

# **STEEL BUILDINGS IN EUROPE**

**Edificios de acero de una sola  
planta**

**Parte 8: Cerramiento**



**Edificios de acero de una sola  
planta  
Parte 8: Cerramiento**



## PRÓLOGO

Esta publicación es la parte 8 de la guía de diseño *Edificios de acero de una sola planta* (en inglés, *Single-Storey Steel Buildings*).

Las 11 Partes en que se divide la guía *Edificios de Acero de una sola planta* son:

- Parte 1: Guía del arquitecto
- Parte 2: Diseño conceptual
- Parte 3: Acciones
- Parte 4: Diseño de detalle de pórticos de naves
- Parte 5: Diseño detallado de celosías
- Parte 6: Diseño detallado de pilares compuestos
- Parte 7: Ingeniería de fuego
- Parte 8: Cerramiento
- Parte 9: Introducción a herramientas informáticas
- Parte 10: Guía de prescripciones técnicas del proyecto
- Parte 11: Uniones resistentes a momentos

*Edificios de acero de una sola planta*, es una de las dos guías de diseño publicadas. La segunda guía se titula *Edificios de acero de varias plantas* (en inglés, *Multi-Storey Steel Buildings*).

Ambas guías han sido editadas dentro del marco del proyecto europeo: *Facilitating the market development for sections in industrial halls and low rise buildings (SECHALO) RFS2-CT-2008-0030*.

Ambas guías de diseño han sido redactadas y editadas bajo la dirección de ArcelorMittal, Peiner Träger y Corus. El contenido técnico ha sido elaborado por CTICM y SCI, colaboradores de Steel Alliance.



## Índice

	<b>Página No.</b>
PRÓLOGO	iii
RESUMEN	vii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 La envolvente del edificio	1
1.2 Funciones de la envolvente del edificio	3
2 TIPOS DE CERRAMIENTOS METÁLICOS	5
2.1 Chapas trapezoidales de una sola capa	5
2.2 Cerramientos de paneles armados de doble capa	6
2.3 Paneles aislantes (mixtos o de tipo sándwich)	9
2.4 Sistemas de uniones con resalte	10
2.5 Bandejas de revestimiento estructural	11
2.6 Sistemas estructurales de chapa y membrana para cubiertas	12
3 DISEÑO DEL CERRAMIENTO	14
3.1 Hermeticidad	15
3.2 Aspecto del edificio	16
3.3 Comportamiento térmico	18
3.4 Condensación intersticial	20
3.5 Acústica	21
3.6 Comportamiento frente al fuego	23
3.7 Durabilidad	24
3.8 Comportamiento estructural	25
4 ESTRUCTURA SECUNDARIA DE ACERO LAMINADO EN FRÍO	28
4.1 Opciones existentes para las correas y los travesaños laterales	28
4.2 Cargas	35
4.3 Deformaciones (flechas)	36
4.4 Selección de correas y travesaños laterales	37
4.5 Limitación proporcionada a los pares y los pilares	37
4.6 Restricción de las correas y los travesaños del cerramiento	39
5 ESTRUCTURA SECUNDARIA DE ACERO LAMINADO EN CALIENTE	41
REFERENCIAS	43





## RESUMEN

Esta publicación proporciona recomendaciones para la selección de la envolvente en edificios de una sola planta. La envolvente de los edificios habitualmente se compone de estructuras de acero secundarias (a menudo, formadas por elementos de acero laminado en frío) junto con algún tipo de cerramiento. La envolvente, además de actuar como una barrera hermética, también debe cumplir determinados requisitos térmicos, acústicos y de comportamiento frente al fuego. En algunos casos, la envolvente del edificio puede desempeñar un papel estructural importante a la hora de coaccionar la estructura de acero principal.

En este documento se describen los tipos de cerramiento más comunes para edificios de una sola planta y se ofrecen recomendaciones para especificar un sistema adecuado. Asimismo, también se describen las estructuras de acero secundarias que soportan el cerramiento.



# 1 INTRODUCCIÓN

Los cerramientos metálicos constituyen una solución eficiente, atractiva y fiable para dar respuesta a las necesidades asociadas a las envolventes de los edificios de una sola planta (ya sean estructuras de acero, hormigón o madera). Con el paso del tiempo, estos sistemas han evolucionado desde los cerramientos metálicos de una sola capa frecuentemente asociados a los edificios agrícolas hasta los sistemas altamente sofisticados que se utilizan en aplicaciones industriales, comerciales y recreativas. Sin embargo, al igual que sucede con todos los componentes del sector de la construcción, la capacidad del cerramiento de cumplir sus requisitos funcionales depende de su correcto diseño e instalación y, lo que es igualmente importante, de su interacción con el resto de los elementos de la envolvente y la estructura del edificio.

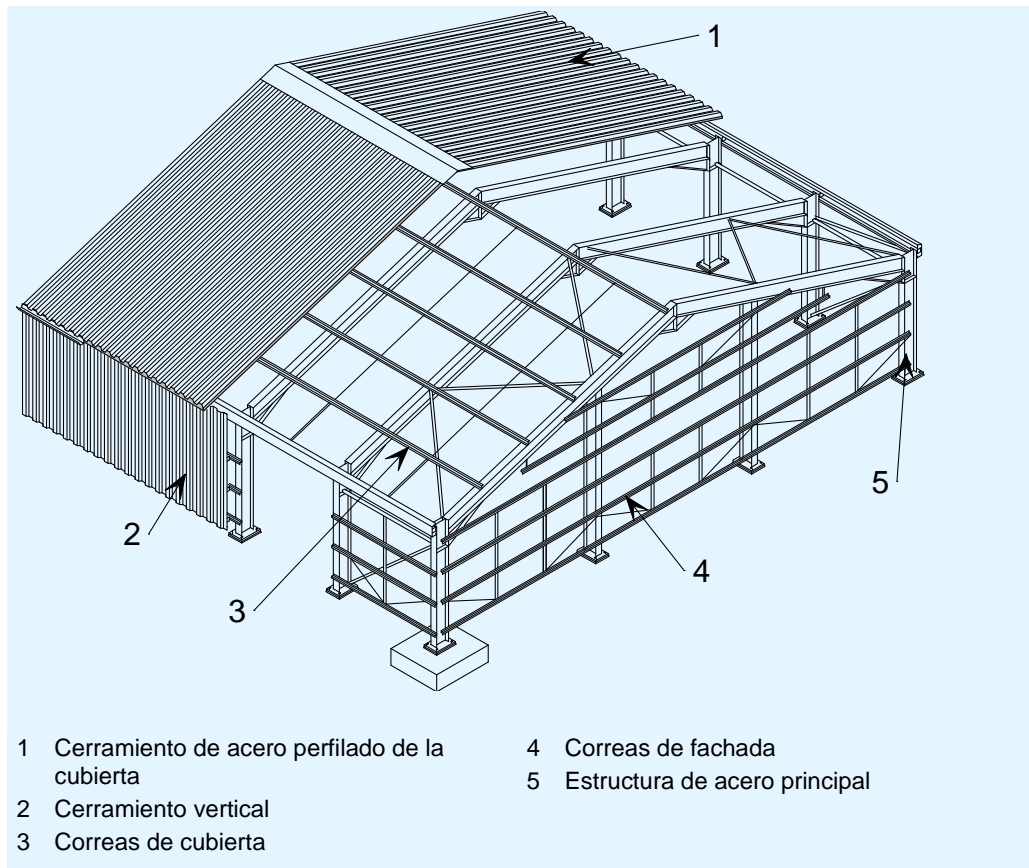
En esta publicación se proporcionan recomendaciones relativas a la estructura secundaria y a los tipos de envolventes utilizados en los edificios de una sola planta. Se describen los tipos de cerramientos metálicos más comunes que se usan en Europa, entre los que se incluyen los paneles aislantes, los sistemas compuestos, los sistemas de chapa y membrana y los perfiles-bandeja. También se proporcionan recomendaciones acerca de los aspectos clave que deberían tenerse en cuenta a la hora de diseñar la envolvente del edificio o su estructura portante.

Asimismo, encontrará referencias a una selección de documentos técnicos publicados por la *Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association* (MCRMA) del Reino Unido. En dichos documentos técnicos (que pueden descargarse directamente de la página web [www.mcrma.co.uk](http://www.mcrma.co.uk)) se proporcionan recomendaciones detalladas sobre diversos temas relacionados con los aspectos tratados en este documento que resultan válidas para toda Europa. También puede encontrarse información adicional en la página web Acier Construction (<http://www.acierconstruction.com>).

En este documento se han incluido recomendaciones que consideran la coacción de la estructura de acero secundaria sobre la estructura de acero principal, así como la coacción que ejerce el cerramiento sobre la estructura de acero secundaria. No obstante, en determinados países europeos (por ejemplo, en Francia) esta coacción no puede considerarse en el cálculo de la estructura principal, por lo que se ha añadido una nota explicativa a pie de página en aquellos casos en los que se da esta situación.

## 1.1 La envolvente del edificio

Los componentes principales de un edificio industrial moderno con cerramiento metálico se muestran en la Figura 1.1 Componentes principales del edificio.



**Figura 1.1 Componentes principales del edificio**

La estructura presenta tres capas fundamentales:

1. la estructura de acero principal, compuesta por los pilares, las vigas y el arriostramiento. En la Figura 1.1 se muestra un pórtico a modo de ejemplo, aunque las recomendaciones incluidas en esta publicación también pueden aplicarse a otros tipos de estructuras.
2. La estructura de acero secundaria, compuesta por correas de fachada y correas de la cubierta. Estos elementos cumplen tres misiones:
  - Soportar del cerramiento;
  - Transmitir las cargas desde el cerramiento a la estructura de acero principal;
  - Coaccionar los elementos de la estructura principal (consultar la sección 4.5 para conocer las limitaciones de esta función).
3. El cerramiento de cubierta y de fachada, cuyas funciones pueden ser todas o algunas de las que se indican a continuación:
  - Separar el espacio interior del ambiente exterior;
  - Transmitir las cargas a la estructura de acero secundaria;
  - Coaccionar la estructura de acero secundaria;
  - Proporcionar aislamiento térmico;
  - Proporcionar aislamiento acústico;
  - Evitar la propagación del fuego;

- Conseguir una envolvente hermética;
- Permitir la ventilación del edificio (cubiertas y fachadas ventiladas o sin ventilación).

El cerramiento también incluirá normalmente componentes auxiliares como ventanas, tragaluces, aberturas de ventilación y canalones.

Como alternativa a la distribución mostrada en la Figura 1.1 Componentes principales del edificio, algunos tipos de cerramiento pueden instalarse directamente sobre la estructura de acero principal, sin necesidad de utilizar correas. Algunos ejemplos de este tipo de construcciones son los sistemas de chapa y membrana para cubiertas y los perfiles-bandeja para paredes. Cuando se opte por utilizar este tipo de soluciones, el diseño del cerramiento deberá realizarse de forma que:

- Se apoyen directamente sobre las vigas o las celosías de cubierta. Esto habitualmente se consigue mediante el uso de chapas o bandejas de gran canto; sin embargo, cuando éstas no bastan para salvar la luz necesaria se deberán instalar soportes intermedios en forma de vigas secundarias o correas laminadas en caliente.
- Coaccionen los elementos de la estructura principal. Las chapas estructurales y los perfiles-bandeja, si se fijan correctamente, deberían ser capaces de aportar la coacción lateral necesaria al ala externa de la viga o el pilar que actúa como soporte. Esto debería permitir diseñar los pilares o las vigas como elementos completamente coaccionados cuando se encuentran sometidos a la acción de cargas gravitatorias o una presión positiva del viento. No obstante, se deberán incluir en la estructura elementos de coacción adicionales a modo de coacción intermedia frente a la acción de succión del viento (levantamiento de la cubierta).

## 1.2 Funciones de la envolvente del edificio

Todos los edificios, independientemente del uso al que se destinen, deben ofrecer un ambiente interno controlado y protegido de las condiciones climatológicas externas, variables e imposibles de controlar. Las características del ambiente interno dependerán del uso previsto del edificio, lo que obviamente determinará los requisitos asociados a la envolvente del mismo.

La generación y el mantenimiento de un ambiente interno controlado es un proceso complejo que exige la combinación de una serie de instalaciones mecánicas y eléctricas que permitan calentar y/o refrigerar el edificio y un cerramiento con un diseño apropiado que permita regular la ganancia y la pérdida de calor. El diseño del cerramiento del edificio es un factor importante a la hora de especificar las instalaciones mecánicas y eléctricas y de determinar la eficiencia energética del edificio. La envolvente de los edificios se ve sometida actualmente a un examen más riguroso que nunca debido a la presión ejercida sobre el sector de la construcción europeo para conseguir reducir el consumo energético.

El cerramiento de cubierta y el de fachada, además de conformar la envolvente del edificio, también puede desempeñar un papel importante en el

comportamiento estructural del mismo coaccionando la estructura secundaria frente a la inestabilidad lateral. En aquellos casos en los que se supone que existe dicha coacción (como sucede frecuentemente en los prontuarios de resistencia/luz de los fabricantes de correas) resulta fundamental que en la práctica el cerramiento sea capaz de proporcionar dicha coacción.

## 2 TIPOS DE CERRAMIENTOS METÁLICOS

Existen diversos tipos de cerramientos patentados que pueden utilizarse en los edificios industriales. Estos cerramientos suelen poder incluirse en alguna de las categorías generales indicadas en esta sección.

La chapa de acero se recubre con una aleación de zinc o zinc y aluminio mediante un proceso de inmersión en caliente. El revestimiento externo es una capa de naturaleza orgánica que se aplica con el fin de conseguir un acabado atractivo; habitualmente se utilizan distintas formulaciones de policloruro de vinilo (PVC o Plastisol), polifluoruro de vinilideno (PVDF o PVF2), poliéster o poliuretano. También existen chapas de cerramiento de aluminio.

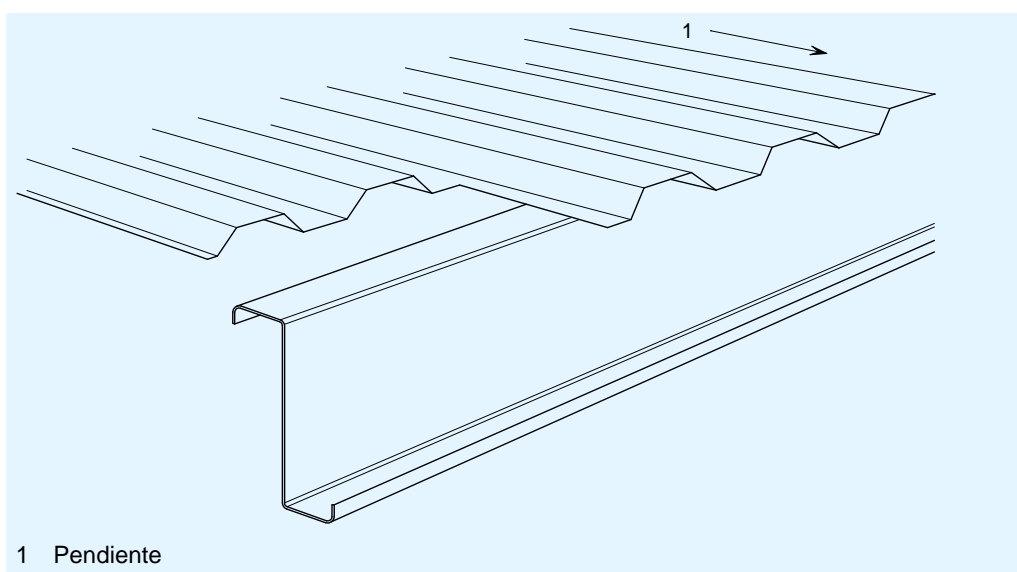
La vida útil de las chapas galvanizadas en caliente se muestran en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1 Vidas útiles estimadas para chapas revestidas**

Recubrimiento	Vida útil (años)
PVC – 200 micrones	10 – 30
PVC – 120 micrones	10 – 25
PVDF o PVF2 – 25 micrones	10 – 15
Poliéster – 25 micrones	5 – 10
Poliuretano – 50 micrones	10 – 15

### 2.1 Chapas trapezoidales de una sola capa

El cerramiento de una sola capa se usa ampliamente en estructuras agrícolas e industriales que no necesitan disponer de aislamiento. La chapa se fija directamente a las correas, tal como se muestra en la Figura 2.1. El cerramiento se fabrica habitualmente a partir de acero prerrevestido de 0,7 mm de espesor con perfil trapezoidal de entre 32 y 35 mm de canto.



