

# **STEEL BUILDINGS IN EUROPE**

**Edificios de Acero de una sola  
planta**

**Parte 1: Guía del Arquitecto**



**Edificios de Acero de una sola  
planta**  
**Parte 1: Guía del Arquitecto**



## PRÓLOGO

Esta publicación es la parte 1 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	i
RESUMEN	v
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 El acero como material de construcción	1
1.2 El acero en los edificios de una sola planta	7
2 VENTAJAS DE ELEGIR UNA ESTRUCTURA METÁLICA	9
2.1 Ligereza de la estructura	9
2.2 Dimensiones reducidas de los elementos constructivos	10
2.3 Reducido tiempo de ejecución	10
2.4 Flexibilidad en los usos	11
2.5 Una solución sostenible	12
3 MORFOLOGÍA DE LA ESTRUCTURA DE ACERO PRINCIPAL	14
3.1 Tipos de estructuras	14
3.2 Uniones entre vigas y pilares	28
4 CERRAMIENTOS	31
4.1 Tipos de cerramientos	32
4.2 Estructura secundaria	33
4.3 Cubiertas	33
5 SEGURIDAD EN CASO DE INCENDIO	36
6 GRÚAS	37
7 CONCLUSIONES	39
8 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA	40





## **RESUMEN**

En esta publicación se recoge una introducción para los arquitectos sobre el uso de acero en las estructuras de edificios de una sola planta. Generalmente estos edificios tienen un uso industrial, pero pueden tener otras muchas aplicaciones. Se recogen también las principales ventajas de usar acero en estas estructuras: bajas cargas, rapidez en los plazos de ejecución, pequeñas dimensiones de los elementos estructurales, flexibilidad, adaptabilidad y sostenibilidad. Se explican brevemente los tipos estructurales más comunes, sus cubiertas y fachadas. Es importante remarcar que los requisitos en caso de incendio son generalmente poco limitantes, ya que la evacuación suele ser rápida. También está brevemente referida la influencia en la estructura de añadir una grúa en el interior del edificio de una sola planta.



# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 El acero como material de construcción

Acero es sinónimo de arquitectura moderna. A lo largo del siglo XX este material ha inspirado a arquitectos e ingenieros, ya que combina resistencia y eficiencia junto con infinitas posibilidades de expresión arquitectónica y artística.

La clave del acero reside en su alta resistencia mecánica por kilogramo de material, lo que permite construir estructuras con vanos de grandes luces y capaces de soportar grandes cargas. El acero se presta a los prefabricados: se pueden crear estructuras completas en taller para posteriormente ser construidas in situ. Los edificios construidos con acero son muy versátiles, ya que sus estructuras son fácilmente modificables. Los costes son bajos, se trata de un material fácilmente reciclable y cuyas posibilidades estéticas y artísticas son muchas y variadas. Los proyectistas, fabricantes y constructores están continuamente rompiendo los límites establecidos en el cálculo de estructuras metálicas, tanto técnicamente como artísticamente. El acero tiene un papel crucial en la arquitectura moderna.

De forma resumida, se puede definir el acero como una aleación entre hierro y carbono, aunque sus propiedades pueden cambiarse y mejorarse introduciendo otros metales en la aleación o mediante el proceso de fabricación. Una vez fundido el material es laminado en forma de perfiles y chapas, y con estos simples productos se fabrican los elementos constructivos.

Existen muchas posibilidades de cálculo para las estructuras de edificios de una sola altura, pero no existen limitaciones en su diseño: es habitual desviarse de las normativas, ya que el acero se presta a soluciones innovadoras y creativas. La arquitectura moderna, incluso la de edificios de una única altura, está plagada de ejemplos con soluciones estructurales difíciles de categorizar. Estas no tienen porqué ser utilitarias, y pueden estar formadas por arcos o estructuras metálicas de gran expresividad artística. Aunque en general son económicamente más rentables las soluciones estándar, las estructuras metálicas ofrecen mucha versatilidad a la hora de proyectar y encontrar soluciones arquitectónicamente innovadoras. Algunos ejemplos de soluciones originales en estructuras metálicas se muestran a continuación en las Figura 1.1 a Figura 1.5.



