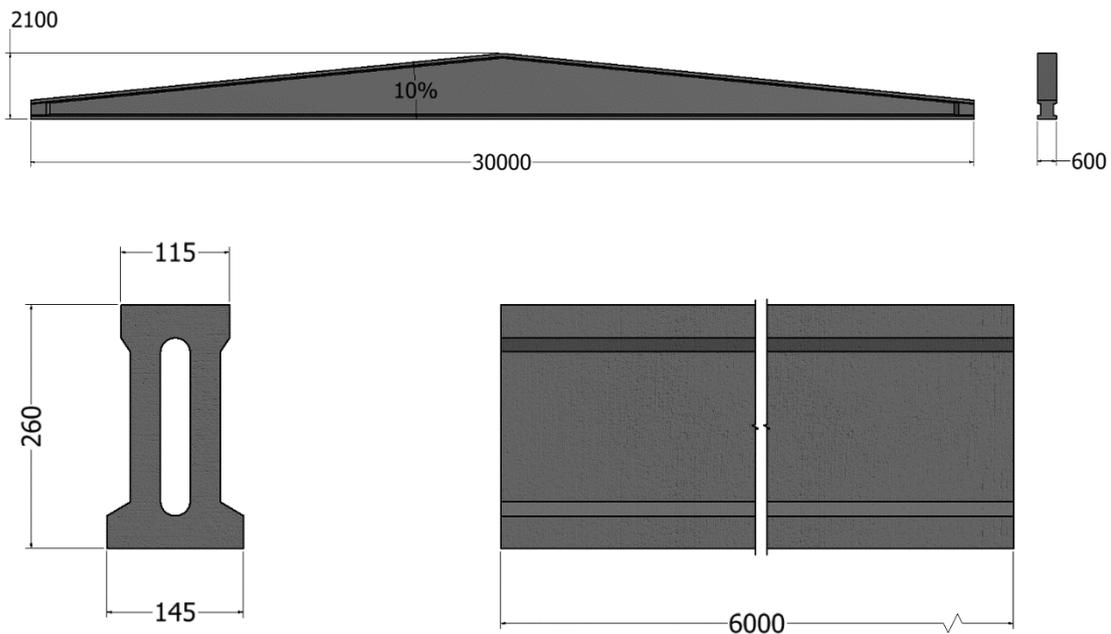


Imagen 4: Dimensiones generales viga delta y vigueta

Ahora se comprobará la carga que soporta esta cubierta para usarla como referencia en las siguientes. Dada la tipología de la nave y la unión de los pilares al suelo, la mayor parte del empuje lateral que puede producirse, la absorberán éstos y el propio cerramiento lateral. Añadiendo además que la unión entre las vigas y los pilares es de tipo articulada, anulando los momentos que puedan aparecer en los extremos de las vigas.

Las resistencias de las correas y de los paneles que proporcionan los fabricantes son 2,1 kN/m<sup>2</sup> y 2,25 kN/m<sup>2</sup> respectivamente. Con estos datos se tomará la resistencia de las correas al ser las más restrictivas.

El cálculo se realizará para un pórtico central y para una correa intermedia entre la cumbrera y el alero, no tomando las que se encuentran en estas zonas.

La carga que puede soportar con las condiciones geométricas de diseño es:

$$Carga\ soportada = Resistencia\ correa - Peso\ paneles = 2,1 - 0,1 = 1,99\ kN/m^2$$

La carga soportada por la viga es:

(1)

$$Carga\ viga = Carga\ soportada + Peso\ paneles + Peso\ correas$$

$$Carga\ viga = (1,99 + 0,11) \cdot 1,8 \cdot 6 + 0,54 \cdot 6 = 25,92\ kN \quad (2)$$

Esta es la carga puntual aplicada en los puntos donde apoyan las correas.

Como el dato aportado por el fabricante es la resistencia de la delta en función del metro lineal y la separación entre correas es 1,8 m, se repartirá esta carga obtenida entre la longitud de la viga en la que se distribuye, y de esta forma, poder comparar ambos valores.

$$Carga\ viga/longitud = \frac{25,92}{1,8} = 14,4\ kN/m \quad (3)$$

Se comprueba que los elementos elegidos concuerdan entre sí, llegando todos a su carga crítica con la misma carga soportada. A continuación, las imágenes 5 y 6 muestran unos esquemas del reparto de estas cargas.

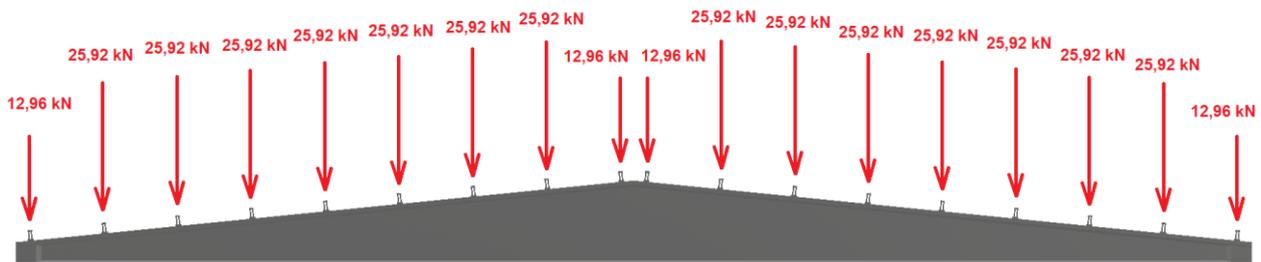


Imagen 5: Cargas puntuales de las correas

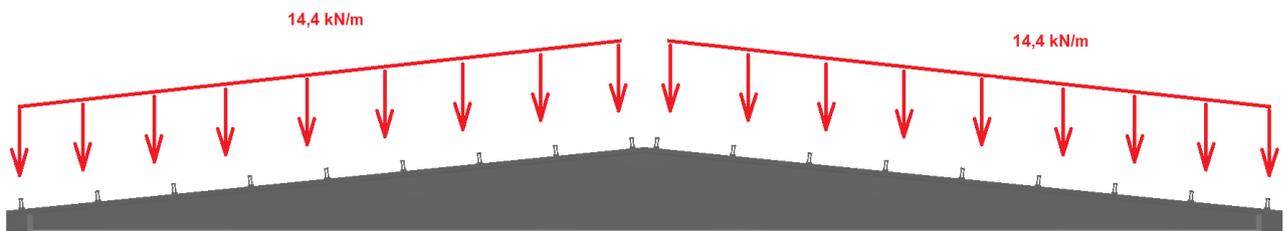


Imagen 6: Carga repartida

## 4. ALTERNATIVAS

Como de lo que se trata es aportar una mejora al proyecto, tanto desde el punto de vista técnico-estético, como desde el punto de vista económico, las alternativas ofrecidas a continuación se basan en la estandarización de los materiales y su fabricación.

Debería ser fácil el poder fabricar cualquier alternativa en talleres cercanos al emplazamiento de la nave, sin necesidades de equipos sofisticados ni operarios excesivamente especializados. Estas alternativas están basadas en vigas tipo cercha en acero y en vigas de madera laminada.

Para el trabajo en acero, se seleccionarán perfiles estandarizados y fáciles de conseguir, pudiendo realizarse en cualquier taller especializado en soldadura.

El caso de la madera es distinto. Existen elementos ya estandarizados de este material que permiten encontrarlos muy fácilmente, y para las correas, sirven perfectamente.

En cambio, para las vigas cambia un poco el concepto. Para fabricar elementos como deltas, exceptuando productos concretos, se realizan ex profeso para el proyecto.

La gran diferencia con las cerchas de acero radica en que las cerchas se construyen modificando perfiles estándar mientras que, para producir una delta de madera, ésta se construye de una forma casi artesanal.

El auge que está experimentando la industria especializada en estructuras de madera laminada debido a elementos como puentes, pasarelas y nuevas edificaciones que se están construyendo, permitirá encontrar un taller capaz de fabricar la solución resultante del estudio.

Igualmente, se ha optado por este material por sus ventajas medioambientales ya que, el gasto energético para su fabricación es mucho menor que el del acero. Por lo tanto, podría desarrollarse una industria sostenible satisfaciendo muchas necesidades que hoy en día las resuelven elementos metálicos o de hormigón.

Pero no solo existen ventajas medioambientales en la manufactura. Mientras los árboles crecen, ayudan a eliminar CO<sub>2</sub> del aire fijándolo en su estructura. Esto se podría explotar para intentar tener un balance positivo en el ciclo de vida del elemento de madera, ayudando a largo plazo a la sostenibilidad de las construcciones.

Los residuos también son valiosos y fáciles de transformar, pudiendo crear un valor a los desechos generados, o incluso, utilizarles para abaratar costes del propio proceso productivo como en la generación de calor para secaderos y autoclaves.

Existen otras alternativas a las expuestas como son el aluminio o las cubiertas espaciales, pero para el reto que se plantea no se cree conveniente ninguna de estas opciones, o por no estar demasiado extendido su uso como para encontrar fabricantes, o porque las solicitudes no son muy exigentes y con soluciones más sencillas se solventa el problema.

#### 4.1. Hormigón prefabricado

No es el objetivo de este reformado técnico el comprobar la idoneidad de los elementos proyectados en su origen. Tampoco se tienen los datos suficientes para poder realizar dicha comprobación dado que el fabricante no los proporciona. A cambio, es el propio fabricante el que da soporte de sus propios productos y prescribe el elemento más adecuado en relación a su función.

De todas formas, si se tuvieran los datos, o si se necesitara calcular algún elemento de hormigón, RFEM de Dlubal, el software que se utilizará para realizar las verificaciones, tiene un módulo específico para este tipo de trabajos.

De forma ilustrativa, se muestran seguidamente los datos que se pueden obtener a través de este módulo.

En la imagen 7 se puede ver el diagrama de tensiones y elongaciones de una sección determinada.

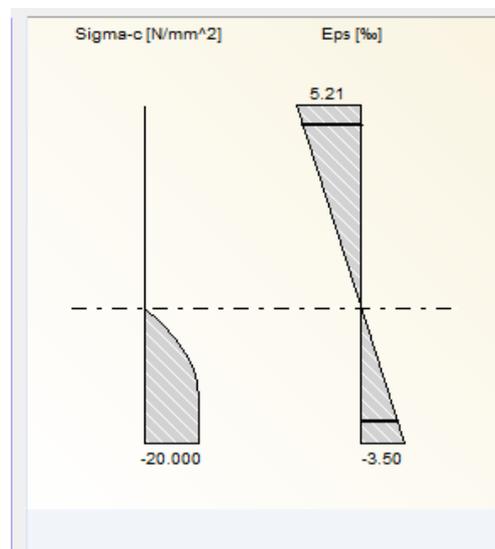


Imagen 7: Diagrama de tensiones y elongaciones del elemento de hormigón

En la imagen 8 se muestra un pequeño ejemplo de la cuantía de las armaduras del elemento estudiado.

## 3.1 Armadura longitudinal existente

| A                                 | B                          | C                 | D             | E                           | F               | G                                | H      | I                                   | J            |
|-----------------------------------|----------------------------|-------------------|---------------|-----------------------------|-----------------|----------------------------------|--------|-------------------------------------|--------------|
| Elemento<br>núm.                  | Posición de<br>la armadura | Núm. de<br>barras | $d_s$<br>[mm] | $A_s$<br>[cm <sup>2</sup> ] | Longitud<br>[m] | Posición de x [m]<br>desde hasta |        | Anclaje                             | Peso<br>[kg] |
| Barra núm. 1 - Rectángulo 500/500 |                            |                   |               |                             |                 |                                  |        |                                     |              |
| 1                                 | -z (superior)              | 12                | 20.0          | 37.70                       | 15.237          | -1.037                           | 14.200 | <input checked="" type="checkbox"/> | 450.91       |

## 3.2 Armadura de cortante existente

| A                                 | B                | C                 | D             | E               | F                                | G      | H                          | I                    | J            |
|-----------------------------------|------------------|-------------------|---------------|-----------------|----------------------------------|--------|----------------------------|----------------------|--------------|
| Sección                           | Elemento<br>núm. | Núm. de<br>cercos | $d_s$<br>[mm] | Longitud<br>[m] | Posición de x [m]<br>desde hasta |        | Separación<br>$s_{ii}$ [m] | Núm. de<br>secciones | Peso<br>[kg] |
| Barra núm. 1 - Rectángulo 500/500 |                  |                   |               |                 |                                  |        |                            |                      |              |
| 1                                 | 1                | 39                | 10.0          | 14.000          | 0.000                            | 14.000 | 0.368                      | 2                    | 49.48        |

Imagen 8: Descripción de las armaduras del elemento de hormigón

## 4.2. Procedimiento

Antes de empezar el proceso de diseño de las alternativas estudiadas, se explicará el proceso seguido.

Este proceso se ha utilizado en todos los diseños, incluyendo las alternativas de madera laminada encolada.

Los módulos del software especializados en el cálculo resistente, tanto del acero como de la madera, aparte de verificar el diseño, tienen la opción de modificar los perfiles que seleccione el usuario para optimizarlos.

La optimización solo es posible con elementos de la misma familia de perfiles. Es decir, si tenemos un perfil laminado en caliente y no es posible la optimización con ninguno de la misma familia, el módulo no realizará pruebas con otro, como podría ser el caso de tubos estructurales.

Esto solo es posible cuando la estructura está sobredimensionada o cuando, teniendo esta una resistencia inferior a la solicitada, el módulo puede continuar con los cálculos.

Por ejemplo, si tenemos una estructura muy infradimensionada, tanto que los desplazamientos son demasiado grandes, aparecen zonas plastificadas o zonas abolladas en las barras, el software mostrará un mensaje de error indicando el problema que surgió y abortará el cálculo.

Teniéndolo en cuenta, en todos los casos, primero se ha elegido el tipo de perfil que se utilizará en cada opción. Para una primera aproximación, las dimensiones de los perfiles elegidos se seleccionarán por la experiencia obtenida anteriormente en proyectos similares.

Posteriormente, se realizará el cálculo. Si aparece algún mensaje en este paso, se estudiará el problema que lo provoca y su localización en el diseño. Por lo general, con aumentar el tamaño de los perfiles en esa zona será suficiente.

En el momento que no aparezca ningún mensaje, se verificará el aprovechamiento de la estructura. Si consideramos que el aprovechamiento es aceptable, se continuará con el estudio de estabilidad, si no, se repetirá el cálculo, esta vez dejando al módulo que optimice los perfiles que estime y se compararán los resultados con los obtenidos sin la optimización.

Al compararlos, se estudiará su coherencia, si es realmente viable y por último, si satisface el resto de condiciones, para finalmente, elegir una u otra opción. A tales circunstancias, también es necesario ejecutar el módulo que estudia la estabilidad global de la estructura.

### 4.3. Acero

Se han realizado distintos diseños en acero para comprobar cuál de ellos se adaptaba mejor a las necesidades.

#### DINTEL

Se ha probado a diseñar un dintel construido con perfiles simples laminados en caliente (ver figura 11):

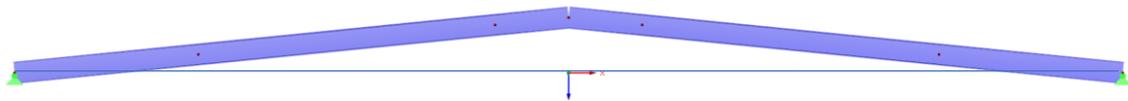


Imagen 9: Dintel

Pero por muy grandes que se elijan los perfiles (llegando a usar IPE-600), o modificáramos su sección en las zonas más conflictivas, siempre existen problemas de estabilidad frente a acciones flexo-compresivas (punto 6.3.3 de eurocódigo 3) (ver imagen 10).

2.5 Cálculo por posición x

| Barra<br>núm. | A<br>Posición<br>x [m] | B<br>Carga | C<br>Tensiones<br>Razón | D     | E<br>Cálculo según fórmula  |
|---------------|------------------------|------------|-------------------------|-------|---|
| 4.377         | CO4                    | 0.40       | ≤ 1                     | CS102 | Comprobación de la sección - Compresión según 6.2.4                                     |
| 4.377         | CO4                    | 0.04       | ≤ 1                     | CS122 | Comprobación de la sección - Esfuerzo cortante en el eje z según 6.2.6(4) - Clase 3 ó 4 |
| 4.377         | CO4                    | 0.00       | ≤ 1                     | CS126 | Comprobación de la sección - Abolladura según 6.2.6(6)                                  |
| 4.377         | CO4                    | 0.84       | ≤ 1                     | CS182 | Comprobación de la sección - Flexión, cortante y esfuerzo axil según 6.2.9.2 - Clase 3  |
| 4.377         | CO4                    | 6.27       | > 1                     | ST364 | Análisis de estabilidad - Flexión y compresión según 6.3.3, método 2                    |
| 4.377         | CO4                    | 0.40       | ≤ 1                     | CS102 | Comprobación de la sección - Compresión según 6.2.4                                     |
| 4.377         | CO4                    | 0.04       | ≤ 1                     | CS122 | Comprobación de la sección - Esfuerzo cortante en el eje z según 6.2.6(4) - Clase 3 ó 4 |
| 4.377         | CO4                    | 0.00       | ≤ 1                     | CS126 | Comprobación de la sección - Abolladura según 6.2.6(6)                                  |
| 4.377         | CO4                    | 0.84       | ≤ 1                     | CS182 | Comprobación de la sección - Flexión, cortante y esfuerzo axil según 6.2.9.2 - Clase 3  |
| 4.377         | CO4                    | 6.27       | > 1                     | ST364 | Análisis de estabilidad - Flexión y compresión según 6.3.3, método 2                    |

Máx.: 6.29 > 1

Imagen 10: Resultados dintel

Se ha probado a instalar cruces de san Andrés en las crujías, pero estos fenómenos aparecen en otras zonas del dintel.

La estética de esta solución tampoco es la esperada para la finalidad de la nave, por lo que esta opción se desecha.

### CERCHA ANGULARES

La siguiente opción que comprobamos fue el diseño de una cercha con perfiles del tipo angular. El motivo de usar este tipo de perfiles fue la facilidad de encontrarlos en una gran cantidad de medidas y de la facilidad para trabajar con ellos.

No hacen falta maquinaria ni útiles muy especializados para poder realizar este tipo de construcciones con ellos (ver imagen 11).

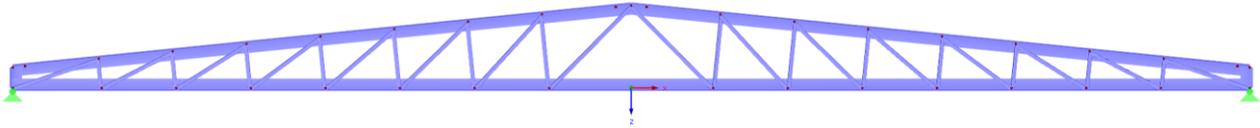


Imagen 11: Cercha angulares

Los perfiles que forman el arco son perfiles tipo T o angulares o tipo U, mientras que las diagonales interiores están formadas por parejas de angulares tipo L de lados iguales, quedando unidos por ambos lados del marco y una geometría simétrica, tanto en el plano transversal como en el longitudinal.

El problema que ha aparecido con esta geometría ha sido su estabilidad, puesto que es muy limitada. La carga aplicada en el caso de la imagen 12 es la solicitada por el proyecto. Se comprueba que no cumple las especificaciones por un margen muy amplio al ser el factor de carga menor que la unidad.

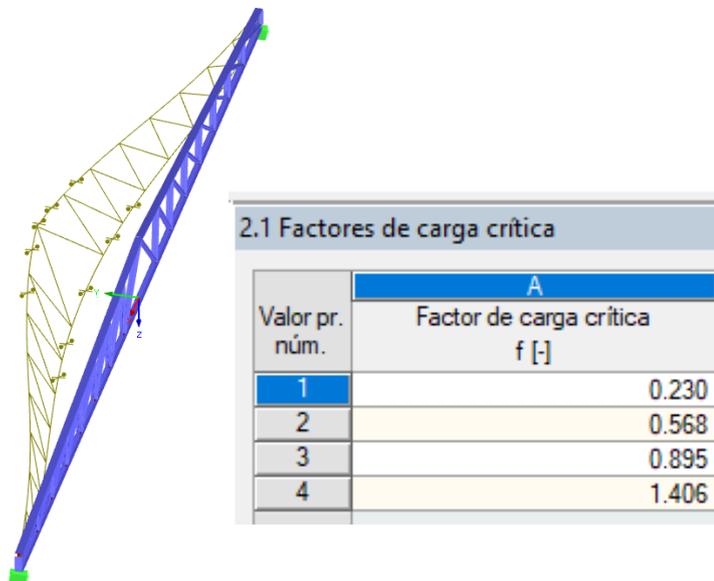


Imagen 12: Pandeo cercha angulares

También se probó a arriostrar esta cercha mediante cruces de San Andrés realizadas con cables, pero siguen apareciendo modos de vuelco para la carga considerada. En la imagen 13 se puede observar su modo de pandeo.

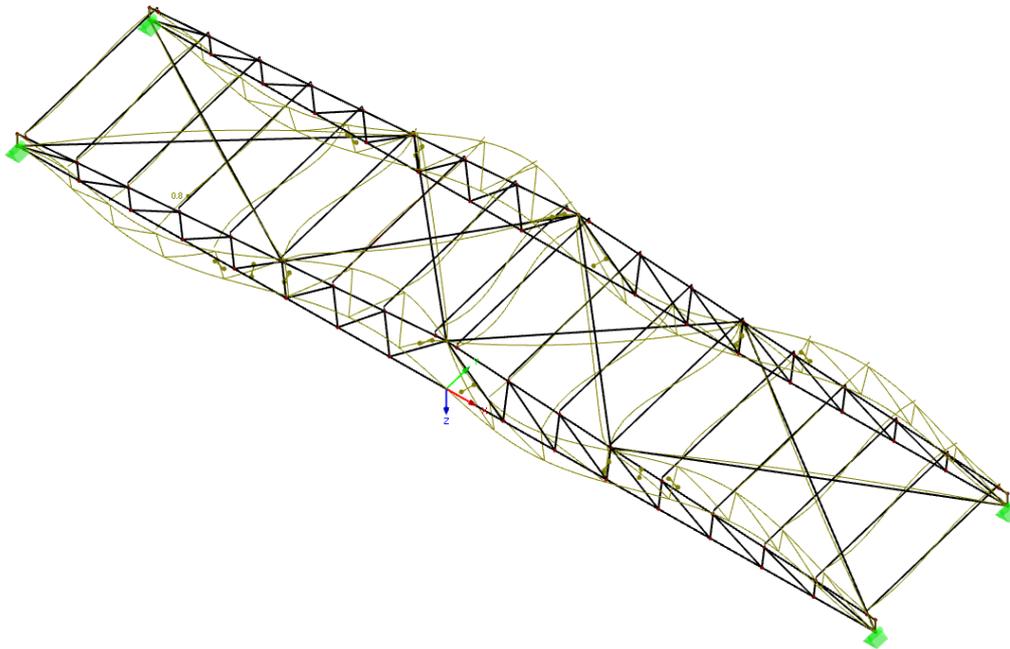


Imagen 13: Cercha perfiles angulares arriostrada

Aun así, restringiendo dicho pandeo lo máximo posible para evitarlo, usando T de 300 mm. de canto y angulares L100x10, el desplazamiento máximo en el plano de cada cercha era excesivo, superando el desplazamiento máximo permitido (ver imagen 14).

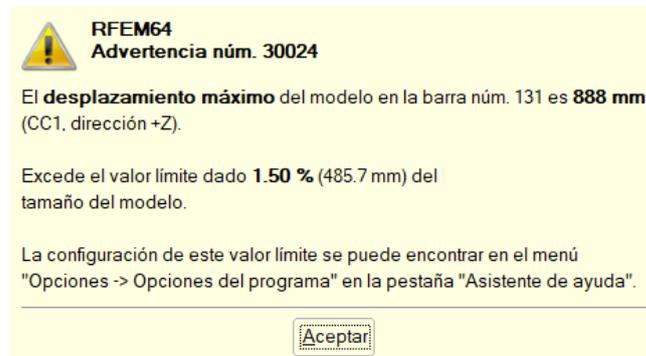


Imagen 14: Aviso desplazamiento máximo de la cercha de angulares

Con todos estos problemas, y añadiendo que la estética tampoco es la más deseada, se rechaza este diseño.

Por lo tanto, el siguiente diseño que se verificará es otra cercha de perfiles abiertos, pero esta vez mediante perfiles laminados en caliente.

### CERCHA PERFILES I

En este caso, la estabilidad de la estructura aumenta como es de esperar, permitiendo realizar un diseño válido (ver imagen 15).

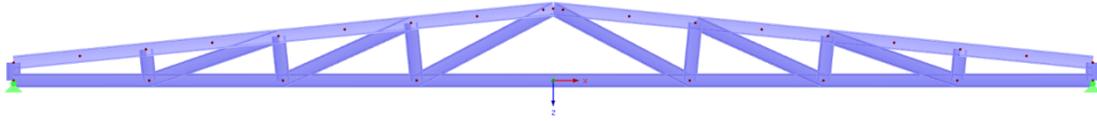


Imagen 15: Cercha perfiles I

En la imagen anterior se puede observar que el número de barras utilizadas para esta cercha es menor que en la cercha de angulares. Esta disminución se debe simplemente a que el espacio disponible es menor por el perfil de las barras usadas.

Exceptuando este hecho, la tipología de la cercha es la misma, siendo parte de las barras interiores perpendiculares a los perfiles superiores y las otras uniendo las uniones anterior y posterior.

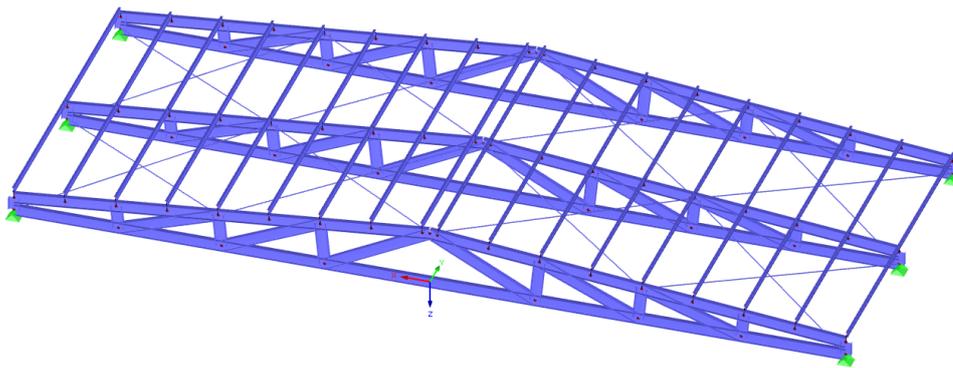


Imagen 16: Cubierta con cerchas I

Las cerchas por sí solas no tienen la estabilidad suficiente como para resistir las cargas aplicadas. Para aumentar su estabilidad, se deben instalar 2 cruces de San Andrés entre cada cercha (ver imagen 16). Se plantea instalar cruces en todas las crujías para disminuir el diámetro de los cables y evitar medidas desproporcionadas. Con estos elementos, la resistencia del conjunto ya es suficiente para quedar validado para su instalación.

Las correas, al tratarse de un elemento altamente estandarizado, se han elegido de un catálogo proporcionado por un fabricante (ver anexo 2).

Por indicación del fabricante, al tratarse de una pendiente menor a un 10%, se han elegido unas correas tipo C.

Como el valor límite de resistencia de las correas de hormigón era de  $2,1 \text{ KN/m}^2$  y las referencias del fabricante están indicadas en los  $\text{kN/m}$  que soportan sus perfiles, se tiene que para una distancia de  $1,8 \text{ m}$  entre cada una de ellas se necesita:

$$2,1 \text{ kN/m}^2 \times 1,8 \text{ m} = 3,78 \text{ kN/m} \quad (4)$$

Examinando la tabla del fabricante, la primera correa con una resistencia igual o superior es la C23/75/300/75/23x2.