**Figura 2.1 Cerramiento de una sola capa con chapa trapezoidal**

## 2.2 Cerramientos compuestos de doble capa

Este tipo de cerramiento es comúnmente utilizado y se compone de una chapa metálica, una capa de material aislante, un sistema separador y una chapa metálica exterior, tal como se muestra en la Figura 2.2. La luz que pueden salvar dichos sistemas habitualmente viene limitada por la luz de las chapas de cerramiento, que generalmente oscila entre 2 y 2,5 m, en función de la carga aplicada. Por este motivo, los cerramientos compuestos deben disponer de estructuras de acero secundarias de soporte (correas de fachada o correas de cubierta). Estos sistemas se montan en obra a partir de sus elementos constituyentes.

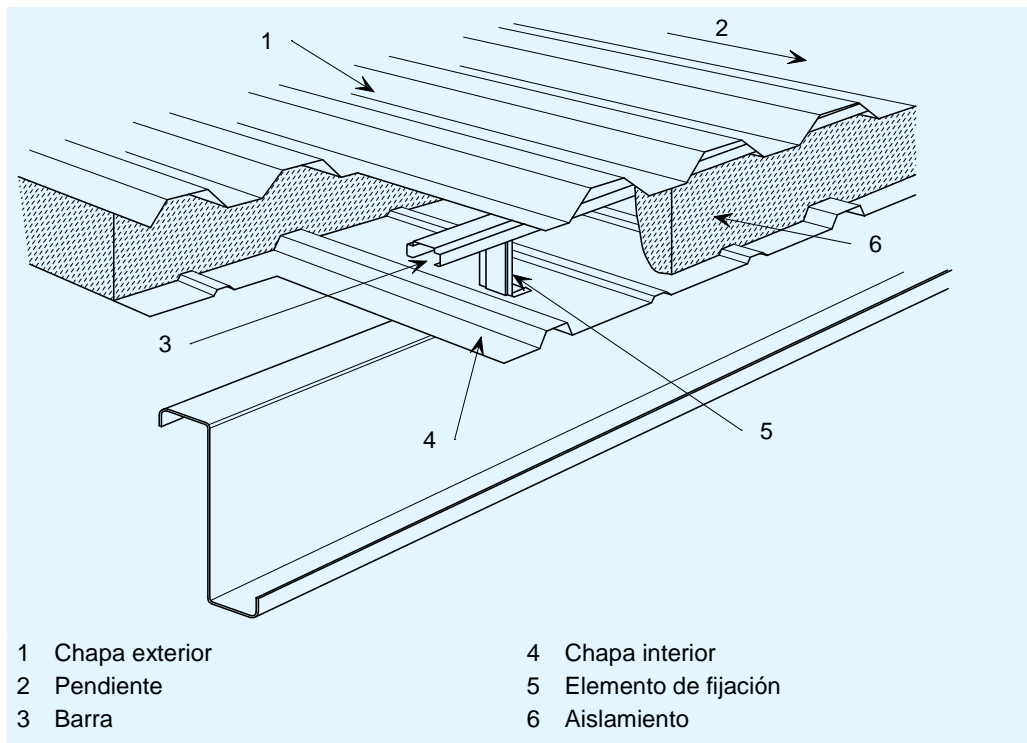


Figura 2.2 Cerramiento compuesto de una cubierta

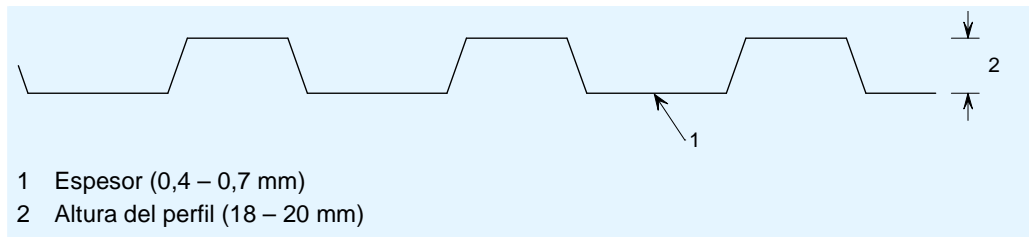
### 2.2.1 Chapa interior

La chapa interior cumple varias misiones:

- sirve como soporte del aislante térmico;
- actúa como una capa hermética;
- aporta coacción a las correas.

Estas chapas se suelen fabricar a partir de acero o aluminio pre-galvanizado conformado en frío y presentan un perfil trapezoidal de poco canto (la Figura 2.3 muestra un perfil con una altura entre 18 y 20 mm). Las chapas de acero suelen tener un espesor de 0,4 o 0,7 mm, mientras que las chapas de aluminio suelen tener un espesor de 0,5 o 0,9 mm. La elección del tipo de chapa dependerá de la luz que se requiera salvar, del método de instalación del cerramiento y de los requisitos acústicos que deba cumplir. Cuando sea necesario, se puede mejorar el comportamiento acústico del cerramiento (en concreto, su capacidad de absorción del sonido y de minimización de las reverberaciones) utilizando una chapa perforada.





**Figura 2.3 Perfil de la chapa interior**

Estas chapas de poco canto no poseen la resistencia necesaria para andar sobre ellas, por lo que resulta fundamental realizar el montaje del aislamiento, el sistema separador y la chapa exterior desde andamios o plataformas de trabajo, tal como se muestra en la Figura 2.4. Sin embargo, constituyen una barrera no frágil de protección contra caídas una vez se han fijado completamente. En aquellos casos en los que haya personas que deban acceder a trabajar y andar sobre ellas, una práctica común es sustituir el perfil de poco canto por una chapa de dimensiones más considerables (por ejemplo, un perfil trapezoidal de acero de 32 a 35 mm con un espesor de 0,7 mm).



**Figura 2.4 Instalación de la chapa interior apoyada sobre las correas.**

### 2.2.2 Aislamiento

La función principal de la capa aislante es servir como barrera limitadora del flujo de calor entre el interior del edificio y el exterior. El espesor de la capa aislante en cerramientos de cubierta y de fachada ha aumentado significativamente durante los últimos años, pasando de los aproximadamente 80 mm en los años 80 hasta valores cercanos a los 200 mm en el año 2009. Se prevé que el espesor continúe aumentando a lo largo de los próximos años ya que la normativa sobre eficiencia energética de los edificios incluye requisitos cada vez más exigentes.

El material aislante más comúnmente utilizado en los cerramientos compuestos es la manta de lana mineral, debido a las ventajas asociadas a su bajo peso, su baja conductividad térmica, su facilidad de manipulación y su coste relativamente bajo. También existen placas de lana mineral, pero su capacidad de deformación es menor que la de las mantas, lo que aumenta las posibilidades de que se formen huecos entre el aislamiento y las chapas metálicas perfiladas por los que pueda introducirse el aire. Además, las placas rígidas de lana mineral también son mucho más pesadas que las mantas de ese mismo material, lo que supone mayor carga generada sobre la estructura de acero y las dificultades para su manipulación manual in situ.

### 2.2.3 Sistema separador

La función principal del sistema separador es actuar como soporte de la chapa exterior, de forma que se mantenga la separación necesaria entre esta y la chapa interior. Por tanto, los componentes del sistema deben poseer una resistencia y rigidez adecuadas que permitan transmitir de manera segura las cargas necesarias a través de las correas sin que se produzcan deformaciones excesivas. Un tipo habitual de sistema separador es el de barra y escuadra, que se muestra en la Figura 2.5. Este sistema se compone de barras de acero conformadas en frío, que actúan a modo de soporte continuo de la chapa exterior y presentan escuadras de acero separadas por una determinada distancia y firmemente unidas a las correas a través de la chapa interior. Muchos sistemas separadores de barras y escuadras también incluyen almohadillas de plástico que sirven como elementos de rotura de puentes térmicos, con el fin de minimizar la pérdida de energía a través de los mismos. También existen otros tipos de sistemas separadores, como los separadores en Z soportados por bloques de plástico que sirven como aislantes térmicos.

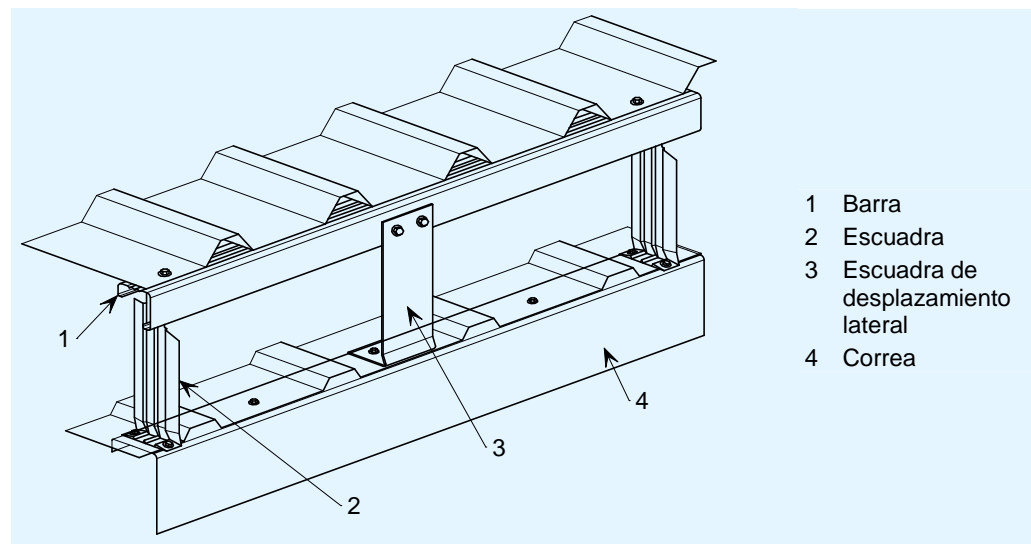


Figura 2.5 Sistema separador de barras y escuadras

### 2.2.4 Chapa exterior

La chapa exterior de un cerramiento compuesto de doble capa es la que se encuentra expuesta a la acción de los agentes meteorológicos. De este modo, su función principal es proteger al edificio de las condiciones climatológicas del ambiente exterior mediante la formación de una envolvente hermética. Sin embargo, la chapa exterior también debería considerarse como un elemento

estructural ya que desempeña un papel importante a la hora de transmitir las cargas aplicadas externamente (por ejemplo, las cargas generadas por el viento, la nieve y el tránsito de personas) al resto de componentes del cerramiento, a la estructura de acero secundaria y a la estructura principal encargada de soportar las cargas.

Las chapas exteriores habitualmente están fabricadas en acero o aluminio y se encuentran disponibles en una amplia variedad de acabados y colores. Las chapas exteriores de acero se fabrican a partir de bobinas de acero inoxidable pre-galvanizado. Las chapas exteriores de aluminio se encuentran disponibles en un acabado laminado o en diversos acabados pintados. En la norma EN 14782 pueden encontrarse requisitos detallados sobre las chapas exteriores que se utilizan en los cerramientos de cubiertas y fachadas<sup>[1]</sup>.

### 2.2.5 Elementos de fijación

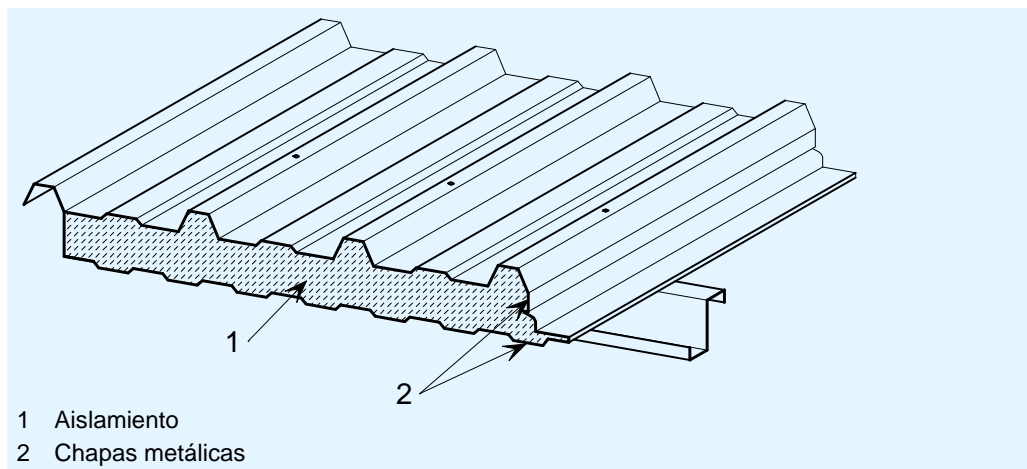
Existe una amplia variedad de elementos de fijación patentados que, cuando así se requiera, pueden ser herméticos. La mayoría de los elementos de fijación utilizados en los cerramientos metálicos son autorroscantes y autoperforantes, aunque también existen tornillos únicamente autorroscantes que pueden utilizarse en agujeros preperforados. Los elementos de fijación pueden emplearse tanto para unir la chapa a la estructura de acero de soporte (o a otros elementos) como para unir chapas adyacentes. Para la fabricación de la mayoría de los elementos de fijación se utilizan chapas de acero al carbono o acero inoxidable (habitualmente, acero inoxidable austenítico de grado 304). Los elementos de fijación visibles pueden cubrirse con piezas de plástico de colores a juego con la chapa exterior. El documento técnico nº 12, *Fasteners for Metal Roof and Wall Cladding: Design, Detailing and Installation Guide*<sup>[2]</sup> de la MCRMA proporciona información descriptiva adicional sobre estos y otros elementos de fijación (por ejemplo elementos de fijación ocultos).

## 2.3 Paneles aislantes (mixtos o de tipo sándwich)

Los paneles aislantes para el cerramiento de cubiertas y fachadas se componen de una capa rígida de material aislante entre dos chapas metálicas, tal como se muestra en la Figura 2.6. El resultado es un panel resistente, rígido y ligero que puede llegar a salvar grandes luces gracias a la acción conjunta de los materiales que lo componen cuando se ve sometido a flexión. Estos paneles habitualmente se utilizan en edificios industriales y locales comerciales en lugar del cerramiento compuesto descrito en la sección 2.2. En este caso, los paneles cubren la zona comprendida entre las correas de acero conformadas en frío, que a su vez se apoyan en los elementos de la estructura principal. Sin embargo, en el caso de los edificios comerciales (que no necesitan una estructura de acero secundaria para coaccionar los elementos de la estructura principal) es habitual colocar los paneles de cerramiento compuestos de la fachada directamente sobre los pilares.

Existen sistemas de unión con fijación oculta (Standing Seam) y sistemas con elementos de fijación pasantes, pudiendo incluir estos una chapa exterior trapezoidal y un perfil-bandeja de poco canto, tal como se muestra en la Figura 2.6, o dos chapas planas o con micronervaduras. Los paneles compuestos perfilados se utilizan en las cubiertas para conseguir evacuar las

aguas pluviales sin que estas penetren a través de los orificios de los elementos de fijación, mientras que en las fachadas prevalece el uso de paneles planos debido a que consiguen que el edificio presente un mejor aspecto visual.