**Figura 1.1 Estructura de una sola planta con cubierta curva**



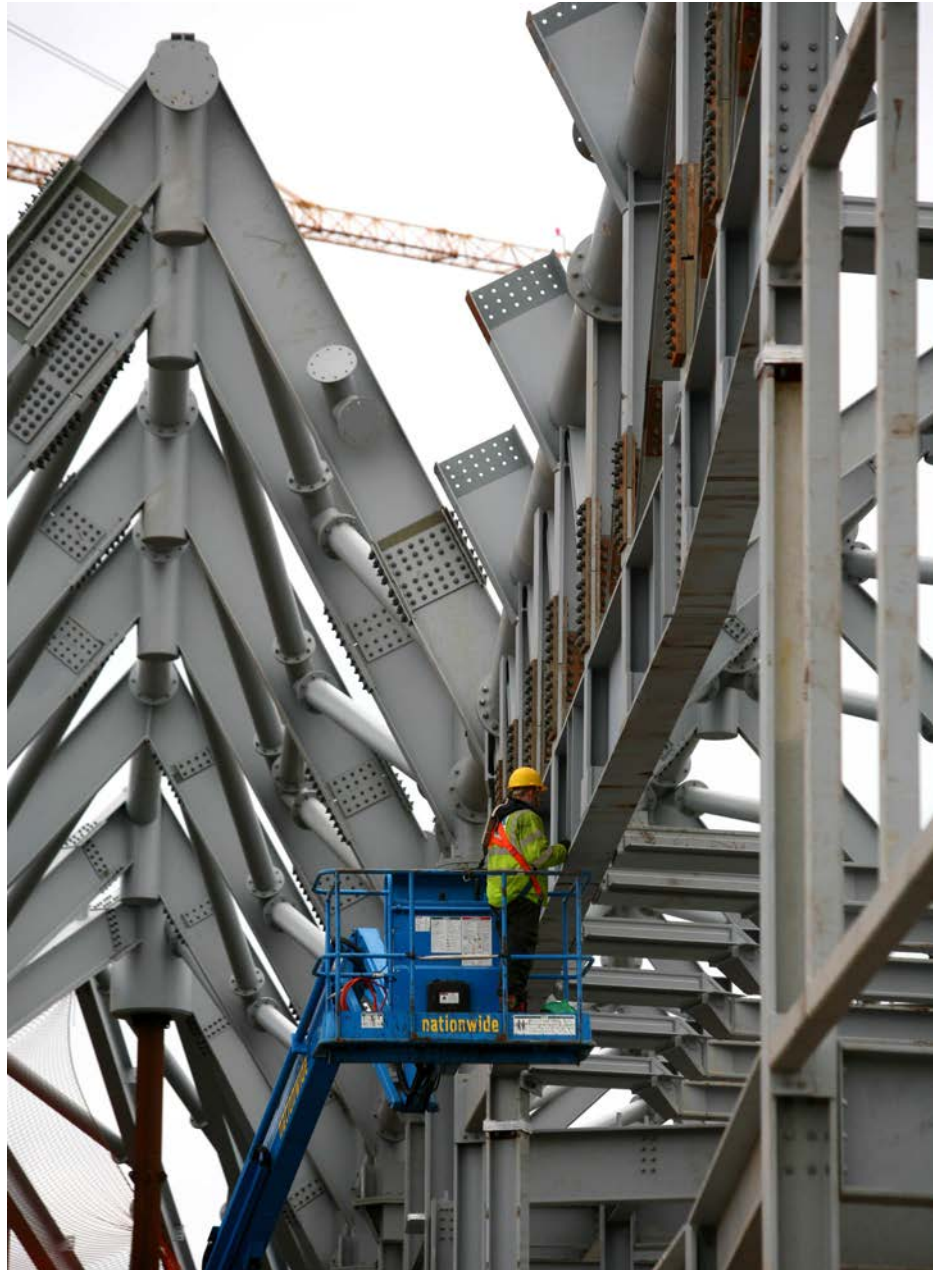
**Figura 1.2 Nave de una sola planta con celosía en el exterior.**