Los resultados obtenidos son los siguientes (ver imágenes 17 y 18):

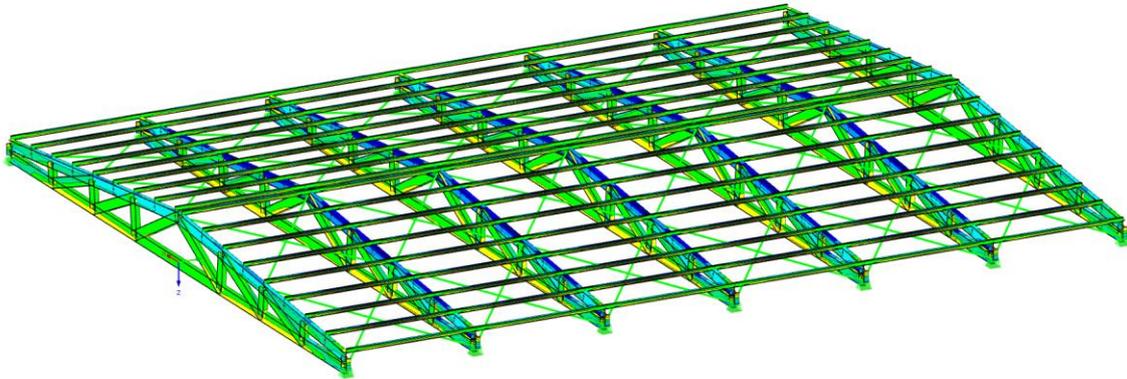


Imagen 18: Tensiones cubierta perfiles I

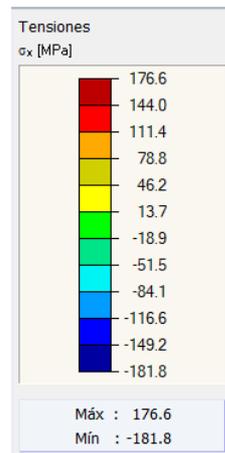


Imagen 17: Medida de las tensiones cubierta perfiles I

Aquí se verifica el rango de tensiones que está soportando la estructura. Se comprueba que, en ningún momento se están superando los 235 MPa, por lo que esta verificación cumple.

La imagen 19 muestra el resultado de realizar la comprobación de la cubierta mediante el módulo que tiene implementado las condiciones impuestas por el eurocódigo 3:

|                 | A                | B                            | C                   | D                              | E                        | F              | G    | H       |
|-----------------|------------------|------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------|------|---------|
| Sección<br>núm. | Material<br>núm. | Descripción<br>de la sección | Tipo de<br>sección  | Clasificación<br>de la sección | Razón de<br>tensiones má | Opti-<br>mizar | Nota | Comenta |
| 1               | 2                | I IPE 550                    | Sección en I lamina | Automáticamente                | 0.92                     | No             | 1)   |         |

Imagen 19: Razón de tensiones perfiles I

Solo se muestra el resultado correspondiente a los perfiles de la cercha debido a que en la biblioteca propia del software no se encuentran las correas que utilizamos.

La imagen 19 indica que la sección más solicitada de la cercha se encuentra sometida a una tensión del 92% de su tensión límite. Este módulo permite, junto con la

comprobación de si la estructura cumple con la normativa, conocer la eficiencia de ésta, pudiendo ajustar de una mejor manera el tamaño de los perfiles.

En último lugar, queda la comprobación de la estabilidad de la estructura completa y con su máxima carga (ver imagen 20).

| Valor pr. núm. | A                             |       |
|----------------|-------------------------------|-------|
|                | Factor de carga crítica f [-] |       |
| 1              |                               | 1.330 |
| 2              |                               | 1.745 |
| 3              |                               | 2.295 |
| 4              |                               | 2.458 |

Imagen 20: Estabilidad cubierta perfiles I

Y como se verifica, la estructura cumple con esta condición al ser el factor de carga mayor que la unidad. Esta será la primera propuesta como alternativa a lo proyectado:

- Perfiles cercha
  - IPE 550 S235
  - Masa: 23.186 kg/cercha
  - Longitud total perfiles: 92,6 m
- Cables cruces San Andrés:
  - $\varnothing$  85 mm (área nominal 49,9 cm<sup>2</sup>)
  - Longitud total de cable: 463,68 m
- Correas:
  - C23/75/300/75/23/3
  - Masa: 74,1 kg/correa
  - Longitud: 6 m/correa
  - Número de correas: 108 uds.
- Panel sándwich: el mismo que el proyectado inicialmente con la estructura de hormigón prefabricado.

Para facilitar el transporte, también se propone que las cerchas se fabriquen en 3 partes de 10 metros de longitud y evitar que sea un transporte especial.

La unión entre las partes se realizará mediante placas soldadas en las superficies a unir (placas de testa). Las dimensiones de estas placas también se pueden obtener mediante el software con el módulo RF-JOINTS.

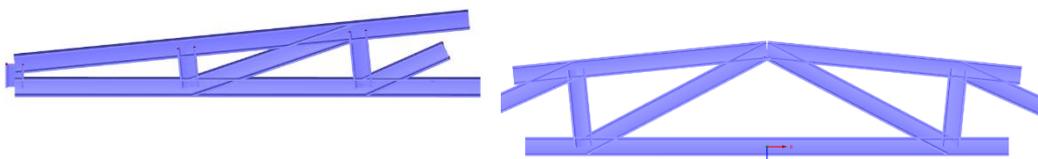


Imagen 21: División cercha perfiles I

En la imagen 21 se muestra las partes en las que se dividiría la cercha. La parte central tiene una longitud aproximada de 11,5 metros y las laterales de 9,25 metros, en consecuencia, no será necesario un transporte especial.

La unión entre las partes se muestra en la imagen 22:

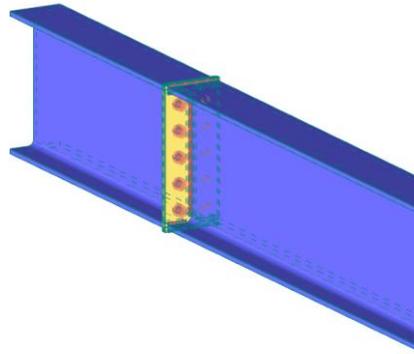


Imagen 22: Placa de unión cercha perfiles I

Y sus características son las de la imagen 23:

| Parámetros  |          |                |    |
|---|----------|----------------|----|
| <input checked="" type="checkbox"/> Asignación                          |          |                |    |
| <input checked="" type="checkbox"/> Lado de la viga 1                   |          |                |    |
| <input checked="" type="checkbox"/> Lado de la viga 2                   |          |                |    |
| <input checked="" type="checkbox"/> Chapa frontal                       |          |                |    |
| <input type="checkbox"/> Material                                       |          | Acero S 235    |    |
| <input type="checkbox"/> Disposición del ala superior                   |          | En el exterior |    |
| <input type="checkbox"/> Altura de placa                                | $h_{pl}$ | 570.0          | mm |
| <input type="checkbox"/> Ancho de placa                                 | $b_{pl}$ | 230.0          | mm |
| <input type="checkbox"/> Espesor de placa                               | $t_{pl}$ | 12.0           | mm |
| <input type="checkbox"/> Longitud del voladizo de la chapa              | $d_t$    | 10.0           | mm |
| <input checked="" type="checkbox"/> Tornillos                           |          |                |    |
| <input type="checkbox"/> Distribución regular de tornillos              |          | Sí             |    |
| <input type="checkbox"/> El plano de cortante pasa a través de la rosca |          | Sí             |    |
| <input type="checkbox"/> Diámetro de tornillo                           |          | M27            |    |
| <input type="checkbox"/> Clase resistente del tornillo                  |          | 5.6            |    |
| <input type="checkbox"/> Diámetro del agujero del tornillo              | $d_0$    | 30.0           | mm |
| <input type="checkbox"/> Filas de tornillos horizontales                | $n_r$    | 5              |    |
| <input type="checkbox"/> Filas de tornillos verticales                  | $n_c$    | 2              |    |
| <input type="checkbox"/> Distancia vertical del borde al tornillo       | $e_1$    | 80.0           | mm |
| <input type="checkbox"/> Separación vertical de tornillos               | $p_1$    | 102.5          | mm |
| <input type="checkbox"/> Distancia vertical del tornillo al borde       | $e'_1$   | 80.0           | mm |
| <input type="checkbox"/> Distancia horizontal del tornillo al borde     | $e_2$    | 55.0           | mm |
| <input type="checkbox"/> Separación horizontal de tornillos             | $p'_2$   | 120.0          | mm |
| <input type="checkbox"/> Distancia horizontal del tornillo al borde     | $e'_2$   | 55.0           | mm |
| <input checked="" type="checkbox"/> Rigidez de la unión                 |          |                |    |
| <input checked="" type="checkbox"/> Resistencia de componentes          |          |                |    |

Imagen 23: Geometría placas de unión cercha perfiles I

Con un aprovechamiento (ver imagen 24):

| Carga | A           | B            | C                  | D   | E  |
|-------|-------------|--------------|--------------------|-----|--|
|       | Descripción | Nudo<br>núm. | Tensiones<br>Razón |     | Cálculo según la fórmula   |
| CO4   | CC1 + CC2   | 84           | 0.85               | ≤ 1 | 5660) Resistencia de chapa frontal en viga 2 - Grupo de casquillos en T a tracción |

Imagen 24: Aprovechamiento placa de unión cercha perfiles I

Con todos estos datos quedaría verificado el diseño.

Aun comprobado que este diseño es válido, se cree que existe una gran capacidad de mejora tanto en peso como en el comportamiento inestable de las cerchas.

Por esta razón, se evaluará un diseño muy similar, pero con otro tipo de perfiles, perfiles tubulares estructurales.

Se espera que estos perfiles consigan una mayor rigidez en el plano longitudinal a la nave, sin perjudicar con ello la complejidad del montaje ni su peso.

### CERCHA TUBO ESTRUCTURAL

Un problema importante que puede presentar el diseño anterior es la dimensión de los cables para las cruces de San Andrés. Son necesarios unos cables de un diámetro elevado y, a parte del precio, podría ser complicado obtenerlos.

Por esto, se considerará otro diseño de cercha. Esta vez se utilizarán tubos estructurales para que las cerchas individuales ganen estabilidad e intentar evitar el uso de arriostramientos. La imagen 25 la muestra:

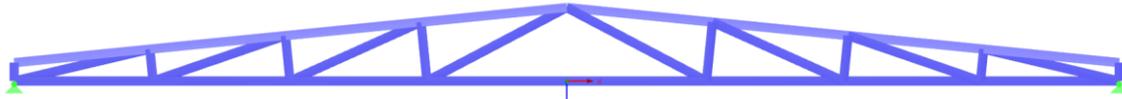


Imagen 25: Cercha tubo estructural

Se puede ver que no existe mucha diferencia entre la geometría de la cercha anterior y esta.

La cubierta mediante este tipo de cercha no precisa ser arriostrada gracias a que, por sí sola, tiene rigidez suficiente.

Los resultados de la cubierta con la carga máxima que debe resistir son (ver imagen 26):

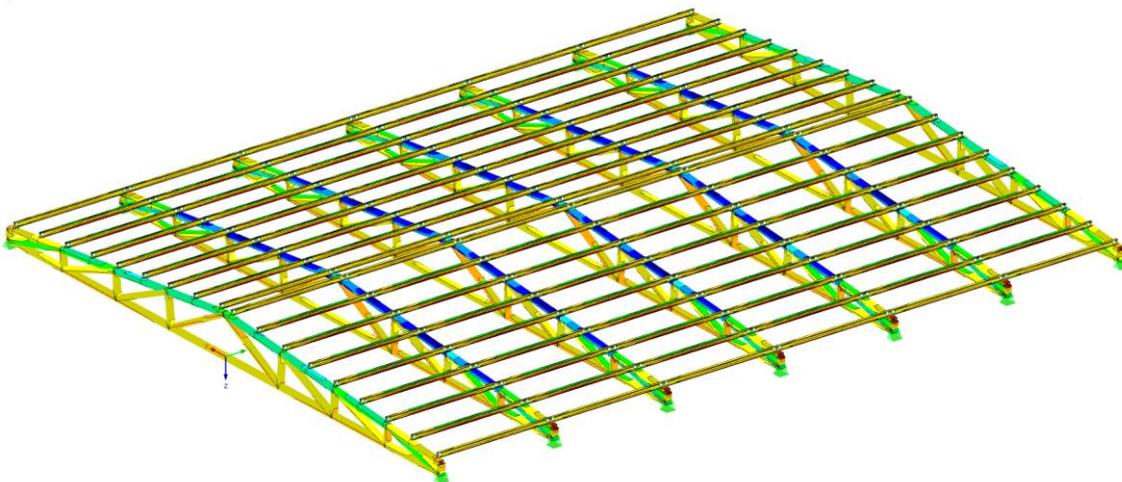


Imagen 26: Distribución de tensiones en cubierta tubo estructural

Y sus valores (ver imagen 27):

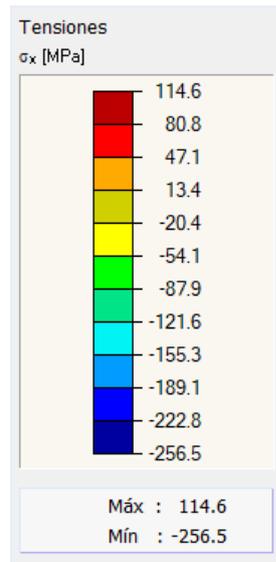


Imagen 27: Valores de las tensiones cubierta tubo estructural

Se ve que las mayores tensiones que tiene que soportar la estructura son de 256,5 MPa. Esto no supone un problema, ya que los perfiles de esta naturaleza están fabricados con acero S275.

Aplicando el módulo del eurocódigo 3, se obtiene un aprovechamiento de (ver imagen 28):

|                                  | A           | B             | C                 | D                  | E   |
|----------------------------------|-------------|---------------|-------------------|--------------------|-----|
| Carga                            | Descripción | Barra<br>núm. | Posición<br>x [m] | Tensiones<br>Razón |     |
| Cálculo del estado límite último |             |               |                   |                    |     |
| CO4                              | CC1 + CC2   | 128           | 0.000             | 0.93               | ≤ 1 |

Imagen 28: Aprovechamiento cubierta tubular

Este resultado corresponde con perfiles (ver imagen 29):

|                 | A                | B                            | C                  | D                              | E                        | F              |
|-----------------|------------------|------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------|
| Sección<br>núm. | Material<br>núm. | Descripción<br>de la sección | Tipo de<br>sección | Clasificación<br>de la sección | Razón de<br>tensiones má | Opti-<br>mizar |
| 1               | 3                | QRO 250x6.3                  | Cajón laminado     | Automáticamente                | 0.93                     | No             |

Imagen 29: Perfiles cubierta tubular

Finalmente, la estabilidad de la estructura es (ver imagen 30):

| Valor pr. núm. | A                               |       |
|----------------|---------------------------------|-------|
|                | Factor de carga crítica $f [-]$ |       |
| 1              |                                 | 1.857 |
| 2              |                                 | 3.453 |
| 3              |                                 | 5.780 |
| 4              |                                 | 7.954 |

Imagen 30: Estabilidad cubierta tubular

Con este último resultado queda comprobada la viabilidad de esta estructura, con el valor añadido de que su dimensionamiento es bastante bueno.

En este caso, también se optará por fabricar la cercha en 3 tramos para evitar el uso de transporte especial como se ve en la imagen 31.

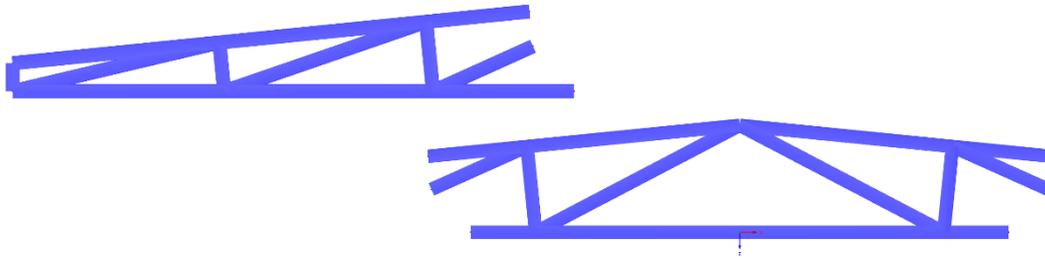


Imagen 31: Tramos cercha tubo estructural

De esta forma, las partes de los extremos tienen una dimensión máxima de 10 m. y la parte intermedia, una longitud máxima de 11,5 m.

La unión de estas partes se realizará con placas de unión, al igual que en la cercha anterior.

En este punto, el software tiene una limitación y es que el módulo existente solo tiene esta opción para perfiles tipo I y no para el resto.

El procedimiento que se seguirá para realizar su cálculo será el de calcular las placas con un perfil IPE-250 y situar los tornillos de forma que sean compatibles con el perfil calculado #250-6.3. En base a esto, se tendrán unos elementos iniciales sobre los que trabajar posteriormente.

Una vez realizado este cálculo, se comprobarán manualmente junto con el CT-DB-SE-A las propiedades del perfil. Si no cumplen, se modificarán estas mismas placas hasta conseguir su buen comportamiento.

De los 3 puntos de unión existentes, se usará para el cálculo el inferior, debido a que tiene las solicitaciones más desfavorables.

Las características de dichas placas son (ver imagen 32):

| Parámetros                                       |                    |                       |                                     |
|--|--------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| <b>Disposición de la unión</b>                   |                    |                       |                                     |
| <b>Disposición de la barra</b>                   |                    |                       |                                     |
| <b>Soldaduras</b>                                |                    |                       |                                     |
| — Dimensión de la soldadura del ala superior     | a <sub>wf,u</sub>  | 6.0                   | mm                                  |
| — Dimensión de la soldadura del ala inferior     | a <sub>wf,l</sub>  | 6.0                   | mm                                  |
| — Dimensión de soldadura del alma                | a <sub>walma</sub> | 6.0                   | mm                                  |
| <b>Chapa frontal</b>                             |                    |                       |                                     |
| — Material                                       |                    | Acero S 235           |                                     |
| — Posición de la soldadura de la chapa frontal   |                    | En el exterior del al |                                     |
| — Altura de placa                                | h <sub>pl</sub>    | 370.0                 | mm                                  |
| — Ancho de placa                                 | b <sub>pl</sub>    | 370.0                 | mm                                  |
| — Espesor de placa                               | t <sub>pl</sub>    | 10.0                  | mm                                  |
| — Longitud del voladizo de la chapa              | d <sub>t</sub>     | 90.0                  | mm                                  |
| <b>Tornillos</b>                                 |                    |                       |                                     |
| — Distribución regular de tornillos              |                    |                       | <input checked="" type="checkbox"/> |
| — El plano de cortante pasa a través de la rosca |                    |                       | <input checked="" type="checkbox"/> |
| — Diámetro de tornillo                           |                    | M16                   |                                     |
| — Clase resistente del tornillo                  |                    | 5.6                   |                                     |
| — Filas de tornillos horizontales                | n <sub>r</sub>     | 3                     |                                     |
| — Filas de tornillos verticales                  | n <sub>c</sub>     | 2                     |                                     |
| — Diámetro del agujero del tornillo              | d <sub>0</sub>     | 18.0                  | mm                                  |
| — Distancia vertical del borde al tornillo       | e <sub>1</sub>     | 30.0                  | mm                                  |
| — Distancia entre tornillos                      | p <sub>1</sub>     | 155.0                 | mm                                  |
| — Distancia vertical del tornillo al borde       | e' <sub>1</sub>    | 30.0                  | mm                                  |
| — Distancia horizontal del tornillo al borde     | e <sub>2</sub>     | 30.0                  | mm                                  |
| — Separación horizontal de tornillos             | p' <sub>2</sub>    | 310.0                 | mm                                  |
| — Distancia horizontal del tornillo al borde     | e' <sub>2</sub>    | 30.0                  | mm                                  |
| <b>Clasificación</b>                             |                    |                       |                                     |

Imagen 32: Geometría placas unión cercha tubo estructural

El aprovechamiento de las placas es (ver imagen 33):

|       | A                 | B         | C               | D    | E  |
|-------|-------------------|-----------|-----------------|------|--|
| Carga | Descripción       | Nudo núm. | Tensiones Razón |      | Cálculo según la fórmula   |
| CC1   | Sobrecarga de uso | 2         | 0.77 ≤ 1        | 5650 | Resistencia de chapa frontal en viga 2 - Casquillo en T a tracción |

Imagen 33: Aprovechamiento placas unión cercha tubo estructural

La comprobación de la validez de esta placa se hará siguiendo el punto 8.5 del documento mencionado anteriormente.

Al tener una sollicitación combinada (tracción, cortante y flector) se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Resistencia a cortante del tornillo o resistencia a aplastamiento de la chapa < Resistencia a desgarró del alma.
- Resistencia a tracción del tornillo.

$$\bullet \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1$$

### Resistencia a cortante del tornillo

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 29.310,4 \text{ N} \quad (5)$$

Tornillo: M16-5.6

$$A_s = 146,55 \text{ mm}^2$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

### Resistencia a aplastamiento de la chapa

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 76.444,4 \text{ N} \quad (6)$$

Chapa: Acero S-275

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$t = 10 \text{ mm}$$

$$f_u = 430 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$\alpha$  será el menor entre los siguientes valores (los datos de la geometría de la placa se obtienen de la imagen 34):

$$\frac{e_1}{3 \cdot d_o} = 0,56 \quad (7)$$

$$\frac{p_1}{3 \cdot d_o} - \frac{1}{4} = 2,62 \quad (8)$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = 1,16 \quad (9)$$

$$1 \quad (10)$$

### Resistencia a desgarro del alma

En este caso, se debe tomar la expresión con el menor valor de las siguientes:

$$F_{v,Rd} = \frac{f_y \cdot A}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 559.479,9 \text{ N} \quad (11)$$

$$F_{v,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{net}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} = 627.602,8 \text{ N} \quad (12)$$

$$F_{v,Rd} = \frac{f_y \cdot A_{ef}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 1.296.728,7 \text{ N} \quad (13)$$

Siendo:

$$A = t(L_v + L_1 + L_3) = 3700 \text{ mm}^2 \quad (14)$$

$$A_{net} = t(L_v + L_1 + L_3 - n \cdot d_0) = 3160 \text{ mm}^2 \quad (15)$$

$$A_{ef} = t(L_v + L_1 + L_2) = 8575,64 \text{ mm}^2 \quad (16)$$

$$L_2 = (a_2 - k \cdot d_0) \frac{f_u}{f_y} = 517,56 \text{ mm}^2 \quad (17)$$

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$t = 10 \text{ mm}$$

$$f_u = 430 \text{ MPa}$$

$$f_y = 275 \text{ MPa}$$

$$n = 3$$

$$k = 0,5$$

$$a_2 = 18 \text{ mm}$$

$$\gamma_{M0} = 1,05$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

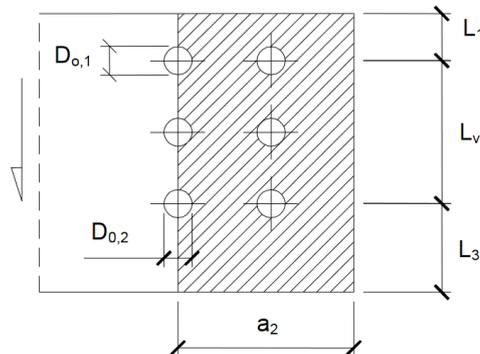


Imagen 34: Fragmento CTE desgarro del alma

La resistencia a cortante del tornillo es  $F_{v,Rd} = 29.310,4$ . Como en el diseño hay 6 tornillos, se tiene que la resistencia total es:

$$F_{v,Rd \text{ total}} = F_{v,Rd} \cdot 6 = 175.862,4 < 559.479,9. \quad (18)$$

Queda comprobada que la resistencia a desgarro del alma es mayor que la resistencia a cortante del tornillo.

### Resistencia a tracción del tornillo

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 52.758,72 \text{ N} \quad (19)$$

Tornillo: M16-5.6

$$A_s = 146,55 \text{ mm}^2$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

### Resistencia a punzonamiento

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot f_u \cdot d_m \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = 155.621,93 \text{ N} \quad (20)$$

Chapa: Acero S-275

$$t_p = 10 \text{ mm}$$

$$d_m = 24 \text{ mm}$$

$$f_u = 430 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

Al tratarse de una sollicitación combinada, estos resultados se utilizarán para la siguiente comprobación.

Se utilizará  $F_{t,Rd}$  al ser el menor de los dos valores.

### Solicitación combinada

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (21)$$

Antes de realizar esta última comprobación, se necesitan saber los esfuerzos a los que está sometida la unión. En la imagen 35 se pueden consultar dichos valores de toda la barra. Son los valores del extremo indicado los que se deben consultar, que es donde se situará la placa.

En la imagen 35 se puede ver que los esfuerzos en el extremo de la barra donde irá la placa de unión son:

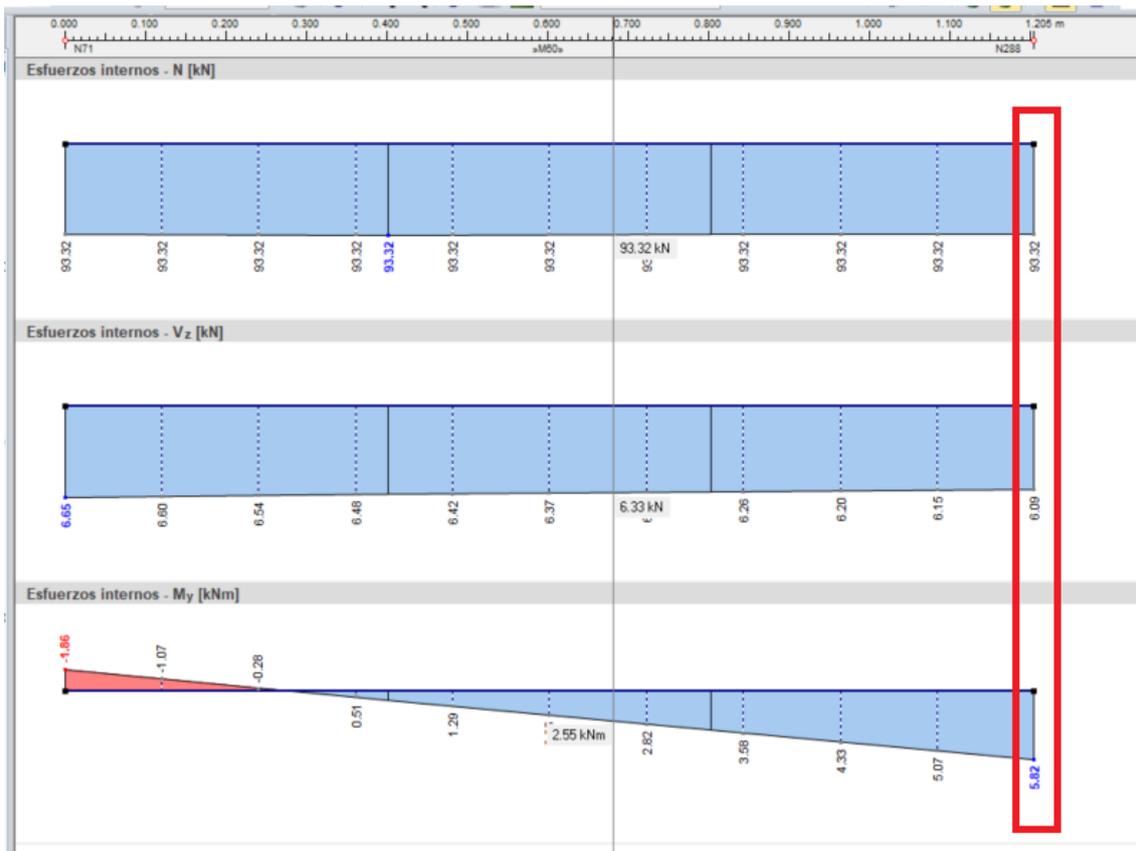


Imagen 35: Esfuerzos placa de unión

- Axil:  $N = 93,32 \text{ kN}$
- Cortante:  $V = 6,09 \text{ kN}$
- Momento:  $M = 5,82 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Por lo que

$$F_{v,Ed} = V/6 = 1,02 \text{ kN} \quad (22)$$

En el caso  $F_{t,Ed}$  se debe sumar el esfuerzo axil que soporta el tornillo con el producido por el momento.

Los tornillos están situados en 3 filas de 2 columnas. Una fila coincide con el eje de la barra y las otras dos en los extremos superior e inferior.

Los esfuerzos debidos al momento son:

$$F_M = \frac{M}{h} \cdot \frac{1}{n} = \frac{5,82}{0,155} \cdot \frac{1}{2} = 18,77 \text{ kN} \quad (23)$$

$h$ : distancia entre el eje de la barra al eje de los tornillos.