**Figura 2.6 Panel aislante**

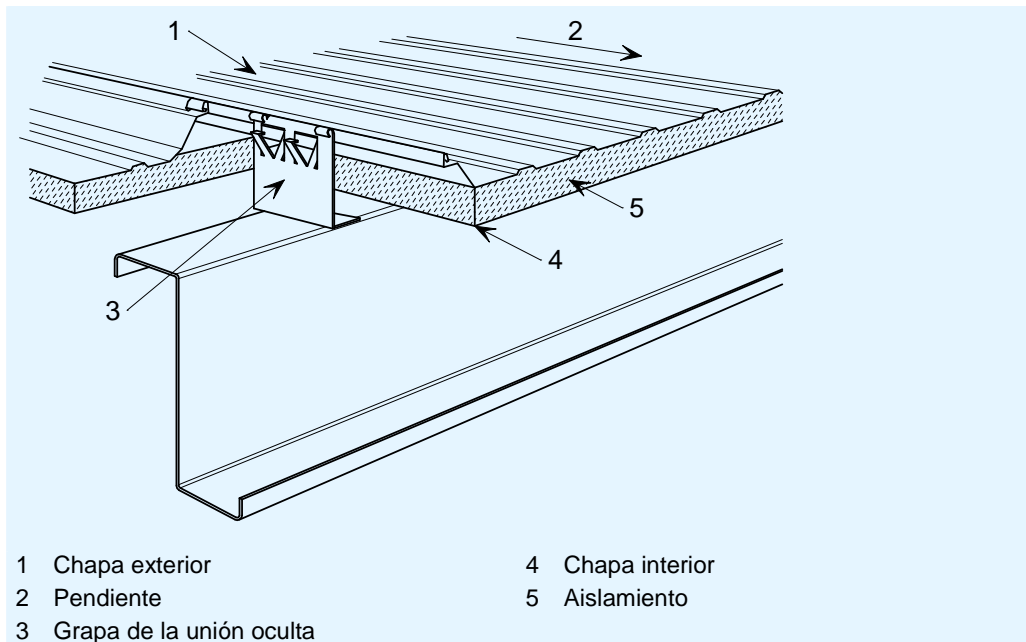
A diferencia de los sistemas de paneles compuestos no necesitan un sistema separador, ya que el aislamiento rígido posee la resistencia y rigidez necesarias para conseguir mantener la separación correcta entre las chapas. Todas aquellas cargas aplicadas en el plano del cerramiento (por ejemplo, las cargas en sentido descendente a lo largo de la pendiente de un tejado con cubiertas inclinadas) se transmiten desde la chapa externa hasta la chapa interna y a la estructura de soporte a través de dos uniones adhesivas y de la capa de material aislante.

El material aislante más habitual en los paneles con aislamiento de espuma es el poliisocianurato (PIR). Este material se expande rápidamente cuando se aplica sobre el perfil metálico y se une a este sin necesidad de utilizar adhesivos. Esta propiedad resulta idónea para los procesos de fabricación continuos que utilizan los grandes fabricantes de paneles rellenos de espuma. Otra opción que existe es unir placas rígidas de lana mineral u otros materiales aislantes a las chapas metálicas mediante un adhesivo. Este es el método que se utiliza habitualmente en el caso de los paneles de cerramiento de caras planas para fachadas.

## 2.4 Sistemas de unión con fijación oculta (Standing Seam)

Los sistemas de unión ocultos presentan una chapa exterior perfilada con un diseño especial que incluye una unión mediante grapas entre chapas adyacentes. Esto elimina la necesidad de utilizar elementos de fijación visibles y mejora la hermeticidad del cerramiento. Por este motivo, los sistemas de unión ocultos pueden utilizarse en cubiertas con pendientes muy poco pronunciadas (de hasta 1°, en comparación con los 4° de los sistemas con elementos de fijación visibles). También existen sistemas de paneles aislantes cuya chapa exterior presenta un sistema de unión oculto. Las chapas de los sistemas de unión oculto pueden fabricarse en acero o aluminio.

En la Figura 2.7 se muestra un sistema de unión oculto.



**Figura 2.7 Unión oculta de una cubierta**

La desventaja de este sistema es que se consigue una coacción de las correas significativamente inferior que la de los sistemas con elementos de fijación convencionales. No obstante, la disposición de un revestimiento adecuadamente fijado consigue proporcionar la coacción necesaria.

El documento técnico nº 3, *Secret fix roofing design guide*<sup>[3]</sup> de la MCRMA, y la publicación nº 41, *Good practice in steel cladding and roofing*<sup>[iError! Marcador no definido.]</sup> del Comité Técnico TC7 de la European Convention for Constructional Steelwork (ECCS) proporciona información adicional acerca de los cerramientos de uniones ocultas.

## 2.5 Perfiles-bandeja estructurales

Los perfiles-bandeja estructurales son una alternativa ampliamente utilizada a los paneles compuestos de cerramiento de fachada. Se componen de un perfil estructural de gran canto en el cual se introduce una placa de material aislante durante su montaje. El conjunto se completa con la adición de una chapa metálica perfilada exterior, tal como se muestra en la Figura 2.8. Al contrario que los sistemas de paneles compuestos, los perfiles-bandeja ocupan directamente el espacio entre los pilares estructurales principales, eliminando de esta manera la necesidad de disponer correas. Esto resulta posible gracias al canto del perfil del perfil-bandeja y a la rigidez a la flexión que genera esta característica. La ausencia de una estructura de acero secundaria puede presentar ventajas evidentes tanto desde el punto de vista de la rapidez y el coste del proceso de construcción como del de las tolerancias de montaje.

No obstante, se deberían considerar los puentes térmicos que pueden formarse debido a los perfiles-bandeja. Este problema puede compensarse en parte colocando una capa adicional de material aislante rígido en la parte exterior de la bandeja.

En aquellos casos en los que el análisis plástico sea una estrategia de diseño habitual de los pórticos, la ausencia de correas puede generar problemas si se intenta coaccionar el ala interna de los pilares (por ejemplo, en la zona de momento negativo de los pórticos), dado que el arriostramiento convencional no puede fijarse fácilmente al perfil de el perfil-bandeja.

Cuando se requiera un mejor comportamiento acústico, los perfiles-bandeja estructurales también pueden especificarse con perforaciones.

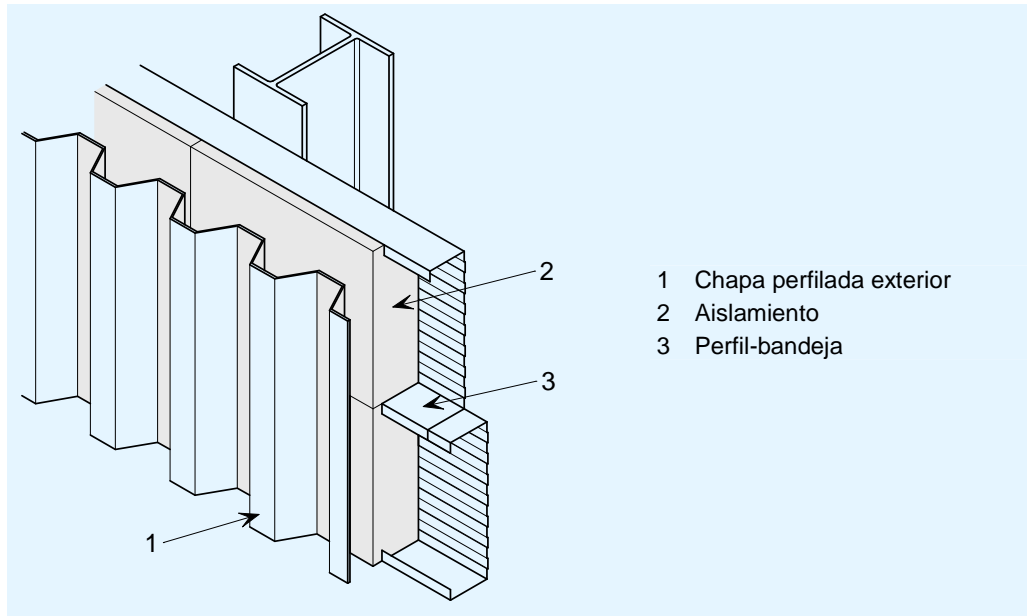


Figura 2.8 Cerramientos mediante perfil-bandeja estructural

## 2.6 Sistemas estructurales de chapa y membrana para cubiertas

Los sistemas estructurales de chapa y membrana constituyen una alternativa a los cerramientos de paneles compuestos sobre correas conformadas en frío en aquellos casos en los que es necesario salvar grandes luces. Se utilizan especialmente en cubiertas “planas” o de pendiente muy poco pronunciada en las que resulta necesario disponer de una membrana impermeable. Para la construcción de la cubierta se utiliza una chapa metálica perfilada trapezoidal con un canto y un espesor adecuados que permitan salvar directamente la luz existente entre las vigas de cubierta o las celosías. Una chapa metálica convencional de este tipo habitualmente presenta un canto de 100 mm y un espesor de acero entre 0,75 y 1,0 mm. La chapa sirve como soporte de una capa de material aislante rígido sobre la que se sitúa la membrana aislante, tal como se muestra en la Figura 2.9. El uso de una membrana rígida de alta densidad permite transmitir las cargas generadas por el tránsito de personas y la nieve hasta la cubierta estructural a través de la capa de material aislante, sin necesidad de disponer de una chapa metálica exterior o un sistema separador. La chapa es capaz de coaccionar la parte superior de la viga o celosía, lo que hace que resulte un sistema idóneo para el diseño de edificios cuyas cubiertas presenten estructuras con cubiertas simplemente apoyadas. Sin embargo, las chapas estructurales no resultan adecuadas para los pórticos diseñados

mediante análisis plástico, debido a la necesidad existente de coaccionar el ala interna de la viga en la zona de momento negativo.

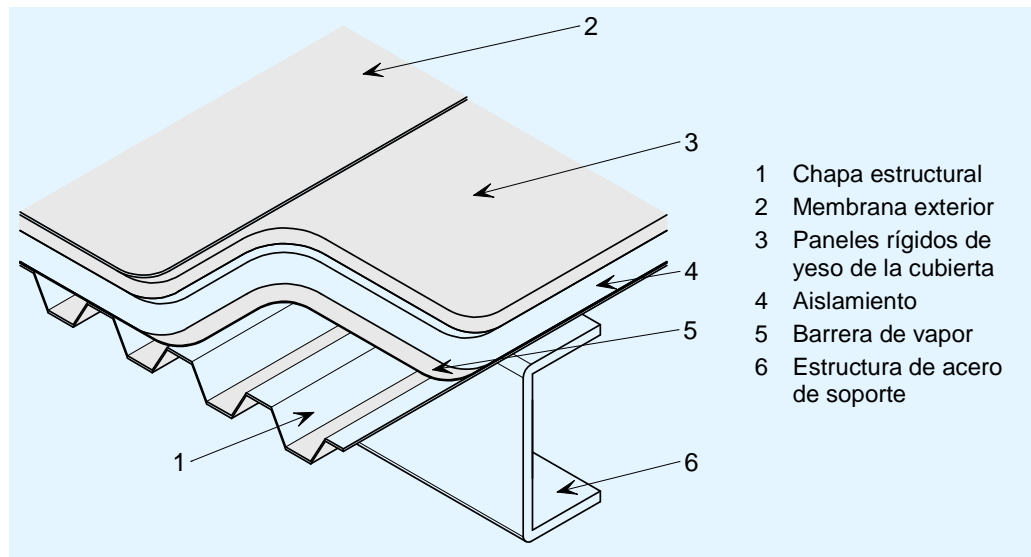


Figura 2.9 Cerramiento estructural de chapa y membrana

### 3 DISEÑO DEL CERRAMIENTO

El diseño del cerramiento de la cubierta y las fachadas presenta implicaciones que van mucho más allá de la estética y la hermeticidad del edificio. La elección del cerramiento puede afectar a múltiples aspectos del comportamiento del edificio, que abarcan desde su construcción hasta su futura demolición y la gestión de los residuos generados en ésta. De hecho, la adecuación del conjunto del edificio para su fin previsto podría ponerse en riesgo si no se toman las precauciones oportunas a la hora de diseñar el cerramiento. A continuación se recogen los factores que deberían tenerse en cuenta a la hora de diseñar cerramientos metálicos perfilados. En las secciones que van desde la 3.1 hasta la 3.8 se incluyen detalles adicionales sobre los principales aspectos técnicos que deben considerarse.

- Hermeticidad
- Resistencia y rigidez
- Aislamiento térmico
- Control de la condensación
- Control de las corrientes térmicas
- Insonorización
- Resistencia al fuego
- Aspecto
- Durabilidad
- Coste
- Iluminación natural
- Elementos externos unidos a los cerramientos
- Protección frente a descargas eléctricas atmosféricas
- Diseño de detalle
- Operaciones de mantenimiento, reparación y renovación
- Control de las fugas de aire.

En la legislación europea se establecen los requisitos mínimos que deben cumplirse en relación con varios de los factores indicados anteriormente. Algunos de esos factores (como el aspecto y la iluminación natural) quizás no sean aspectos especialmente críticos desde el punto de vista ingenieril, pero podrían resultar fundamentales para que el edificio consiga cumplir sus objetivos en lo relativo al bienestar de sus ocupantes y a la aceptación del edificio por parte de las comunidades locales. No debe olvidarse que el coste del cerramiento aislante de un edificio comercial o industrial convencional habitualmente representa un porcentaje importante del coste total de construcción, por lo que las decisiones tomadas en relación con el cerramiento podrían condicionar el éxito o el fracaso económico del proyecto. El cerramiento también genera un impacto significativo sobre los requisitos



energéticos de operación y, por tanto, sobre los costes operativos del edificio cuando éste ya se encuentre en servicio (en concreto, sobre los costes de calefacción, refrigeración e iluminación).

### 3.1 Hermeticidad

La función principal del cerramiento es proporcionar al edificio una envolvente hermética que resulte adecuada para el uso previsto del edificio. Teniendo esto presente, la persona responsable de especificar el cerramiento debe considerar cuidadosamente la selección de los componentes y el diseño de detalle del mismo. Tanto la ubicación del edificio como su orientación y las condiciones climatológicas externas existentes deberían tenerse en cuenta a la hora de diseñar el cerramiento. El comportamiento adecuado del cerramiento también depende del montaje correcto de los componentes en fábrica y/o sobre el terreno.

En términos generales, las cubiertas se encuentran en una situación de mayor riesgo de sufrir filtraciones que las fachadas, y dicho riesgo aumenta cuanto menor es la pendiente de la cubierta. Se trata de un factor importante a la hora de diseñar edificios modernos para usos no residenciales, ya que en muchos casos se opta por utilizar cubiertas de pendientes poco pronunciadas o planas con el fin de minimizar los volúmenes muertos bajo la cubierta. No todos los cerramientos de cubiertas pueden utilizarse en las cubiertas de pendientes poco pronunciadas. Por este motivo, los responsables de diseñar el cerramiento deben prestar especial atención a la pendiente mínima recomendada por los fabricantes, así como a las recomendaciones publicadas sobre diseño de detalle y montaje.

Para cubiertas con pendientes de 4° (7%) o superiores habitualmente pueden utilizarse chapas metálicas trapezoidales con elementos de fijación pasantes. Este límite de 4° resulta esencial para el comportamiento del cerramiento y debería tomar en consideración las deformaciones de la estructura de acero de soporte y las deformaciones locales del cerramiento que puedan dar lugar a acumulaciones de agua. Cuando la estructura de acero principal tiene una contraflecha para equilibrar las deformaciones debidas a las cargas permanentes, se deben extremar las precauciones para garantizar que dicha contraflecha no sea excesiva para evitar que genere elevaciones locales, ya que éstas podrían dar lugar a la formación de acumulaciones de agua. En las pendientes menos pronunciadas de hasta 1,5° (1,5 %) se debería utilizar un sistema de uniones ocultas sin elementos de fijación visibles, solapes laterales especiales y, preferiblemente, ningún solape en los extremos. Los sistemas de uniones ocultas también pueden utilizarse en cubiertas de pendientes más pronunciadas en las que se desee mayor fiabilidad.

En las cubiertas de pendientes poco pronunciadas, la formación de acumulaciones de agua es un problema potencial que debe tenerse en cuenta durante la fase de diseño con el fin de evitar los efectos perjudiciales del humedecimiento prolongado y el aumento de carga generado por el peso del agua. Cuando las acumulaciones de agua se producen en los tragaluces, a lo indicado anteriormente hay que sumar el problema de las acumulaciones de suciedad que puede dejar el agua al evaporarse.