**Figura 1.3 Estructura metálica curva de una sola planta para una galería de arte**

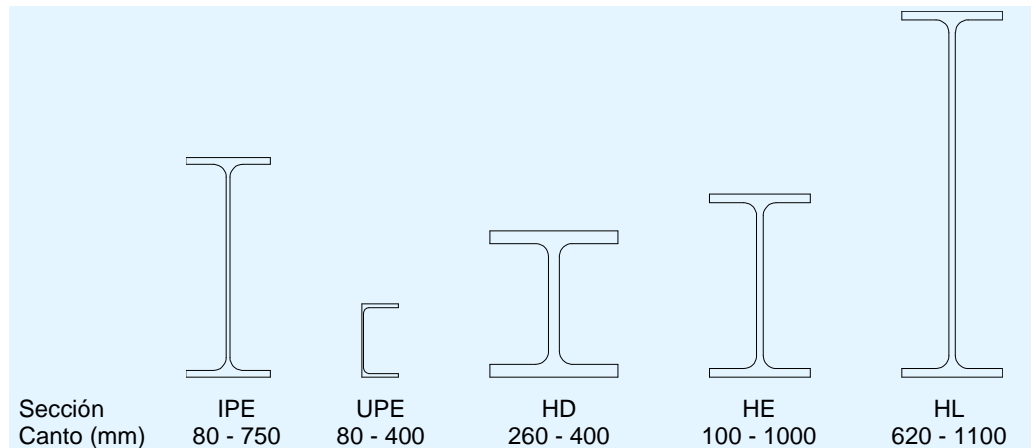


**Figura 1.4 Edificio industrial moderno con cubierta curva de acero.**



**Figura 1.5 Cubierta metálica de un museo de transporte**

En las estructuras metálicas de acero, normalmente se utilizan perfiles laminados en caliente: para fabricar dichos perfiles, se calienta el acero y se hace pasar por una serie de trenes de laminación compuestos por varios rodillos que van dando forma al material, alargándolo y reduciendo gradualmente su sección transversal. El producto final está estandarizado, tal y como muestran las secciones transversales más usuales en la Figura 1.6.



**Figura 1.6** Perfiles laminados en caliente más usuales

Para construir estructuras con vanos de grandes luces, se pueden fabricar vigas u otros elementos estructurales a partir de perfiles laminados en caliente y chapas, que se ensamblan en variadas y complejas geometrías. Los perfiles laminados en caliente pueden curvarse después de su fabricación, utilizando equipos de doblado, o pueden transformarse en secciones aligeradas o alveolares utilizando varios métodos, algunos de los cuales dividen la viga en dos, de manera que las dos partes pueden ser soldadas como una única viga de canto mayor, aumentando su resistencia de manera que pueden ser utilizadas para mayores luces.

Para formar secciones más ligeras se doblan chapas delgadas de acero en forma de C o Z. Normalmente este proceso se realiza en un laminado en frío (para secciones estándar) o utilizando una dobladora (para secciones especiales). Los perfiles estructurales más habituales con espesores comprendidos entre los 80 mm y los 350 mm se muestran en la Figura 1.7, y son particularmente apropiados para las correas de cubiertas y correas de fachadas, para estructuras metálicas ligeras y como elementos de sujeción de las paredes interiores.

Las chapas delgadas de acero que se utilizan en cubiertas y fachadas (ver perfiles más habituales en la Figura 1.8), así como las chapas que se emplean en forjados colaborantes, se fabrican mediante un proceso de laminación en frío.