$n$ : número de tornillos que contribuyen.

Si solo actuara el momento flector, solo habría 2 tornillos en situación de tracción y este esfuerzo se repartiría entre ellos.

En el caso del esfuerzo axil, el esfuerzo se repartiría entre todos los tornillos por lo que

$$F_A = \frac{93,32}{6} = 15,55 \text{ kN} \quad (24)$$

$$F_{t,Ed} = F_A + F_M = 15,55 + 18,77 = 34,32 \text{ kN} \quad (25)$$

Finalmente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} = \frac{1,02}{29,31} + \frac{34,32}{1,4 \cdot 52,76} = 0,5 \leq 1 \quad (26)$$

Quedando verificado que las placas obtenidas por el software son válidas para nuestros perfiles tubulares.

### Cordones de soldadura.

En este apartado se tiene el mismo problema que en el apartado anterior. El software solo tiene desarrollado este módulo para perfiles tipo I. Como los utilizados son perfiles tubulares debemos verificar lo que dice la norma (CT-DB-SE-A 8.6).

Se considerarán 2 tipos de uniones: uniones a tope y uniones en ángulo. Existen de los dos tipos en todas las uniones entre barras: las uniones a tope se dan en la cara anterior o posterior de la cercha, donde las caras de los perfiles se encuentran al mismo nivel, y las uniones en ángulo se dan en el interior de la cercha, en dirección perpendicular a la anterior (ver imagen 36).

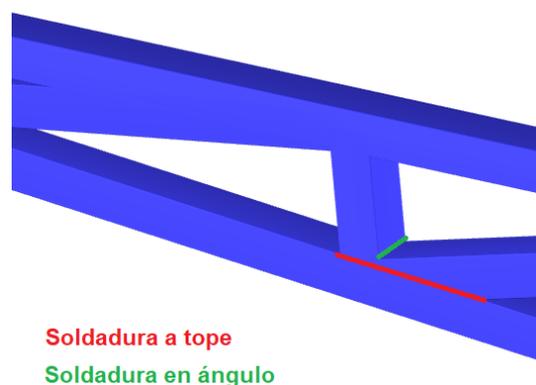


Imagen 36: Tipos de soldaduras

Existe el peligro que no sea físicamente posible realizar la unión en ángulo de alguna cara, por el ángulo que forman las dos barras. Para evitar que esto pueda generar un mal funcionamiento del elemento, se comprobará si con las uniones a tope solamente, tienen la resistencia suficiente para validar la cercha.

Según el punto 8.6.3 del CTE-DB-SE-A, siempre que la penetración de la soldadura sea total, no será necesaria ninguna comprobación, tomando como resistencia de cálculo la mínima resistencia de las piezas a unir.

Teniendo en cuenta esto, los puntos más solicitados son la unión de las barras que constituyen la cumbrera y la unión de las diagonales situadas en los extremos con el punto de apoyo de la cercha (ver imagen 37).

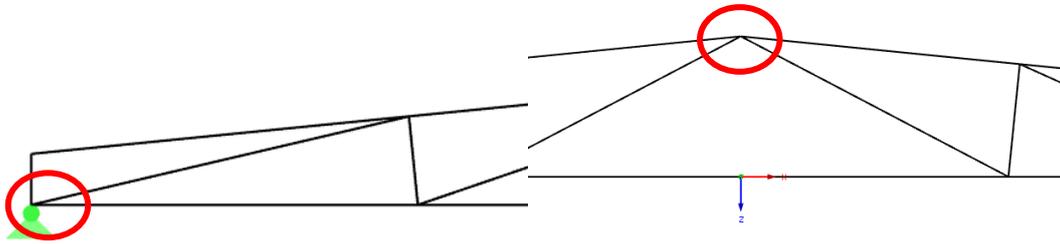


Imagen 37: Zonas de estudio de la soldadura

El CTE indica que la zona soldada debe resistir la resultante de todas las fuerzas aplicadas en ella.

En la estructura, al tratarse de una cercha, los esfuerzos que debe resistir son en su mayor parte esfuerzos axiales. En los puntos que se estudian los esfuerzos son:

Cumbrera:

- Axil:  $N = 1.130 \text{ kN}$
- Cortante:  $V = 37 \text{ kN}$
- Momento:  $M = 34 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Extremo de la diagonal:

- Axil:  $N = 725 \text{ kN}$
- Cortante:  $V = 13 \text{ kN}$
- Momento:  $M = 26 \text{ kN}\cdot\text{m}$

En ambos casos se trabajará con el esfuerzo axial, desechando los otros dos al considerarlos despreciables frente a este.

En la zona de la cumbrera, en la unión de los perfiles que se encuentra en la parte superior, al estar estos a  $170^\circ$  entre sí, se supondrá como otra unión a tope.

Verificación de la cumbrera:

$$L_{\text{cordón}} = 3 \cdot 250 = 750 \text{ mm} \quad (27)$$

$$\text{Esfuerzo aplicado} = \frac{N_{\text{cumbrera}}}{L_{\text{cordón}}} = \frac{1.130 \cdot 10^3}{750} = 1.506,67 \text{ N/mm} \quad (28)$$

$$\text{Resistencia del material} = 275 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 750 \text{ mm} = 206.250 \text{ N/mm} \quad (29)$$

Verificación del extremo de la diagonal:

$$L_{\text{cordón}} = 2 \cdot 250 = 500 \text{ mm} \quad (30)$$

$$\text{Esfuerzo aplicado} = \frac{N_{\text{cumbrera}}}{L_{\text{cordón}}} = \frac{724 \cdot 10^3}{500} = 1.448 \text{ N/mm} \quad (31)$$

$$\text{Resistencia del material} = 275 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 500 \text{ mm} = 137.500 \text{ N/mm} \quad (32)$$

Con estos resultados se comprueba que realizando solamente las uniones que se encuentren a tope entre los perfiles, la cercha soportará las cargas aplicadas.

Aun así, todas las uniones en ángulo donde sea accesible la soldadura, se realizarán, para rigidizar todo lo posible los nudos. La altura del cordón para estas uniones será el mínimo indicado en el CTE,  $a = 3 \text{ mm}$ . Esto mejorará el comportamiento de la cercha sin añadir mucho coste extra.

Otro punto importante a tener en cuenta en las soldaduras, es que cuando la posición de la soldadura coincida con el extremo de la barra, se deberá realizar una preparación de bordes como la mostrada en la imagen 38. Esto garantizará la penetración total.

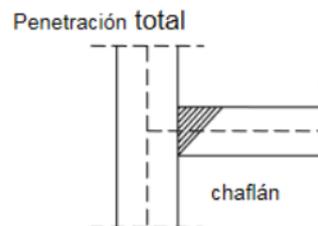


Imagen 38: Preparación de bordes

Por último, las correas se unirán a las cerchas mediante ejiones soldados en estas, en su posición correspondiente. Se puede ver un detalle en la imagen 39.

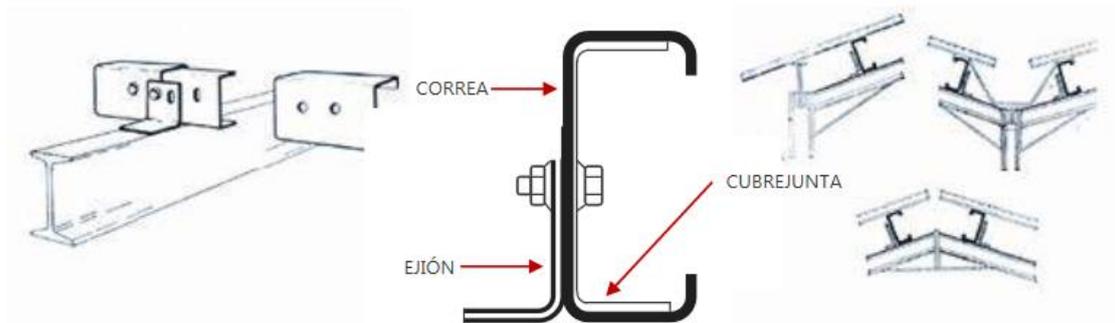


Imagen 39: Detalle unión ejión-correa

### Resumen de los elementos de la cubierta:

- Perfiles cercha
  - # 250x6.3
  - Masa: 4.796 kg/cercha
  - Longitud total perfiles: 100,16 m
- Cables cruces San Andrés:
  - No necesarias
- Correas:
  - C23/75/300/75/23/3
  - Masa: 74,1 kg/correa
  - Longitud: 6 m/correa
  - Número de correas: 108 uds.
- Panel sándwich: el mismo que el proyectado inicialmente con la estructura de hormigón prefabricado.

A parte de la necesidad de arriostrar la cubierta, otra gran diferencia entre esta última cercha con la cercha diseñada con perfiles abiertos es su masa. Mientras que, con perfil tubular la masa de cada cercha es de 4.796 kg, la masa con perfil abierto se sube hasta los 23.186 kg. Casi 5 veces más, suponiendo una diferencia muy importante a nivel de cargas sobre el resto de la estructura.

Pero lo más importante es que la cercha de perfiles abiertos tiene una masa mayor que la propia viga de hormigón prefabricado propuesta en un primer momento en el proyecto aportado. La viga de hormigón tiene una masa de 19.470 kg. Esto supone una sobrecarga sobre los pilares no considerada, pudiendo comprometer tanto su estabilidad como su resistencia.

Por todos estos motivos, se cree conveniente desechar los anteriores diseños de cubiertas metálicas y seleccionar como propuesta la última opción, de perfiles tubulares estructurales.

#### 4.4. Madera

En este punto se aportará una solución realizada en madera laminada encolada. La elección de este material está motivada a su cada vez mayor utilización en todo tipo de construcciones, tanto a modo estético como a modo estructural, donde parte o toda la estructura de la edificación se ejecuta con ella.

A continuación, se comprobará la viabilidad de la instalación de dinteles en los pórticos del caso que acontece.

#### DINTEL

La forma más sencilla de construir la cubierta es mediante dinteles, ya que se trata de 2 vigas prismáticas unidas entre ellas.

La gran diferencia entre el uso de dinteles de madera y de perfiles de acero es, sobre todo, la tipología de los perfiles y la diferencia de densidades de los materiales. Además de la distinta rigidez y resistencia.

En la siguiente tabla se muestra una comparativa entre distintos materiales para tener presente las ventajas y desventajas a la hora de su utilización.

| Material                      | Hormigón                   | Acero   | Madera                                |
|-------------------------------|----------------------------|---------|---------------------------------------|
| Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) | 2.400                      | 7.850   | 400-700                               |
| Módulo Elástico (MPa)         | aprox. 33.000<br>(28 días) | 210.000 | 9.000-12.000<br>(Paralelo a la fibra) |
| Límite elástico (MPa)         | 25-50                      | 235-375 | 20-32                                 |

Son unos valores genéricos que dependen del grado de calidad que se elija de cada uno de ellos pero que son válidos para hacerse una idea de los posibles usos que se les puede dar.

El valor típico que designa la calidad del material es el límite elástico, el máximo valor de tensiones que admite el material sin perder su comportamiento elástico.

Además, por ejemplo, el módulo elástico para el hormigón no solo varía en pequeña medida en función de su límite elástico, sino que, también en función de los días transcurridos desde su vertido.

Para la madera, este valor no solo depende de la especie de árbol que se ha utilizado, además existe una gran dependencia de la dirección en la cual se aplica la carga. No tiene la misma rigidez ni resistencia si la carga se aplica en la misma dirección que se encuentran las fibras que conforman el elemento que si se aplican en la dirección perpendicular.

En el caso de la madera, la sección de las vigas que se estudiarán es maciza, por lo que es una ventaja a nivel de estabilidad.

La madera utilizada para el modelo es madera laminada encolada GL24h.

Según el eurocódigo 5 sección 3.2, que es la normativa que recoge las pautas a seguir en construcciones realizadas con este material, la madera laminada encolada es un material totalmente válido para su uso estructural.

Pero en esta norma no vienen recogidas las características que deben cumplir los elementos fabricados con este tipo de madera. Por el contrario, se apoya en otra norma, UNE-EN 14080.

Por ejemplo, en la tabla 3 de esta última norma viene indicado de qué clase deben ser las láminas que compondrán el elemento a construir, y en la tabla 5 las propiedades de resistencia, rigidez... que deben superar (ver imagen 40).

Tabla 5 - Propiedades características de resistencia y rigidez en N/mm<sup>2</sup>, y densidad en kg/m<sup>3</sup> para madera laminada encolada homogénea

| Propiedad   | Símbolo         | Clase resistente de madera laminada encolada |        |        |        |        |        |        |
|---|-----------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|   |                 | GL 20h                                       | GL 22h | GL 24h | GL 26h | GL 28h | GL 30h | GL 32h |
| Resistencia a flexión                                 | $f_{m,g,k}$     | 20   | 22     | 24     | 26     | 28     | 30     | 32     |
| Resistencia a tracción                                | $f_{t,0,g,k}$   | 16   | 17,6   | 19,2   | 20,8   | 22,3   | 24     | 25,6   |
|   | $f_{t,90,g,k}$  | 0,5  |        |        |        |        |        |        |
| Resistencia a compresión                              | $f_{c,0,g,k}$   | 20   | 22     | 24     | 26     | 28     | 30     | 32     |
|   | $f_{c,90,g,k}$  | 2,5  |        |        |        |        |        |        |
| Resistencia a esfuerzo cortante (cortadura y torsión) | $f_{v,g,k}$     | 3,5  |        |        |        |        |        |        |
| Resistencia al cortante de rodadura                   | $f_{r,g,k}$     | 1,2  |        |        |        |        |        |        |
| Modulo de elasticidad                                 | $E_{0,g,mean}$  | 8 400  | 10 500 | 11 500 | 12 100 | 12 600 | 13 600 | 14 200 |
|   | $E_{0,g,05}$    | 7 000  | 8 800  | 9 600  | 10 100 | 10 500 | 11 300 | 11 800 |
|   | $E_{90,g,mean}$ | 300  |        |        |        |        |        |        |
|   | $E_{90,g,05}$   | 250  |        |        |        |        |        |        |
| Módulo de elasticidad transversal                     | $G_{g,mean}$    | 650  |        |        |        |        |        |        |
|   | $G_{g,05}$      | 540  |        |        |        |        |        |        |
| Módulo de cortante de rodadura                        | $G_{r,g,mean}$  | 65   |        |        |        |        |        |        |
|   | $G_{r,g,05}$    | 54   |        |        |        |        |        |        |
| Densidad  | $\rho_{g,k}$    | 340  | 370    | 385    | 405    | 425    | 430    | 440    |
|   | $\rho_{g,mean}$ | 370  | 410    | 420    | 445    | 460    | 480    | 490    |

Imagen 40: Tabla 5 de UNE-EN 14080

Las principales propiedades de esta madera son:

- Peso específico: 5 kN/m<sup>3</sup>
- Módulo elástico: 11.600 MPa
- Resistencia a flexión: 24 MPa
- Resistencia a tracción: 16,5 MPa

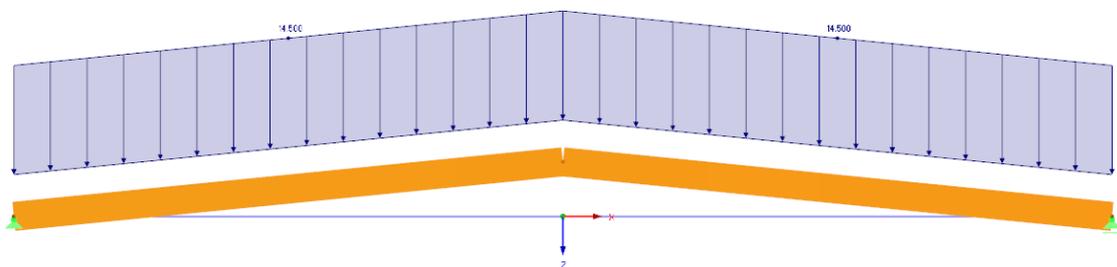


Imagen 41: Dintel de madera

En un primer diseño, al calcular los resultados con un dintel individual (ver imagen 41), aparece un problema de inestabilidad (ver imagen 42):

#### Descripción de error de cálculo o mensaje

¡La matriz de rigidez es singular! El modelo es inestable. Se encontró una inestabilidad en el nudo de EF núm. 2, dirección Y, incremento 1. La carga especificada es mayor que la carga crítica. Es posible calcular los factores de carga crítica y pandeo en el módulo adicional RF-STABILITY, usando el método de incremento de carga para el punto de fallo estructural.

Imagen 42: Error inestabilidad dintel madera

Debido a esto, se realizarán los cálculos directamente sobre la cubierta completa, arriostrándola mediante cruces de san Andrés llevadas a cabo por cables de acero.

Los arriostramientos se encuentran entre el primer pórtico y el segundo y entre el sexto y el último. Es posible que con esto sea suficiente, pero se comprobará más adelante.

Otro tema a considerar es cómo se aplican las cargas. En el caso de las cubiertas de madera, normalmente, las correas se instalan con las superficies superiores en el mismo plano que las vigas permitiendo que parte de los paneles que se instalen sobre ellas, carguen su carga directamente sobre el dintel.

Con todo esto en cuenta, y considerando la misma carga por unidad de superficie que en los casos anteriores, se aplicará la carga de  $2,1 \text{ kN/m}^2$  directamente sobre los 2 planos de la cubierta (ver imágenes 43 y 44).

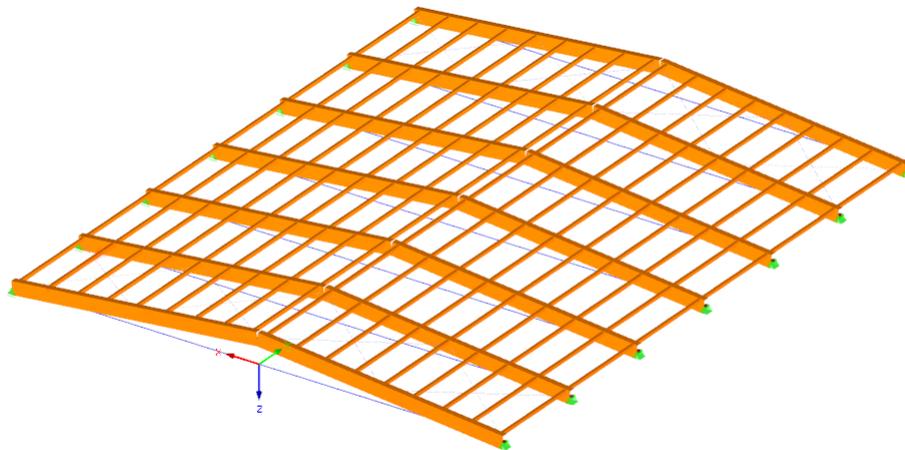


Imagen 43: Cubierta completa madera

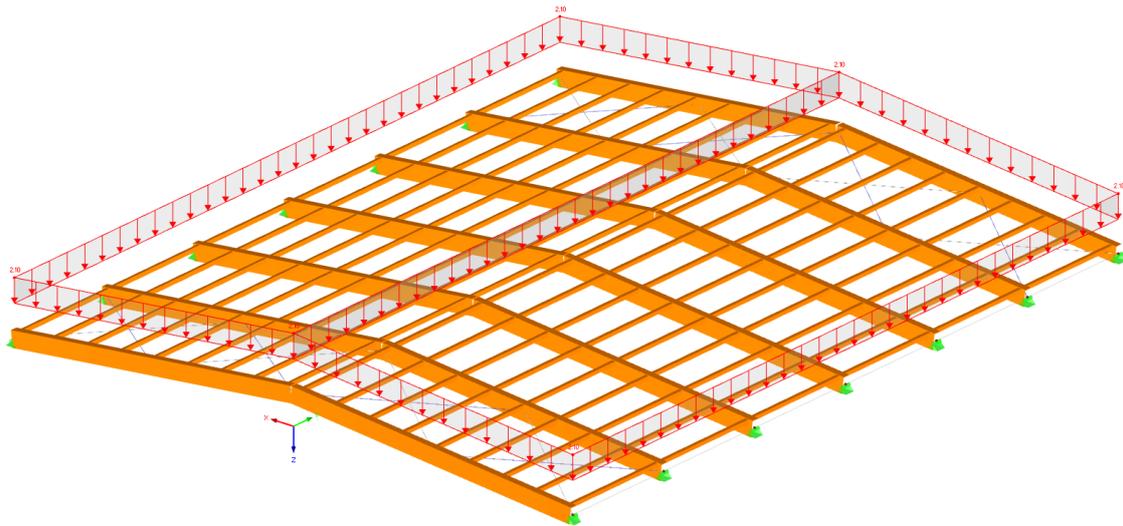


Imagen 44: Distribución de las cargas cubierta de madera

Se puede observar como el software distribuye esta carga sobre cada elemento, repartiéndola considerando las áreas contributivas (ver imagen 45).

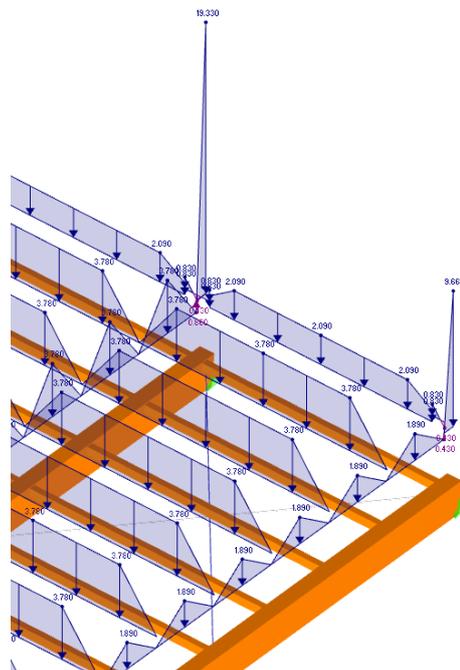


Imagen 45:: Detalle distribución de cargas cubierta de madera

Después de varios diseños para dimensionar las vigas de los dinteles y las correas, los resultados obtenidos son los siguientes (ver imágenes 46 y 47):

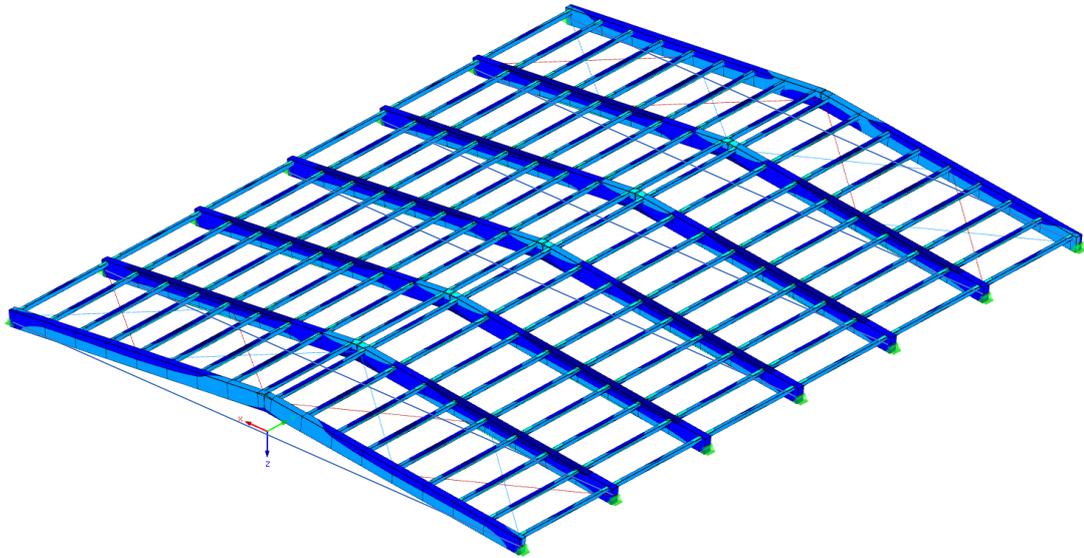


Imagen 46: Distribución de tensiones cubierta de madera

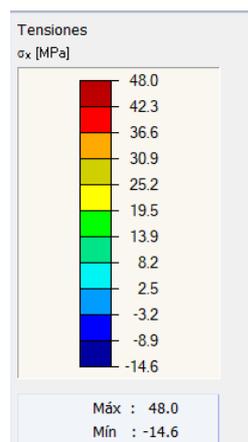


Imagen 47: Valores de tensiones cubierta de madera

Las dimensiones de las vigas de los dinteles que hemos considerado para obtener los resultados anteriores son 800 mm de canto y 350 mm de espesor, y 10 mm de diámetro para los cables de los arriostramientos. Las correas instaladas son de madera también, con un canto de 200 mm y un espesor de 150 mm. Los tirantes se analizarán más adelante.

Se ve que en los resultados se obtienen tensiones superiores a 24 MPa. No es preocupante porque estos valores son alcanzados en los cables.

Seguidamente a este primer cálculo, se aplicará el módulo del software dedicado al cálculo de estructuras de este material.

Los resultados obtenidos son (ver imagen 48):

| Sección<br>núm. | A<br>Material<br>núm. | B<br>Descripción de<br>la sección [mm] | C<br>Razón de<br>tens. máx. | D<br>Optimizar | E<br>Nota |
|-----------------|-----------------------|--|-----------------------------|----------------|-----------|
| 1               | 3                     | M-Rectángulo 350/800                   | 0.99                        | No             |           |
| 2               | 3                     | M-Rectángulo 150/200                   | 0.93                        | No             |           |

Imagen 48: Aprovechamiento madera

Antes de nada, y como es lógico, este módulo no tiene en cuenta los elementos que son de otros materiales.

Queda comprobado que el dimensionamiento realizado es prácticamente el óptimo para nuestras solicitaciones.

Finalmente, el estudio de estabilidad para la cubierta arroja los siguientes resultados (ver imagen 49):

| Valor pr.<br>núm. | A<br>Factor de carga crítica<br>f[-] |
|-------------------|--------------------------------------|
| 1                 | 3.853                                |
| 2                 | 3.975                                |
| 3                 | 3.976                                |
| 4                 | 4.114                                |

Imagen 49: Estabilidad cubierta de madera

Teniendo todo esto calculado aparece un problema. Los cables de las cruces de san Andrés son suficientes con un diámetro de 10 mm. Hasta aquí bien, el problema surge en el momento que se dimensionan los tirantes que unen los extremos de los dinteles.

Para que la estructura cumpla se necesita un diámetro para estos de al menos 140 mm, lo que complica el montaje, a la par de aumentar el coste de una forma muy elevada.

Este punto se ha simulado imponiendo en uno de los extremos del dintel un apoyo fijo y en el otro un apoyo deslizante en la dirección del propio dintel. De esta forma, se obliga a que los tirantes deban resistir el empuje lateral que se genere.

Este daño colateral se debe a cambiar la tipología de la estructura. La viga delta de hormigón no tiene este problema porque ella misma es capaz de soportar estos esfuerzos, simplemente por la forma de su construcción.

En cambio, utilizando dinteles, es necesaria una solución como esta para evitar que estos esfuerzos recaigan en los pilares.

La unión entre las vigas en la zona de la cumbrera se realizará mediante placas de acero insertadas en ranuras realizadas en las vigas y tornillos, para mantener la unión.

Esta unión se puede calcular también con el software. Este aplica el CTE-SE-M.

La imagen 50 muestra cómo es la inserción de las placas de acero en la viga.