Los solapes laterales y de los extremos de las chapas perfiladas son puntos débiles de la envolvente del edificio, a través de los cuales el viento y la lluvia podrían penetrar en el cerramiento. Por este motivo, el diseño y la construcción de los solapes resultan fundamentales para garantizar la hermeticidad del cerramiento. Los solapes de los extremos habitualmente se forman mediante dos tiras continuas de un producto sellante butílico, que se comprimen para conformar una junta hermética mediante la acción de presión de los elementos de fijación. La distribución de los elementos de fijación necesaria para conseguir una junta adecuada dependerá de la geometría del perfil, aunque lo habitual es utilizar un elemento de fijación en la parte inferior de cada nervio. Un solape lateral convencional entre chapas trapezoidales se forma mediante la superposición de los perfiles tras la aplicación de una tira de sellante butílico en el lado exterior del elemento de fijación, con el fin de conseguir una junta hermética. Los solapes laterales deberían incluir fijaciones mediante grapas de acero con una separación de 500 mm o menor. Los documentos técnicos nº 6, *Profiled metal roofing design guide*<sup>[4]</sup>, y nº 16, *Guidance for the effective sealing of end lap details in metal roofing constructions*<sup>[5]</sup>, de la MCRMA proporcionan información adicional acerca de los solapes laterales y de los extremos. Asimismo, también se puede consultar la publicación nº 41, *Good practice in steel cladding and roofing*<sup>[6]</sup>, del Comité Técnico TC7 de la ECCS.

### 3.2 Aspecto del edificio

La elección del cerramiento de fachada y de cubierta puede generar un importante impacto sobre el aspecto de los edificios. Los siguientes factores resultan especialmente importantes:

- la forma del perfil
- el color
- los elementos de fijación.

La forma del perfil puede tener un impacto significativo sobre el aspecto del edificio debido a sus efectos sobre el color y la textura percibidos del cerramiento (provocados por la reflexión de la luz). La orientación del cerramiento (con las nervaduras en posición horizontal o vertical) también influirá sobre el aspecto del edificio debido a los efectos de sombras y reflejos que ésta genera. Una desventaja potencial de las nervaduras horizontales es que con el paso del tiempo tiende a producirse en ellas una acumulación de suciedad, a menos que el cerramiento se limpie periódicamente. Cuando la ubicación y la función para la que se diseñe el edificio exijan que su superficie exterior sea plana y pulida, se pueden utilizar paneles aislantes con chapas con caras vistas planas como cerramiento de las paredes; sin embargo, debe tenerse en cuenta que cualquier defecto que se produzca en su superficie será notablemente visible.

El acero a partir del cual se fabrican las chapas de cerramiento perfiladas se encuentra disponible en una amplia variedad de colores y texturas, lo que permite a los arquitectos elegir el acabado que mejor se adapte a la ubicación y la función prevista del edificio. A la hora de escoger el acabado, el arquitecto debería tener presente la influencia de la forma del perfil sobre el aspecto

general del edificio, considerando los efectos de la reflexión de la luz y las sombras sobre el tono de color percibido.



**Figura 3.1 Cerramiento de fachada compuesto por paneles planos y chapas perfiladas**

El aspecto general del edificio también puede verse afectado por la elección de los elementos de fijación, sobre todo en los cerramientos de fachada o en los cerramientos de cubierta con pendientes pronunciadas. Por este motivo, los responsables de diseñar el cerramiento deberían prestar especial atención al tamaño, la forma, el color y la ubicación de los elementos de fijación y las arandelas. Existen elementos de fijación que se suministran junto con piezas de plástico que pueden colocarse sobre ellos, en colores a juego con el color de la chapa exterior. Cuando se considere que el uso de elementos de fijación visibles afecta negativamente al aspecto del edificio, el arquitecto podría considerar el uso de paneles aislantes con uniones ocultas en los que ningún elemento de fijación queda a la vista. El documento técnico n° 12, *Fasteners for Metal Roof and Wall Cladding: Design, Detailing and Installation Guide* <sup>[Error! Marcador no definido.]</sup> de la MCRMA proporciona información adicional sobre los elementos de fijación.

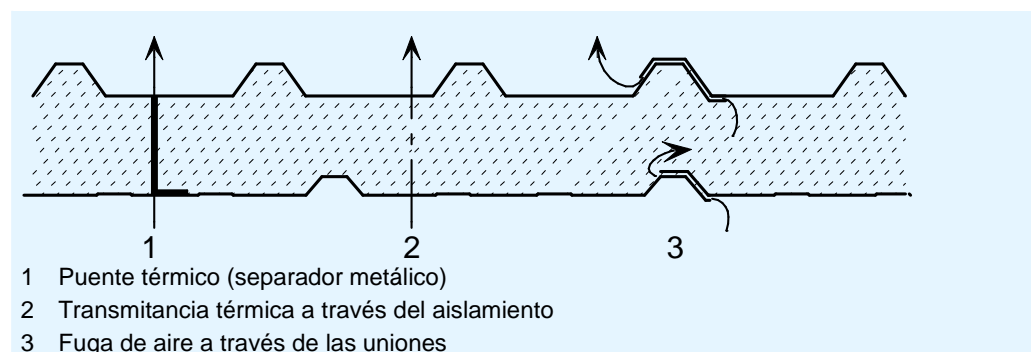
### 3.3 Comportamiento térmico

#### 3.3.1 Consumo energético

La existencia de una conciencia pública cada vez mayor en relación con el fenómeno del cambio climático y la asociación de éste a la actividad humana ha provocado que el consumo energético y las emisiones de dióxido de carbono pasen a formar parte de la agenda política. Dentro del marco del Protocolo de Kioto, en la actualidad los países europeos están legalmente obligados a reducir sus emisiones de dióxido de carbono, y el cumplimiento de esta obligación implicará realizar cambios significativos en muchos sectores industriales, incluido el de la construcción.

Un importante porcentaje de las emisiones de dióxido de carbono europeas se asocia a los requisitos energéticos operativos de los edificios (calefacción, iluminación, ventilación, etc.). Este tema se aborda en la Directiva Europea 2002/91/CE sobre eficiencia energética de los edificios<sup>[7]</sup>. Aunque existen muchos factores que influyen sobre la eficiencia energética de los edificios, uno de los más significativos es el comportamiento térmico de la envolvente. Por este motivo se han buscado métodos para reducir el consumo energético mediante la mejora del comportamiento térmico del cerramiento y de los componentes asociados al mismo.

En la Figura 3.2 se muestran las principales fuentes de pérdida de calor a través de la envolvente del edificio.



**Figura 3.2 Principales fuentes de pérdida de calor a través de la envolvente del edificio**

#### 3.3.2 Transmitancia térmica

La transmitancia térmica a través de la envolvente del edificio puede constituir una fuente significativa de pérdida de energía en los edificios, sobre todo si el aislamiento existente es insuficiente. Una forma de medir la transmitancia térmica es el parámetro  $U$ , que se define como la velocidad de transferencia de calor a través de un elemento de la envolvente del edificio (por ejemplo, una pared, una ventana, una sección de la cubierta o un tragaluz) por metro cuadrado. En el Sistema Internacional (SI) se utiliza el  $W/m^2K$  como unidad del parámetro  $U$ . Para un componente individual como un panel de cerramiento, el valor elemental del parámetro  $U$  dependerá de la conductividad y el espesor del aislamiento, la forma del perfil y la presencia de puentes térmicos. Los fabricantes de cerramientos y aislamientos habitualmente indican el valor del parámetro  $U$  correspondiente a sus productos para una gama de aislamientos de distintos espesores. El valor del parámetro  $U$  de un

determinado elemento armado de la envolvente también puede calcularse mediante el uso de software.

En las normas nacionales generalmente se especifican los valores máximos del parámetro U. A menudo se trata de medias ponderadas para el conjunto de la cubierta o fachada, incluyendo asimismo los valores máximos para elementos individuales como las puertas. Los valores del parámetro U de los elementos individuales suelen ser muy superiores a los del cerramiento.

En la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** se muestran los valores límite típicos del parámetro U.

**Tabla 3.1 Valores límite típicos del parámetro U**

Elemento	Peso medio del área ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )
Fachada	0,35
Cubierta	0,25
Ventana	2,2
Puerta de acceso	2,2
Ventilador de cubierta	6

Durante los últimos años se ha fomentado la mejora de la eficiencia energética de los edificios, lo que ha dado lugar a una importante reducción de los valores del parámetro U de los elementos de la envolvente del edificio que ha provocado un considerable aumento del espesor del aislamiento. Esto ha tenido importantes consecuencias sobre el comportamiento estructural del cerramiento, así como sobre su relación con otros elementos estructurales. La mayor profundidad y peso del cerramiento, así como su capacidad para coaccionar adecuadamente las correas resultan de especial interés para los ingenieros de estructuras. La tendencia actual seguirá avanzando inexorablemente hacia la mejora del comportamiento térmico. No obstante, para conseguir una reducción aún mayor de los valores del parámetro U sería necesario invertir grandes esfuerzos sin obtener compensaciones significativas, lo que implica que en el futuro se centrará la atención en mayor medida en la hermeticidad y la eficiencia de los servicios mecánicos, en lugar de en continuar aumentando los espesores del aislamiento.

Aunque en algunos países se ha adoptado el valor del parámetro U como método preferente para cuantificar el comportamiento de la envolvente, en otros se ha optado por utilizar el valor de la resistencia térmica (R). La resistencia térmica R es simplemente el valor inverso del parámetro U, por lo que los aspectos señalados en los párrafos previos pueden aplicarse del mismo modo en dichos países.

En la Tabla 3.2 se muestran los valores típicos del parámetro U para distintos cerramientos.

**Tabla 3.2 Valores de límites típicos del parámetro U para cerramientos**

Elemento	Valor del parámetro U ( $Wm^2K^{-1}$ )
Sistema de paneles compuestos, aislamiento de 180 mm	0,25
Sistema de paneles compuestos, aislamiento de 210 mm.	0,2
Panel mixto, fibra mineral. 120 mm.	0,34
Panel mixto, fibra mineral. 150 mm.	0,27
Panel mixto, PIR. 60 mm	0,33
Panel mixto, PIR. 100 mm	0,20

### 3.3.3 Puentes térmicos

Los puentes térmicos son zonas o componentes ubicados en el interior del cerramiento de la cubierta o las paredes con unas propiedades de aislamiento térmico peores (habitualmente, mucho peores) que las del material que los rodea, posibilitando de esta manera que se produzca un flujo de calor local elevado a través de la envolvente del edificio. Un ejemplo típico de puente térmico sería un separador completamente metálico de un cerramiento de paneles compuestos. En términos generales, todos los componentes metálicos actuarán como puentes térmicos debido a su elevada conductividad térmica, salvo que se implementen medidas específicas para interrumpir el flujo de calor mediante la introducción de una capa de aislamiento térmico. Los puentes térmicos aumentan las pérdidas de calor de los edificios, incrementando a su vez los requisitos energéticos operativos. También pueden provocar una reducción de la temperatura superficial interna del cerramiento, dando lugar a fenómenos de condensación en determinadas condiciones.

### 3.3.4 Hermeticidad

La hermeticidad de un edificio es un aspecto esencial dentro de los requisitos de la normativa sobre construcción, y es probable que pase a ser aún más importante ya que los arquitectos centran sus esfuerzos en mejorar la eficiencia térmica de la envolvente del edificio sin realizar aumentos significativos del espesor del aislamiento. La hermeticidad de un edificio se cuantifica en términos de permeabilidad al aire, que se define como el caudal volumétrico de aire por metro cuadrado de envolvente del edificio y superficie de suelo a una determinada presión. La permeabilidad al aire máxima admisible para un determinado edificio dependerá de diversos factores, como los requisitos contenidos en la normativa sobre construcción, el valor de CO<sub>2</sub> especificado para el edificio y los medios utilizados para conseguir cumplir dicho valor (por ejemplo, el arquitecto podría especificar un nivel muy bajo de permeabilidad al aire como alternativa a aumentar el espesor del aislamiento). En muchos países, la obtención de la permeabilidad al aire especificada debe demostrarse mediante ensayos realizados una vez finalizada la construcción del edificio.

## 3.4 Condensación intersticial

La condensación intersticial se produce entre las capas del cerramiento y se debe a la penetración de aire caliente y húmedo desde el interior del edificio a

través del revestimiento, y a la condensación de la humedad contenida en éste sobre la chapa exterior y otros componentes que se encuentran a menor temperatura. La gravedad de este problema dependerá de la humedad relativa del aire del interior del edificio, la temperatura y la humedad del aire del exterior y la calidad de las juntas del revestimiento. Los edificios ubicados en lugares con climas fríos, así como los que albergan en su interior piscinas, lavanderías u otras instalaciones similares, se encuentran en una situación de mayor riesgo, al igual que los cerramientos que incluyen un perfil-bandeja perforado y una barrera de vapor independiente. En casos extremos, la condensación podría provocar la corrosión de los componentes de acero ubicados en el interior del conjunto de la cubierta o el humedecimiento del material aislante.

Los reglamentos nacionales generalmente incluyen recomendaciones para evitar la condensación intersticial.

### **3.5 Acústica**

En función de la aplicación, el comportamiento acústico puede ser un aspecto importante a tener en cuenta a la hora de diseñar el cerramiento de la cubierta y las paredes. Se deben considerar tres categorías de comportamiento acústico, tal como se muestra en la Figura 3.3.

#### **3.5.1 Transmisión del sonido por vía aérea**

Cuando exista la necesidad de limitar el nivel sonoro que atraviese la envolvente del edificio, en el diseño del cerramiento se deberá tener en cuenta el índice de reducción sonora del mismo. Dicho índice es una medida de la reducción de la energía sonora (en decibelios) a medida que el sonido atraviesa una construcción a una determinada frecuencia. El comportamiento acústico de un determinado cerramiento dependerá del material aislante, de los perfiles de la chapa exterior y el perfil bandeja y del método de montaje. Entre estos, el factor dominante es el material aislante. De esta manera, un aislamiento de manta de lana mineral proporciona una mejor insonorización que un panel rígido (en función de su densidad).

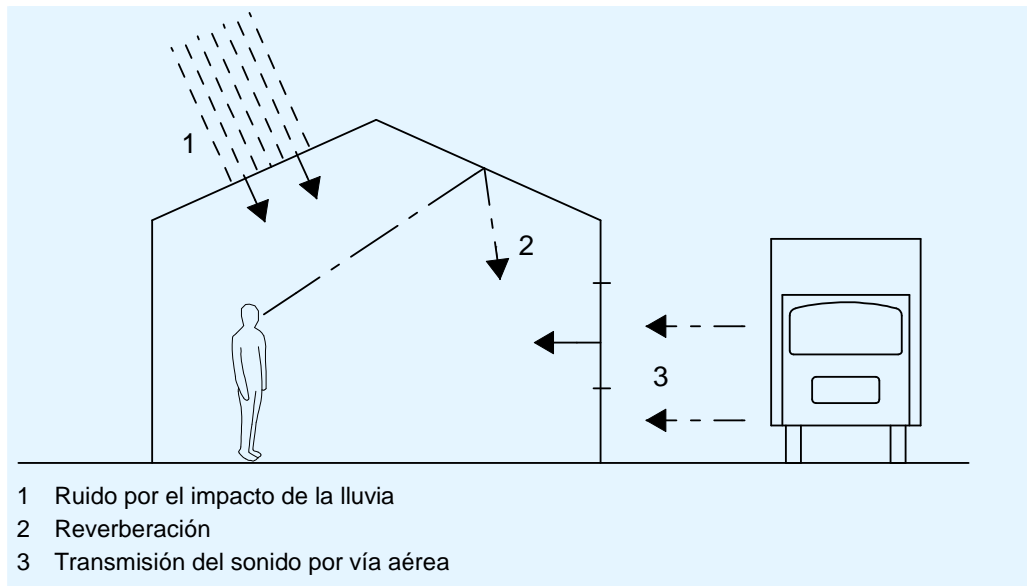


Figura 3.3 Categorías de comportamiento acústico

### 3.5.2 Reverberación

En determinadas aplicaciones, como edificios de oficinas o residenciales, el comportamiento acústico interno podría resultar esencial para que el edificio presente una funcionalidad adecuada. De especial interés resulta la reverberación provocada por la reflexión de las ondas sonoras en las superficies internas duras, incluyendo los elementos de la envolvente del edificio. Habitualmente los acabados internos del edificio se emplean para limitar la reverberación, pero los arquitectos también podrían aprovechar las propiedades de absorción acústica de la capa de aislamiento del cerramiento sustituyendo la bandeja convencional por una bandeja perforada. En aquellos casos en los que la envolvente se compone de paneles aislantes de tipo sándwich resulta frecuente instalar una bandeja perforada y una capa aislante de lana mineral en el interior de la envolvente, con el fin de reducir la reverberación.