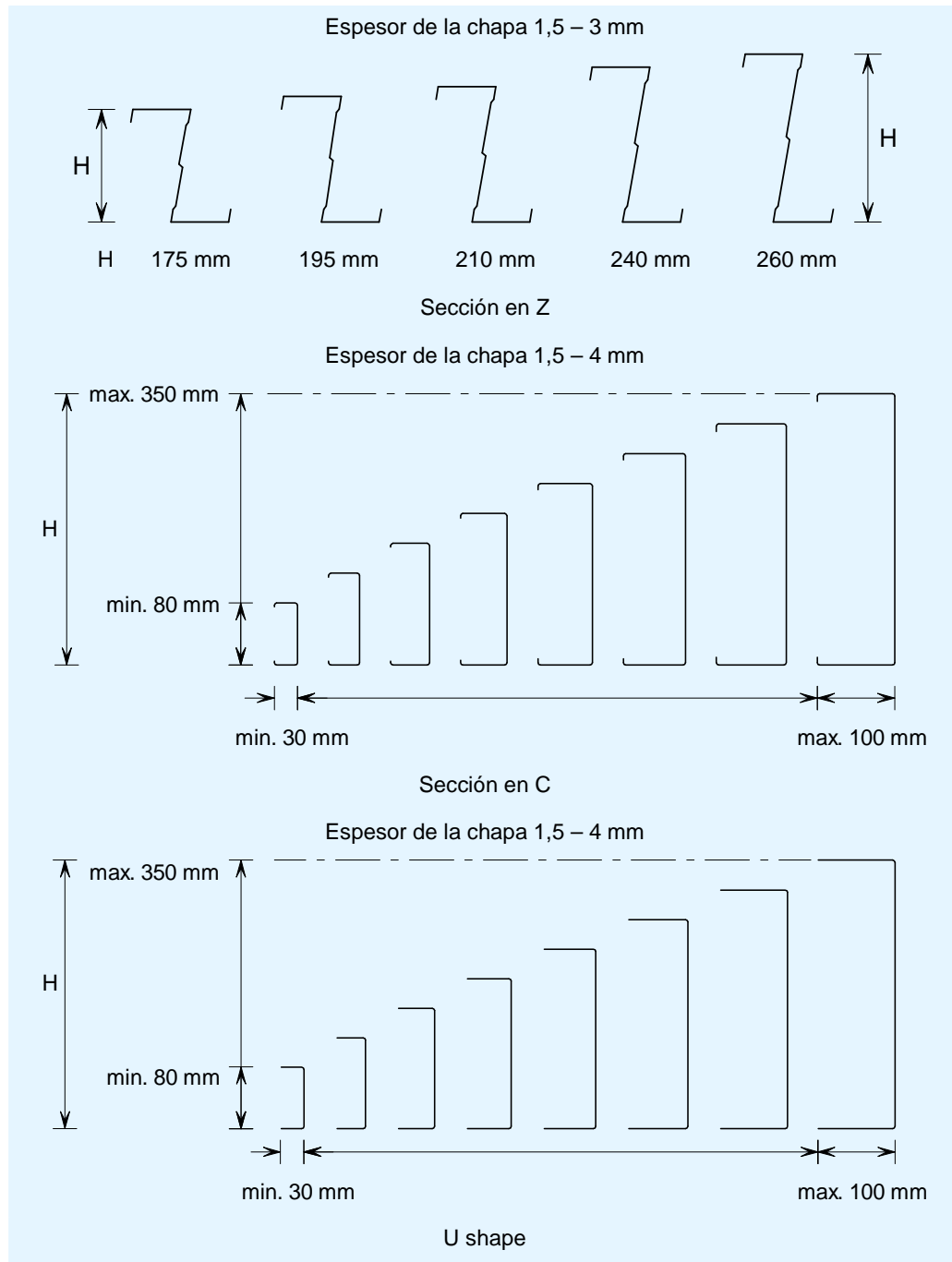
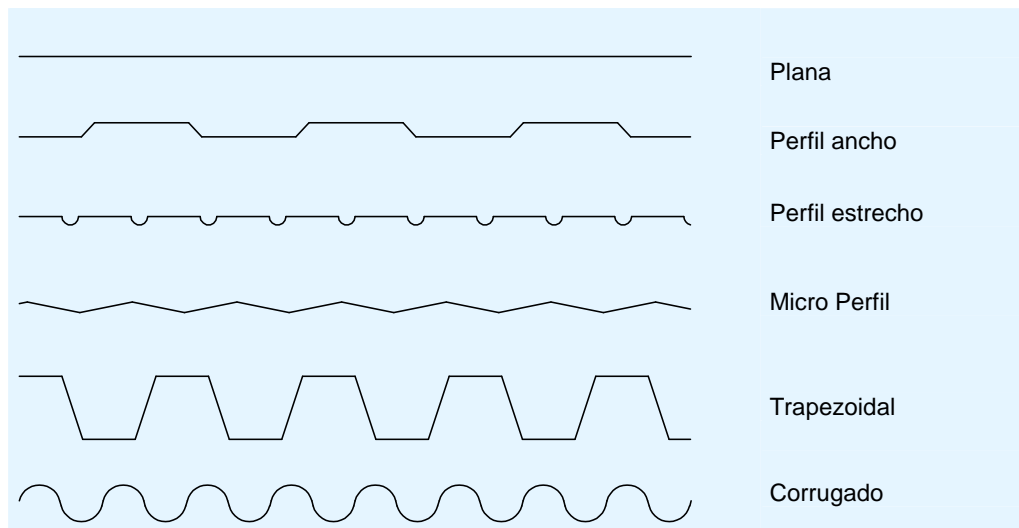


Figura 1.7 Secciones laminadas en frío más habituales





**Figura 1.8** Perfiles más habituales para cubiertas y fachadas

Para unir o acoplar diferentes elementos de acero se pueden utilizar muchos métodos y técnicas, siendo los más habituales la soldadura o las uniones atornilladas; el diseño de las uniones es muy importante en cualquier proyecto. Las uniones pueden ser tanto altamente estandarizadas como específicamente diseñadas para satisfacer las necesidades de una geometría compleja. En las estructuras metálicas singulares las uniones se convierten en elementos arquitectónicos de entidad.