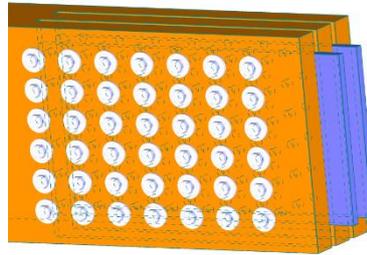


Imagen 50: Esquema uniones madera

Los parámetros de la unión que se han calculado son (ver imagen 51):

| Parámetros  |           |            |                 |
|---|-----------|------------|-----------------|
| Geometría de base de la unión                           |           |            |                 |
| Barra principal   |           |            |                 |
| Barra   |           |            |                 |
| Longitud  | $l$       | 2.17       | m               |
| Altura  | $h$       | 800.0      | mm              |
| Espesor   | $t$       | 350.0      | mm              |
| Área de la sección                                      | $A$       | 2800.00    | cm <sup>2</sup> |
| Resistencia de placa de acero                           |           |            |                 |
| Número de placas de acero                               | $n_{pl}$  | 2          |                 |
| Altura  | $h$       | 632.0      | mm              |
| Espesor   | $t$       | 30.0       | mm              |
| Área de la sección                                      | $A$       | 379.20     | cm <sup>2</sup> |
| Grupo de tornillos                                      |           |            |                 |
| Modelo  |           | Rectángulo |                 |
| Número de columnas de tornillos (dirección x)           | $n_{dx}$  | 7          |                 |
| Número de filas de tornillos (dirección z)              | $n_{dz}$  | 6          |                 |
| Distancia entre columnas de tornillos                   | $a_1$     | 150.0      | mm              |
| Distancia entre filas de tornillos                      | $a_2$     | 112.0      | mm              |
| Distancia desde el extremo cargado hasta el tornillo en | $a_{3,t}$ | 210.0      | mm              |
| Distancia entre medio de fijación y borde núm. 1        | $a_{4,1}$ | 120.0      | mm              |
| Distancia entre medio de fijación y borde núm. 2        | $a_{4,2}$ | 120.0      | mm              |
| Excentricidad   | $e_z$     | 0.0        | mm              |
| Ángulo del chafán                                       | $\alpha$  | 0.00       | °               |
| Giro  | $\beta$   | 0.00       | °               |
| Módulo de deslizamiento para ELS                        | $K_{ser}$ | 4003.64    | MN/m            |
| Módulo de deslizamiento para ELU                        | $K_u$     | 2053.15    | MN/m            |
| Momento de inercia polar                                | $I_p$     | 53166.40   | cm <sup>2</sup> |
| Módulo de giro para ELS                                 | $C_{ser}$ | 506.81     | MNm/r           |
| Módulo de giro para ELU                                 | $C_u$     | 259.90     | MNm/r           |
| Pernos  |           |            |                 |
| Número total de pernos                                  |           | 42         |                 |
| Tipos de pernos   |           | 1          |                 |
| Diámetro  | $d$       | 30.0       | mm              |
| Área  | $A$       | 7.07       | cm <sup>2</sup> |
| Longitud  | $l$       | 350.0      | mm              |

Imagen 51: Parámetros unión madera

Y los resultados del cálculo son (ver imagen 52):

|                   | A                    | B     | C                  | D   | E                             |
|-------------------|----------------------|-------|--------------------|---|-------------------------------|
|                   | Determinante<br>Nudo | Carga | Tensiones<br>Razón |   | Comprobación según la fórmula |
| ☐ Barra principal |                      |       |                    |   |                               |
| 86                | CO4                  | 0.42  | ≤ 1                | 5005) Barra principal 90 - Placas de acero - Resistencia a esfuerzo axial, cortante y flexión según EN 1993-1-1, 6.2.10 |                               |
| 86                | CO4                  | 0.83  | ≤ 1                | 6145) Barra principal 90 - Sección de madera - Compresión y flexión en la sección neta según 6.2.4                      |                               |
| 86                | CO4                  | 0.03  | ≤ 1                | 5004) Barra principal 91 - Placas de acero - Resistencia a cortante según EN 1993-1-1, 6.2.6                            |                               |
| 86                | CO4                  | 0.16  | ≤ 1                | 5002) Barra principal 91 - Placas de acero - Resistencia a compresión según EN 1993-1-1, 6.2.4                          |                               |
| 86                | CO4                  | 0.75  | ≤ 1                | 6010) Barra principal 91 - Grupo de tornillos - Capacidad portante de carga del tornillo simple según 8.2.3 y 8.5       |                               |
| 86                | CO4                  | 0.04  | ≤ 1                | 5009) Barra principal 91 - Placas de acero - Resistencia al aplastamiento según EN 1993-1-8, tab. 3.4                   |                               |
| 86                | CO4                  | 0.78  | ≤ 1                | 6034) Barra principal 91 - Grupo de tornillos - Fuerzas de conexión en el ángulo hacia la fibra según 8.1.4             |                               |
| 86                | CO4                  | 0.80  | ≤ 1                | 6146) Barra principal 91 - Sección de madera - Cortante adicional en la sección neta debido al momento                  |                               |
| 86                | CO4                  | 0.79  | ≤ 1                | 6033) Barra principal 91 - Grupo de tornillos - Fuerzas de conexión en el ángulo hacia la fibra debido al momento       |                               |
| 86                | CO4                  | 0.79  | ≤ 1                | 6142) Barra principal 91 - Sección de madera - Cortante en la sección neta según 6.1.7                                  |                               |

Imagen 52: Resultados unión madera

Para terminar, la unión entre las correas y los dinteles se realizará con soportes tipo “U” como el mostrado en la imagen 53:

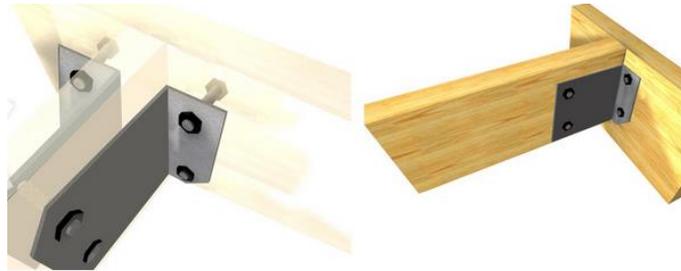


Imagen 53: Soporte correas madera

A la vista de las dimensiones de las vigas de los dinteles, y para solucionar el problema del arriostamiento, se procederá a realizar el diseño de la cubierta mediante deltas de madera.

DELTA

El siguiente diseño que se comprobará será el de deltas de madera similares a las de hormigón (ver imagen 54).

Gracias a esta tipología de vigas, se evita trasladar fuerzas horizontales a los pilares, problema que aparecía en el diseño anterior.

Cabe decir que el tipo de madera que se empleará para este diseño es el mismo que para el caso anterior, madera laminada encolada GL24h.

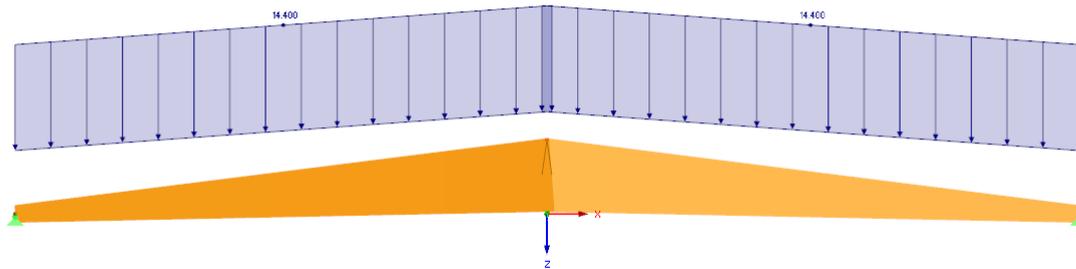


Imagen 54: Delta de madera

Después de realizar varias pruebas, las dimensiones de la viga que satisfacen las cargas son (los valores de los cantos ya estaban prefijados por la estética externa de la cubierta) (ver imagen 55):

- Canto en los extremos: 500 mm
- Canto en el centro: 2.100 mm
- Espesor: 350 mm

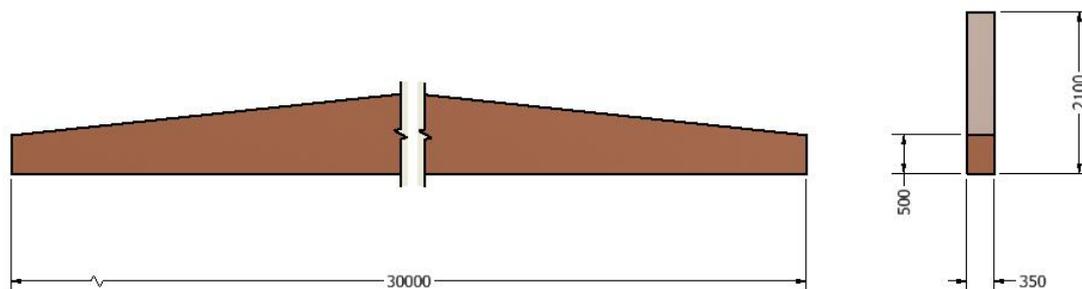


Imagen 55: Dimensiones delta de madera

Con este diseño, los resultados obtenidos para las sollicitaciones del proyecto son (ver imagen 56 y 57):

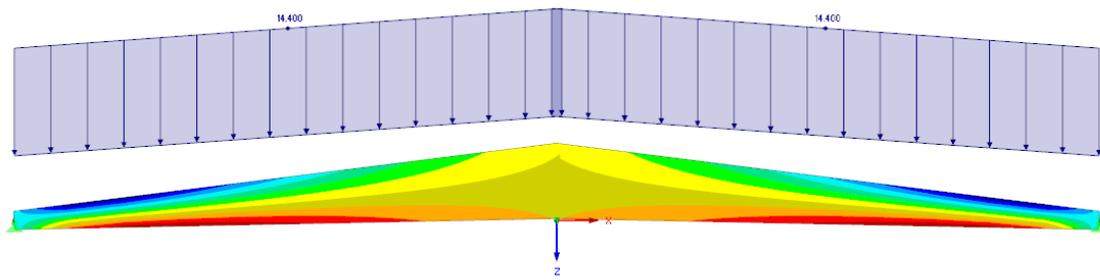


Imagen 56: Tensiones delta madera

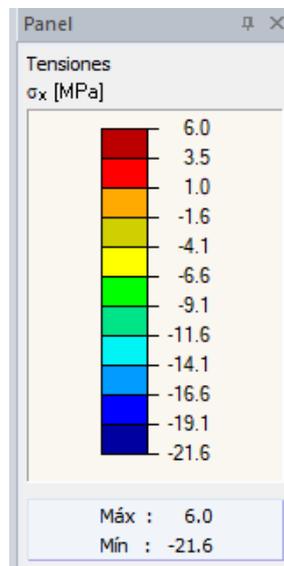


Imagen 57: Valores de las tensiones delta madera

Se logra una resistencia adecuada, pero aparecen problemas de estabilidad, por lo que se precisará arriostrar las deltas entre ellas (ver imagen 58).

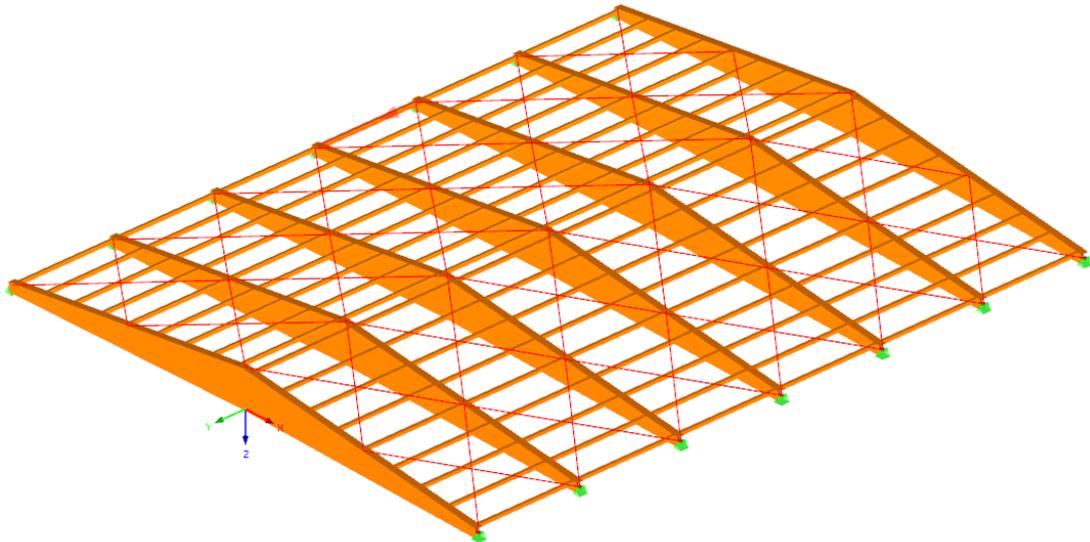


Imagen 58: Cubierta completa con deltas de madera

De la misma forma que en el caso del acero, al crucificar todas las crujías se consigue disminuir el diámetro de los cables. De esta manera también disminuyen las sollicitaciones que hacen estos en los puntos de unión a las vigas.

Las correas utilizadas tienen las mismas características que las del diseño anterior.

Para la aplicación de las cargas se ha procedido de la misma forma que para la cubierta de dinteles (ver imagen 59).

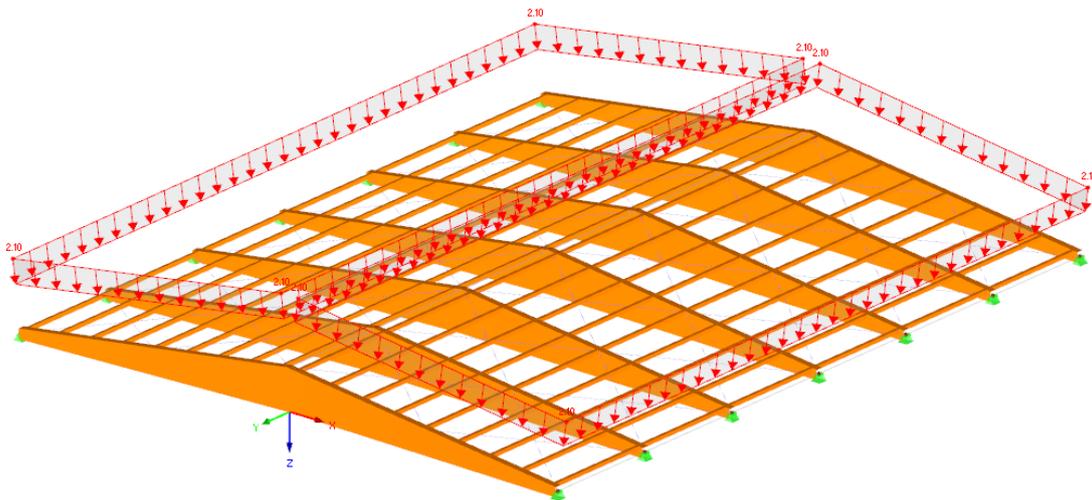


Imagen 59: Cargas sobre superficie



Con toda la cubierta montada obtenemos unos valores para la estabilidad de (ver imagen 62):

| 2.1 Factores de carga crítica |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|
| Valor pr. núm.                | A                               |
|                               | Factor de carga crítica $f$ [-] |
| 1                             | 1.460                           |
| 2                             | 2.660                           |
| 3                             | 4.686                           |
| 4                             | 6.844                           |

Imagen 62: Estabilidad cubierta deltas de madera

En cambio, calculando su resistencia, se encuentra que en las 4 esquinas de la nave aparecen esfuerzos cortantes algo superiores al límite (ver imagen 63 y 64).

| 2.1 Cálculo por caso de carga |                                  |            |                |          |      |  |
|-------------------------------|----------------------------------|------------|----------------|----------|------|--|
| Carga                         | A                                | B          | C              | D        | E    | F  |
|                               | Descripción                      | Barra núm. | Posición x [m] | Razón    |      | Cálculo según fórmula  |
|                               | Cálculo del estado límite último |            |                |          |      |  |
| CO4                           | CC1 + CC2                        | 1          | 0.000          | 1.23 > 1 | 133) | Resistencia de la sección - Cortante debido al esfuerzo cortante $V_y/V_u$ , $V_z/V_v$ |

Imagen 63: Resistencia cubierta delta de madera

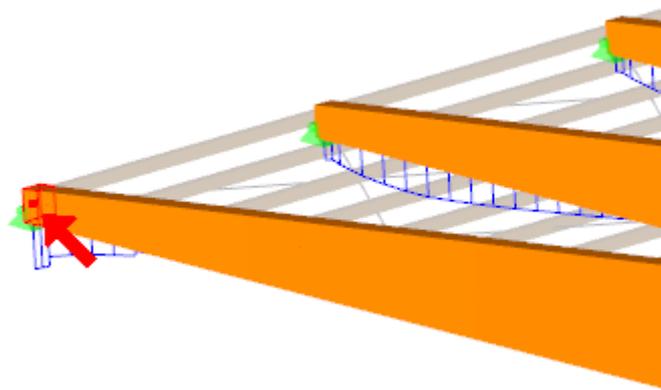


Imagen 64: Zona de fallo cubierta delta de madera

Después de analizar el resto de la estructura y comprobar las zonas afectadas, se llega a la conclusión de que estos esfuerzos son debidos a la forma de simular el software estos puntos.

Exceptuando esos puntos, las zonas más solicitadas de la cubierta, llegan al 92% de su resistencia (ver imagen 65).

|  |     |       |     |      |     |
|--|-----|-------|-----|------|-----|
|  | 100 | 1.804 | CO4 | 0.86 | ≤ 1 |
|  | 7   | 1.804 | CO4 | 0.92 | ≤ 1 |
|  | 00  | 0.000 | CO4 | 0.00 | ≤ 1 |

Imagen 65: Aprovechamiento cubierta deltas de madera

Como los apoyos reales cuentan con una mayor superficie que los puntos considerados por el programa y que, además, las zonas afectadas, al tratarse de los extremos de las vigas, no tendrán dichas solicitaciones por estar dentro de la superficie apoyada. De esta manera queda verificado y comprobado este diseño, rechazando la cubierta de dinteles de madera por presentar mayores problemas.

#### 4.5. Resumen

A nivel recopilatorio, y con las propuestas diseñadas y verificadas, se expondrá a continuación un cuadro resumen con los datos más representativos de cada una de ellas.

Cabe decir que, tanto en el proyecto inicial como en las propuestas realizadas, la cubierta se realizará con el mismo panel sándwich.

El único cambio existente es la unión de este con la estructura. Mientras que en el caso de la estructura de hormigón se usan ganchos como el de la imagen 66:



*Imagen 66: Gancho sujeción hormigón*

Para el caso de la estructura de acero y de madera, la unión se realizará atornillando directamente los paneles a las correas (ver imagen 67).



*Imagen 67: Tornillos para metal y madera*

| <b>Estructura hormigón prefabricado</b> |                     |                     |          |              |                 |          |
|---|---------------------|---------------------|----------|--------------|-----------------|----------|
|   | Fabricante          | Denominación        | Longitud | Canto        | Peso propio     | Cantidad |
| Viga delta                              | Prefabricados Pujol | Viga peraltada I-60 | 30 m     | 2,1 m (máx.) | 194,7 kN/dintel | 7 uds    |
| Correas                                 | Prefabricados Pujol | Vigueta VP-26       | 6 m      | 260 mm       | 3,24 kN/correa  | 108 uds  |
| <b>Peso total</b>                       | 1.712,82 kN         |                     |          |              |                 |          |

| <b>Estructura acero</b> |            |                    |          |            |                 |          |
|-------------------------|------------|--------------------|----------|------------|-----------------|----------|
|                         | Fabricante | Denominación       | Longitud | Canto      | Peso propio     | Cantidad |
| Cercha                  | -          | #250x6,3           | 30 m     | 2 m (máx.) | 47 kN/cercha    | 7 uds    |
| Correas                 | Kingspan   | C23/75/350/75/23/3 | 6 m      | 350 mm     | 0,726 kN/correa | 108 uds  |
| <b>Peso total</b>       | 495,36 kN  |                    |          |            |                 |          |

| <b>Estructura madera</b> |            |              |          |        |                |          |
|--------------------------|------------|--------------|----------|--------|----------------|----------|
|                          | Fabricante | Denominación | Longitud | Canto  | Peso propio    | Cantidad |
| Viga delta               | -          | 2100x500x350 | 30 m     | -      | 67,68 kN/viga  | 7 uds    |
| Correas                  | -          | #150x200     | 5,65 m   | 200 mm | 0,88 kN/correa | 108 uds  |
| Cables                   | -          | ∅ 10         | 9,6 m    | -      | 0,04 kN/cable  | 48 uds   |
| <b>Peso total</b>        | 570,72 kN  |              |          |        |                |          |

| <b>Panel sandwich cubierta</b> |                      |                         |             |         |                        |          |
|--------------------------------|----------------------|-------------------------|-------------|---------|------------------------|----------|
|                                | Fabricante           | Denominación            | Dimensiones | Espesor | Peso propio            | Cantidad |
|                                | Grupo Sandwich Panel | Panel sandwich 3 grecas | 7,6 x 1 m   | 60 mm   | 0,11 kN/m <sup>2</sup> | 240 uds  |
| <b>Peso total</b>              | 200,64 kN            |                         |             |         |                        |          |

#### 4.6. Resistencia al fuego

Al margen de comprobar la resistencia estructural de la cubierta frente a los agentes externos que pueden darse, se hace necesaria la verificación de las alternativas propuestas frente al fuego.

El CTE, en el DB-Seguridad en caso de incendio, indica el tiempo que deben resistir las estructuras en el caso de que se produzca un incendio que les afecte.

Dicho documento recoge los tiempos mínimos que, dependiendo del elemento que se trate (viga, pilar, elementos secundarios...), deben mantener su resistencia durante un incendio.

En las estructuras de acero, la pérdida de sus características se debe a que, al alcanzar una determinada temperatura, empiezan a recristalizar la microestructura del material perdiendo rigidez y resistencia.

Si la temperatura del elemento sigue aumentando, se puede llegar a temperaturas que, aun estando por debajo de la temperatura de fluencia del material, afectarán de forma desastrosa a la estructura, garantizando su colapso.

En cambio, en el caso de la madera, la problemática es muy distinta. La madera es susceptible a arder, convirtiéndose en ceniza. Al suceder esto, la sección resistente simplemente va disminuyendo hasta llegar al punto en el que no es suficiente para la carga sometida y colapsa.

Curiosamente cabe decir que la madera tiene un mejor comportamiento frente al fuego que el acero. El acero necesita alcanzar una menor temperatura para que su microestructura comience a modificarse, mientras que la madera, para arder, necesita una mayor.

La ceniza creada que todavía se encuentra en contacto con el elemento ayuda, por su naturaleza, a evitar que la madera que se encuentra en el interior de esa sección arda, convirtiéndose en un aislante térmico.

Esto se une al hecho de que la madera tiene una cierta cantidad de humedad, que ayuda a retardar su combustión, teniendo que evaporar antes parte de esta y ayuda a que su rigidez vaya en aumento.

En ambos casos, si la propia estructura no es capaz de cumplir con estos requisitos, existen recubrimientos como pinturas y barnices, que garantizan el grado de seguridad que necesitamos.

Simplemente se debe asegurar el espesor necesario indicado por el fabricante y realizar su renovación pasado el tiempo aconsejado.

Antes de proceder a las comprobaciones, se necesita saber la resistencia al fuego que impone el CTE.

Según el DB-SI, en la sección 6.3.2, como la cubierta no se utilizará para el desalojo del lugar, su altura no excede los 28 m., el fallo de sus elementos no ocasionaría daños importantes a los edificios aledaños y el cerramiento de la cubierta no excede de 1 kN/m<sup>2</sup>, el tiempo mínimo que deben superar las alternativas es de 30 min (ver imagen 68).

- 2 La estructura principal de las cubiertas ligeras no previstas para ser utilizadas en la evacuación de los ocupantes y cuya altura respecto de la rasante exterior no exceda de 28 m, así como los elementos que únicamente sustenten dichas cubiertas, podrán ser R 30 cuando su fallo no pueda ocasionar daños graves a los edificios o *establecimientos* próximos, ni comprometer la estabilidad de otras plantas inferiores o la compartimentación de los *sectores de incendio*. A tales efectos, puede entenderse como ligera aquella cubierta cuya carga permanente debida únicamente a su cerramiento no exceda de 1 kN/m<sup>2</sup>.

Imagen 68: CTE DB-SI 6.3.2

El punto 4.1 de la misma sección indica que los elementos estructurales secundarios, como las correas, no tienen la necesidad de aplicarles la medida anteriormente citada (ver imagen 69).

- 1 Los elementos estructurales cuyo colapso ante la acción directa del incendio no pueda ocasionar daños a los ocupantes, ni comprometer la estabilidad global de la estructura, la evacuación o la compartimentación en *sectores de incendio* del edificio, como puede ser el caso de pequeñas entreplantas o de suelos o escaleras de construcción ligera, etc., no precisan cumplir ninguna exigencia de *resistencia al fuego*.

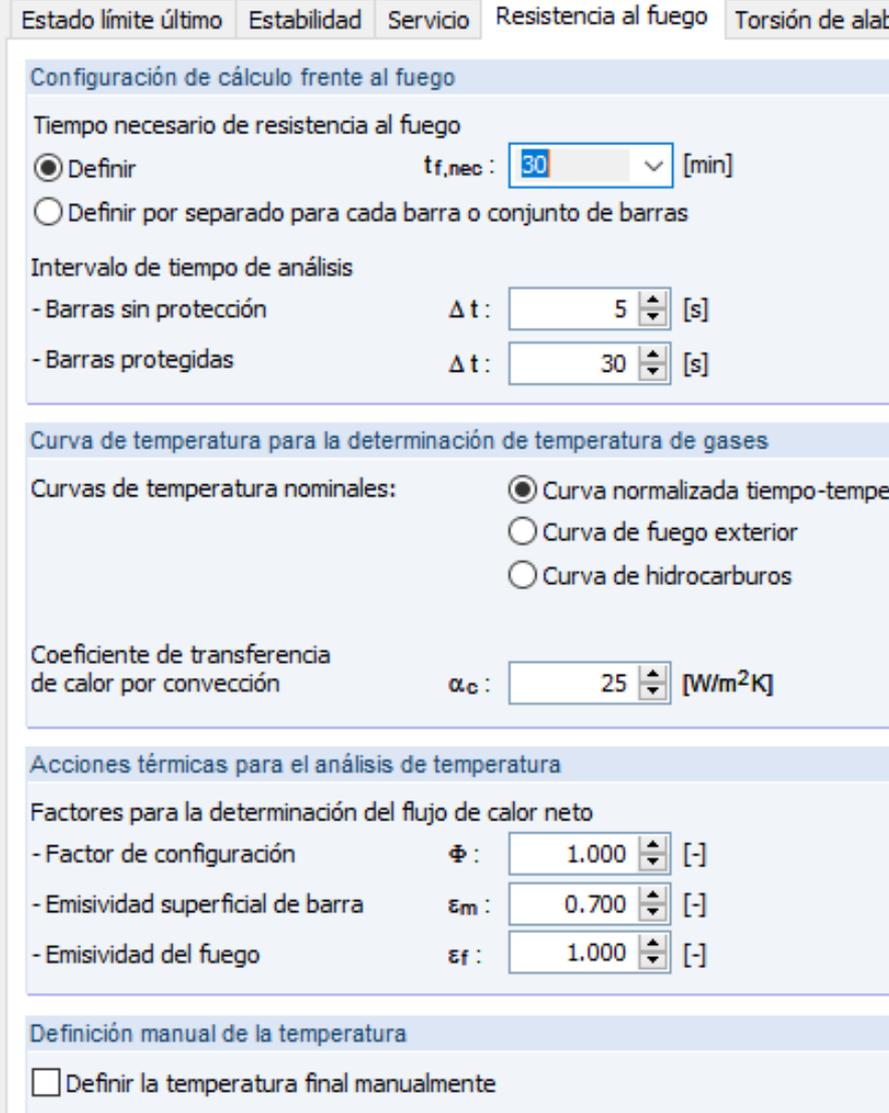
Imagen 69: CTE DB-SI 6.4.1

Una vez conocidas las condiciones que deben cumplir las propuestas, se verificará la idoneidad de cada una de ellas.

Para realizar este estudio, se hará uso del software de Dlubal, el cual permite conocer el estado de la estructura frente a fuegos, tanto estándar (los que aplica la norma) como introducidos manualmente.

### CERCHA DE ACERO

Para el acero, se estudiará el caso en el que no se le ha aplicado ningún producto que ayude a su resistencia frente al fuego (la imprimación aplicada para la resistencia ante la corrosión no tiene ningún efecto sobre este tema). De esta forma, si la estructura resiste durante los 30 minutos indicados en la norma, no será necesaria su aplicación (ver imagen 70).