### 3.5.3 Ruido por impacto

El ruido generado por el impacto de la lluvia o el granizo sobre la chapa metálica de la cubierta puede crear en ocasiones molestias a los ocupantes del edificio. Cuando se considere que el ruido por impacto es significativo, puede reducirse situando una capa de material aislante flexible justo por debajo de la chapa exterior, de forma que actúe como aislante acústico.

### 3.5.4 Ruido asociado a los equipos de servicio del edificio

Se debería prestar atención a la atenuación de los ruidos generados por los equipos de servicio. Esto incluye disponer carcassas que actúen como aislamiento acústico en aquellas máquinas que puedan generar ruido y/o incluir soportes con aislamiento acústico para los equipos. La reducción del ruido producido por los equipos de servicio resulta especialmente apropiada en los edificios industriales.

Los reglamentos nacionales pueden especificar estándares de comportamiento acústico en términos de reducción de los niveles de ruido en los edificios (aunque esto a menudo se aplica exclusivamente a los edificios residenciales).



En el interior de los edificios industriales se suele considerar que un nivel de ruido de 65 dB resulta aceptable, mientras que en los edificios de usos comerciales y recreativos se suelen utilizar valores entre 50 y 55 dB. En los edificios industriales, la emisión de ruido suele tener mayor importancia. En las normas aplicables a nivel local pueden especificarse requisitos acústicos para reducir las emisiones de ruido procedentes del interior de los edificios (por ejemplo, si el edificio se encuentra ubicado junto a un área residencial).

Los fabricantes de cerramientos pueden proporcionar los datos de comportamiento acústico de los distintos sistemas, así como recomendar un sistema que permita cumplir las especificaciones necesarias.

Un sistema de paneles compuestos de una chapa interior y una chapa exterior de acero pre-acabado con un aislamiento de lana mineral generalmente consigue reducir los niveles de ruido en más de 40 dB. La lana mineral de roca posee una densidad mayor que la lana mineral de fibra de vidrio y habitualmente consigue un mejor aislamiento acústico. El aislamiento acústico puede mejorarse mediante la inclusión de una placa de lana mineral densa insonorizante, además de la placa flexible de aislamiento.

En términos generales, los sistemas de paneles aislantes compuestos que se rellenan con espuma en fábrica no resultan tan eficaces como los sistemas de paneles compuestos, debido al bajo peso de la capa de espuma y al contacto directo de las capas interior y exterior.

En la Tabla 3.3 se muestra el valor del índice de reducción sonora para diversos sistemas. Cuanto mayor es el valor del índice, mayor es la reducción sonora.

**Tabla 3.3 Índice de reducción sonora para sistemas de recubrimiento típicos**

Tipo de recubrimiento	Índice de reducción sonora
Sistemas compuestos – con lana de roca y aislamiento acústico	47
Sistema compuesto con lana de roca	45
Sistema mixto con lana mineral de fibra de vidrio	41
Panel mixto con lana mineral	31
Panel mixto con espuma	25
Chapas de una sola capa	24

### 3.5.5 Información adicional

El documento técnico nº 8, *Acoustic design guide for metal roof and wall cladding*<sup>[8]</sup> de la MCRMA, así como en publicación nº 41, *Good practice in steel cladding and roofing*<sup>[Error! Marcador no definido.]</sup> del Comité Técnico TC7 de la ECCS proporciona recomendaciones adicionales al respecto.

## 3.6 Comportamiento frente al fuego

En general, cualquier aspecto relativo al comportamiento del cerramiento frente al fuego se ve sobrepasado con creces por los problemas asociados al

humo y al gas generados por los elementos contenidos en el interior del edificio (y no por la envolvente).

Se considera que los cerramientos de una sola capa contribuyen de manera significativa a cualquier fuego que pueda producirse. Habitualmente se asume que este tipo de cerramientos no aportan ninguna contribución a la resistencia al fuego, aunque en la práctica sí proporcionan cierta integridad y resistencia. Los cerramientos de una sola capa habitualmente no se emplean en el cerramiento de edificios cuando la prevención de la propagación del fuego a las estructuras colindantes sea un aspecto importante a tener en cuenta.

Los sistemas de paneles compuestos que incluyen un aislamiento de lana mineral o lana de fibra de vidrio se considera que no contribuyen de manera significativa a cualquier fuego que pueda producirse. Los sistemas de paneles compuestos también pueden diseñarse de forma que cumplan los requisitos para poder utilizarse como envolventes externas. Los paneles compuestos que contienen una capa de lana mineral también se incluyen en esa misma categoría.

Los paneles compuestos cuyo aislamiento se aplica en fábrica pueden incluir una capa de poliuretano (PUR) o poliisocianurato (PIR). En términos generales, se considera que los paneles de PIR ofrecen un mejor comportamiento frente al fuego que los paneles de PUR. En ambos casos, es difícil que se produzca la combustión del núcleo de estos tipos de paneles. Los paneles con un diseño de uniones adecuado que presenten un relleno de PUR o PIR no generan riesgos inapropiados frente al fuego; de hecho, los paneles de PUR sirven como elemento habitual en muchos países europeos.

Los paneles rellenos de poliestireno generan riesgos frente al fuego, por lo que están cayendo en desuso.

### 3.7 Durabilidad

Todos los cerramientos sufren una cierta degradación con el paso del tiempo debido a la acción de la humedad, la contaminación atmosférica y la radiación ultravioleta. Sin embargo, el responsable de diseñar el cerramiento puede influir notablemente sobre el comportamiento a largo plazo del mismo mediante una selección cuidadosa de los materiales y un diseño de detalle adecuado. Una vez el edificio esté en servicio, la realización de un mantenimiento adecuado prolongará la vida útil de la envolvente.

La materia prima para elaborar la chapa metálica exterior se encuentra disponible con diversos tipos de bandejas y en una amplia variedad de colores y acabados. El documento técnico n° 6, *Profiled metal roofing design guide*<sup>[Error! Marcador no definido.]</sup> de la MCRMA, así como la publicación n° 41, *Good practice in steel cladding and roofing*<sup>[Error! Marcador no definido.]</sup> del Comité Técnico TC7 de la ECCS proporcionan información acerca de las vidas útiles estimadas de estos revestimientos. Cabe destacar que el color del revestimiento presenta un impacto muy significativo sobre la vida útil estimada. Los colores claros reflejan la radiación térmica de manera más eficiente que los colores oscuros, lo que genera menores temperaturas superficiales y reduce la degradación.

Al especificar la envolvente del edificio se debe prestar especial atención para evitar la formación de acumulaciones de agua y suciedad mediante el uso de pendientes y solapes de extremo adecuados. Se deben definir cuidadosamente tanto las interfases externas, para impedir la entrada de agua, como las interfases internas, con el fin de evitar que el vapor de agua del interior del edificio pueda acceder al conjunto del cerramiento (provocando fenómenos de condensación intersticial).

Para garantizar que la envolvente del edificio mantenga su funcionalidad durante toda su vida útil estimada, es importante que se someta a operaciones periódicas de mantenimiento (como inspecciones y operaciones de retirada de residuos, limpieza y reparación de daños existentes). Dado que la realización de operaciones de mantenimiento habitualmente conlleva el acceso a la zona correspondiente de operarios (que a menudo transportan equipos), resulta fundamental tener esto en cuenta a la hora de diseñar la envolvente y la estructura que la soporta. Las necesidades de mantenimiento pueden reducirse en gran medida si se utiliza un perfil-bandeja para la chapa exterior con garantía de no necesitar mantenimiento durante toda la vida útil estimada del cerramiento (habitualmente, entre 20 y 30 años). Dichas bandejas pueden proporcionar importantes beneficios al cliente, tanto en términos de ahorro de costes durante toda la vida útil estimada como de mejora de la seguridad.

## 3.8 Comportamiento estructural

Los cerramientos metálicos deben soportar cargas aplicadas externamente, como las generadas por la nieve o el viento, sin deformarse excesivamente ni poner en riesgo el resto de requisitos de comportamiento. Las cargas características individuales (acciones) deberían obtenerse de la parte correspondiente de la norma EN 1991<sup>[9]</sup>, teniendo en cuenta la geometría y la ubicación del edificio según proceda. A continuación, dichas acciones individuales deberían combinarse aplicando los factores de seguridad correspondientes especificados en la norma EN 1990<sup>[10]</sup> para poder obtener los escenarios de carga que se utilizarán para el diseño.

### 3.8.1 Acciones

#### Acciones permanentes

En el caso de los cerramientos metálicos que se emplean en la mayoría de aplicaciones industriales y comerciales, la única acción permanente que deberá considerarse para el diseño del cerramiento de la cubierta es su propio peso, incluyendo el peso del material aislante. En la Tabla 3.4 se indican los pesos típicos de los cerramientos de paneles aislantes y paneles compuestos. Para obtener información acerca de productos de cerramiento específicos se debe consultar la documentación técnica publicada por los fabricantes o proveedores. En el caso de cerramientos de fachada normalmente no resulta necesario considerar acciones permanentes, ya que el propio peso del cerramiento actúa en el mismo plano que este. No obstante, cuando exista una pantalla de lluvia unida a la cara externa del panel o conjunto de cerramiento será necesario tener en cuenta el impacto del peso de dicha pantalla a la hora de diseñar los elementos de fijación.

**Tabla 3.4 Pesos de los sistemas de cerramiento típicos**

Sistema	Aislamiento	Profundidad *	Espesor de la chapa		Peso kN/m <sup>2</sup>
			Interior	Exterior	
Compuesto	Lana mineral	180 mm	0,4 mm	0,7 mm	0,16
Compuesto	Lana mineral	180 mm	0,7 mm	0,7 mm	0,20
Panel aislante	PIR	80 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,12

\* Las profundidades indicadas en la Tabla 3.1 corresponden al Valor del parámetro U de 0,25 W/m<sup>2</sup>K para sistemas de cerramientos típicos que utilizan el aislamiento especificado.

### Acciones variables

El cerramiento de cubierta debe diseñarse para soportar tanto su propio peso como las acciones variables siguientes, tal como se especifica en las partes correspondientes de la norma EN 1991:

- cargas generadas por el acceso de personas para realizar operaciones de limpieza y mantenimiento;
- una carga uniformemente distribuida debida a la nieve sobre toda la superficie de la cubierta. El valor de esta carga dependerá de la ubicación del edificio;
- cargas de nieve asimétricas y cargas debidas a acumulaciones de nieve;
- cargas generadas por la presión de viento y la succión producida por la acción del mismo.

Se deberán tomar especiales precauciones a la hora de diseñar cubiertas con vegetación, ya que éstas tienden a ser considerablemente más pesadas que las cubiertas metálicas convencionales y, en el caso de las cubiertas ajardinadas, deberán considerarse asimismo tanto la presencia de mobiliario de jardín como de personas.

El cerramiento de las paredes debería diseñarse de forma que soporte las cargas del viento, conforme a lo especificado en la norma EN 1991-1-4<sup>[Error! Marcador no definido.]</sup>. La presión de viento positiva y la succión producida por el viento deberán tenerse en cuenta, prestando especial atención a las zonas cercanas a las esquinas del edificio en las que el viento genere una elevada succión. El escenario de diseño asociado a la succión producida por el viento a menudo viene determinado por la resistencia de los elementos de fijación que unen los paneles o chapas del cerramiento a la estructura de acero.

### 3.8.2 Flechas

El cerramiento debe ser capaz de soportar las cargas de diseño especificadas sin sufrir deformaciones excesivas, con el fin de poder cumplir el resto de requisitos de comportamiento (incluyendo aquellos relativos a su hermeticidad y durabilidad). Las deformaciones estimadas normalmente se calculan sólo para las acciones variables sin aplicar ningún tipo de factor. Las cargas durante la fase de construcción habitualmente no se incluyen en los escenarios de carga de servicio ni se consideran a la hora de diseñar los cerramientos. Sin embargo, se debe prestar especial atención durante la fase de construcción para evitar que se produzcan deformaciones locales excesivas, en especial aquellas provocadas

por fenómenos de concentración de cargas debidos al tránsito de personas o al apilamiento de materiales sobre las bandejas de la cubierta, ya que podrían dar lugar a daños permanentes en el cerramiento. Los límites de deformación típicos asociados al cerramiento dependen del régimen de carga considerado (únicamente sobrecargas o cargas permanentes y sobrecargas), la ubicación del componente estructural (en la fachada o cubierta) y la presencia de materiales frágiles. Los límites de deformación podrían venir especificados en los reglamentos nacionales que sean de aplicación. Los límites de deformación habituales son los siguientes:

- luz/150 para cerramientos de paredes que salven la luz comprendida entre estructuras de acero secundarias;
- luz/200 para cerramientos de cubiertas que salven la luz comprendida entre correas de cubierta;
- luz/180, en el caso de las correas de cubierta o de fachada.

### **3.8.3 Uso de las tablas de carga segura**

Los fabricantes de chapas metálicas perfiladas y paneles aislantes suministran tablas de carga segura para sus productos, que pueden utilizarse tanto para seleccionar un perfil adecuado como para determinar la separación máxima admisible entre correas (en aquellos casos en los que ya se haya elegido el perfil). Es importante tener en cuenta que en las tablas de carga habitualmente se supone que existe una carga uniformemente distribuida y, además, que habitualmente se especifican las cargas de trabajo seguras. Ante cualquier duda, los responsables de diseño deberían solicitar asesoramiento a los fabricantes de cerramientos.

## 4 ESTRUCTURA SECUNDARIA DE ACERO LAMINADO EN FRÍO

En los edificios industriales con pórticos de acero y cubiertas con pendientes poco pronunciadas (entre 5 y 10 grados), los paneles o chapas de cerramiento normalmente se soportan mediante un sistema de correas de cubierta y de fachada de acero ligero que salvan la luz existente entre las vigas y los pilares, respectivamente. En la Figura 4.1 se muestra la estructura de acero secundaria de la cubierta, en la que las correas se extienden entre las vigas de la estructura principal. La función principal de estos elementos secundarios es transmitir las cargas desde el cerramiento hasta la estructura principal, incluyendo el propio peso del cerramiento, las cargas producidas por el viento y, en el caso de las cubiertas, las sobrecargas generadas por la nieve y el acceso de trabajadores para realizar operaciones de mantenimiento. También pueden utilizarse las correas para coaccionar las vigas y pilares, así como para transmitir cargas horizontales al sistema de arriostramiento.



Reference to source of figure

**Figura 4.1** Correas posicionadas entre las vigas de la cubierta

En esta sección se presentan recomendaciones sobre algunos aspectos fundamentales asociados al uso de correas conformadas en frío en los cerramientos.

### 4.1 Opciones existentes para las correas de cubierta y de fachada

Las correas y los travesaños laterales generalmente son elementos de acero galvanizado ligero conformados en frío que se suministran como parte de un sistema de soporte de cerramientos patentado junto con accesorios, elementos de fijación y otros componentes asociados.

#### 4.1.1 Opciones de secciones existentes

Las correas de cubierta y de fachada se encuentran disponibles con diversas formas y en una amplia variedad de tamaños. El canto de la sección oscila habitualmente entre 120 y 340 mm, mientras que el espesor del perfil varía entre 1,2 y 3,2 mm. En la Figura 4.2 se muestran algunas de las secciones más comunes. Las secciones de las correas, debido a las elevadas relaciones longitud/espesor que presentan, suelen ser de clase 4, según lo establecido en la norma EN 1993-1-3<sup>[11]</sup>. Por este motivo, las propiedades de la sección deben basarse en los valores efectivos de sus propiedades (menores que las propiedades de la sección bruta).

Se puede encontrar información adicional sobre estas secciones en la documentación técnica de los fabricantes.