## 1.2 El acero en los edificios de una sola planta

Un edificio de acero para uso comercial, industrial o rural es normalmente de una sola planta, ya sea con pórticos de un vano o de varios. Tanto la anchura como la longitud del edificio son significativamente superiores a su altura. Son edificios utilizados como almacenes, centros de distribución, locales de venta al público, espacios de exhibición, polideportivos y una gran variedad de usos comerciales.

Cada tipo de edificios tiene necesidades específicas respecto a la distribución interna del espacio, aunque en la mayoría de ellos es necesario un espacio sin pilares intermedios o con los mínimos posibles. Normalmente cada estructura está diseñada para satisfacer las necesidades del futuro uso que se le va a dar. En el caso de fábricas y almacenes se priman los bajos costes y la versatilidad a costa de la estética de la estructura. En otro tipo de edificios, sin embargo, la apariencia exterior de la estructura es muy importante, pudiendo esta dar lugar a estructuras atractivas arquitectónicamente hablando.

Los edificios diseñados de forma que pueden ser modificados o ampliados, son mucho más valorados, ya que es posible adaptarlos para otros usos en el futuro. La capacidad de reutilización de un edificio para nuevos usos, es uno de los factores más importantes a la hora de decidir si se renueva o se reconstruye.

De acuerdo a la función a que esté destinado el edificio, el proyectista definirá la distribución básica de la estructura. El ingeniero estructural podrá elegir

entre una gran variedad de soluciones, pórticos rígidos, cerchas, celosías, arcos, etc. Estas soluciones pueden dar lugar a todo tipo de estructuras desde las más económicas y funcionales hasta las más innovadoras y estéticamente significativas.

## 2 VENTAJAS DE ELEGIR UNA ESTRUCTURA METÁLICA

Los edificios industriales o comerciales de una sola planta, en su mayoría, están contruidos con una estructura metálica, lo que es en si mismo una prueba de lo beneficiosa que es una solución en acero en términos de costes y efectividad. Arquitectos e ingenieros utilizan el acero como una solución económica y con la que pueden conseguir:

- ligereza de la estructura
- dimensiones reducidas de los elementos constructivos
- reducir el tiempo de ejecución
- flexibilidad en los usos
- una solución sostenible

### 2.1 Ligereza de la estructura

Una estructura metálica, en comparación con las estructuras de mampostería u hormigón armado, es relativamente ligera. Esta ventaja del acero sobre otros materiales se traduce en un menor tamaño de las cimentaciones, de la estructura, y por tanto una reducción del material a transportar. La posibilidad de prefabricar la estructura o partes de la misma, e incluso montarla, reduce el transporte, las actividades que se deben ejecutar a pie de obra y el impacto ambiental.



**Figura 2.1** El reducido peso propio de las estructuras de acero, minimiza el transporte de material a pie de obra

## 2.2 Dimensiones reducidas de los elementos constructivos

La construcción con acero permite levantar estructuras con luces relativamente grandes con cantos de viga reducidos. La clásica solución estructural consistente en una fachada aislada exterior, soportada por una estructura secundaria de acero, es una solución muy desarrollada, optimizada y comprobada a lo largo de los años, lo que conduce a una solución económicamente eficiente.

Para cubiertas inclinadas o cubiertas planas de pequeñas luces, los cantos necesarios en las vigas de la cubierta pueden ser del orden de 1/40 veces la luz entre columnas. En el caso de una estructura con múltiples vanos y por tanto pilares intermedios, pueden utilizarse vigas de poco canto o puede optarse por una solución con pilares cada dos (o tres) pórticos para maximizar la amplitud interior del edificio y la flexibilidad. Se puede optar por una solución en que la estructura metálica secundaria, que soporta la fachada exterior, sea muy esbelta (tal y como se muestra en la Figura 2.2), para permitir la máxima iluminación natural.