Estado límite último | Estabilidad | Servicio | **Resistencia al fuego** | Torsión de alab

**Configuración de cálculo frente al fuego**

Tiempo necesario de resistencia al fuego

Definir  $t_{f, nec} :$  30 [min]

Definir por separado para cada barra o conjunto de barras

Intervalo de tiempo de análisis

- Barras sin protección  $\Delta t :$  5 [s]

- Barras protegidas  $\Delta t :$  30 [s]

**Curva de temperatura para la determinación de temperatura de gases**

Curvas de temperatura nominales:

Curva normalizada tiempo-tempe

Curva de fuego exterior

Curva de hidrocarburos

Coefficiente de transferencia de calor por convección  $\alpha_c :$  25 [W/m<sup>2</sup>K]

**Acciones térmicas para el análisis de temperatura**

Factores para la determinación del flujo de calor neto

- Factor de configuración  $\Phi :$  1.000 [-]

- Emisividad superficial de barra  $\epsilon_m :$  0.700 [-]

- Emisividad del fuego  $\epsilon_f :$  1.000 [-]

**Definición manual de la temperatura**

Definir la temperatura final manualmente

Imagen 70: Configuración para cubierta de acero

La configuración elegida es la que proporciona el programa, ya que este aplica las condiciones exigidas por la normativa por defecto. Lo único se ha seleccionado es el tiempo de resistencia frente al fuego.

Con esta configuración la curva de fuego que se ha obtenido es (ver imagen 71):

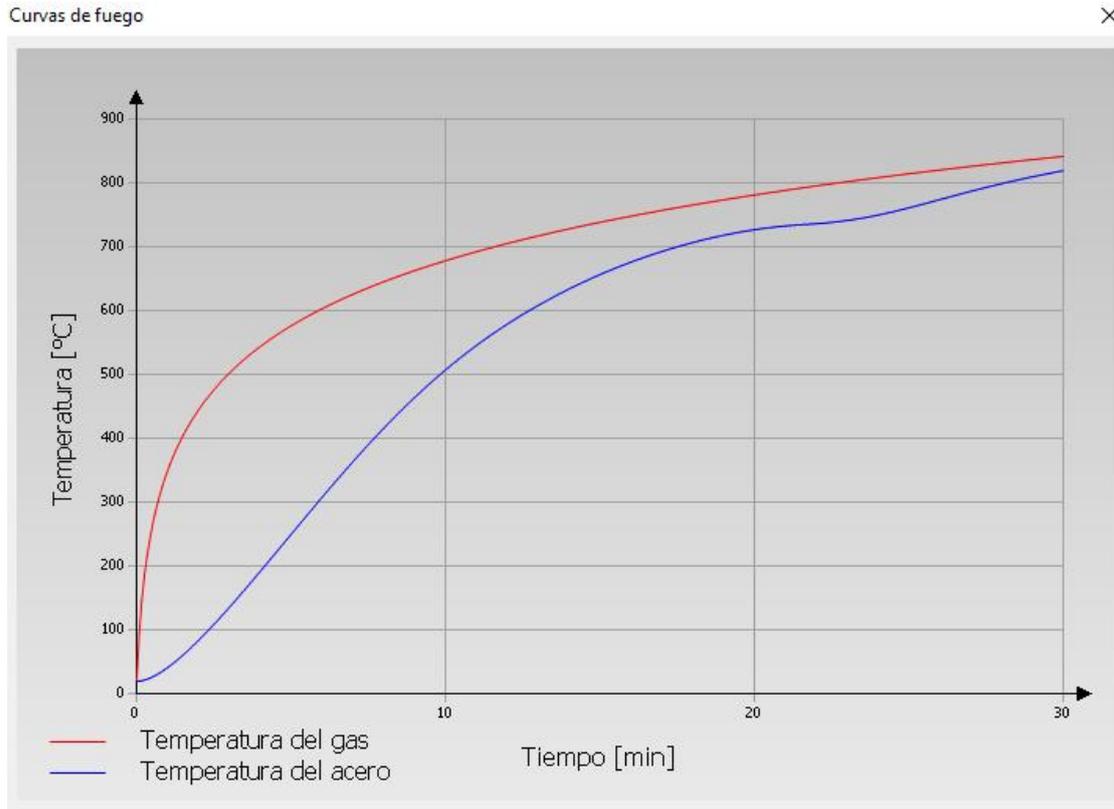


Imagen 71: Curva de fuego cubierta de acero sin protección

Y el resultado es (ver imagen 72):

| Cálculo de la resistencia frente al fuego |           |     |       |       |     |
|---|-----------|-----|-------|-------|-----|
| CO4                                       | CC1 + CC2 | 332 | 1.800 | 15.37 | > 1 |

Imagen 72: Resistencia de la cubierta de acero sin protección

Este resultado no se acerca lo más mínimo a lo que se necesita. Será necesaria la aplicación de algún tipo de pintura intumesciente que nos asegure la resistencia buscada.

El propio módulo permite introducir los datos de la protección que se aplicará, pudiendo realizar el mismo cálculo con dicha protección (ver imagen 73).

| 1.10 Resistencia al fuego - Barras |             |                                      |                     |                                     |                    |   |   |                                   |                    |
|------------------------------------|-------------|--------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|--------------------|---|---|-----------------------------------|--------------------|
| Núm.                               | A           | B                                    | C                   | D                                   | E                  | F   | G   | H                                 | I                  |
|                                    | Barras núm. | Tiempo requerido $t_{fi,requ}$ [min] | Exposición al fuego | Protección contra incendios         | Tipo de protección | Masa unitaria $\rho_p$ [kg/m <sup>3</sup> ] | Conductividad térmica $\lambda_p$ [W/m*K] | Calor específico $c_p$ [J/(kg*K)] | Espesor $d_p$ [mm] |
| 1                                  | 1-438       | 30                                   | Todos los lado      | <input checked="" type="checkbox"/> | Contorno           | 1370.00                                     | 0.12                                      | 1200.00                           | 10.00              |

Imagen 73: Propiedades recubrimiento resistente al fuego

No es fácil encontrar estos datos de los productos comercializados. Esto obliga a guiarse por las fichas técnicas de cada fabricante, las cuales informan el tiempo de resistencia asegurado para cada producto.

De forma ilustrativa, se realizará el cálculo de nuevo con la opción de protección contra el fuego activada y los parámetros vistos en la imagen 73. De esta forma se podrá ver la diferencia entre la resistencia de la cubierta sin protección y con ella (ver imagen 74).

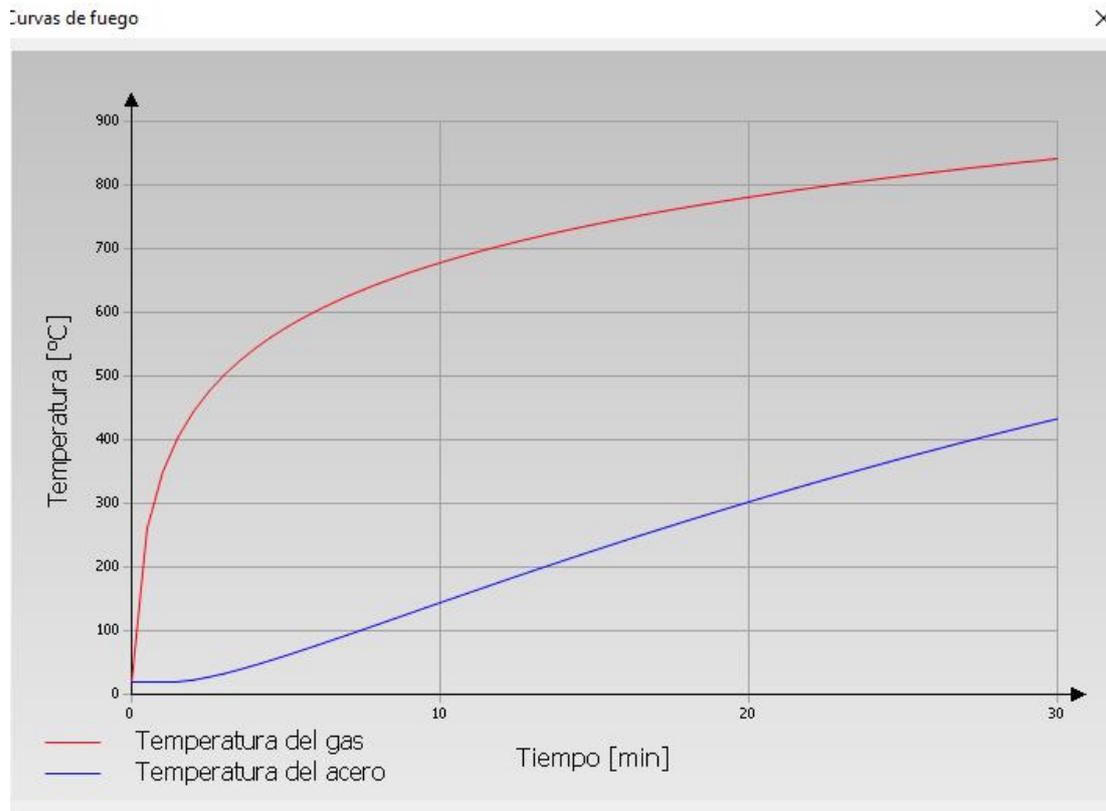


Imagen 74: Curva de fuego cubierta de acero con protección

Con tan solo ver la curva de fuego resultante se puede ver la gran diferencia entre la ausencia de la protección y con su utilización.

El acero aumenta de temperatura de una forma más pausada, permitiendo que sus propiedades permanezcan inalteradas durante más tiempo.

| Cálculo de la resistencia frente al fuego |           |     |       |      |     |
|---|-----------|-----|-------|------|-----|
| CO4                                       | CC1 + CC2 | 237 | 3.000 | 1.63 | > 1 |

Imagen 75: Resistencia frente al fuego con protección

Se observa que la protección aplicada (ver imagen 75) mejora mucho el comportamiento de la estructura, pero todavía no llega a un valor válido.

Pero como se ha dicho anteriormente, los datos a introducir en el software no los proporcionan los fabricantes, por lo que se utilizará de guía los datos ofrecidos por ellos mismos (ver imagen 76).



ETA 15/0146. CE Marking

- Perfiles [Vigas y Columnas] R 15, R 30, R60 and R90
- Perfiles Huecos  Rating R 30
- Rango de masividades hasta 320 m-1
- Temperaturas Críticas 500, 550, 600 and 650 °C

Su cobertura es de 1 Kg /m<sup>2</sup>, da como resultado un espesor de 350 - 550 micras

Imagen 76: Ejemplo pintura intumesciente

Por lo general, el rendimiento de este tipo de pinturas es de 1 kg/m<sup>2</sup> de superficie a pintar.

Las cerchas tienen expuestas las 4 caras de prácticamente todas las barras.

La superficie total de una cercha es de unos 100 m<sup>2</sup> (ver imagen 77).

| Centro de gravedad e información de los objetos seleccionados |                                     |                                      |  |
|---|-------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Coordenadas del centro de gravedad                            |                                     |                                      |  |
| Xc :  | <input type="text" value="0.000"/>  | [m]                                  | <input type="checkbox"/> Crear nuevo nudo en el centro de gravedad |
| Yc :  | <input type="text" value="0.000"/>  | [m]                                  |  |
| Zc :  | <input type="text" value="-0.655"/> | [m]                                  |  |
| Información adicional   |                                     | Tamaño de la envolvente              |  |
| Área de superficies   | A :                                 | <input type="text" value="0.000"/>   | [m <sup>2</sup> ]  |
| Longitud de barras  | L :                                 | <input type="text" value="100.158"/> | [m]  |
| Superf. de recubrimiento                                      | S :                                 | <input type="text" value="99.129"/>  | [m <sup>2</sup> ]  |
| Volumen del material  | V :                                 | <input type="text" value="0.611"/>   | [m <sup>3</sup> ]  |
| Peso del material   | W :                                 | <input type="text" value="4796.05"/> | [kg]   |
|   | Δx :                                | <input type="text" value="30.250"/>  | [m]  |
|   | Δy :                                | <input type="text" value="0.250"/>   | [m]  |
|   | Δz :                                | <input type="text" value="2.249"/>   | [m]  |

Imagen 77: Superficie total cercha de acero

Dando como resultado 700 m<sup>2</sup> aproximadamente de superficie total de la cubierta.

**DELTA DE MADERA**

Análogamente al caso de la cercha de acero, se comprobará la resistencia de la cubierta sin ningún tipo de recubrimiento que la proteja.

Como en el CTE DB-SI 6.4.1 no tiene ninguna indicación sobre el material, las correas en esta opción tampoco serán consideradas para la comprobación.

En consecuencia, el tiempo mínimo que debe resistir la estructura de madera será el mismo que para la estructura metálica, siendo este de 30 min.

El módulo del software especializado en madera permite una menor configuración de los parámetros para simular la acción del fuego.

Básicamente, lo único que puede modificarse es el tiempo requerido (ver imagen 78).

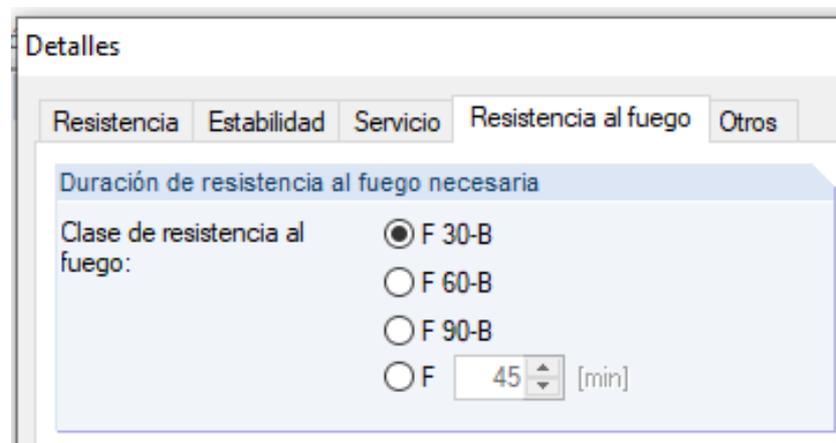


Imagen 78: Configuración acción del fuego cubierta de madera

A nivel de la estructura, las opciones que el software permite modificar son las caras que quedan expuestas al fuego.

En la imagen 79 se puede ver cómo se puede seleccionar qué caras son las expuestas, o seleccionarlas todas, como es el caso mostrado.

| 1.10 Resistencia al fuego - Barras |   |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
|------------------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Núm.                               | A                                       | B                                   | C                                   | D                                   |                                     |                                     |
|                                    | Barras núm.                             | Cuatro caras expuestas al fu        | Superior                            | Exposición al fuego                 |                                     |                                     |
|                                    |   |                                     |                                     | Inferior                            | Izquierda                           | Derecha                             |
| 1                                  | 1-4,6,7,9,10,12,13,15,16,18,19,21,22... | <input checked="" type="checkbox"/> |

Imagen 79: Caras expuestas al fuego

Lamentablemente, este módulo no proporciona ninguna curva de fuego, por lo que solamente se pueden mostrar los resultados obtenidos.

Para el caso de las 4 caras expuestas, la configuración expuesta en la imagen 79, el resultado obtenido se acerca al límite de la resistencia (ver imagen 80).

| Cálculo de la resistencia frente al fuego |           |   |       |      |     |  |
|---|-----------|---|-------|------|-----|--|
| CO4                                       | CC1 + CC2 | 1 | 0.000 | 0.98 | ≤ 1 |  |

Imagen 80: Resistencia de la cubierta de madera con las 4 caras expuestas

Este resultado se da en el peor caso posible donde toda la superficie de las vigas delta son afectadas por el fuego.

Sabiendo esto, y por la tipología de la cubierta propuesta, es posible considerar que las caras expuestas a un posible fuego serían 3 en realidad. La cara superior quedaría protegida por los paneles usados para el cerramiento.

Entonces, para esta consideración, se modifica en las opciones las caras expuestas (ver imagen 81).

| 1.10 Resistencia al fuego - Barras |                                       |                              |                          |                                     |                                     |                                     |
|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Núm.                               | A                                     | B                            | C                        | D                                   | E                                   | F                                   |
|                                    | Barras núm.                           | Cuatro caras expuestas al fu | Superior                 | Exposición al fuego Inferior        | Izquierda                           | Derecha                             |
| 1                                  | 1-4,6,7,9,10,12,13,15,16,18,19,21,22. | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

Imagen 81: 3 caras expuestas

El propio módulo determina qué cara es la superior, siempre y cuando se haya orientado la estructura como indica el programa.

El resultado obtenido es el siguiente (ver imagen 82):

| Cálculo de la resistencia frente al fuego |           |   |       |      |     |  |
|---|-----------|---|-------|------|-----|--|
| CO4                                       | CC1 + CC2 | 1 | 0.000 | 0.90 | ≤ 1 |  |

Imagen 82: Resistencia al fuego de la cubierta de madera con 3 caras expuestas

Como era de esperar, si se tiene una cara menos expuesta al fuego, la cubierta resistirá durante más tiempo.

A la vista de los resultados obtenidos se observa que, por sí sola, la estructura de madera es capaz de resistir la acción del fuego el tiempo mínimo requerido por el CTE.

Aun así, al igual que para las estructuras metálicas, existen barnices y pinturas especiales, intumescentes, que ayudan a dar una protección extra, asegurando un mayor tiempo de resistencia.

Pero en este caso no son necesarios, pudiendo eliminar los costes de dichos productos y de la mano de obra asociada. Tampoco se quiere perder la apariencia estética de la madera, que, en última instancia, es lo que se busca en este reformado.



## 5. ESTUDIO ECONÓMICO

Una vez realizado el estudio técnico de las propuestas diseñadas, se realizará un estudio económico comparativo donde se analizarán los costes que tiene cada opción, además de otros pros y contras que puedan aparecer.

Para los elementos de hormigón prefabricado se ha realizado la consulta directamente al fabricante. Los precios obtenidos no son precios cerrados ya que, la propia empresa ofrece en función de la cantidad comprada ofrece unos descuentos comerciales u otros.

Para la viga delta I-60 el precio es de 190 €/ml incluido el transporte y el montaje, y para las viguetas VP-26 el precio es de 125 €/ml incluido también el transporte y el montaje.

En los otros dos casos, donde los elementos estructurales se han diseñado en este documento y su fabricación sería ad-hoc para este proyecto, se ha optado por consultar webs orientativas, que proporcionan una gran ayuda para dar un primer presupuesto. Aun así, estos datos se han contrastado con proyectos reales donde las características de su estructura son similares a las propuestas.

La web consultada ha sido <http://generadorprecios.cype.es/>.

Cabe decir que en todos los presupuestos que se mostrarán a continuación está incluido el precio del transporte y de su montaje.

Estos costes están repercutidos tanto en el precio del material como en la mano de obra de los operarios y cada empresa lo hará según crea conveniente.

## 5.1. Acero

Para el caso del acero, la forma de ofrecer su valor es mediante el precio por kilogramo de material.

El precio para las cerchas (perfiles tubulares soldados en taller y atornillados en obra) es de 1,71 €/kg (ver imagen 83), y el precio para las correas de acero laminado en frío es de 1,87 €/kg (ver imagen 84). El precio de las cerchas incluye tanto la imprimación como su montaje.

El acabado y protección de las correas por defecto es galvanizado. Este proceso también queda incluido en el precio, al igual que su montaje.

| Código   | Unidad | Descripción  | Rendimiento                     | Precio unitario               | Importe     |
|--|--------|--|---------------------------------|-------------------------------|-------------|
| <b>1 Materiales</b>  |        |  |                                 |                               |             |
| mt07ala005c  | kg     | Acero UNE-EN 10210-1 S275J0H, en perfiles huecos acabados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series redondo, cuadrado o rectangular, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones atornilladas en obra. | 1,000                           | 1,23                          | 1,23        |
|  |        |  |                                 | <b>Subtotal materiales:</b>   | <b>1,23</b> |
| <b>2 Mano de obra</b>  |        |  |                                 |                               |             |
| mo047  | h      | Oficial 1º montador de estructura metálica.  | 0,015                           | 19,67                         | 0,30        |
| mo094  | h      | Ayudante montador de estructura metálica.  | 0,008                           | 18,63                         | 0,15        |
|  |        |  |                                 | <b>Subtotal mano de obra:</b> | <b>0,45</b> |
| <b>3 Costes directos complementarios</b>                       |        |  |                                 |                               |             |
| % Costes directos complementarios                              |        |  | 2,000                           | 1,68                          | 0,03        |
| Coste de mantenimiento decenal: 0,05€ en los primeros 10 años. |        |  | <b>Costes directos (1+2+3):</b> |                               | <b>1,71</b> |

Imagen 83: Precio cerchas acero

A todo este material hay que sumar el precio de la pintura intumescente.

El cálculo de su precio se ha estimado en función de datos obtenidos en proveedores y otros proyectos. Más adelante, se detallarán sus conceptos.

El rendimiento de este tipo de pinturas está en 1 kg/m<sup>2</sup>. Este es un valor orientativo, ya que en función de la marca de la pintura puede ser mayor o menor, pero de forma estimada, este es su rendimiento.

El precio de la pintura más la aplicación se encuentra en la horquilla entre 20€ y 30€, por lo que se tomará el valor intermedio de 25€ como coste orientativo.

Como se mencionó en el apartado anterior, cada cercha tiene una superficie aproximada de 100m<sup>2</sup> que debe ser recubierta por la pintura, dando una superficie total de 700m<sup>2</sup>.

Con estos datos, el coste de aplicar el recubrimiento intumesciente a las cerchas es de unos 17.500,00€.

## 5.2. Madera

En el caso de la madera, su valoración se hace mediante su precio por m<sup>3</sup>. El precio de las vigas pertenecientes a las deltas es de 942,13 €/m<sup>3</sup> (ver imagen 85), y el precio de las correas es de 29,52 €/m<sup>3</sup> (ver imagen 86).

| Código   | Unidad         | Descripción   | Rendimiento                     | Precio unitario | Importe      |
|--|----------------|---|---------------------------------|-----------------|--------------|
| <b>1 Materiales</b>  |                |   |                                 |                 |              |
| mt07mel100bl1ga  | m <sup>3</sup> | Madera laminada encolada homogénea de abeto rojo (Picea abies) procedente del Norte y Nordeste de Europa para viguetas, de 33 mm de espesor de las láminas, de hasta 15 m de longitud, de 140x200 mm de sección, clase resistente GL-24h y clase E1 en emisión de formaldehído según UNE-EN 14080; para clase de uso 2 según UNE-EN 335, con protección frente a agentes bióticos que se corresponde con la clase de penetración NP1 según UNE-EN 351-1, con acabado cepillado. | 0,028                           | 847,03          | 23,72        |
| mt07emr403a  | kg             | Elementos de acero galvanizado en caliente con protección Z275 frente a la corrosión, para ensamble de estructuras de madera  | 0,016                           | 11,40           | 0,18         |
| <b>Subtotal materiales:</b>                                    |                |   |                                 |                 | <b>23,90</b> |
| <b>2 Mano de obra</b>  |                |   |                                 |                 |              |
| mo048  | h              | Oficial 1º montador de estructura de madera.  | 0,174                           | 19,67           | 3,42         |
| mo095  | h              | Ayudante montador de estructura de madera.  | 0,087                           | 18,63           | 1,62         |
| <b>Subtotal mano de obra:</b>                                  |                |   |                                 |                 | <b>5,04</b>  |
| <b>3 Costes directos complementarios</b>                       |                |   |                                 |                 |              |
|  | %              | Costes directos complementarios   | 2,000                           | 28,94           | 0,58         |
| Coste de mantenimiento decenal: 5,02€ en los primeros 10 años. |                |   | <b>Costes directos (1+2+3):</b> |                 | <b>29,52</b> |

Imagen 85: Precio vigas madera

Imagen 86: Precio correas madera

Con las deltas de madera, existe mayor horquilla de precios entre los precios encontrados. El motivo es que este tipo de estructuras no está tan extendido como las de acero, existiendo menos fabricantes de este tipo de elementos, añadiendo la problemática de que estos elementos tampoco tienen una estandarización tan grande.

### 5.3. Cerramiento

La cubierta de paneles sándwich es común a todas las opciones disponibles por lo que no existirá una diferencia de precio significativa para su instalación en una u otra. Su precio de referencia está en torno a 32,25 €/m<sup>2</sup> (ver imagen 87).

| Código   | Unidad         | Descripción   | Rendimiento                           | Precio unitario | Importe      |
|--|----------------|---|---------------------------------------|-----------------|--------------|
| <b>1 Materiales</b>  |                |   |                                       |                 |              |
| mt13dcp010qpm  | m <sup>2</sup> | Panel sándwich aislante de acero, para cubiertas, con la superficie exterior grecada y la superficie interior lisa, de 40 mm de espesor y 1000 mm de anchura, formado por doble cara metálica de chapa estándar de acero, acabado prelacado, de espesor exterior 0,5 mm y espesor interior 0,5 mm y alma aislante de poliuretano de densidad media 40 kg/m <sup>3</sup> , y accesorios. | 1,110                                 | 20,68           | 22,95        |
| mt13dcp030   | Ud             | Kit de accesorios de fijación, para paneles sándwich aislantes, en cubiertas inclinadas.  | 1,000                                 | 1,00            | 1,00         |
| mt13dcp020a  | m              | Cinta flexible de butilo, adhesiva por ambas caras, para el sellado de estanqueidad de los solapes entre paneles sándwich.  | 2,100                                 | 2,05            | 4,31         |
| mt27pfi150a  | kg             | Pintura antioxidante de secado rápido, a base de resinas, pigmentos de aluminio con resistencia a los rayos UV y partículas de vidrio termoendurecido, con resistencia a la intemperie y al envejecimiento, repelente del agua y la suciedad y con alta resistencia a los agentes químicos; para aplicar con brocha, rodillo o pistola.   | 0,070                                 | 1,00            | 0,07         |
| <b>Subtotal materiales:</b>                                    |                |   |                                       |                 | <b>28,33</b> |
| <b>2 Mano de obra</b>  |                |   |                                       |                 |              |
| mo051  | h              | Oficial 1º montador de cerramientos industriales.   | 0,088                                 | 19,42           | 1,71         |
| mo098  | h              | Ayudante montador de cerramientos industriales.   | 0,088                                 | 17,90           | 1,58         |
| <b>Subtotal mano de obra:</b>                                  |                |   |                                       |                 | <b>3,29</b>  |
| <b>3 Costes directos complementarios</b>                       |                |   |                                       |                 |              |
|  | %              | Costes directos complementarios   | 2,000                                 | 31,62           | 0,63         |
| Coste de mantenimiento decenal: 9,35€ en los primeros 10 años. |                |   | <b>Costes directos (1+2+3): 32,25</b> |                 |              |

Imagen 87: Precio panel sandwich

#### 5.4. Consideraciones sobre el transporte de los elementos

Otra cosa a tener en cuenta es el transporte. En el caso de la opción de acero, donde el peso de cada cercha es de 47 kN y la longitud máxima de 1 tramo es de menos de 12 m., el transporte necesario es ordinario, mediante camiones con plataformas dentro de las medidas máximas permitidas, pero en los otros dos casos no es así.

Para el transporte de las vigas de madera es necesario organizar transportes especiales, ya que, aunque el peso por cada viga es de 67,68 kN, su longitud es de 30m. Esto no llega a ser muy problemático, porque por su peso y dimensiones, sería posible su traslado en 1 o 2 transportes.

En cambio, con las vigas de hormigón prefabricado donde el peso de cada una de ellas es de 194,7 kN y su longitud es de 30 m., el problema puede ser mayor. El transporte de cada delta se realizaría de forma individual.

No solo hay que considerar el coste que provocará el transporte de las estructuras a su emplazamiento. El transporte de elementos de medidas especiales unido al número de estos puede ocasionar costes que no pueden ser tenidos en cuenta.

En estos casos, se necesita pedir permisos especiales de transporte, revisión de la ruta a seguir, vehículos auxiliares necesarios... Todo eso aumenta el riesgo es estos transportes.

A parte de que si en el trayecto surgiera algún imprevisto como puede ser un corte de tráfico por la ruta a seguir sin poder decidir a la ligera la elección de una nueva, simplemente por los obstáculos físicos que puedan existir.

Y todo esto por cada transporte especial que sea necesario, pudiendo ocasionar retrasos en el montaje y retrasando la planificación general del proyecto.

Estos puntos hay que tenerlos en cuenta, y en el caso de no poderse evitar, minimizarlos lo máximo posible.

En el caso de las deltas de hormigón y de madera, el transporte de las prefabricadas en hormigón armado hace necesario un transporte por cada viga debido a sus dimensiones y masa.

En cambio, las de madera pueden ser transportadas como máximo en dos, minimizando los riesgos en ese transporte.