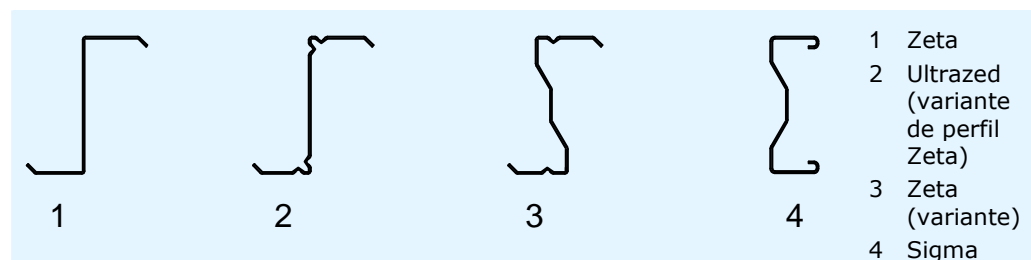


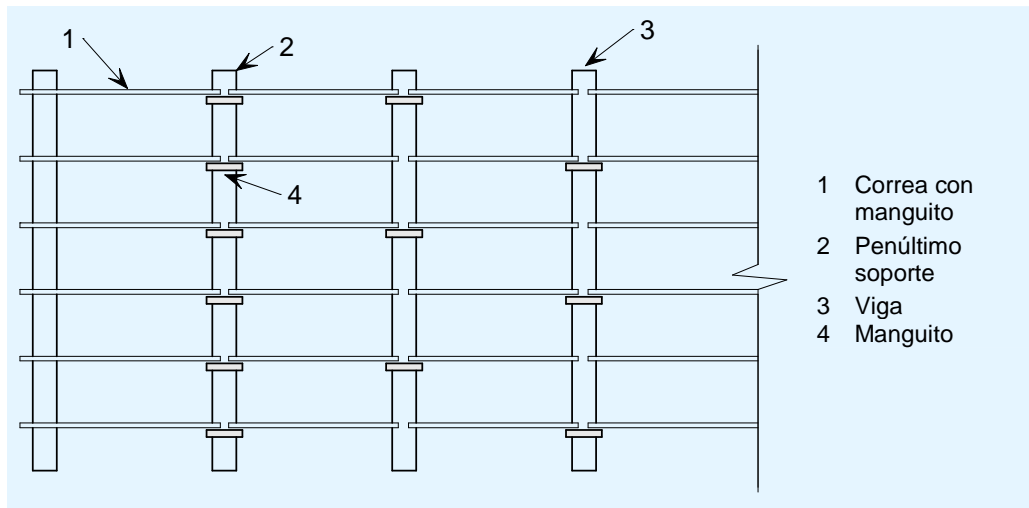
Figura 4.2 Tipos más comunes de correas

#### 4.1.2 Opciones existentes para la disposición de las correas de cubierta y de fachada

La mayoría de los fabricantes elaboran recomendaciones sobre las disposiciones típicas de las correas que resultan eficaces en diversas situaciones. Dichas disposiciones se rigen por aspectos tales como la longitud máxima de la correa (que generalmente no será superior a 16 m, por motivos asociados al transporte y al acceso de las correas a la obra) y la capacidad de conseguir una semi-continuidad mediante el uso de manguitos o solapes con el fin de conseguir una eficiencia máxima. En las figuras que van desde la Figura 4.3 hasta la Figura 4.7 se muestran las disposiciones utilizadas con mayor frecuencia. Para obtener información adicional sobre cuándo y cómo utilizar una disposición concreta deberá acudir a con los fabricantes de las correas para obtener información detallada acerca de sus sistemas específicos. En cualquier caso, se debería consultar con el fabricante de las correas antes de terminar la disposición de las mismas.

##### Longitudes de una sola luz: sistema con manguitos

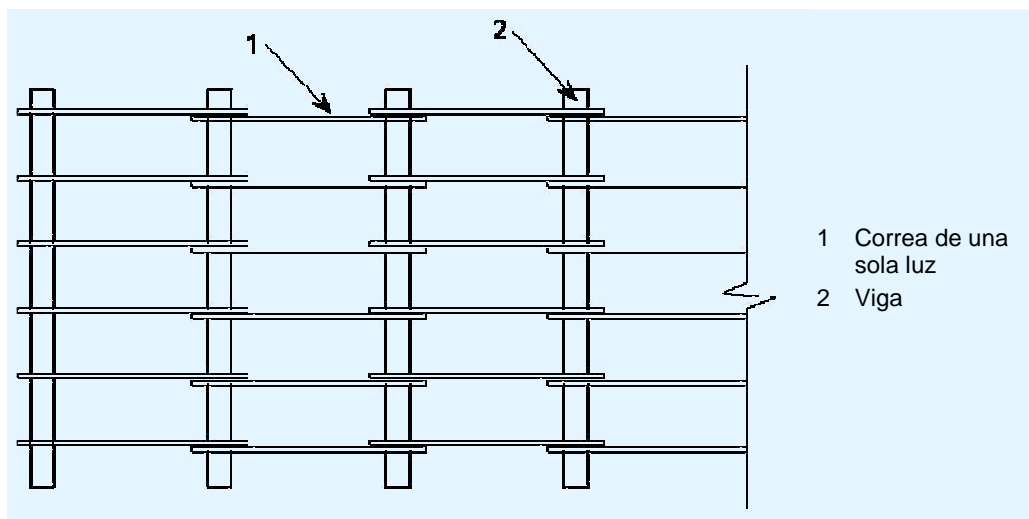
En los sistemas con manguitos cada correa tiene la longitud de una sola luz, pero se disponen manguitos en soportes alternativos de forma que cada correa adquiera continuidad a lo largo de dos luces (ver Figura 4.3). En el penúltimo soporte se disponen manguitos en todas las correas, con el fin de obtener tanto una semi-continuidad como una resistencia adicional en la nave extrema. Se considera que este sistema es lo más eficaz para edificios con naves de entre 5 y 7 m. Pueden disponerse perfiles más pesados en las naves de los extremos, si es necesario.



**Figura 4.3** Longitudes de una sola luz: sistema con manguitos

### Longitudes de una sola luz: sistema con uniones a tope

Los sistemas de una sola luz con uniones a tope tienen una menor capacidad que el resto de sistemas, pero a cambio las uniones son más sencillas de fijar a lo largo de las vigas o entre las almas de las mismas (ver Figura 4.4). Puede emplearse esta disposición para pequeños edificios con vanos pequeños entre pórticos, como sucede en las aplicaciones agrícolas.



**Figura 4.4** Longitudes de una sola luz: sistema con uniones a tope

### Longitudes de una sola luz: sistema con solapes

Un sistema con solapes proporciona una mayor continuidad y puede emplearse cuando existen cargas grandes y luces largas (ver Figura 4.5). Es el sistema más adecuado para edificios con un número elevado de naves.



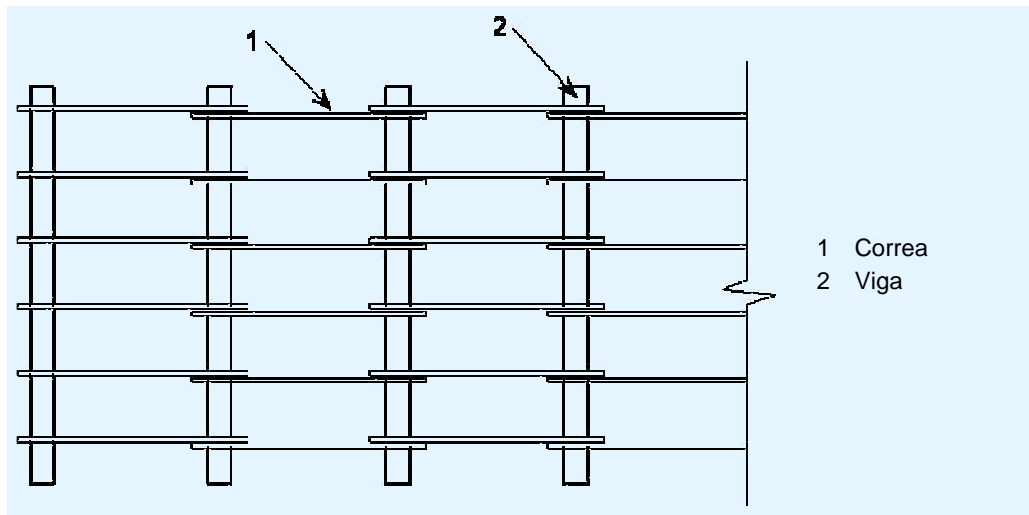


Figura 4.5 Longitudes de una sola luz: sistema con solapes

### Longitudes de doble luz: sistema sin manguitos

En este sistema, las longitudes de doble luz presentan una distribución escalonada (ver Figura 4.6). Los manguitos se disponen en los penúltimos soportes para garantizar la semi-continuidad. Generalmente la capacidad será inferior a la del sistema de doble luz con manguitos equivalente, pero las correas de doble luz utilizan menos componentes y permiten realizar el montaje con mayor rapidez. El uso de este sistema queda limitado a naves con vanos inferiores a 8 m, por motivos relacionados con el transporte y el montaje de las correas.

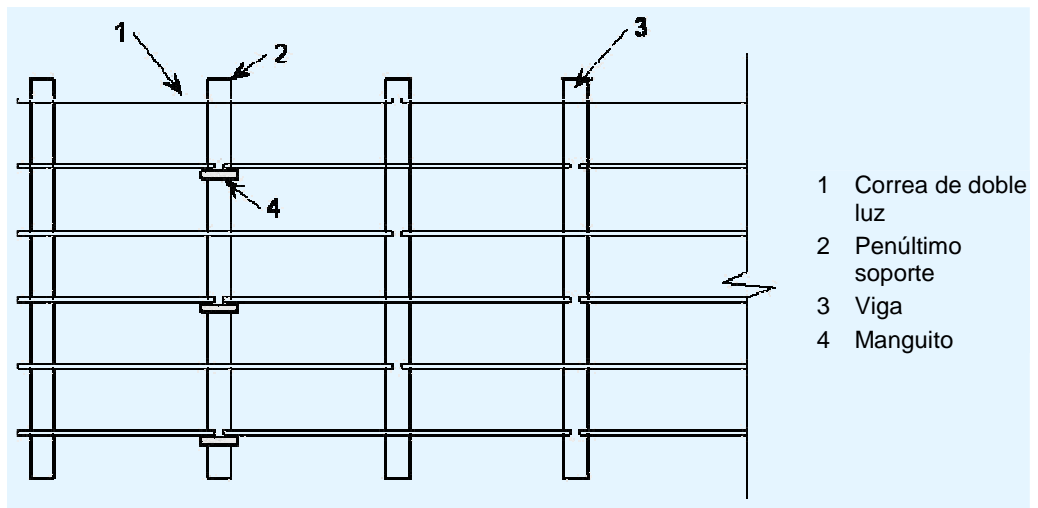


Figura 4.6 Longitudes de una sola luz: sistema sin manguitos

### Longitudes de doble luz: sistema con manguitos

En los sistemas de doble luz con manguitos, las longitudes de doble luz presentan una distribución escalonada y los manguitos se disponen en soportes alternativos (ver Figura 4.7). Los manguitos se disponen en el penúltimo soporte de cada correa para garantizar la semi-continuidad. El sistema de doble luz con manguitos posee una capacidad ligeramente superior a la del sistema de doble luz sin manguitos y además ofrece las ventajas asociadas a la existencia de semi-continuidad en todas las posiciones de los manguitos. El uso de este sistema queda limitado a naves con vanos inferiores a 8 m, por motivos

relacionados con el transporte y el montaje. Pueden disponerse correas más pesadas en las naves de los extremos, si es necesario.

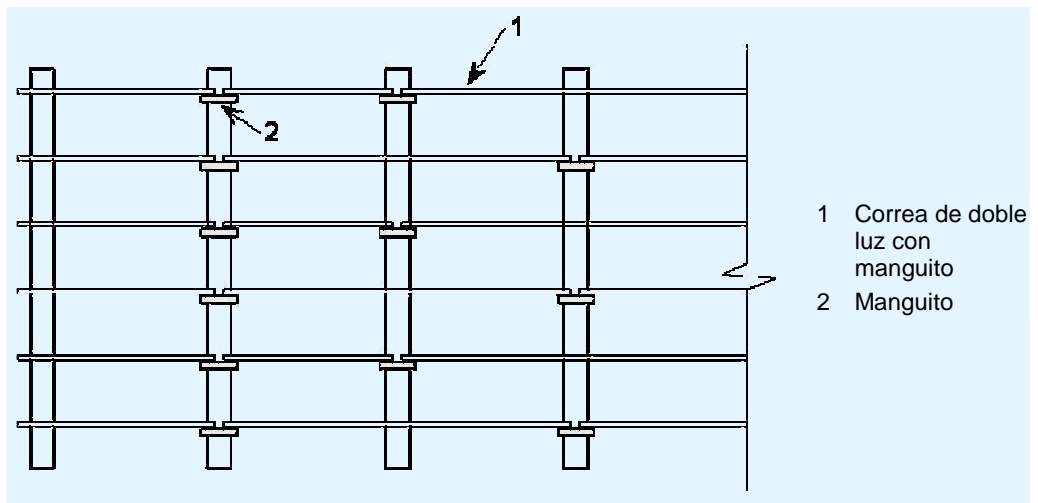


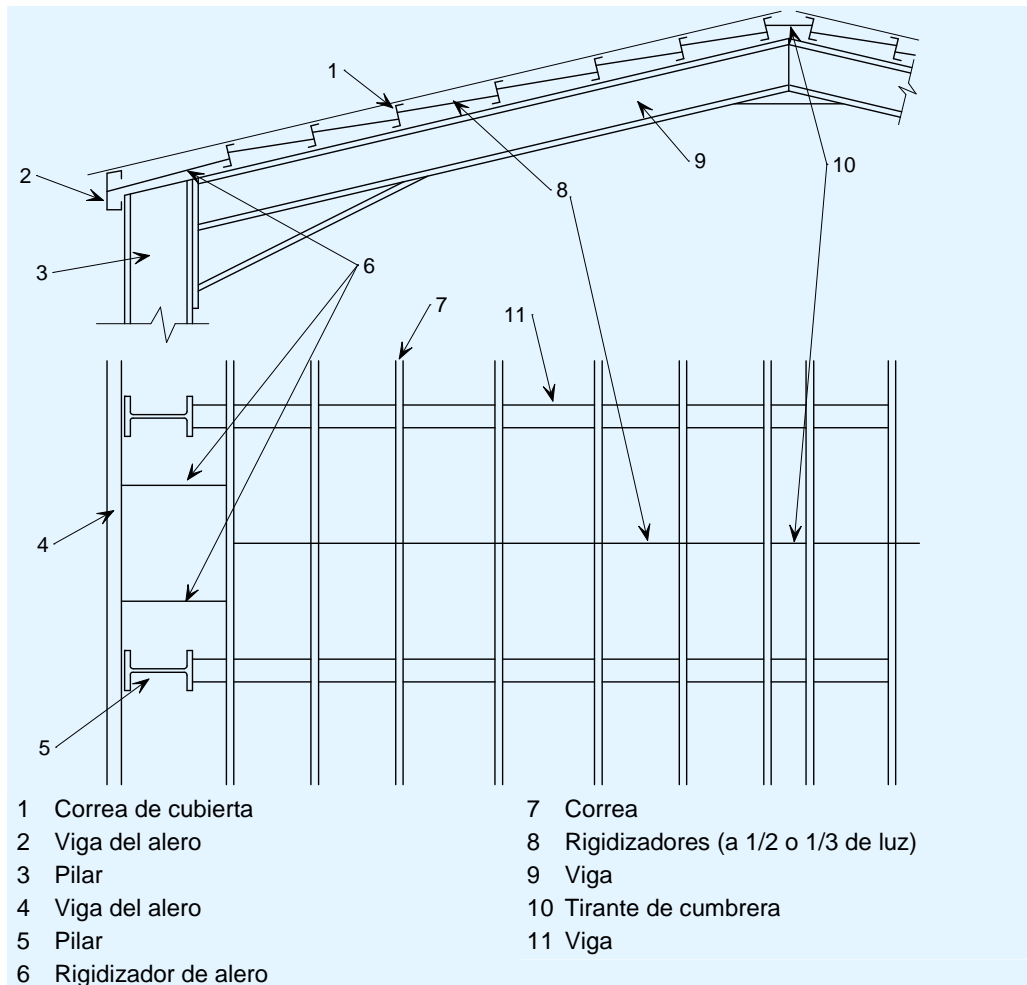
Figura 4.7 Longitudes de doble luz: sistema con manguitos

#### 4.1.3 Uso de barras rigidizadoras para las correas

Las barras rigidizadoras son pequeñas barras o angulares que se fijan mediante pernos o grapas entre las correas. En la Figura 4.8 se muestra una disposición típica; también existen otros sistemas distintos. Cuando se utilizan estos elementos, habitualmente se sitúan en el punto medio de la luz o en otros puntos a lo largo de la correa y cumplen las siguientes funciones:

- coaccionan las correas frente al pandeo lateral cuando se produce el fenómeno de levantamiento debido a la acción del viento;
- coaccionan las correas durante la fase de construcción (antes de la instalación del cerramiento);
- sirven como elementos de soporte adicionales de la componente de las cargas aplicadas que actúa en sentido descendente en la dirección de la pendiente;
- ayudan a mantener la alineación de las correas.