**Figura 2.2** Las construcciones esbeltas ocupan menos espacio, permitiendo construir edificios transparentes.

## 2.3 Reducido tiempo de ejecución

Los elementos que forman la estructura de acero son prefabricados en fábrica o en taller por un contratista, que incluso les aplica los tratamientos superficiales necesarios. Los trabajos realizados a pie de obra son, básicamente, los de montaje, atornillando o soldado de las uniones pertinentes, lo que se traduce en breves tiempos de ejecución. La construcción de la estructura metálica se realiza rápidamente, permitiendo que las posteriores fases del proyecto comiencen a ejecutarse.

Hoy en día, la prefabricación se realiza con máquinas de gran precisión que utilizan el control numérico partiendo de modelos tridimensionales de toda la estructura. Por todo esto los productos fabricados son muy exactos y las

modificaciones a pie de obra son ocasionales. Los modelos tridimensionales pueden ser utilizados en otras fases del proyecto, como por ejemplo las subcontratas encargadas de las fachadas y cubiertas, la electrificación o servicios auxiliares. De esta manera se integran todas las actuaciones de forma global en la estructura y el proyecto, antes de que el edificio comience a construirse. Todas estas herramientas contribuyen a reducir los tiempos de proyecto y obra.



**Figura 2.3 El montaje y ensamblado de los elementos prefabricados es rápido y sencillo**

## **2.4 Flexibilidad en los usos**

Una estructura de acero/metálica es a la vez flexible y versátil, diseñar con acero no se limita retículas y elementos rectos, sino que es posible construir impresionantes figuras arquitectónicas, tal y como se muestra en la Figura 2.4.

Gracias al control numérico que se emplea en los procesos de fabricación, hoy en día es posible diseñar y producir elementos con casi cualquier geometría deseada. En la mayoría de los casos, una estructura de planta irregular o compuesta por elementos curvos es elaborada casi con la misma facilidad que una de diseño rectilíneo, aunque existan sobrecostos debido a la complejidad del proceso de producción.



**Figura 2.4 Impresionante estructura metálica**

Los edificios también se pueden diseñar y construir teniendo en cuenta que pueden sufrir cambios en el futuro (uso, ampliaciones, etc.). En las naves o edificios que carecen de columnas en su interior se puede modificar su distribución fácilmente, lo que es posible que ocurra numerosas veces a lo largo de la vida útil del edificio. La estructura puede ser modificada, ampliada o reforzada. La posibilidad de ampliación así como los detalles constructivos que lo permiten, pueden contemplarse en el diseño y proyecto constructivo inicial. Se pueden renovar, rehabilitar o modificar las fachadas y cubiertas. De manera que los futuros dueños o usuarios de un edificio de estructura metálica pueden adaptarlo a sus necesidades fácilmente.

## **2.5 Una solución sostenible**

El acero es el material reciclado por excelencia, se puede reciclar infinidad de veces sin perder ninguna de sus propiedades mecánicas ni su calidad. Una parte significativa de acero reciclado es utilizado en el proceso de fabricación de nuevos productos de acero, es por esto que la chatarra tiene valor comercial. La Figura 2.5 muestra chatarra lista para ser reciclada en nuevos productos de acero.

Los componentes de las estructuras metálicas se fabrican en un ambiente controlado que minimiza la generación de residuos (los recortes se reciclan como chatarra). Dado que los trabajos a pie de obra son básicamente de montaje, raras veces se generan residuos.

Las estructuras de acero pueden desmontarse dado que suelen estar formadas por un esqueleto estructural atornillado. Los componentes (vigas pilares, etc.) pueden ser reutilizados en otras estructuras – los pórticos y otras estructuras similares son frecuentemente desmantelados y utilizados en otras ubicaciones.



**Figura 2.5** Las nuevas tecnologías de producción de acero reciclan chatarra

### 3 MORFOLOGÍA DE LA ESTRUCTURA DE ACERO PRINCIPAL

Las naves industriales, o los edificios de una altura, generalmente se construyen con una fachada exterior sustentada, en la mayoría de los casos, por elementos secundarios de acero de pequeña luz (correas), sustentados a su vez por la estructura principal. En este apartado se describen las diferentes soluciones estructurales que pueden considerarse y se explican brevemente los perfiles estructurales que pueden utilizarse.