## 5.5. Resumen

El siguiente cuadro comparativo muestra las diferentes opciones y sus costes:

| Hormigón prefabricado |          |                   |                    |                        |                  |
|-----------------------|----------|-------------------|--------------------|------------------------|------------------|
|                       | Cantidad | Longitud und. (m) | Longitud total (m) | Precio unitario (€/ml) | Precio total (€) |
| Viga delta            | 7        | 30                | 210                | 190,00                 | 39.900,00        |
| Correas               | 108      | 6                 | 648                | 125,00                 | 81.000,00        |
|                       |          |                   |                    | Total                  | 120.900,00       |

| Acero   |          |                |                 |                        |                  |
|---------|----------|----------------|-----------------|------------------------|------------------|
|         | Cantidad | Masa und. (kg) | Masa total (kg) | Precio unitario (€/kg) | Precio total (€) |
| Cerchas | 7        | 4795           | 33.565,00       | 1,71                   | 57.396,15        |
| Correas | 108      | 74,1           | 8.002,80        | 1,87                   | 14.965,24        |
| Pintura | -        | -              | 700             | 25,00                  | 17.500,00        |
|         |          |                |                 | Total                  | 89.861,39        |

| Madera  |          |                   |                    |                        |                  |
|---------|----------|-------------------|--------------------|------------------------|------------------|
|         | Cantidad | Volumen und. (m3) | Volumen total (m3) | Precio unitario (€/m3) | Precio total (€) |
| Vigas   | 14       | 13,65             | 95,55              | 942,13                 | 90.562,51        |
| Correas | 108      | 0,17              | 18,36              | 29,52                  | 541,99           |
|         |          |                   |                    | Total                  | 91.104,50        |

| Panel sandwich |          |                      |                       |                        |                  |
|----------------|----------|----------------------|-----------------------|------------------------|------------------|
|                | Cantidad | Superficie und. (m2) | Superficie total (m2) | Precio unitario (€/m3) | Precio total (€) |
| Panel          | 144      | 7,6                  | 1.094,40              | 32,25                  | 35.294,40        |

Estos resultados ponen de manifiesto que las alternativas ofrecidas no tienen una gran diferencia de coste, lo que nos da libertad de elección entre ellas a nivel económico.

Lo que sí se ha conseguido mejorar es el coste respecto a la estructura inicial. Se consigue entre un 24% y un 25% de ahorro, siendo otro incentivo para el uso de cualquiera de las 2.

## 6. ESTUDIO DE SOSTENIBILIDAD

El último punto que se tendrá en cuenta para la elección de la alternativa para la construcción de nuestra cubierta es su sostenibilidad.

Los motivos económicos son muy fuertes a la hora de elegir los materiales para la fabricación de cualquier elemento. Pero cada vez más, está cogiendo peso la selección de los materiales en función de los recursos necesarios para su obtención y el retorno de dichos materiales al final de su ciclo de vida.

Esto se debe, en primer lugar, a la concienciación de la sociedad en temas como la contaminación y el desarrollo sostenible.

En segundo lugar, esta concienciación, apoyada por estudios científicos, se implanta mediante normativas y leyes que obligan a tener en cuenta estos parámetros, siendo obligado su estudio.

Con la implantación de este tipo de leyes, estos factores de sostenibilidad, a medio y largo plazo, serán determinantes para poder ejecutar cualquier proyecto.

Es más, hoy en día resulta fácil ver nuevos centros comerciales, piscinas, espacios públicos... en los cuales, al menos parte de su estructura está ejecutada por elementos de madera.

Gracias a esto, está empezando a expandirse el uso de este material, creándose sellos que garantizan la procedencia de dicha madera de bosques sostenibles.

Esto incluye los objetivos de las empresas explotadoras, las cuales incluyen en sus estrategias empresariales el mantenimiento de los bosques a largo plazo.

Pero la sostenibilidad del empleo de unos materiales u otros no queda resuelta solo con ver cómo se obtienen. Es necesario ampliar miras y contemplar su mantenimiento y el final de su vida útil.

Y en muchas ocasiones no compensa económicamente reutilizar o reciclar determinados materiales, aun existiendo métodos, que utilizar materia prima de primera mano.

Se necesita, primero incentivar el uso de nuevos materiales más sostenibles con el medioambiente, y después, crear nuevos sistemas de retratado de los residuos que permitan sacar provecho de ellos.

## 6.1. Hormigón

En el caso de los materiales de construcción, en especial, en el caso de la fabricación del hormigón, no existen muchos estudios donde hayan evaluado este tema en profundidad.

La información disponible no es muy rigurosa a la hora de conocer qué tipo de hormigón en concreto se ha estudiado, por lo que solo lo utilizaremos como una guía orientativa.

Para este material, se considera que esto es suficiente por el tipo de proyecto que es, donde no se busca un material óptimo, si no, una solución de compromiso.

En la imagen 88 se puede ver el perfil medioambiental de la fabricación del hormigón:

|   |       |                |
|---|-------|----------------|
| <b><u>Energía</u></b>                                 |       |                |
| Fuel fósil  | 0,93  | MJ/kg producto |
| Electricidad  | 0,20  | MJ/kg producto |
| <b><u>Materias primas</u></b>                         |       |                |
| Caliza  | 170   | g/kg producto  |
| Otros productos minerales                             | 850   | g/kg producto  |
| Agua  | 80    | g/kg producto  |
| <b><u>Emisiones</u></b>                               |       |                |
| Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )                 | 120   | g/kg producto  |
| Óxido de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )                 | 0,55  | g/kg producto  |
| Óxido de sulfúrico (SO <sub>2</sub> )                 | 0,14  | g/kg producto  |
| Metano (CH <sub>4</sub> )                             | 0,13  | g/kg producto  |
| Componentes orgánicos volátiles (COV <sub>tot</sub> ) | 0,18  | g/kg producto  |
| Polvo   | 0,023 | g/kg producto  |
| Metales pesados (Cr,As,Cd,Hg,Tl,Pb)                   | 20    | µg/kg producto |

Imagen 88: Perfil medioambiental del hormigón

La cubierta proyectada en hormigón tiene un peso de 1.712,82 kN que corresponde con una masa de 174.777 kg. La energía consumida para su fabricación es de 197.498,6 MJ, la cantidad de agua es de 13.982 kg y la cantidad de CO<sub>2</sub> es de 20.973,3 kg.

## 6.2. Acero

Para el acero, los datos existentes son más precisos, además de que los recursos necesarios para su obtención son más o menos estables desde finales de los años 90 (ver imagen 89).

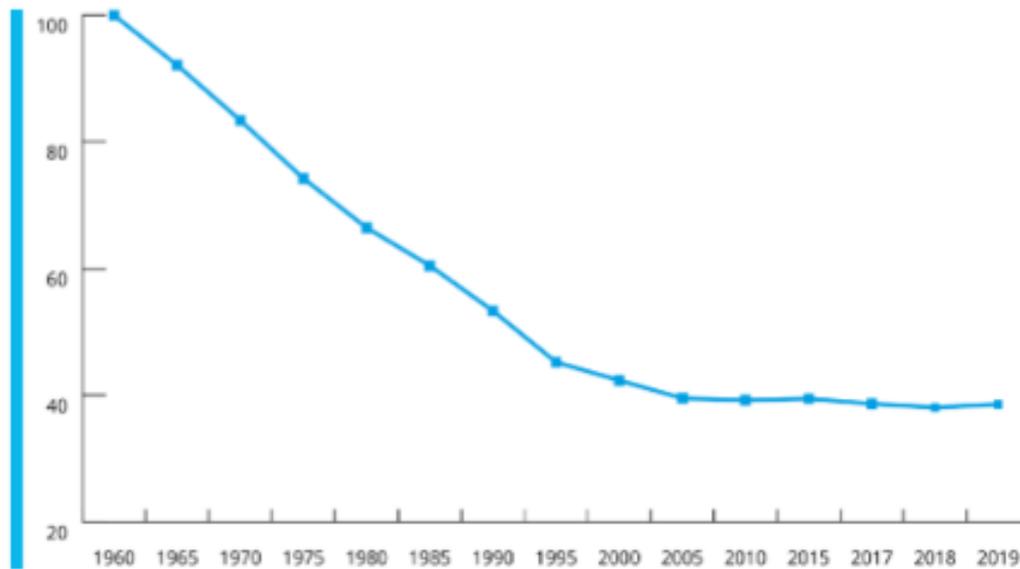


Imagen 89: Consumo de petróleo por tonelada de acero producido

Los recursos necesarios y sus residuos se pueden ver en la imagen 90.

|  |        |                  |
|--|--------|------------------|
| <u>Energía</u>   | 19     | MJ / kg producto |
| <u>Materias primas</u>   |        |                  |
| Ganga de hierro  | 1500   | kg / t producto  |
| Piedra caliza  | 225    | kg / t producto  |
| Carbón (en forma de coque)   | 750    | kg / t producto  |
| <u>Emisiones</u>   |        |                  |
| Escoria  | 145    | kg / t producto  |
| Escoria granulada  | 230    | kg / t producto  |
| Agua residual  | 150000 | l / t producto   |
| Emisiones gaseosas (incluyendo dióxido de carbono, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno) | 2      | t / t producto   |
| [DESGLOSE] :   |        |                  |
| Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )  | 1,950  | t / t producto   |
| Óxido de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )  | 0,003  | t / t producto   |
| Óxido de sulfúrico (SO <sub>2</sub> )  | 0,004  | t / t producto   |
| Metano (CH <sub>4</sub> )  | 0,626  | kg / t producto  |
| Componentes orgánicos volátiles (COV <sub>tot</sub> )                                      | 0,234  | kg / t producto  |
| Polvo  | 15,000 | kg / t producto  |
| Metales pesados (Pb,Cd,Hg,As,Cr,Cu,Ni,Se,Zn,V)   | 0,037  | kg / t producto  |

Imagen 90: Perfil medioambiental del acero

El peso de la propuesta hecha es de 495,36 kN que corresponde con una masa de 50.546 kg. El consumo energético para su obtención es de 960.391,8 MJ, el agua utilizada es de 7.582 m<sup>3</sup> y el CO<sub>2</sub> emitido es 98,6 toneladas.

### 6.3. Madera

El estudio de la fabricación de elementos con madera es más simple que los anteriores. En su obtención y trabajado no es necesario transformaciones físico-químicas como tal.

Es verdad que se utilizan productos para mejorar su resistencia a las condiciones atmosféricas, al fuego... y el uso de autoclaves, pero su estudio es mucho más fácil y controlable.

En la imagen 91 se puede ver una comparación entre la energía necesaria para la fabricación de varios materiales.

| Material                       | Energía necesaria para fabricar 1 Tn en Julios x 10 <sup>9</sup> | Toneladas de petróleo equivalentes |
|--------------------------------|--|------------------------------------|
| Acero                          | 60   | 1,5                                |
| Titanio                        | 800  | 20                                 |
| Aluminio                       | 250  | 6                                  |
| Vidrio                         | 24   | 0,6                                |
| Ladrillo                       | 6  | 0,15                               |
| Hormigón                       | 4,0  | 0,1                                |
| Compuestos de fibra de carbono | 4000   | 100                                |
| Madera (abeto)                 | 1,0  | 0,025                              |
| Polietileno                    | 45   | 1,1                                |

Imagen 91: Energía necesaria para la obtención de varios materiales

El peso de la propuesta es de 570,72 kN que corresponde con una masa de 58.236 kg. La energía necesaria para su fabricación es de 58.236 MJ. El CO<sub>2</sub> que se genera es por el transporte, el cual no está incluido en las opciones anteriores, y en relación al agua, a parte de la extracción de la humedad de la propia madera, su utilización se limita solo a las piezas que deben ser curvadas en forma de vapor.

## 6.4. Residuos

Cuando el ciclo de vida del producto finaliza, se deberá ser capaz de reciclar/reutilizar la mayor parte del material desechado.

El hormigón se está empezando a reutilizar como material de relleno en carreteras y morteros de uso general. Pero esta reutilización requiere de una nueva aportación energética para seleccionar y transformar los residuos es material utilizable.

En cambio, la vida del acero puede ser cuasi infinita. Se puede volver a fundir el acero para utilizarlo en otros proyectos. Esto requiere grandes cantidades de energía para poderse realizar, a parte de la problemática de que poco a poco, las aleaciones dejan de ser “tan puras” como la primera vez que fueron fundidas, ocasionando, eventualmente, que se necesiten materias primas de primera mano.

El caso de la madera se asemeja hasta cierto punto al del hormigón, pudiendo crear otro tipo de elementos triturando los elementos desperdiciados. Pero otro uso puede ser el de combustible. Tanto los residuos de su fabricación, como al final de su vida, la madera puede utilizarse como combustible para la generación de electricidad. Incluso, puede ser posible que se utilice por las propias plantas de fabricación, reduciendo sus necesidades externas.

A favor de esta última práctica tenemos que, los árboles, al haber fijado CO<sup>2</sup> en su crecimiento, la tasa de generación de este es cercano a nulo, debido a que generamos lo mismo que el árbol ha fijado en su crecimiento. Solo se genera más en los procesos de trabajo.

El siguiente cuadro resume todos los datos anteriores:

| Material               | Hormigón                                    | Acero  | Madera  |
|------------------------|---|--|---|
| Energía (MJ)           | 197.498,6                                   | 960.391,8  | 58.236,0  |
| CO <sub>2</sub> (Tn)   | 20,1  | 98,6   | -   |
| Agua (m <sup>3</sup> ) | 14,0  | 7.582,0  | -   |
| Fin ciclo vida         | Se puede transformar para darle otros usos. | Se puede fundir y reutilizar de forma casi infinita. | Se puede transformar y dar otros usos o se puede usar como combustible para generar electricidad. |

## 6.5. Otras consideraciones

Lo tratado hasta aquí se debe a los recursos necesarios para la extracción y fabricación de los elementos precisados de cada material, pero existe otro tipo de consideraciones que a medio o largo plazo se deben tener en cuenta. Una de ellas es el confort dentro de la nave.

Dado que el uso que se le va a dar a la nave es un uso público, se hace necesario estudiar las condiciones internas necesarias para conseguir una estancia lo más cómoda posible para las personas que acudan a este emplazamiento.

Más exactamente, necesitamos conocer si los materiales utilizados para la estructura afectan a estas condiciones y, si es así, en qué medida.

El elemento que más afecta a este efecto es el cerramiento de la cubierta. Es la que aísla las condiciones ambientales más adversas de la actividad que se desarrollará en el interior.

En este sentido, el tipo de cerramiento elegido en el proyecto inicial parece ser muy adecuado. A parte de ser muy ligero, entre las capas de chapa incorpora un aislante seleccionado por el fabricante que, si fuera el caso, puede ser modificado para un uso más específico.

El siguiente paso es evaluar el efecto de los distintos materiales seleccionados para la estructura de la cubierta.

El efecto de esta elección se traduce en una mayor o menor inercia térmica en el interior del edificio, siendo necesaria una climatización más solicitada o menos.

La imagen 92 muestra una simplificación de la variación de temperatura externa e interna:

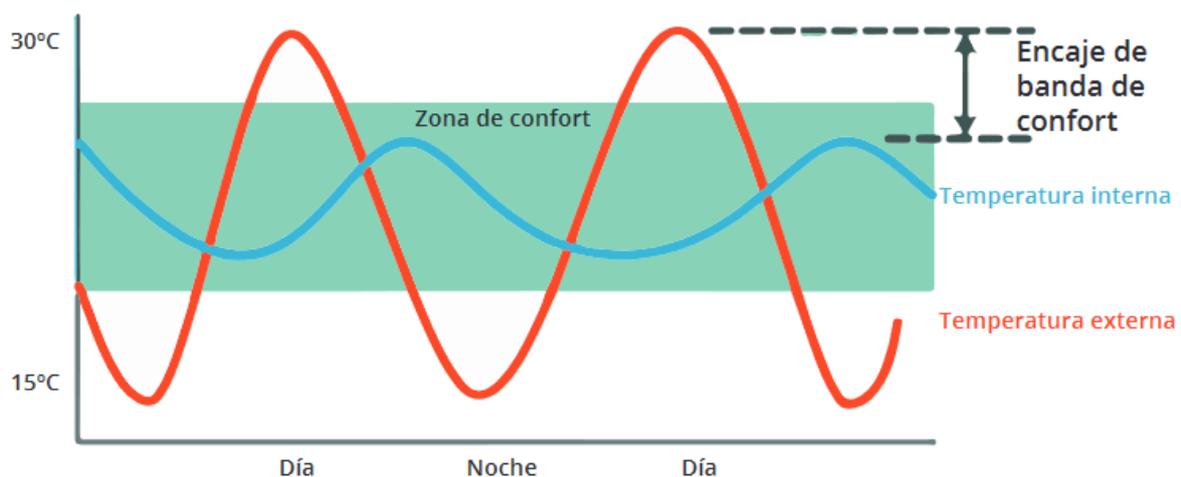


Imagen 92: Variación de temperatura durante un día

Lo deseable es que durante el periodo de apertura al público la temperatura interna varíe lo mínimo posible. Las cargas térmicas que supone el tránsito de personas no pueden ser evitadas. Pero las cargas térmicas que se transmiten por los cerramientos pueden ser mitigadas.

En la siguiente tabla se pueden comparar las capacidades térmicas y los calores específicos de distintos materiales utilizados en construcción.

| Material               | Calor específico | Densidad          | Capacidad calorífica volumétrica |
|------------------------|------------------|-------------------|----------------------------------|
|                        |                  |                   |                                  |
|                        | kcal/kg °C       | kg/m <sup>3</sup> | kcal/m <sup>3</sup> °C           |
| Agua                   | 1                | 1000              | 1000                             |
| Acero                  | 0,12             | 7850              | 942                              |
| Tierra seca            | 0,44             | 1500              | 660                              |
| Granito                | 0,19             | 2645              | 529                              |
| Madera de roble        | 0,57             | 750               | 427,5                            |
| Ladrillo               | 0,2              | 2000              | 400                              |
| Madera de pino         | 0,6              | 640               | 384                              |
| Piedra arenisca        | 0,17             | 2200              | 374                              |
| Piedra caliza          | 0,22             | 2847              | 484                              |
| Hormigón               | 0,16             | 2300              | 368                              |
| Mortero de yeso        | 0,2              | 1440              | 288                              |
| Tejido de lana         | 0,32             | 111               | 35,52                            |
| Poliestireno expandido | 0,4              | 25                | 10                               |
| Poliuretano expandido  | 0,38             | 24                | 9,12                             |
| Fibra de vidrio        | 0,19             | 15                | 2,85                             |
| Aire                   | 0,24             | 1,2               | 0,29                             |

El calor específico del acero (0,12 kcal/kg °C) es inferior al de la madera (0,6 kcal/kg °C aprox.) y al del hormigón (0,16 kcal/kg °C) lo que indica que es necesaria menos energía para elevar su temperatura.

Así mismo, la capacidad calorífica del acero es superior siendo 942 kcal/m<sup>3</sup> °C, mientras que para la madera es de 400 kcal/m<sup>3</sup> °C aprox. y para el hormigón de 368 kcal/m<sup>3</sup> °C. El acero es capaz de almacenar mucha más energía en un mismo volumen.

Con estos datos deducimos que, en verano, para una estructura en acero, el calor transmitido por la cubierta hacia el interior hará elevar más la temperatura de las cerchas que si estuvieran fabricadas en madera u hormigón.

Esto supone una situación incómoda en el interior por una mayor irradiación de calor que perciben las personas.

Para las épocas de invierno supone un escape de calor transmitido a la cubierta por los elementos metálicos, necesitando compensarlo con equipos.

El tener una mayor o menos carga térmica que compensar repercute finalmente en un mayor consumo energético tanto en la fabricación de equipos como en su funcionamiento.

Como se ve en este punto, no sólo se deben estudiar los recursos necesarios y los residuos generados en la fabricación de los elementos estructurales. Es necesario tener una visión más amplia que tenga en cuenta las implicaciones que tiene la elección en otros ámbitos como puede ser la climatización del entorno.



## 7. ELECCIÓN

Para ayudar a elegir una de las opciones propuestas, se utilizará una matriz de decisión. Se quiere evitar lo máximo posible realizar una elección subjetiva y poder ofrecer una solución lo más adecuada posible.

Se considerarán los mismos puntos estudiados hasta aquí como los puntos valorables, otorgándoles una puntuación entre 1 y 5 (1 peor valoración, 5 mejor valoración).

Después, se sumarán estas valoraciones y se obtendrá una puntuación para cada material. El material más valorado será el propuesto finalmente.

Existe una salvedad en el peso de las valoraciones y es que el peso de la valoración del coste será doble. Se considera que es el punto más importante de todos a la hora de elegir una opción y por eso, a la hora de sumarla, se multiplicará por 2 su puntuación.

$$\text{Resultado} = \text{Peso} + R_{\text{acciones}} + R_{\text{fuego}} + 2 \times \text{Coste} + \text{Sostenibilidad} \quad (33)$$

|                               | Hormigón | Acero | Madera |   |
|-------------------------------|----------|-------|--------|---|
| Peso                          | 1        | 5     | 4      | Puntuación:<br>Peor nota -> 1<br>Mejor nota-> 5 |
| Resistencia frente a acciones | 5        | 5     | 5      |   |
| Resistencia frente al fuego   | 5        | 3     | 4      |   |
| Coste                         | 2        | 5     | 4      |   |
| Sostenibilidad                | 3        | 2     | 5      |   |
| Resultado                     | 18       | 25    | 26     |   |

Con toda la información recopilada hasta aquí, la opción propuesta por parte de CORESA es la proyectada en madera laminada encolada.

Aun así, el cliente al no haber solicitado ningún material en especial, podría no gustarle la estética que tiene esta opción, por lo que se generan ambas ofertas para presentárselas.

Otro motivo es que, aunque haya muy poca diferencia de precio, la opción de madera tiene un coste superior, y el cliente podría darle mayor importancia a este concepto que la se ha dado en la tabla anterior.

## OFERTA ACERO

|   |
|---|
| <b>CORE S.A.</b><br>C.I.F: XX.XXX.XXX<br>Tlfn: XXX XX XX XX |
|---|

|               |         |
|---------------|---------|
| CLIENTE       |         |
| Nombre:       | XXXXX   |
| N.I.F./C.I.F: | XXXXX   |
| Obra:         | MERCADO |

|              |   |
|--------------|---|
| Nº de oferta | 1 |
|--------------|---|

| Concepto             | Descripción  | Cantidad  | Precio unitario | Precio (€)        |
|----------------------|--|-----------|-----------------|-------------------|
| #250x6.3             | Tubo estructural S275. Cerchas.  | 33.565 kg | 1,27 €/kg       | 42.627,55         |
| C23/75/300/75/23/3   | Perfil tipo C S275. Correas.   | 8.002 kg  | 1,02 €/kg       | 8.162,04          |
| Pintura intumiscente | R30.   | 700 kg    | 25 €/kg         | 17.500,00         |
| Panel sandwich       |  | 1.095 m2  | 28,96 €/m2      | 31.711,20         |
| Mano de obra         | Montaje estructura y cerramiento.  | 41.567 kg | 0,55 €/kg       | 22.891,05         |
| Transporte + grúa    | Transporte de los elementos hasta la obra y levantamiento para su instalación. | 41.567 kg | 0,05 €/kg       | 2.263,95          |
| <b>Total</b>         |  |           |                 | <b>125.155,79</b> |

## Observaciones:

El precio de los materiales incluyen los trabajos realizados en taller (corte, soldadura e imprimación).

Los precios antes reflejados no incluyen I.V.A.

## OFERTA MADERA

|   |
|---|
| <b>CORE S.A.</b><br>C.I.F: XX.XXX.XXX<br>Tlfn: XXX XX XX XX |
|---|

|               |         |
|---------------|---------|
| CLIENTE       |         |
| Nombre:       | XXXXX   |
| N.I.F./C.I.F: | XXXXX   |
| Obra:         | MERCADO |

|              |   |
|--------------|---|
| Nº de oferta | 2 |
|--------------|---|

| Concepto                    | Descripción   | Cantidad  | Precio unitario | Precio (€)        |
|-----------------------------|---|-----------|-----------------|-------------------|
| Vigas delta<br>2100x500x350 | Vigas tipo delta.<br>Madera laminada<br>encolada GL24h.                                       | 95,55 m3  | 803,27€/m3      | 76.752,45         |
| #150x200                    | Correas. Madera<br>laminada<br>encolada GL24h.  | 18,36 m3  | 24,48 €/m3      | 449,45            |
| Panel sandwich              |   | 1.095 m2  | 28,96 €/m2      | 31.711,20         |
| Mano de obra                | Montaje estructura<br>y cerramiento.  | 113,91 m3 | 99,94 €/m3      | 12.589,78         |
| Transporte + grúa           | Transporte de los<br>elementos hasta<br>la obra y<br>levantamiento<br>para su<br>instalación. | 113,91 m3 | 38,87 €/m3      | 4.896,02          |
| <b>Total</b>                |   |           |                 | <b>126.398,90</b> |

## Observaciones:

El precio de los materiales incluyen los trabajos realizados en taller (corte y fabricación).

Los precios antes reflejados no incluyen I.V.A.



## 8. CONCLUSIÓN

Llegado a este punto, se considera que se han alcanzado todos los objetivos propuestos inicialmente.

En primer lugar, en relación a los objetivos formativos y académicos, se considera que se ha profundizado en temas y conceptos introducidos durante la titulación como puede ser la consulta de nuevas normas relacionadas con la construcción, como la aplicación más exhaustiva de las ya conocidas.

La utilización del software utilizado para las labores de diseño y cálculo ha resultado satisfactoria.

Por su entorno amigable, la versatilidad de los módulos implantados para una gran variedad de materiales y trabajos y con la incorporación de la normativa, tanto nacionales de varios países como de la europea, se ha conseguido un ahorro de trabajo y tiempo muy importante.

Desde un punto de vista para un uso educacional, este software podría ser una gran herramienta para realizar ejercicios y/o comprobaciones. Los resultados que se obtienen son amplios y claros, pudiendo mostrar solo los que necesite cada usuario.

Además del software, para la realización de este reformado técnico, ha sido necesario el uso y comprensión de la normativa de construcciones de acero (ya conocida de forma somera) y de la norma relacionada con las construcciones de madera (no vista con anterioridad).

Aunque el software aplica las normas de forma automática, éstas han sido consultadas para entender los resultados obtenidos y realizar las modificaciones necesarias en una línea coherente.

El diseño de elementos constructivos que se alejen de ser considerados barras no se ha tratado en profundidad en las asignaturas cursadas. Siempre se ha limitado a la comprobación de elementos aportados por el profesor.

Por esto, ha sido necesaria una labor de búsqueda y comprensión de soluciones constructivas para poder adaptarla al presente proyecto.

En segundo lugar, en parte técnica del documento orientada al ámbito profesional, se ha realizado un estudio de forma metódica, donde a partir de un proyecto ya realizado, se han obtenido las solicitaciones que deben resistir las alternativas que se proponen.

El enfoque que se le ha dado a esta parte ha sido el de realizar un trabajo que, sin ser un estudio puramente formal, se asemeje lo máximo posible a una tarea desarrollada en una consultoría de ingeniería.

Partiendo de un diseño simple para cada material, se han probado distintas soluciones hasta encontrar una válida. Primero, modificando geometrías y parámetros del propio diseño y seguidamente, si no era viable, realizando otro diseño.

Una vez alcanzadas las propuestas de cada material, se ha comprobado la viabilidad económica de cada una de ellas, resultando unos costes muy similares para ambas y consiguiendo un ahorro significativo frente a la cubierta original significativo.

Una vez llegado aquí, y para aportar un punto más a tener en cuenta, se realizó un análisis sobre el efecto medioambiental que tendría la fabricación de cualquier cubierta contemplada, la proyectada en hormigón prefabricado, la solución en acero y la alternativa en madera.

Con este estudio se ha hecho patente la gran diferencia, en cuanto a residuos generados, existente entre la fabricación con uno u otro material.

Finalmente, y para evitar cualquier sesgo, se eligió la solución fabricada en madera mediante una matriz de decisión que agrupa los puntos que se considera que son importantes a la hora de afrontar un reformado de este tipo.

Como en el mundo laboral existen tanto clientes que se dejan aconsejar por los profesionales consultados, como clientes que no están abiertos a nuevas ideas, se han presentado las dos ofertas. Así, proporcionamos al cliente la capacidad de decidir una opción viable sin presentar riesgos para el proyecto.

Con esto queda expuesta la metodología y el alcance de cada objetivo conseguido.