Para realizar estas funciones, las barras rigidizadoras cuentan con el apoyo de los rigidizadores de los aleros y de la cumbrera (ambos elementos se muestran en la Figura 4.8).



**Figura 4.8 Esquema de rigidizadores y tirantes típicos**

La necesidad de utilizar barras rigidizadoras depende de diversos factores, como la sección de la correa seleccionada, la separación entre correas, la luz que salvan las correas y la magnitud de las cargas aplicadas. Pueden obtenerse recomendaciones sobre este tema en la documentación técnica elaborada por el fabricante de las correas. En algunos casos, es posible que el responsable del diseño pueda elegir entre utilizar barras rigidizadoras u optar por correas más pesadas que no requieran disponer coacciones o soportes intermedios. Es necesario hacer un balance entre el uso de correas de sección más pesada y de mayor coste o la instalación de un mayor número de componentes, con el tiempo y el coste que eso conlleva.

Las barras rigidizadoras sólo proporcionan coacción en puntos concretos a lo largo de la extensión de la correa. Únicamente debería considerarse que las correas se encuentran “completamente” coaccionadas bajo la acción de las cargas gravitatorias una vez finalizada su construcción cuando el cerramiento proporciona una coacción continua al ala de la correa sometida a compresión.

#### 4.1.4 Uso de correas de fachada para el cerramiento vertical

Como soporte del cerramiento vertical se emplea una estructura de correas de fachada que se extienden entre los pilares de la estructura de acero principal del edificio. Las coacciones verticales se unen a las correas de fachada en puntos concretos (del mismo modo que se hace con las barras rigidizadoras en las cubiertas). Estas coacciones impiden que se produzca pandeo lateral (debido a

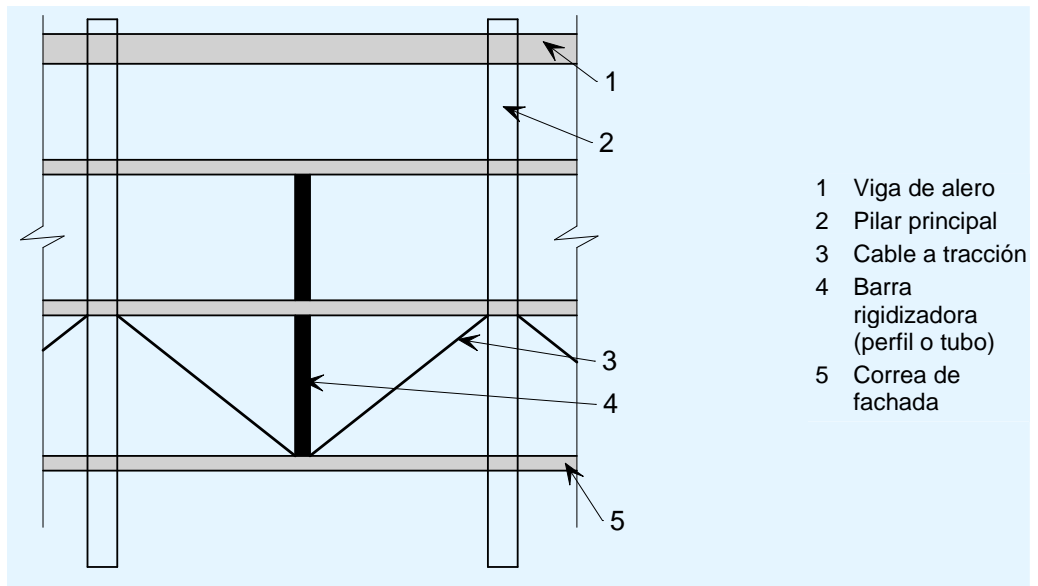
la flexión de las correas de fachada sometidas a las cargas de succión generadas por el viento) y evitan que éstas se vean sometidas a un momento positivo debido al peso del cerramiento y de la estructura de acero que lo soporta. Las coacciones verticales son habitualmente perfiles de acero ligero (tubos, angulares o secciones en U) o barras de acero.

Con el fin de canalizar eficazmente las fuerzas generadas en los soportes de las correas de fachada hacia la estructura principal (los pilares) y evitar que las mismas se vean sometidas a un momento positivo antes de la instalación del cerramiento, es habitual disponer un sistema de arriostamiento vertical en la nave entre las dos correas de fachada más bajas, tal como se muestra en la Figura 4.10. Estos elementos de arriostamiento trabajan a tracción, por lo que es frecuente utilizar cables de acero en lugar de perfiles de acero ligero conformados en frío. Con el fin de limitar las fuerzas en dichos cables, una práctica habitual es limitar el ángulo de éstos con respecto a las correas a un mínimo de 25 o 30 grados (consultar las recomendaciones del fabricante). Aplicando esta restricción a los cables dispuestos en diagonal se determina el número de soportes de correas de fachada necesarios en función de la separación de las correas y de los pilares.

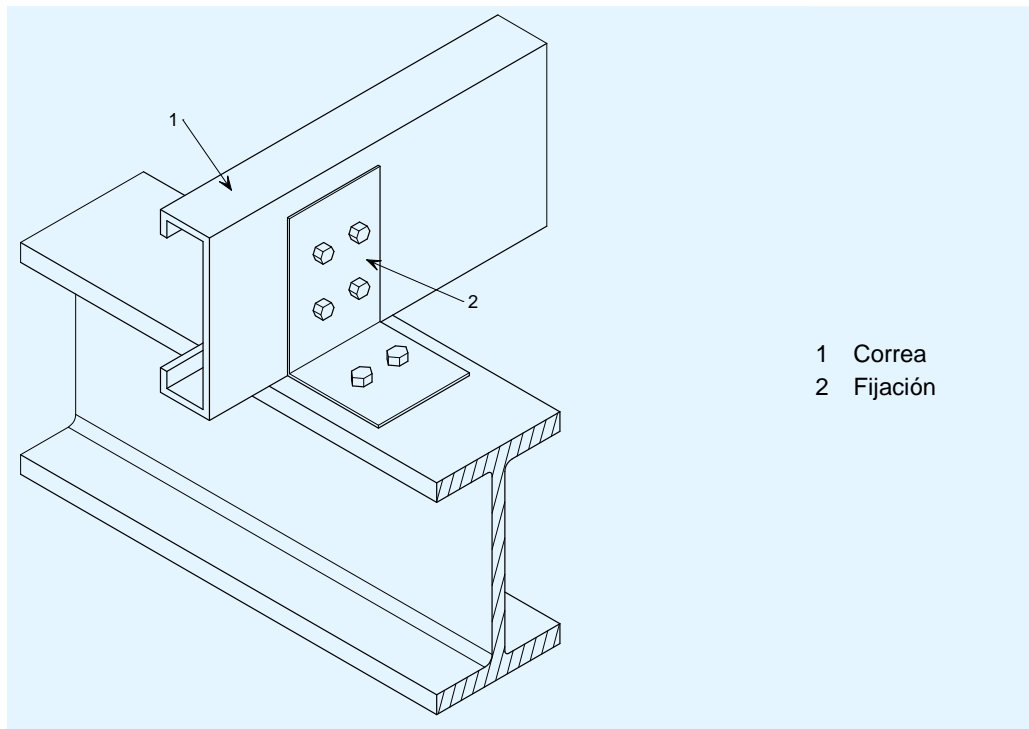
Para separaciones de los pilares de hasta 6 m con una separación típica correas de fachada de 1,8 m, normalmente bastará con disponer una única coacción vertical central (ver Figura 4.10). Sin embargo, cuando la separación de los pilares sea mayor puede ser necesario disponer dos o hasta tres coacciones verticales. En muchos casos, la correa de fachada más elevada se conecta a la viga del alero. Esta disposición consigue reducir las fuerzas sobre los cables de arriostamiento, pero deberá tenerse en cuenta la fuerza adicional que actúa sobre la viga del alero a la hora de dimensionar este elemento. También es necesario tener en cuenta que, una vez instalado, el cerramiento aumentará la rigidez de la subestructura de la pared y transferirá una parte importante de la carga vertical hacia los pilares mediante una acción de diafragma. El cerramiento también coaccionará completamente las correas de fachada frente al pandeo lateral en el caso de que se produzcan momentos positivos y proporcionará una coacción parcial si se producen momentos negativos.

#### 4.1.5 Fijaciones

Las correas de cubierta se fijan a las vigas por medio de fijaciones, que normalmente se sueldan a las vigas en taller antes de transportarse hasta la obra. Sin embargo, el uso de fijaciones atornilladas (ver Figura 4.9) está en auge debido al ahorro de costes de transporte que generan (ya que permiten apilar las vigas de forma más compacta) y a que ofrecen la oportunidad de ajustar la alineación de las correas a pie de obra (con los consiguientes beneficios que aportan para la instalación del cerramiento). El fabricante de las correas habitualmente también suministra las fijaciones, en cuyo caso es probable que éstas se hayan diseñado específicamente para ese tipo de correas. Sin embargo, en muchos casos también pueden utilizarse fijaciones genéricas atornilladas, fabricados a partir de un perfil angular o de simples chapas soldadas a la viga que pueden incluir o no elementos rigidizadores.



**Figura 4.9 Fijación que sirve como soporte de una correa mediante una unión atornillada**



**Figura 4.10 Soporte de una correa de fachada de un cerramiento vertical**

## 4.2 Cargas

Las correas de cubierta y de fachada de los cerramientos deben diseñarse de forma que puedan soportar todas las cargas aplicadas sobre ellas desde los cerramientos y transferir estas cargas a la estructura. Entre dichas cargas se incluyen las acciones permanentes debidas al peso del cerramiento y de las estructuras de acero secundarias, junto con las acciones variables descritas en la sección 3.7.1. Normalmente resultará aceptable suponer que estas acciones actúan uniformemente sobre las correas pero deberán tenerse en cuenta las

fuerzas locales de elevado valor, como las fuerzas de succión generadas por el viento cerca de las esquinas del edificio. Además de las cargas del cerramiento, también puede ser necesario que las correas soporten el peso de las instalaciones o de los techos suspendidos. Con frecuencia, la persona responsable de diseñar las correas desempeña un papel mínimo o nulo en el diseño de las instalaciones o de los techos. No obstante, es importante disponer de una estimación precisa de estas cargas y conocer la naturaleza de las mismas (ya sean concentradas o distribuidas), ya que podrían suponer una fracción significativa de las cargas gravitatorias totales que actúan sobre las correas. Se debe prestar especial atención a aquellos casos en los que las correas deban soportar cargas concentradas, así como a los canalones y sus estructuras de soporte (ya que a menudo las cargas asociadas a éstos son muy elevadas). Los diseñadores deben tener en cuenta tanto el peso de los canalones como de su contenido (ya sea agua o nieve). Se debería solicitar a los fabricantes de canalones la información específica sobre el sistema de canalones diseñado.

Durante la fase de construcción es posible que las correas deban soportar cargas gravitatorias importantes, pero sin la ventaja que supone disponer de la coacción que proporciona el cerramiento. La magnitud de las cargas existentes durante la construcción dependerá en gran medida del procedimiento de instalación del cerramiento y de los materiales, los equipos y la mano de obra utilizados. La secuencia de instalación del cerramiento, en particular, puede tener un efecto significativo sobre la resistencia al pandeo de las correas, debido a su influencia sobre la longitud de éstas que queda sin coaccionar y sobre la posición de la carga dentro de la luz. Por tanto, resulta fundamental que la persona responsable del diseño tenga en cuenta el método de trabajo propuesto a la hora de dimensionar las correas. Esto debería hacerse preferiblemente a través del diálogo entre el contratista encargado de la construcción de la cubierta y el responsable del diseño en el momento de especificar las características de las correas.

### 4.3 Flechas

Los límites de deformación de las correas vienen determinados por la elección de la cubierta y de las fachadas, dado que el factor dominante es la capacidad que tenga el cerramiento para deformarse sin poner en riesgo la hermeticidad, la ausencia de fragilidad y el resto de requisitos de comportamiento que deban cumplirse. En términos generales, cuanto más flexible sea el cerramiento mayor será la deformación admisible de las correas. En este sentido, los cerramientos metálicos perfilados ofrecen unas tolerancias mucho mayores que los materiales frágiles como la mampostería. Por el contrario, las ventanas a menudo resultan componentes críticos, por lo que debería consultarse con los fabricantes de acristalamientos para obtener recomendaciones detalladas al respecto.

Una deformación excesiva producida por el peso propio de las correas o debida a la acción de las cargas de construcción antes de que el cerramiento coaccione las correas podría dar lugar a dificultades a la hora de instalar el cerramiento. Este aspecto debería abordarse considerando cuidadosamente las cargas que estarán presentes durante la fase de construcción y especificando un método de instalación del cerramiento que evite las sobrecargas en las correas no coaccionadas. Los canalones resultan especialmente sensibles a las

deformaciones, ya que se deben evitar los cambios de pendiente que dificulten su correcto funcionamiento.

#### 4.4 Selección de correas

Los principales proveedores de correas para cerramientos llevan muchos años realizando importantes inversiones con el fin de desarrollar y ensayar sus sistemas, y todos ellos publican recomendaciones de diseño y tablas de carga y luz para sus productos. En muchos casos también existe software de cálculo. Gracias a todas estas herramientas de diseño, el ingeniero de estructuras queda liberado de las complejidades asociadas al diseño de elementos de acero ligero y simplemente tiene que seleccionar el perfil más adecuado de entre toda la gama de productos disponible. Sin embargo, los responsables del diseño deberían tener en cuenta que al utilizar las tablas de carga y luz están aceptando automáticamente las suposiciones efectuadas por los fabricantes de las correas, incluyendo aquellas relativas al nivel de coacción proporcionado por el cerramiento a la estructura de acero de soporte. En caso de duda, los responsables del diseño de la estructura secundaria deberían ponerse en contacto con los fabricantes para obtener información acerca de la idoneidad del perfil escogido para la aplicación en cuestión, teniendo en cuenta tanto el tipo de cerramiento propuesto como cualquier otra circunstancia que pudiera invalidar las suposiciones efectuadas por el fabricante (por ejemplo, la existencia de cargas puntuales importantes).

#### 4.5 Coacción proporcionada a las vigas y pilares

La eficiencia estructural de cualquier edificio con estructura de acero no sólo depende de la selección de perfiles ligeros y eficientes, sino también de la interacción entre los elementos de la estructura principal, la estructura secundaria y el cerramiento. Por este motivo es habitual utilizar la estructura secundaria (formada por las correas de cubierta y de fachada) para coaccionar la estructura de acero principal.