## BIBLIOGRAFÍA

### Documentos

- Guardiola Vllora, Arianna (2009): *Criterios para el dimensionado de las uniones soldadas en estructuras de acero en edificación*. [Artículo, Universidad Politécnica de Valencia].
- Eurocódigo 3 (Abril 2013): *UNE-EN 1993-1*
- Eurocódigo 5 (Abril 2016): *UNE-EN 1995-1*
- Estructura de madera. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos (Versión corregida, Septiembre 2017): *UNE-EN 14080*
- Landa-Ochoandiano arquitectos (19/10/2016): *Proyecto de ejecución de rehabilitación de edificio para vestuario C/Real, 28. Salinas de Añana. Álava*. [Proyecto visado por el colegio de arquitectos vasco-navarro].
- World Steel Association (Abril 2021): *Energy use in the steel industry*.
- Ibarrola Labiano (31/03/2014): *Proyecto de reforma de cubierta patio Mendillorri-Elorri, Pamplona*. [Área de proyectos y conservación urbana. Ayto. de Pamplona].
- Sustainable Tropical Timber Coalition (2018): *En madera, otra forma de construir. El material constructivo sostenible del siglo XXI*. [Ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente].

### Referencias de fuentes electrónicas

- MINISTERIO de la VIVIENDA (29/05/2021): Código Técnico de Edificación Disponible en: <http://www.codigotecnico.org>
- Generador de presupuestos (2021): <http://generadorprecios.cype.es/>



# ANEXOS



- Software

Se va a mostrar el software que se ha utilizado para realizar los cálculos ya que, parte de este proyecto trata sobre el aprendizaje de su utilización.

El software en cuestión es RFEM versión 5.25 de la compañía Dlubal. La imagen 93 muestra su icono.



Imagen 93: Icono  
RFEM

Forma parte de la suite de Dlubal. RFEM es un programa de cálculo por el método de los elementos finitos enfocado al cálculo estructural.

Este software permite conocer las leyes de esfuerzos internos, además de las tensiones en cada punto de los elementos, combinación de cargas en función de las normas de una gran cantidad de países y toda la información necesaria para llevar a cabo un proyecto estructural.

También incorpora módulos que implementan más funciones de cálculo como son el cálculo de estructuras metálicas mediante varias normas (entre ellas el eurocódigo 3), estructuras de hormigón armado, de madera, cálculo del comportamiento de elementos cerámicos como el vidrio, uniones entre barras... Un ejemplo de los módulos existentes se puede ver en la imagen 94.

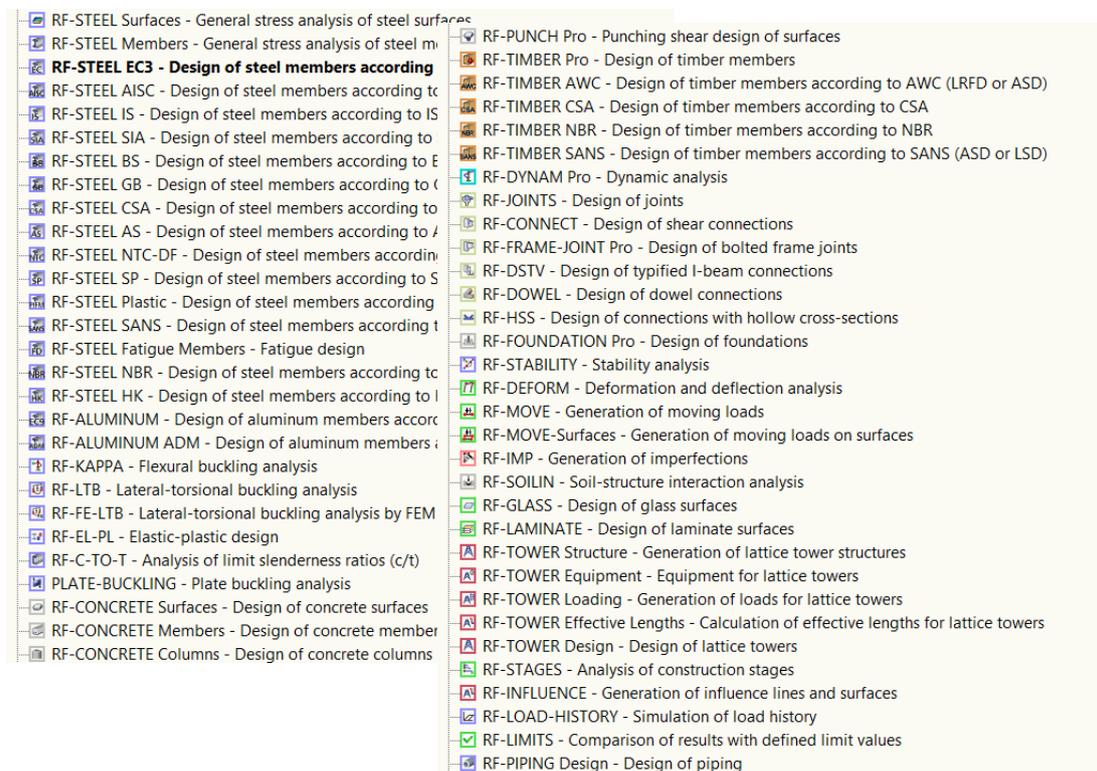


Imagen 94: Módulos adicionales

Cuenta con librerías propias donde ya están incluidos los perfiles más utilizados en la industria, las características de sus materiales, conjuntos de barras más complejos para introducir sus parámetros de diseño, posibilidad de diseñar con perfiles de sección variable pudiendo modelar cualquier tipología de estructura que se precise.

Se ha optado por este software por su entorno amigable, el cual facilita las cosas desde el primer uso. Cuenta con una estructura bastante intuitiva, la cual, trabajando de forma metódica, ayuda a saber en qué punto del diseño se encuentra el proyecto, pudiendo realizar las modificaciones que sean necesarias de una forma rápida y clara (ver imagen 95).

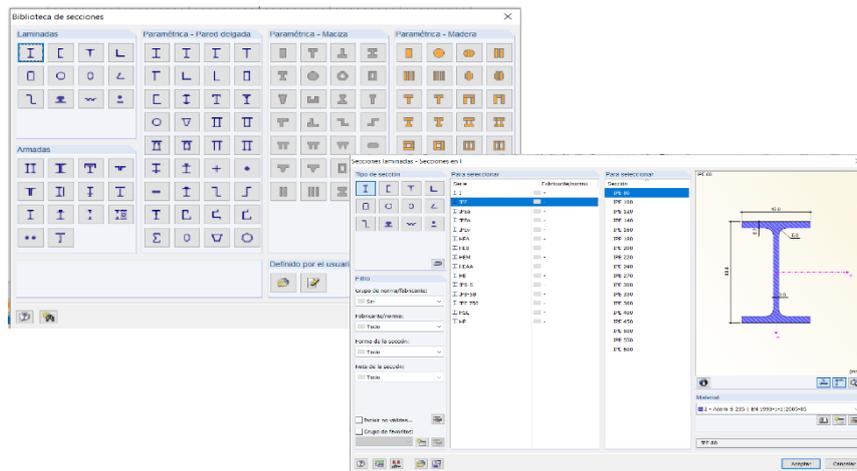


Imagen 95: Menús perfiles

Por último, mencionar que el soporte que ofrecen es rápido, donde si no está publicado en su web el problema surgido, se puede entablar una conversación directamente con ellos a través del chat de su página web.

Un ejemplo simple de diseño se puede ver en la imagen 96.

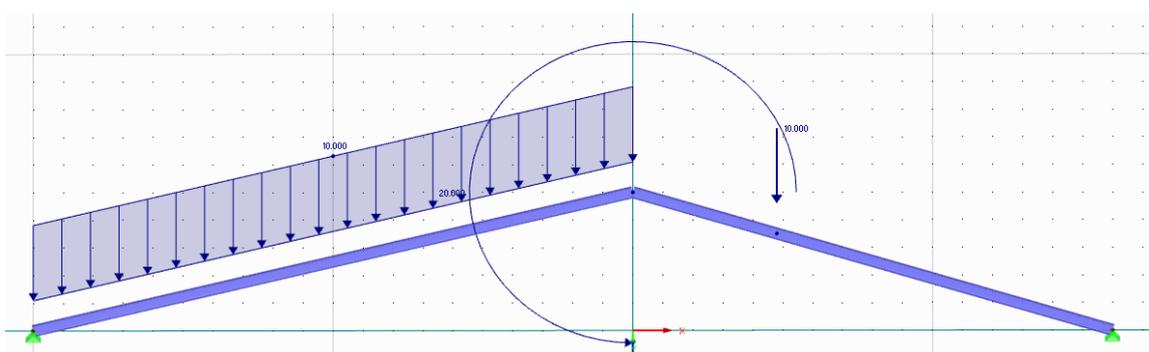
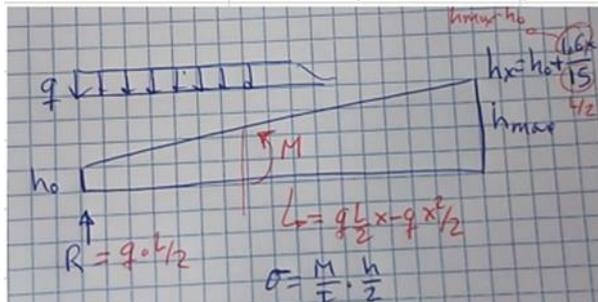


Imagen 96: Ejemplo

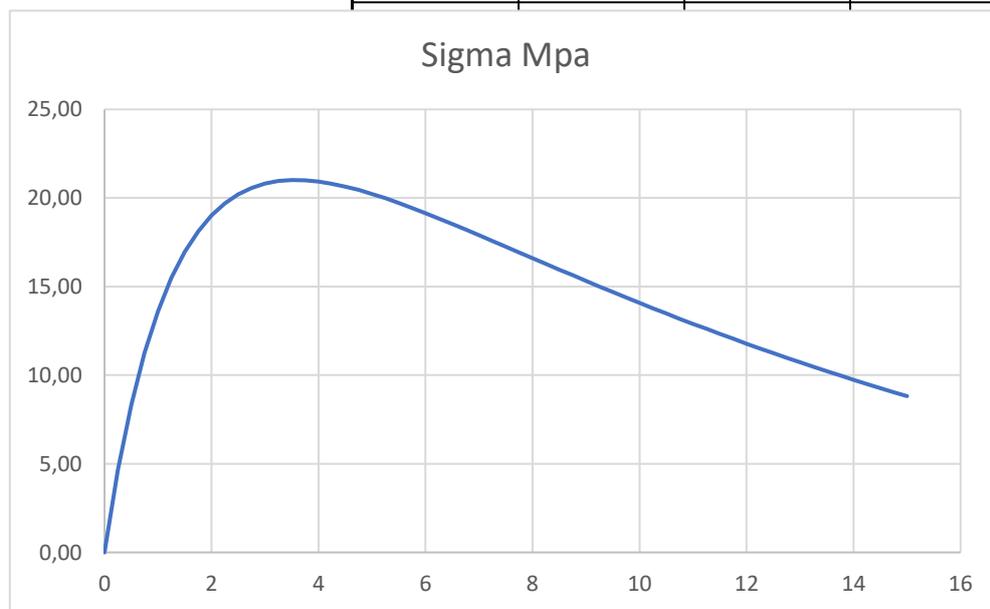
• Primera aproximación de la delta de madera

Aquí se puede ver una primera aproximación facilitada por el tutor de este TFM, Antolín Lorenzana, del espesor de la viga delta de madera y de la tensión máxima soportada.

| L       | 30          | x    | h    | lz   | M         | Sigma Mpa |
|---------|-------------|------|------|------|-----------|-----------|
| h0      | 0,5         | 0    | 0,50 | 0,00 | 0,00      | 0,00      |
| hmax    | 2,1         | 0,25 | 0,53 | 0,00 | 53550,00  | 4,63      |
| x       | 5           | 0,5  | 0,55 | 0,00 | 106200,00 | 8,32      |
| hx      | 1,033333333 | 0,75 | 0,58 | 0,00 | 157950,00 | 11,27     |
| b       | 0,25        | 1    | 0,61 | 0,00 | 208800,00 | 13,62     |
| lz      | 0,02298688  | 1,25 | 0,63 | 0,01 | 258750,00 | 15,48     |
| p       | 2400        | 1,5  | 0,66 | 0,01 | 307800,00 | 16,96     |
| m       | 6           | 1,75 | 0,69 | 0,01 | 355950,00 | 18,12     |
| q       | 14400       | 2    | 0,71 | 0,01 | 403200,00 | 19,02     |
| M       | 900000      | 2,25 | 0,74 | 0,01 | 449550,00 | 19,70     |
| sigma   | 20,23       | 2,5  | 0,77 | 0,01 | 495000,00 | 20,21     |
|         |             | 2,75 | 0,79 | 0,01 | 539550,00 | 20,57     |
| volumen | 39          | 3    | 0,82 | 0,01 | 583200,00 | 20,82     |
| peso    | 19500       | 3,25 | 0,85 | 0,01 | 625950,00 | 20,96     |
|         |             | 3,5  | 0,87 | 0,01 | 667800,00 | 21,01     |



|      |      |           |       |
|------|------|-----------|-------|
| 0,90 | 0,02 | 708750,00 | 21,00 |
| 0,93 | 0,02 | 748800,00 | 20,93 |
| 0,95 | 0,02 | 787950,00 | 20,81 |
| 0,98 | 0,02 | 826200,00 | 20,65 |
| 1,01 | 0,02 | 863550,00 | 20,45 |
| 1,03 | 0,02 | 900000,00 | 20,23 |
| 1,06 | 0,02 | 935550,00 | 19,98 |



|      |      |      |            |       |
|------|------|------|------------|-------|
| 9,25 | 1,49 | 0,07 | 1381950,00 | 15,01 |
| 9,5  | 1,51 | 0,07 | 1402200,00 | 14,69 |
| 9,75 | 1,54 | 0,08 | 1421550,00 | 14,39 |

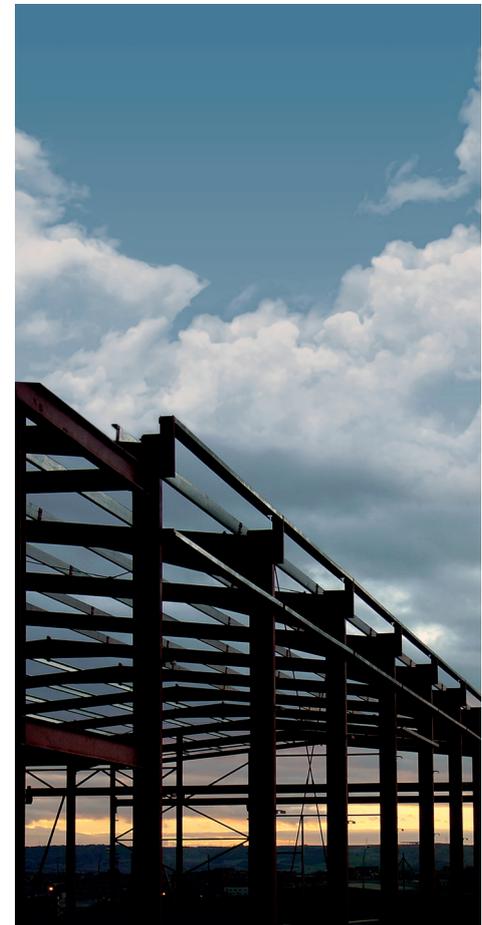
|       |      |      |            |       |
|-------|------|------|------------|-------|
| 10    | 1,57 | 0,08 | 1440000,00 | 14,08 |
| 10,25 | 1,59 | 0,08 | 1457550,00 | 13,78 |
| 10,5  | 1,62 | 0,09 | 1474200,00 | 13,48 |
| 10,75 | 1,65 | 0,09 | 1489950,00 | 13,19 |
| 11    | 1,67 | 0,10 | 1504800,00 | 12,90 |
| 11,25 | 1,70 | 0,10 | 1518750,00 | 12,61 |
| 11,5  | 1,73 | 0,11 | 1531800,00 | 12,33 |
| 11,75 | 1,75 | 0,11 | 1543950,00 | 12,05 |
| 12    | 1,78 | 0,12 | 1555200,00 | 11,78 |
| 12,25 | 1,81 | 0,12 | 1565550,00 | 11,51 |
| 12,5  | 1,83 | 0,13 | 1575000,00 | 11,25 |
| 12,75 | 1,86 | 0,13 | 1583550,00 | 10,99 |
| 13    | 1,89 | 0,14 | 1591200,00 | 10,73 |
| 13,25 | 1,91 | 0,15 | 1597950,00 | 10,48 |
| 13,5  | 1,94 | 0,15 | 1603800,00 | 10,23 |
| 13,75 | 1,97 | 0,16 | 1608750,00 | 9,98  |
| 14    | 1,99 | 0,17 | 1612800,00 | 9,74  |
| 14,25 | 2,02 | 0,17 | 1615950,00 | 9,50  |
| 14,5  | 2,05 | 0,18 | 1618200,00 | 9,27  |
| 14,75 | 2,07 | 0,19 | 1619550,00 | 9,04  |
| 15    | 2,10 | 0,19 | 1620000,00 | 8,82  |

- Catálogo de correas de acero



# CORREAS TZ

## CORREAS LIGERAS DE ACERO ESTRUCTURAL CERTIFICADO



- Gama de correas de acero estructural galvanizado, conformado en frío, de alta calidad y certificado.
- Producto certificado CE acorde a nueva norma EN1090.
- Amplia y versátil gama, con espesores entre 1,5 y 3,0mm, altura de perfil entre 100 y 350 mm, y alas entre 48 y 80 mm. Longitudes de fabricación de hasta 18 m.
- Apto para soporte de cerramientos metálicos o paneles aislantes en edificación industrial y comercial, estructuras para instalaciones solares y estructuras ligeras.
- Asistencia técnica para el cálculo estructural y dimensionamiento personalizado para cada proyecto.

CE

  
**Kingspan**<sup>®</sup>

# Correas TZ

## DESCRIPCIÓN Y APLICACIONES

Gama de correas metálicas de alta calidad, conformadas en frío con chapa galvanizada estructural certificada.

Amplia y versátil gama, con posibilidad de personalización de la sección estructural, los punzonados y fabricación a medida.

Sistema integral, con todos los accesorios y remates necesarios y cubrejuntas de hasta 3 mm de espesor.

Producto certificado CE acorde a nueva norma europea EN1090, específica para estructuras metálicas

Estructura de soporte para cerramientos metálicos o paneles aislantes en edificación, soporte para instalaciones solares y estructuras ligeras.



## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| <b>Longitud máxima de fabricación</b> | 18 m ( >13,5 m transporte especial)                                   |
| <b>Tipo de acero</b>                  | <b>Estándar</b> Estándar: acero estructural S280GD y galvanizado Z275 |
|                                       | <b>Especial</b> Otros tipos de acero bajo pedido                      |
| <b>Espesores</b>                      | 1,5 / 2,0 / 2,5 / 3,0 mm  |

## CALIDAD Y CERTIFICACIONES

### Certificaciones gama de correas

Marcado CE acorde a nueva norma europea EN 1090:2011, específica para la fabricación y ejecución de estructuras metálicas.

### Certificaciones chapa de acero

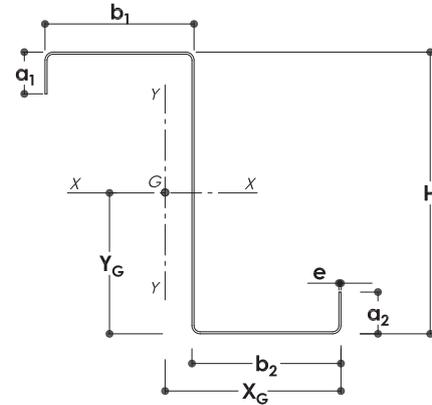
Acero empleado conforme a norma EN 10346.



# Correas TZ

## TABLA DE PROPIEDADES MECÁNICAS BRUTAS

### CORREAS TZ-EZ



|                         | h   | b1 | b2 | a1 | a2 | e   | Área            | Peso  | Respecto eje x-x |                 |       | Respecto eje y-y |                 |      | Posición C.G |      |
|-------------------------|-----|----|----|----|----|-----|-----------------|-------|------------------|-----------------|-------|------------------|-----------------|------|--------------|------|
|                         |     |    |    |    |    |     |                 |       | Ix               | Wx              | ix    | Iy               | Wy              | iy   | YG           | XG   |
|                         | mm  | mm | mm | mm | mm | mm  | cm <sup>2</sup> | kg/ml | cm <sup>4</sup>  | cm <sup>3</sup> | cm    | cm <sup>4</sup>  | cm <sup>3</sup> | cm   | cm           | cm   |
| Z 19/48/100/55/23 x 2   | 100 | 55 | 48 | 23 | 19 | 2,0 | 4,57            | 3,59  | 71,20            | 13,69           | 3,95  | 33,80            | 6,63            | 2,72 | 5,20         | 4,99 |
| Z 19/48/100/55/23 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 5,65            | 4,43  | 87,00            | 16,73           | 3,92  | 40,80            | 8,04            | 2,69 | 5,20         | 4,97 |
| Z 19/48/100/55/23 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 6,71            | 5,26  | 102,10           | 19,61           | 3,90  | 47,30            | 9,35            | 2,66 | 5,20         | 4,94 |
| Z 19/48/125/55/23 x 2   | 125 | 55 | 48 | 23 | 19 | 2,0 | 5,07            | 3,98  | 120,40           | 18,57           | 4,87  | 33,90            | 6,60            | 2,59 | 6,49         | 4,96 |
| Z 19/48/125/55/23 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 6,27            | 4,93  | 147,60           | 22,75           | 4,85  | 40,90            | 8,00            | 2,55 | 6,49         | 4,94 |
| Z 19/48/125/55/23 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 7,46            | 5,85  | 173,50           | 26,75           | 4,82  | 47,30            | 9,31            | 2,52 | 6,49         | 4,91 |
| Z 19/48/150/55/23 x 2   | 150 | 55 | 48 | 23 | 19 | 2,0 | 5,57            | 4,37  | 185,50           | 23,89           | 5,77  | 33,90            | 6,57            | 2,47 | 7,76         | 4,94 |
| Z 19/48/150/55/23 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 6,90            | 5,42  | 227,70           | 29,32           | 5,74  | 40,90            | 7,97            | 2,44 | 7,77         | 4,91 |
| Z 19/48/150/55/23 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 8,21            | 6,44  | 268,30           | 34,54           | 5,72  | 47,40            | 9,27            | 2,40 | 7,77         | 4,89 |
| Z 19/48/175/55/23 x 2   | 175 | 55 | 48 | 23 | 19 | 2,0 | 6,07            | 4,76  | 267,90           | 29,64           | 6,64  | 33,90            | 6,55            | 2,37 | 9,04         | 4,92 |
| Z 19/48/175/55/23 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 7,52            | 5,91  | 329,40           | 36,44           | 6,62  | 41,00            | 7,95            | 2,33 | 9,04         | 4,89 |
| Z 19/48/175/55/23 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 8,96            | 7,03  | 388,70           | 43,00           | 6,59  | 47,40            | 9,25            | 2,30 | 9,04         | 4,87 |
| Z 23/70/200/80/23 x 2   | 200 | 80 | 70 | 23 | 23 | 2,0 | 7,59            | 5,96  | 466,50           | 45,46           | 7,84  | 94,60            | 12,36           | 3,53 | 10,26        | 7,14 |
| Z 23/70/200/80/23 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 9,42            | 7,40  | 575,50           | 56,08           | 7,81  | 115,30           | 15,11           | 3,50 | 10,26        | 7,12 |
| Z 23/70/200/80/23 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 11,24           | 8,82  | 681,60           | 66,41           | 7,79  | 134,80           | 17,73           | 3,46 | 10,26        | 7,09 |
| Z 23/70/225/80/23 x 2   | 225 | 80 | 70 | 23 | 23 | 2,0 | 8,09            | 6,35  | 614,90           | 53,35           | 8,72  | 94,60            | 12,34           | 3,42 | 11,53        | 7,13 |
| Z 23/70/225/80/23 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 10,05           | 7,89  | 759,20           | 65,86           | 8,69  | 115,30           | 15,08           | 3,39 | 11,53        | 7,10 |
| Z 23/70/225/80/23 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 11,99           | 9,41  | 899,80           | 78,05           | 8,66  | 134,90           | 17,70           | 3,35 | 11,53        | 7,08 |
| Z 23/70/250/80/23 x 2   | 250 | 80 | 70 | 23 | 23 | 2,0 | 8,59            | 6,74  | 788,50           | 61,66           | 9,58  | 94,70            | 12,32           | 3,32 | 12,79        | 7,12 |
| Z 23/70/250/80/23 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 10,67           | 8,38  | 974,20           | 76,17           | 9,55  | 115,40           | 15,06           | 3,29 | 12,79        | 7,09 |
| Z 23/70/250/80/23 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 12,74           | 10,00 | 1155,50          | 90,34           | 9,52  | 134,90           | 17,67           | 3,25 | 12,79        | 7,06 |
| Z 23/70/275/80/23 x 2   | 275 | 80 | 70 | 23 | 23 | 2,0 | 9,09            | 7,13  | 989,00           | 70,39           | 10,43 | 94,70            | 12,30           | 3,23 | 14,05        | 7,10 |
| Z 23/70/275/80/23 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 11,30           | 8,87  | 1222,70          | 87,01           | 10,40 | 115,40           | 15,04           | 3,20 | 14,05        | 7,08 |
| Z 23/70/275/80/23 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 13,49           | 10,59 | 1450,90          | 103,25          | 10,37 | 135,00           | 17,65           | 3,16 | 14,05        | 7,05 |
| Z 23/70/300/80/23 x 2   | 300 | 80 | 70 | 23 | 23 | 2,0 | 9,59            | 7,53  | 1217,90          | 79,55           | 11,27 | 94,70            | 12,29           | 3,14 | 15,31        | 7,09 |
| Z 23/70/300/80/23 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 11,92           | 9,36  | 1506,40          | 98,38           | 11,24 | 115,40           | 15,02           | 3,11 | 15,31        | 7,07 |
| Z 23/70/300/80/23 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 14,24           | 11,18 | 1788,60          | 116,80          | 11,21 | 135,00           | 17,63           | 3,08 | 15,31        | 7,04 |
| Z 23/70/325/80/23 x 2   | 325 | 80 | 70 | 23 | 23 | 2,0 | 10,09           | 7,92  | 1476,80          | 89,12           | 12,10 | 94,70            | 12,28           | 3,06 | 16,57        | 7,08 |
| Z 23/70/325/80/23 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 12,55           | 9,85  | 1827,40          | 110,27          | 12,07 | 115,40           | 15,01           | 3,03 | 16,57        | 7,06 |
| Z 23/70/325/80/23 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 14,99           | 11,76 | 2170,70          | 130,98          | 12,03 | 135,00           | 17,61           | 3,00 | 16,57        | 7,03 |
| Z 23/70/350/80/23 x 2   | 350 | 80 | 70 | 23 | 23 | 2,0 | 10,59           | 8,31  | 1767,10          | 99,12           | 12,92 | 94,70            | 12,27           | 2,99 | 17,83        | 7,08 |
| Z 23/70/350/80/23 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 13,17           | 10,34 | 2187,60          | 122,69          | 12,89 | 115,50           | 14,99           | 2,96 | 17,83        | 7,05 |
| Z 23/70/350/80/23 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 15,74           | 12,35 | 2599,60          | 145,79          | 12,85 | 135,10           | 17,59           | 2,93 | 17,83        | 7,02 |

# Correas TZ

## TABLA DE CARGAS (kN/m)

### CORREAS TZ-EZ

#### LUZ ENTRE APOYOS (m)

|                         | 4,00  | 4,50 | 5,00 | 5,50 | 6,00 | 6,50 | 7,00 | 7,50 | 8,00 | 8,50 | 9,00 | 9,50 | 10,00 |
|-------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Z 19/48/100/55/23 x 2   | 0,85  | 0,59 | 0,42 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| Z 19/48/100/55/23 x 2,5 | 1,04  | 0,72 | 0,51 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| Z 19/48/100/55/23 x 3   | 1,22  | 0,84 | 0,60 | 0,44 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| Z 19/48/125/55/23 x 2   | 1,44  | 1,00 | 0,72 | 0,53 | 0,40 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| Z 19/48/125/55/23 x 2,5 | 1,78  | 1,24 | 0,89 | 0,66 | 0,50 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| Z 19/48/125/55/23 x 3   | 2,09  | 1,46 | 1,05 | 0,77 | 0,58 | 0,45 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| Z 19/48/150/55/23 x 2   | 2,05  | 1,57 | 1,14 | 0,84 | 0,64 | 0,50 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| Z 19/48/150/55/23 x 2,5 | 2,52  | 1,93 | 1,39 | 1,03 | 0,79 | 0,61 | 0,48 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| Z 19/48/150/55/23 x 3   | 2,96  | 2,27 | 1,64 | 1,22 | 0,92 | 0,71 | 0,56 | 0,44 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| Z 19/48/175/55/23 x 2   | 2,55  | 2,01 | 1,62 | 1,23 | 0,94 | 0,73 | 0,58 | 0,46 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| Z 19/48/175/55/23 x 2,5 | 3,13  | 2,47 | 1,99 | 1,51 | 1,15 | 0,90 | 0,71 | 0,56 | 0,46 | ---  | ---  | ---  | ---   |
| Z 19/48/175/55/23 x 3   | 3,70  | 2,91 | 2,34 | 1,79 | 1,36 | 1,06 | 0,83 | 0,66 | 0,54 | 0,44 | ---  | ---  | ---   |
| Z 23/70/200/80/23 x 2   | 3,77  | 2,97 | 2,40 | 1,97 | 1,61 | 1,26 | 1,00 | 0,80 | 0,65 | 0,54 | 0,44 | ---  | ---   |
| Z 23/70/200/80/23 x 2,5 | 4,76  | 3,75 | 3,02 | 2,49 | 2,01 | 1,57 | 1,24 | 1,00 | 0,81 | 0,67 | 0,55 | 0,46 | ---   |
| Z 23/70/200/80/23 x 3   | 5,70  | 4,49 | 3,62 | 2,98 | 2,40 | 1,87 | 1,48 | 1,19 | 0,97 | 0,79 | 0,65 | 0,54 | 0,45  |
| Z 23/70/225/80/23 x 2   | 4,35  | 3,43 | 2,77 | 2,28 | 1,91 | 1,62 | 1,32 | 1,07 | 0,87 | 0,72 | 0,60 | 0,50 | 0,42  |
| Z 23/70/225/80/23 x 2,5 | 5,57  | 4,39 | 3,54 | 2,92 | 2,44 | 2,07 | 1,65 | 1,33 | 1,09 | 0,89 | 0,74 | 0,62 | 0,52  |
| Z 23/70/225/80/23 x 3   | 6,70  | 5,28 | 4,26 | 3,51 | 2,93 | 2,48 | 1,97 | 1,59 | 1,29 | 1,06 | 0,88 | 0,74 | 0,62  |
| Z 23/70/250/80/23 x 2   | 4,83  | 3,80 | 3,07 | 2,53 | 2,11 | 1,79 | 1,54 | 1,33 | 1,11 | 0,92 | 0,77 | 0,64 | 0,54  |
| Z 23/70/250/80/23 x 2,5 | 6,43  | 5,07 | 4,09 | 3,37 | 2,82 | 2,39 | 2,05 | 1,72 | 1,41 | 1,16 | 0,97 | 0,81 | 0,68  |
| Z 23/70/250/80/23 x 3   | 7,75  | 6,11 | 4,93 | 4,06 | 3,40 | 2,88 | 2,47 | 2,05 | 1,68 | 1,38 | 1,15 | 0,96 | 0,81  |
| Z 23/70/275/80/23 x 2   | 5,30  | 4,18 | 3,37 | 2,78 | 2,32 | 1,97 | 1,69 | 1,47 | 1,28 | 1,13 | 0,96 | 0,81 | 0,69  |
| Z 23/70/275/80/23 x 2,5 | 7,31  | 5,76 | 4,65 | 3,83 | 3,21 | 2,72 | 2,34 | 2,03 | 1,77 | 1,47 | 1,22 | 1,03 | 0,87  |
| Z 23/70/275/80/23 x 3   | 8,84  | 6,97 | 5,62 | 4,63 | 3,88 | 3,29 | 2,83 | 2,45 | 2,12 | 1,75 | 1,46 | 1,23 | 1,04  |
| Z 23/70/300/80/23 x 2   | 5,77  | 4,55 | 3,67 | 3,02 | 2,53 | 2,15 | 1,84 | 1,60 | 1,40 | 1,23 | 1,09 | 0,97 | 0,84  |
| Z 23/70/300/80/23 x 2,5 | 7,96  | 6,27 | 5,06 | 4,17 | 3,49 | 2,96 | 2,55 | 2,21 | 1,93 | 1,70 | 1,51 | 1,27 | 1,08  |
| Z 23/70/300/80/23 x 3   | 9,98  | 7,87 | 6,35 | 5,23 | 4,38 | 3,72 | 3,19 | 2,77 | 2,42 | 2,14 | 1,82 | 1,53 | 1,30  |
| Z 23/70/325/80/23 x 2   | 6,24  | 4,92 | 3,97 | 3,27 | 2,74 | 2,32 | 1,99 | 1,73 | 1,51 | 1,33 | 1,18 | 1,05 | 0,94  |
| Z 23/70/325/80/23 x 2,5 | 8,61  | 6,78 | 5,48 | 4,51 | 3,78 | 3,21 | 2,75 | 2,39 | 2,09 | 1,84 | 1,63 | 1,46 | 1,31  |
| Z 23/70/325/80/23 x 3   | 11,18 | 8,81 | 7,12 | 5,86 | 4,91 | 4,17 | 3,58 | 3,11 | 2,72 | 2,40 | 2,13 | 1,87 | 1,59  |
| Z 23/70/350/80/23 x 2   | 6,71  | 5,29 | 4,27 | 3,52 | 2,94 | 2,50 | 2,14 | 1,86 | 1,63 | 1,43 | 1,27 | 1,13 | 1,02  |
| Z 23/70/350/80/23 x 2,5 | 9,25  | 7,29 | 5,89 | 4,85 | 4,06 | 3,45 | 2,96 | 2,57 | 2,25 | 1,98 | 1,76 | 1,57 | 1,41  |
| Z 23/70/350/80/23 x 3   | 12,08 | 9,52 | 7,69 | 6,34 | 5,31 | 4,51 | 3,87 | 3,36 | 2,94 | 2,59 | 2,30 | 2,05 | 1,84  |

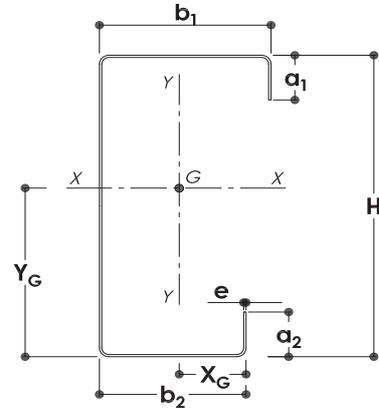
#### NOTAS:

- Condiciones del cálculo: Acero S280 GD, pendiente de cubierta del 7%, sin tirantillas y biapoyadas. Flecha admisible: L/200.
- Tablas válidas únicamente para pre-dimensionamiento. El proyectista deberá realizar el cálculo estructural acorde a la normativa aplicable en cada país. Kingspan declina expresamente cualquier responsabilidad derivada del uso de estas tablas.
- Los valores recogidos en la tabla son cargas lineales admisibles sin mayorar (kN/m), repartidas uniformemente a lo largo de la correa. Se deberán comparar, por tanto, con la suma de cargas lineales características (sin mayorar) de cada proyecto.
- Estas tablas de carga corresponden a la fase de servicio de la cubierta, considerando que la chapa de ceramamiento está fijada a las correas y por tanto las arriostra eficazmente.
- Se considera que las correas trabajan únicamente a flexión y que no forman parte del sistema de contravientos de la cubierta.
- Se asume que se disponen ejiones de manera adecuada para evitar el aplastamiento del alma de la correa en los apoyos.

# Correas TZ

## TABLA DE PROPIEDADES MECÁNICAS BRUTAS

### CORREAS TZ-EC



|                         | h   | b1 | b2 | a1 | a2 | e   | Área            | Peso  | Respecto eje x-x |                 |       | Respecto eje y-y |                 |      | Posición C.G |      |
|-------------------------|-----|----|----|----|----|-----|-----------------|-------|------------------|-----------------|-------|------------------|-----------------|------|--------------|------|
|                         |     |    |    |    |    |     |                 |       | Ix               | Wx              | ix    | Iy               | Wy              | iy   | Yg           | Xg   |
|                         | mm  | mm | mm | mm | mm | mm  | cm <sup>2</sup> | kg/ml | cm <sup>4</sup>  | cm <sup>3</sup> | cm    | cm <sup>4</sup>  | cm <sup>3</sup> | cm   | cm           | cm   |
| C 20/50/100/50/20 x 2   | 100 | 50 | 50 | 20 | 20 | 2,0 | 4,47            | 3,51  | 69,70            | 13,93           | 3,95  | 16,50            | 5,24            | 1,92 | 5,00         | 3,14 |
| C 20/50/100/50/20 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 5,52            | 4,34  | 85,10            | 17,02           | 3,92  | 19,90            | 6,33            | 1,90 | 5,00         | 3,14 |
| C 20/50/100/50/20 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 6,56            | 5,15  | 99,80            | 19,96           | 3,90  | 23,10            | 7,33            | 1,88 | 5,00         | 3,15 |
| C 20/50/125/50/20 x 2   | 125 | 50 | 50 | 20 | 20 | 2,0 | 4,97            | 3,90  | 117,80           | 18,85           | 4,87  | 17,90            | 5,38            | 1,90 | 6,25         | 3,32 |
| C 20/50/125/50/20 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 6,15            | 4,83  | 144,30           | 23,09           | 4,84  | 21,60            | 6,50            | 1,87 | 6,25         | 3,32 |
| C 20/50/125/50/20 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 7,31            | 5,74  | 169,70           | 27,15           | 4,82  | 25,00            | 7,54            | 1,85 | 6,25         | 3,32 |
| C 20/50/150/50/20 x 2   | 150 | 50 | 50 | 20 | 20 | 2,0 | 5,47            | 4,29  | 181,50           | 24,19           | 5,76  | 19,00            | 5,48            | 1,86 | 7,50         | 3,47 |
| C 20/50/150/50/20 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 6,77            | 5,32  | 222,70           | 29,70           | 5,73  | 23,00            | 6,63            | 1,84 | 7,50         | 3,46 |
| C 20/50/150/50/20 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 8,06            | 6,32  | 262,40           | 34,98           | 5,71  | 26,60            | 7,69            | 1,82 | 7,50         | 3,46 |
| C 20/50/175/50/20 x 2   | 175 | 50 | 50 | 20 | 20 | 2,0 | 5,97            | 4,69  | 262,20           | 29,97           | 6,63  | 19,90            | 5,56            | 1,83 | 8,75         | 3,59 |
| C 20/50/175/50/20 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 7,40            | 5,81  | 322,30           | 36,84           | 6,60  | 24,10            | 6,72            | 1,80 | 8,75         | 3,58 |
| C 20/50/175/50/20 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 8,81            | 6,91  | 380,30           | 43,46           | 6,57  | 27,90            | 7,81            | 1,78 | 8,75         | 3,58 |
| C 23/75/200/75/23 x 2   | 200 | 75 | 75 | 23 | 23 | 2,0 | 7,59            | 5,96  | 467,00           | 46,70           | 7,85  | 58,40            | 11,17           | 2,78 | 10,00        | 3,23 |
| C 23/75/200/75/23 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 9,42            | 7,40  | 576,20           | 57,62           | 7,82  | 71,40            | 13,64           | 2,75 | 10,00        | 3,23 |
| C 23/75/200/75/23 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 11,24           | 8,82  | 682,30           | 68,23           | 7,79  | 83,60            | 15,99           | 2,73 | 10,00        | 3,23 |
| C 23/75/225/75/23 x 2   | 225 | 75 | 75 | 23 | 23 | 2,0 | 8,09            | 6,35  | 615,50           | 54,71           | 8,72  | 60,70            | 11,30           | 2,74 | 11,25        | 5,37 |
| C 23/75/225/75/23 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 10,05           | 7,89  | 760,00           | 67,55           | 8,70  | 74,10            | 13,81           | 2,71 | 11,25        | 5,36 |
| C 23/75/225/75/23 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 11,99           | 9,41  | 900,70           | 80,06           | 8,67  | 86,80            | 16,19           | 2,69 | 11,25        | 5,36 |
| C 23/75/250/75/23 x 2   | 250 | 75 | 75 | 23 | 23 | 2,0 | 8,59            | 6,74  | 789,30           | 63,14           | 9,59  | 62,60            | 11,42           | 2,70 | 12,50        | 5,48 |
| C 23/75/250/75/23 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 10,67           | 8,38  | 975,10           | 78,01           | 9,56  | 76,40            | 13,94           | 2,68 | 12,50        | 5,48 |
| C 23/75/250/75/23 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 12,74           | 10,00 | 1156,50          | 92,52           | 9,53  | 89,60            | 16,35           | 2,65 | 12,50        | 5,48 |
| C 23/75/275/75/23 x 2   | 275 | 75 | 75 | 23 | 23 | 2,0 | 9,09            | 7,13  | 989,80           | 71,99           | 10,44 | 64,30            | 11,51           | 2,66 | 13,75        | 5,59 |
| C 23/75/275/75/23 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 11,30           | 8,87  | 1223,70          | 89,00           | 10,41 | 78,60            | 14,06           | 2,64 | 13,75        | 5,59 |
| C 23/75/275/75/23 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 13,49           | 10,59 | 1452,20          | 105,61          | 10,38 | 92,10            | 16,49           | 2,61 | 13,75        | 5,58 |
| C 23/75/300/75/23 x 2   | 300 | 75 | 75 | 23 | 23 | 2,0 | 9,59            | 7,53  | 1218,80          | 81,26           | 11,27 | 65,90            | 11,59           | 2,62 | 15,00        | 5,68 |
| C 23/75/300/75/23 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 11,92           | 9,36  | 1507,50          | 100,50          | 11,24 | 80,50            | 14,16           | 2,60 | 15,00        | 5,68 |
| C 23/75/300/75/23 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 14,24           | 11,18 | 1790,00          | 119,33          | 11,21 | 94,30            | 16,61           | 2,57 | 15,00        | 5,68 |
| C 23/75/325/75/23 x 2   | 325 | 75 | 75 | 23 | 23 | 2,0 | 10,09           | 7,92  | 1477,80          | 90,94           | 12,10 | 67,30            | 11,67           | 2,58 | 16,25        | 5,77 |
| C 23/75/325/75/23 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 12,55           | 9,85  | 1828,70          | 112,53          | 12,07 | 82,20            | 14,25           | 2,56 | 16,25        | 5,76 |
| C 23/75/325/75/23 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 14,99           | 11,76 | 2172,20          | 133,68          | 12,04 | 96,30            | 16,72           | 2,53 | 16,25        | 5,76 |
| C 23/75/350/75/23 x 2   | 350 | 75 | 75 | 23 | 23 | 2,0 | 10,59           | 8,31  | 1768,30          | 101,04          | 12,92 | 68,60            | 11,73           | 2,54 | 17,50        | 5,85 |
| C 23/75/350/75/23 x 2,5 |     |    |    |    |    | 2,5 | 13,17           | 10,34 | 2189,00          | 125,09          | 12,89 | 83,70            | 14,33           | 2,52 | 17,50        | 5,84 |
| C 23/75/350/75/23 x 3   |     |    |    |    |    | 3,0 | 15,74           | 12,35 | 2601,30          | 148,65          | 12,86 | 98,10            | 16,81           | 2,50 | 17,50        | 5,84 |

# Correas TZ

## TABLA DE CARGAS (kN/m)

### CORREAS TZ-EC

#### LUZ ENTRE APOYOS (m)

|                         | 4,00  | 4,50 | 5,00 | 5,50 | 6,00 | 6,50 | 7,00 | 7,50 | 8,00 | 8,50 | 9,00 | 9,50 | 10,00 |
|-------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| C 20/50/100/50/20 x 2   | 0,83  | 0,58 | 0,41 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| C 20/50/100/50/20 x 2,5 | 1,01  | 0,70 | 0,50 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| C 20/50/100/50/20 x 3   | 1,19  | 0,82 | 0,59 | 0,43 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| C 20/50/125/50/20 x 2   | 1,42  | 0,99 | 0,71 | 0,53 | 0,40 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| C 20/50/125/50/20 x 2,5 | 1,74  | 1,21 | 0,87 | 0,64 | 0,49 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| C 20/50/125/50/20 x 3   | 2,05  | 1,42 | 1,02 | 0,76 | 0,57 | 0,44 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| C 20/50/150/50/20 x 2   | 1,98  | 1,54 | 1,11 | 0,83 | 0,63 | 0,49 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| C 20/50/150/50/20 x 2,5 | 2,43  | 1,89 | 1,36 | 1,01 | 0,77 | 0,59 | 0,47 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| C 20/50/150/50/20 x 3   | 2,86  | 2,22 | 1,60 | 1,19 | 0,90 | 0,70 | 0,55 | 0,43 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| C 20/50/175/50/20 x 2   | 2,46  | 1,94 | 1,56 | 1,21 | 0,92 | 0,71 | 0,56 | 0,45 | ---  | ---  | ---  | ---  | ---   |
| C 20/50/175/50/20 x 2,5 | 3,02  | 2,38 | 1,92 | 1,48 | 1,13 | 0,88 | 0,69 | 0,55 | 0,45 | ---  | ---  | ---  | ---   |
| C 20/50/175/50/20 x 3   | 3,56  | 2,80 | 2,26 | 1,75 | 1,33 | 1,03 | 0,81 | 0,65 | 0,52 | 0,43 | ---  | ---  | ---   |
| C 23/75/200/75/23 x 2   | 3,65  | 2,87 | 2,32 | 1,91 | 1,60 | 1,27 | 1,01 | 0,81 | 0,66 | 0,54 | 0,45 | ---  | ---   |
| C 23/75/200/75/23 x 2,5 | 4,61  | 3,63 | 2,93 | 2,41 | 2,02 | 1,58 | 1,25 | 1,00 | 0,82 | 0,67 | 0,55 | 0,46 | ---   |
| C 23/75/200/75/23 x 3   | 5,56  | 4,38 | 3,53 | 2,91 | 2,41 | 1,88 | 1,49 | 1,19 | 0,97 | 0,79 | 0,66 | 0,55 | 0,46  |
| C 23/75/225/75/23 x 2   | 4,24  | 3,34 | 2,70 | 2,22 | 1,86 | 1,57 | 1,33 | 1,08 | 0,88 | 0,72 | 0,60 | 0,50 | 0,42  |
| C 23/75/225/75/23 x 2,5 | 5,40  | 4,25 | 3,43 | 2,82 | 2,36 | 2,00 | 1,66 | 1,34 | 1,09 | 0,90 | 0,75 | 0,62 | 0,52  |
| C 23/75/225/75/23 x 3   | 6,51  | 5,13 | 4,14 | 3,40 | 2,85 | 2,42 | 1,98 | 1,60 | 1,30 | 1,07 | 0,89 | 0,74 | 0,62  |
| C 23/75/250/75/23 x 2   | 4,70  | 3,70 | 2,99 | 2,46 | 2,06 | 1,75 | 1,50 | 1,30 | 1,12 | 0,93 | 0,77 | 0,65 | 0,55  |
| C 23/75/250/75/23 x 2,5 | 6,22  | 4,90 | 3,96 | 3,26 | 2,73 | 2,31 | 1,98 | 1,72 | 1,41 | 1,17 | 0,97 | 0,81 | 0,69  |
| C 23/75/250/75/23 x 3   | 7,50  | 5,91 | 4,77 | 3,93 | 3,29 | 2,79 | 2,39 | 2,06 | 1,68 | 1,39 | 1,16 | 0,97 | 0,82  |
| C 23/75/275/75/23 x 2   | 5,16  | 4,06 | 3,28 | 2,70 | 2,26 | 1,92 | 1,64 | 1,42 | 1,25 | 1,10 | 0,97 | 0,81 | 0,69  |
| C 23/75/275/75/23 x 2,5 | 7,08  | 5,58 | 4,51 | 3,71 | 3,11 | 2,64 | 2,26 | 1,96 | 1,72 | 1,48 | 1,23 | 1,03 | 0,88  |
| C 23/75/275/75/23 x 3   | 8,55  | 6,74 | 5,44 | 4,48 | 3,75 | 3,18 | 2,73 | 2,37 | 2,07 | 1,76 | 1,47 | 1,23 | 1,04  |
| C 23/75/300/75/23 x 2   | 5,61  | 4,42 | 3,57 | 2,94 | 2,46 | 2,09 | 1,79 | 1,55 | 1,36 | 1,19 | 1,06 | 0,94 | 0,85  |
| C 23/75/300/75/23 x 2,5 | 7,75  | 6,11 | 4,93 | 4,06 | 3,40 | 2,89 | 2,48 | 2,15 | 1,88 | 1,65 | 1,47 | 1,27 | 1,08  |
| C 23/75/300/75/23 x 3   | 9,64  | 7,60 | 6,14 | 5,06 | 4,23 | 3,59 | 3,08 | 2,67 | 2,34 | 2,06 | 1,82 | 1,53 | 1,30  |
| C 23/75/325/75/23 x 2   | 6,07  | 4,78 | 3,86 | 3,18 | 2,66 | 2,26 | 1,94 | 1,68 | 1,47 | 1,29 | 1,15 | 1,02 | 0,92  |
| C 23/75/325/75/23 x 2,5 | 8,37  | 6,60 | 5,33 | 4,39 | 3,68 | 3,12 | 2,68 | 2,32 | 2,03 | 1,79 | 1,59 | 1,42 | 1,27  |
| C 23/75/325/75/23 x 3   | 10,79 | 8,50 | 6,87 | 5,66 | 4,74 | 4,02 | 3,45 | 3,00 | 2,62 | 2,31 | 2,05 | 1,83 | 1,59  |
| C 23/75/350/75/23 x 2   | 6,52  | 5,14 | 4,15 | 3,42 | 2,86 | 2,43 | 2,08 | 1,80 | 1,58 | 1,39 | 1,23 | 1,10 | 0,98  |
| C 23/75/350/75/23 x 2,5 | 9,00  | 7,09 | 5,73 | 4,72 | 3,95 | 3,35 | 2,88 | 2,50 | 2,18 | 1,92 | 1,71 | 1,52 | 1,37  |
| C 23/75/350/75/23 x 3   | 11,76 | 9,27 | 7,49 | 6,17 | 5,17 | 4,39 | 3,77 | 3,27 | 2,86 | 2,52 | 2,24 | 2,00 | 1,79  |

#### NOTAS:

- Condiciones del cálculo: Acero S280 GD, pendiente de cubierta del 7%, sin tirantillas y biapoyadas. Flecha admisible: L/200.
- Tablas válidas únicamente para pre-dimensionamiento. El proyectista deberá realizar el cálculo estructural acorde a la normativa aplicable en cada país. Kingspan declina expresamente cualquier responsabilidad derivada del uso de estas tablas.
- Los valores recogidos en la tabla son cargas lineales admisibles sin mayorar (kN/m), repartidas uniformemente a lo largo de la correa. Se deberán comparar, por tanto, con la suma de cargas lineales características (sin mayorar) de cada proyecto.
- Estas tablas de carga corresponden a la fase de servicio de la cubierta, considerando que la chapa de ceramamiento está fijada a las correas y por tanto las arriostra eficazmente.
- Se considera que las correas trabajan únicamente a flexión y que no forman parte del sistema de contravientos de la cubierta.
- Se asume que se disponen ejiones de manera adecuada para evitar el aplastamiento del alma de la correa en los apoyos.

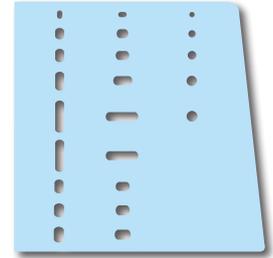
# Correas TZ

## PUNZONADOS

### DIMENSIONES ESTÁNDAR DE PUNZONADOS

|                 |                                    |
|-----------------|------------------------------------|
| <b>Redondos</b> | 7 / 12 / 14 / 16 / 18 / 19 / 22 mm |
| <b>Colisos</b>  | 8x14 / 8x50 / 12x30 / 14x18        |
| (horizontal     | 14x20 / 14x30 / 14x50 / 16x23      |
| y vertical)     | 16x35 / 17x23 / 18x24 / 21x28      |
|                 | 38x85 mm                           |

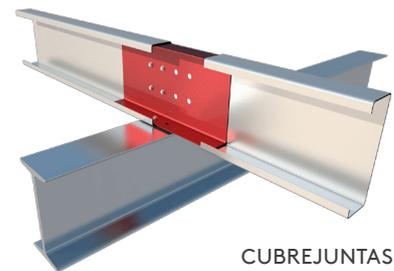
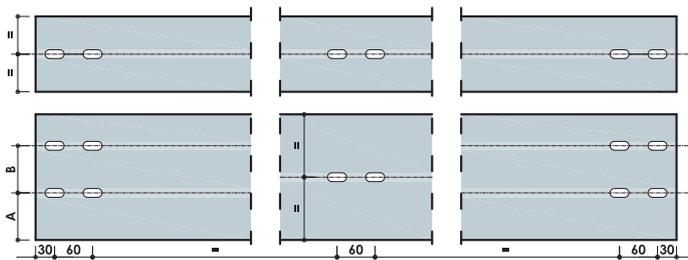
Personalización de patrones de punzonados, en cualquier punto de la correa, para la ejecución de uniones con cubrejunta, fijación de tornapuntas y tirantillas, etc.



## CUBREJUNTAS Y EJIONES

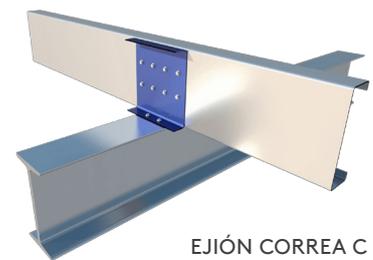
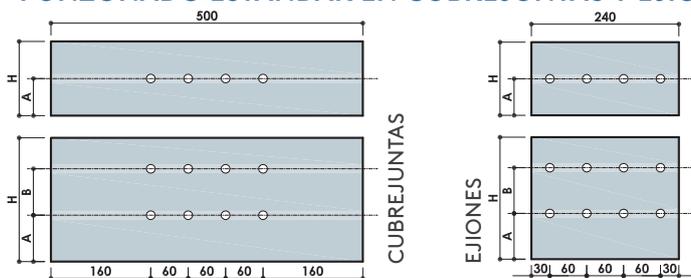
Los **cubrejuntas** y **ejiones** se fabrican con **acero galvanizado** de **3 mm** de espesor, y tienen como función permitir la continuidad de correas, y el refuerzo de éstas en los apoyos. Los punzones y colisos son totalmente personalizables bajo pedido.

### DISPOSICIÓN ESTÁNDAR DE PUNZONES EN CORREAS

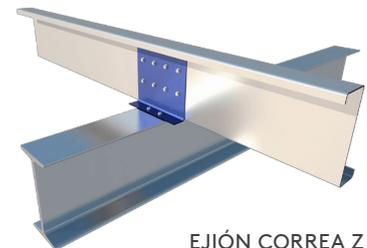


CUBREJUNTAS

### PUNZONADO ESTÁNDAR EN CUBREJUNTAS Y EJIONES



EJIÓN CORREA C



EJIÓN CORREA Z

| EJIÓN    | ALTURA PERFIL (mm) | DIMENSIONES (mm) |    |     | PUNZONADO     |
|----------|--------------------|------------------|----|-----|---------------|
|          |                    | A                | B  | H   |               |
| TZ-EU E1 | 100-125-150        | 65               | -  | 100 | Ø14           |
| TZ-EU E2 | 175-200            | 95               | -  | 148 | Ø14           |
| TZ-EU E3 | 225-250-275        | 120              | -  | 198 | Ø14           |
| TZ-EU E4 | 200-275            | 75               | 75 | 198 | 14x30 / 14x50 |

## SOSTENIBILIDAD

Tanto el acero como sus recubrimientos metálicos y orgánicos están libres de SVHC ("Sustancias extremadamente preocupantes"), en conformidad con los requisitos del reglamento europeo REACH.

El Sistema de Gestión Ambiental (ISO 14001) y el Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo (OHSAS 18001) de Kingspan están certificados por AENOR e IQNet.

Kingspan se reserva el derecho a modificar el contenido de este documento sin previo aviso