En términos generales, se asume que no resulta necesario realizar ninguna comprobación de las correas en relación a las fuerzas generadas por la coacción lateral de las vigas en cerchas de cubierta o en pórticos siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

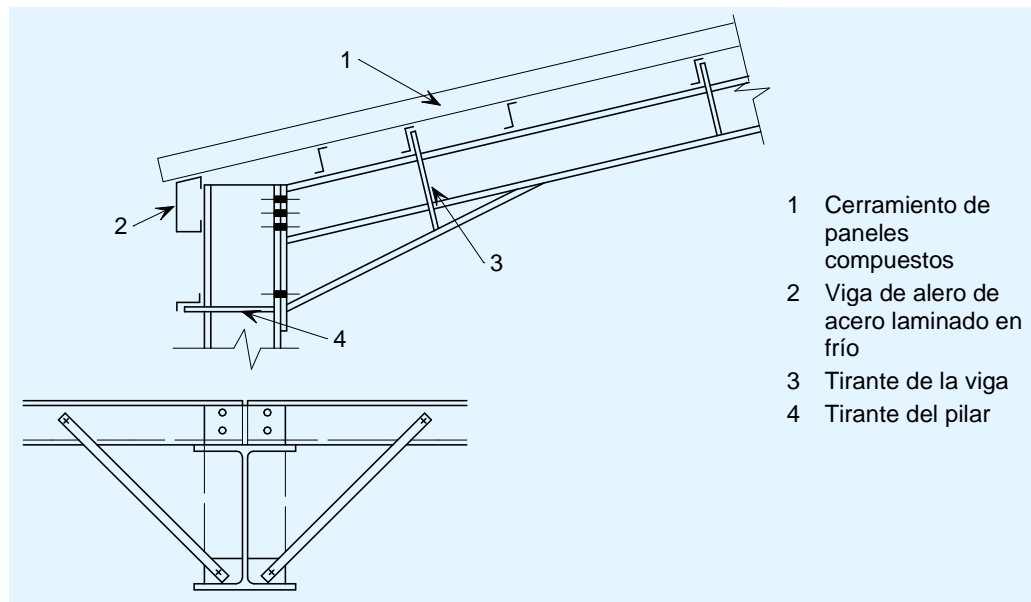
- las correas se encuentran adecuadamente coaccionadas por las chapas del cerramiento
- existe un arriostramiento con una rigidez adecuada en el plano de las vigas, o bien las chapas de la cubierta pueden actuar como un diafragma;
- las vigas soportan predominantemente cargas de cubierta.

En determinados países europeos, la suposición de que los elementos secundarios pueden coaccionar la estructura principal resulta aceptable siempre y cuando el elemento secundario que proporcione la coacción se encuentre unido a un nodo del sistema de arriostramiento. En otros países se presupone que el sistema de la cubierta se comporta como un diafragma lo suficientemente rígido como para eliminar este requisito. En este último caso aún será necesario que la cubierta disponga de arriostramiento, pero no se

requerirá una unión con cada uno de los elementos secundarios que proporcionan coacción. Si no se permite la coacción de una correa mediante tirantes (tal como se muestra en la Figura 4.11), podrá incluirse un elemento laminado en caliente que sirva para cumplir este requisito.

Lo ideal es que el ala sometida a compresión de la viga o pilar esté coaccionada lateralmente por medio de una unión directa con la correa de cubierta o de fachada. Sin embargo, en situaciones de levantamiento provocado por el viento o cerca de las cartelas de un pórtico sometido a cargas gravitatorias, el ala interna del elemento (es decir, aquella que no se encuentra unida al cerramiento) estará sometida a compresión y no podrá coaccionarse directamente por medio de las correas. En esta situación, se puede introducir un elemento de acero laminado en caliente adicional (frecuentemente un perfil tubular estructural) para coaccionar lateralmente el ala sometida a compresión, o bien puede mantener el ala sometida a compresión en su posición de forma eficaz mediante una combinación de coacción lateral del ala traccionada (por medio de las correas) y coacción torsional proporcionada por tirantes a la viga o al pilar. En la sección 6.3.5.2 de la norma EN 1993-1-1<sup>[12]</sup>, y la sección BB.3 del anexo BB de esa misma norma pueden encontrarse recomendaciones para la disposición y el diseño de las coacciones.

Los tirantes de las vigas o los pilares pueden utilizarse para proporcionar coacción torsional a la viga o al pilar, tal como se muestra en la Figura 4.11, siempre que estén unidos a una correa que posea la rigidez apropiada. Con frecuencia se emplean flejes de acero de pequeño espesor conformados en frío (que actúan como tirantes), aunque también pueden emplearse angulares si el tirante debe trabajar a compresión (por ejemplo, si el tirante sólo puede disponerse a uno de los lados de un elemento).

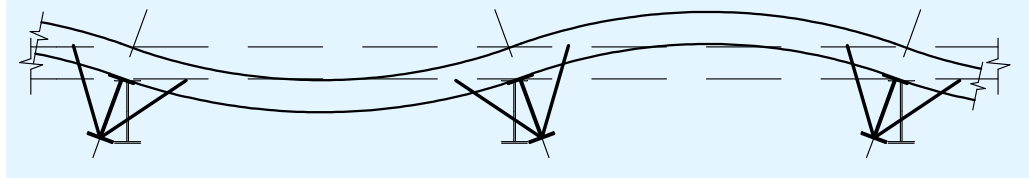


**Figura 4.11** Detalle de los tirantes del pilar y de la viga, así como de la unión entre de éstos

Para poder proporcionar a las vigas o pilares el nivel de coacción torsional necesario, las correas deben poseer una rigidez adecuada frente a la flexión. De lo contrario, existe el riesgo de que el elemento que proporciona la coacción flecte y permita que los elementos coaccionados roten, tal como se muestra en



la Figura 4.12. Como regla empírica, normalmente resulta adecuado utilizar correas cuyo canto sea al menos el 25% del canto del elemento que se está coaccionando. En la práctica, esta dimensión resulta en unas correas suficientemente rígidas como para soportar pórticos con luces de hasta 40 m y con vanos de entre 6 y 8 m. Sin embargo, según la relación entre luz y vano incrementa (y el tamaño de la viga del pórtico incrementa en relación al tamaño de las correas), la rigidez de la correa puede no ser suficiente para proporcionar una coacción torsional adecuada y por lo tanto la comprobación debe llevarse a cabo.



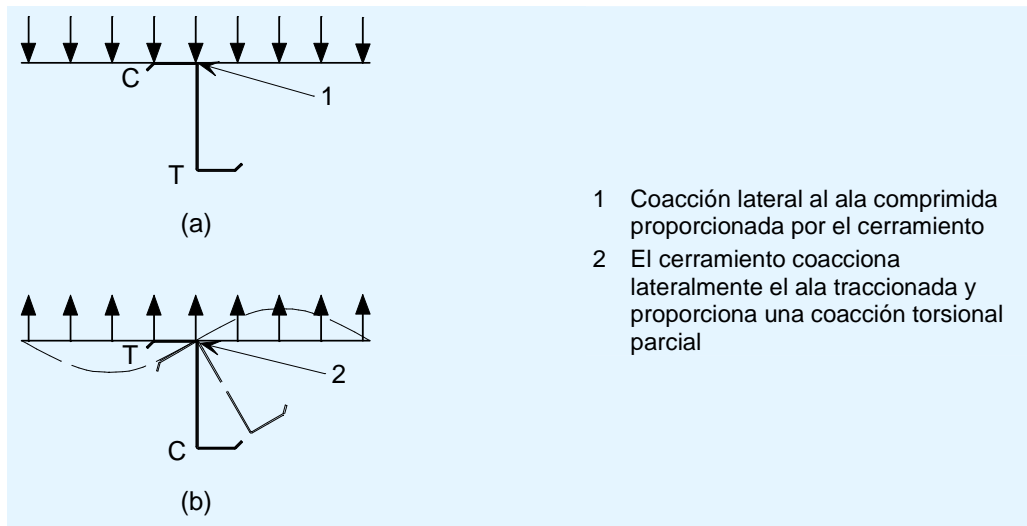
**Figura 4.12** La importancia de una rigidez de correa adecuada

## 4.6 Coacción de las correas de cubierta y de fachada

Las correas de cubierta de acero conformado en frío resultan extremadamente eficientes a la hora de soportar cargas de flexión, pero podrían fallar por pandeo lateral si no disponen de las coacciones adecuadas. Un diseño económico y seguro de un cerramiento y la estructura secundaria depende de la interacción entre los componentes individuales que forman el sistema.

Las correas se seleccionan normalmente utilizando las tablas de carga y luz del fabricante, que se obtienen aplicando modelos analíticos respaldados por datos procedentes de ensayos. Para obtener dichas tablas, los fabricantes de correas deben estimar el grado de coacción que aporta el cerramiento cuando se encuentra sometido a cargas gravitatorias y a condiciones de levantamiento debido a la acción del viento. Dichas suposiciones resultan esenciales para el modelo de cálculo y pueden tener un efecto significativo sobre la resistencia de la correa. Por tanto, es fundamental que en la práctica se consiga un nivel igual o superior de coacción. Esto dependerá del sistema de cerramiento elegido y de la separación de los elementos de fijación.

Cuando existen cargas gravitatorias (o una presión positiva del viento, en el caso de las paredes), se coacciona directamente el ala superior de la correa por medio de la chapa interior o el panel aislante, tal como se muestra en la Figura 4.13(a). Los cerramientos de paneles compuestos y los paneles aislantes generalmente consiguen proporcionar una coacción lateral adecuada en este escenario. En términos generales, no se considera que las bandejas perforadas proporcionen coacción, por lo que las correas que lo soportan deberían diseñarse como elementos sin coacción.



- 1 Coacción lateral al ala comprimida proporcionada por el cerramiento
- 2 El cerramiento coacciona lateralmente el ala traccionada y proporciona una coacción torsional parcial

**Figura 4.13 Coacción de la correa**

En el caso del levantamiento debido a la acción del viento (o de que exista una presión negativa sobre una de las paredes), el cerramiento no puede proporcionar coacción lateral directamente sobre el ala comprimida. En este escenario, la correa se coacciona por medio de una combinación de coacción lateral del ala traccionada y de coacción torsional, tal como se muestra en la Figura 4.13(b). La capacidad de coacción del cerramiento no sólo depende de su rigidez frente a esfuerzos cortantes en el plano (incluyendo los asociados a los elementos de fijación), sino también de su rigidez a flexión. En la sección 10 de la norma EN 1993-1-3 se incluye un método de evaluación del grado de coacción que proporciona el cerramiento en este caso. A diferencia de lo que sucedía en el caso de las cargas gravitatorias, el cerramiento únicamente proporciona una coacción parcial a la correa. Por este motivo, la documentación técnica de los fabricantes de correas siempre debería indicar una capacidad inferior para aquellas correas de cubierta sometidas a cargas de levantamiento generadas por la acción del viento (o a una succión en las correas de fachada).

En la sección 10 de la norma EN 1993-1-3<sup>[Error! Marcador no definido.]</sup> se aborda el diseño de las correas, los perfiles-bandeja y las chapas.

## 5 ESTRUCTURA SECUNDARIA DE ACERO LAMINADO EN CALIENTE

Como alternativa al acero conformado en frío, las correas también pueden fabricarse a partir de perfiles de acero laminados en caliente. En su día, este tipo de correas era habitual en los edificios industriales, utilizado a menudo en combinación con cerchas de acero. El desarrollo de las correas conformadas en frío (considerablemente más ligeras y baratas) y la tendencia hacia el diseño de pórticos mediante análisis plástico (con sus exigentes requisitos de coacción) tuvieron como resultado que las correas laminadas en caliente cayeran en desuso en el Reino Unido e Irlanda. Sin embargo, éstas siguen empleándose en la Europa continental, frecuentemente junto con soluciones de cerramiento de grandes luces como los sistemas de chapa y membrana o los paneles compuestos. Resultan especialmente útiles a la hora de disponer un soporte intermedio para la chapa estructural en aquellos casos en los que la propia chapa no pueda abarcar el vano entre las vigas.

Las correas laminadas en caliente presentan una capacidad de carga mayor que la del resto de las correas, a excepción de las correas conformadas en frío de mayor tamaño. Esto significa que generalmente permiten vanos mucho mayores que sus homólogas conformadas en frío (habitualmente, 3 m o más). Esta amplia separación hace que no resulten adecuadas para pórticos diseñados mediante análisis plástico, en los que habitualmente se deben coaccionar las vigas a intervalos de aproximadamente 1,8 m. Sin embargo, pueden utilizarse en estructuras elásticas y también para salvar luces que queden fuera del alcance de las correas conformadas en frío convencionales (superiores a 8 m). Obviamente, las correas laminadas en caliente podrían utilizarse con separaciones más reducidas, pero esto resultaría más caro en la mayoría de los casos.

Una ventaja considerable de las correas laminadas en caliente con respecto a sus homólogas conformadas en frío es su resistencia al pandeo lateral, especialmente en aquellos casos en los que se emplean perfiles tubulares. Esta propiedad resulta fundamental cuando el cerramiento no es capaz de proporcionar una coacción adecuada frente al pandeo lateral. Por el contrario, las correas conformadas en frío son capaces de salvar luces de hasta 8 m gracias a la coacción continua que proporciona el cerramiento. Del mismo modo, cuando los reglamentos locales o nacionales prohíban utilizar el cerramiento para coaccionar la estructura, las correas laminadas en caliente constituyen la única alternativa para cubiertas que sólo se apoyen sobre las vigas. Por supuesto, a excepción de los perfiles tubulares de sección cuadrada, las correas laminadas en caliente no son inmunes al pandeo lateral, por lo que deben diseñarse teniendo en cuenta este posible modo de fallo.

A diferencia de las correas conformadas en frío, no es habitual que los fabricantes elaboren tablas de carga segura para las correas laminadas en caliente. Por este motivo, será necesario calcular sus capacidades según la norma EN 1993-1-1 [Error! Marcador no definido.], teniendo en cuenta la resistencia de la sección transversal, el pandeo lateral y las deformaciones. Este proceso deberá repetirse para los casos en los que existan cargas gravitatorias y cargas

de levantamiento. Si el pandeo lateral es la comprobación de diseño crítica, podría mejorarse la resistencia del elemento mediante la disposición de coacciones tubulares situadas en el punto medio de la luz o cada tercio de la luz de la correa. Sin embargo, esto supondrá un coste adicional para la estructura debido a la necesidad de disponer una estructura de acero adicional y al tiempo de montaje requerido.

Las correas laminadas en caliente pueden diseñarse como vigas simplemente apoyadas o como vigas continuas sobre dos vanos. La segunda opción aumentará significativamente la rigidez a flexión de la correa y debería utilizarse en aquellos casos en que los que el criterio determinante sea la deformación. Sin embargo, la importante reacción que se produce en el soporte intermedio (1,25 veces la carga correspondiente a una luz) puede provocar el fallo del alma en este punto. Generalmente no se utilizan manguitos con las correas laminadas en caliente.

Las correas laminadas en caliente presentan la ventaja añadida de que poseen una mayor resistencia al fuego que las correas de acero ligero conformadas en frío. Esto se pone de manifiesto a través del valor del factor de masividad (relación entre la sección transversal y el perímetro) inherente a estas correas, que es notablemente superior. Dicho factor se utiliza para definir la resistencia al fuego de un perfil estructural.

## REFERENCIAS

- <sup>1</sup> EN 14782:2006 Chapas metálicas autoportantes para recubrimiento y revestimiento de cubiertas y fachadas. Especificaciones y requisitos de producto
- <sup>2</sup> MCRMA Technical Paper No 12: *Fasteners for metal roof and wall cladding: Design, detailing and installation guide*  
The Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association, 2000
- <sup>3</sup> MCRMA Technical Paper No. 3: *Secret fix roofing design guide*.  
The Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association, 1999
- <sup>4</sup> MCRMA Technical Paper No. 6: *Profiled metal roofing design guide*  
The Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association, 2004
- <sup>5</sup> MCRMA Technical paper No. 16: *Guidance for the effective sealing of end lap details in metal roofing constructions*  
The Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association, 2004
- <sup>6</sup> ECCS Publication 41 European recommendations for steel construction: *Good practice in steel cladding and roofing*  
European Convention for Constructional Steelwork – Recommendations for steel construction Technical Committee TC7, 1983.
- <sup>7</sup> Directiva Europea 2002/91/EC: Eficiencia energética de los edificios  
Comisión Europea, 2002
- <sup>8</sup> MCRMA Technical paper No. 8: *Acoustic design guide for metal roof and wall cladding*.  
The Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association, 1994
- <sup>9</sup> EN 1991:2002: Eurocode 1 Acciones en estructuras
- <sup>10</sup> EN 1990: 2002: Eurocode Bases de cálculo de estructuras
- <sup>11</sup> EN 1993-1-3:2006: Eurocódigo 3 Proyecto de estructuras de acero. Reglas generales. Reglas para perfiles y chapas de paredes delgadas conformadas en frío.
- <sup>12</sup> EN 1993-1-1:2005: Eurocódigo 3 Proyecto de estructuras de acero. Reglas generales y reglas para edificios.