#### 3.1 Tipos de estructuras

Para naves industriales o edificios de una única altura, existen cuatro configuraciones básicas estructurales que proporcionan un espacio interior sin pilares intermedios:

- Estructuras rígidas (pórticos rígidos y celosías rígidas)
- Estructuras articuladas de vigas y pilares
- Cubiertas sustentadas por tirantes
- Cubiertas en Arco

Para las tres primeras configuraciones, el proyectista tiene la opción de utilizar una cubierta plana o inclinada.

Las luces más típicas, y las relaciones luz/canto, para los elementos principales en pórticos rígidos y estructuras articuladas se muestran en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1 Luces (L) más habituales y cantos de las vigas principales para estructuras de una sola altura**

Tipo de estructura	Canto de la clave	Rango de luces habituales
Estructuras articuladas		
Viga sencilla	L/30 - L/40	Aproximadamente hasta 20 m
Viga soldada	L/20 - L/25	Aproximadamente hasta 30 m
Viga alveolar	L/20 a L/60	Aproximadamente hasta 45 m
Cercha a dos aguas	L/5 a L/10	Aproximadamente hasta 20 m
Cercha plana	L/15 a L/20	Aproximadamente hasta 100 m
Pórticos rígidos		
Pórtico	L/60	15 m – 45 m
Cercha plana	L/15 - L/20	Aproximadamente hasta 100 m



### 3.1.1 Estructuras Rígidas

Las estructuras rígidas se consiguen a través de uniones rígidas (que resisten momento flector) entre las vigas o cerchas y los pilares. Esta estructura rígida es más eficiente a la hora de resistir cargas que una estructura simplemente apoyada con uniones articuladas. Además es capaz de resistir los esfuerzos transversales debidos al viento. Debido a que estas estructuras son autoportantes en el plano de la estructura, el arriostramiento es reducido, si se compara con el de las estructuras de uniones articuladas.

Las estructuras rígidas, básicamente, pueden ser de dos tipos: pórticos o celosías.

#### Pórticos

En los pórticos suelen utilizarse perfiles en I laminados en caliente para las vigas y columnas, aunque para pequeñas luces, podrían utilizarse perfiles conformados en frío. Los pórticos pueden elaborarse de infinidad de formas y tamaños, tanto para cubiertas planas como a dos aguas.

En la Figura 3.1 se muestra una configuración típica. La cubierta y las fachadas se sustentan en correas situadas entre los pórticos. No es necesario arriostrar en cada pórtico, pero es necesario situar riostras al menos en uno de los vanos entre dos pórticos para transmitir las cargas longitudinales (transversales a los pórticos), a los laterales y por lo tanto al terreno.

En algunos proyectos especiales, las fachadas y cubiertas pueden ser utilizadas como sistema de arriostramiento, a esto se le conoce como diseño de envoltente tensionado. El cálculo de las fachadas y las uniones a la estructura es responsabilidad del ingeniero de estructuras. De todos modos, en la mayoría de los casos el arriostramiento no se incorpora en la envoltente.

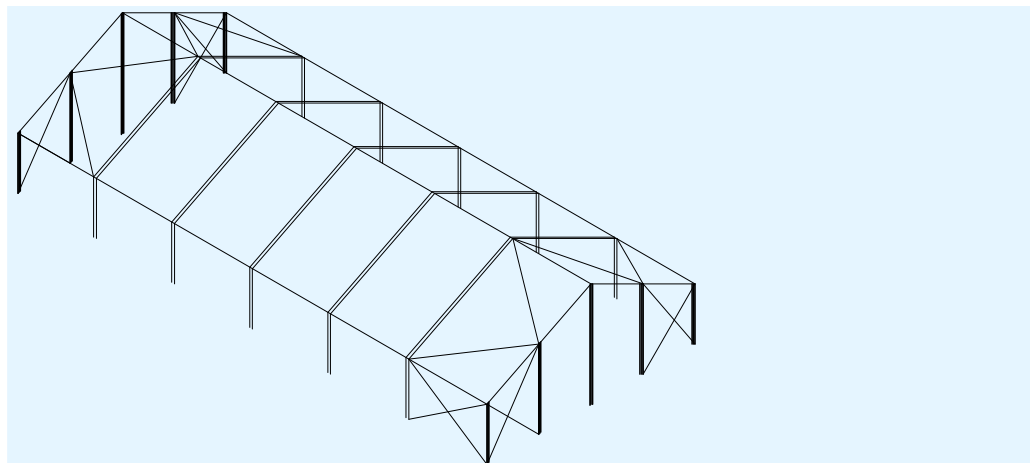
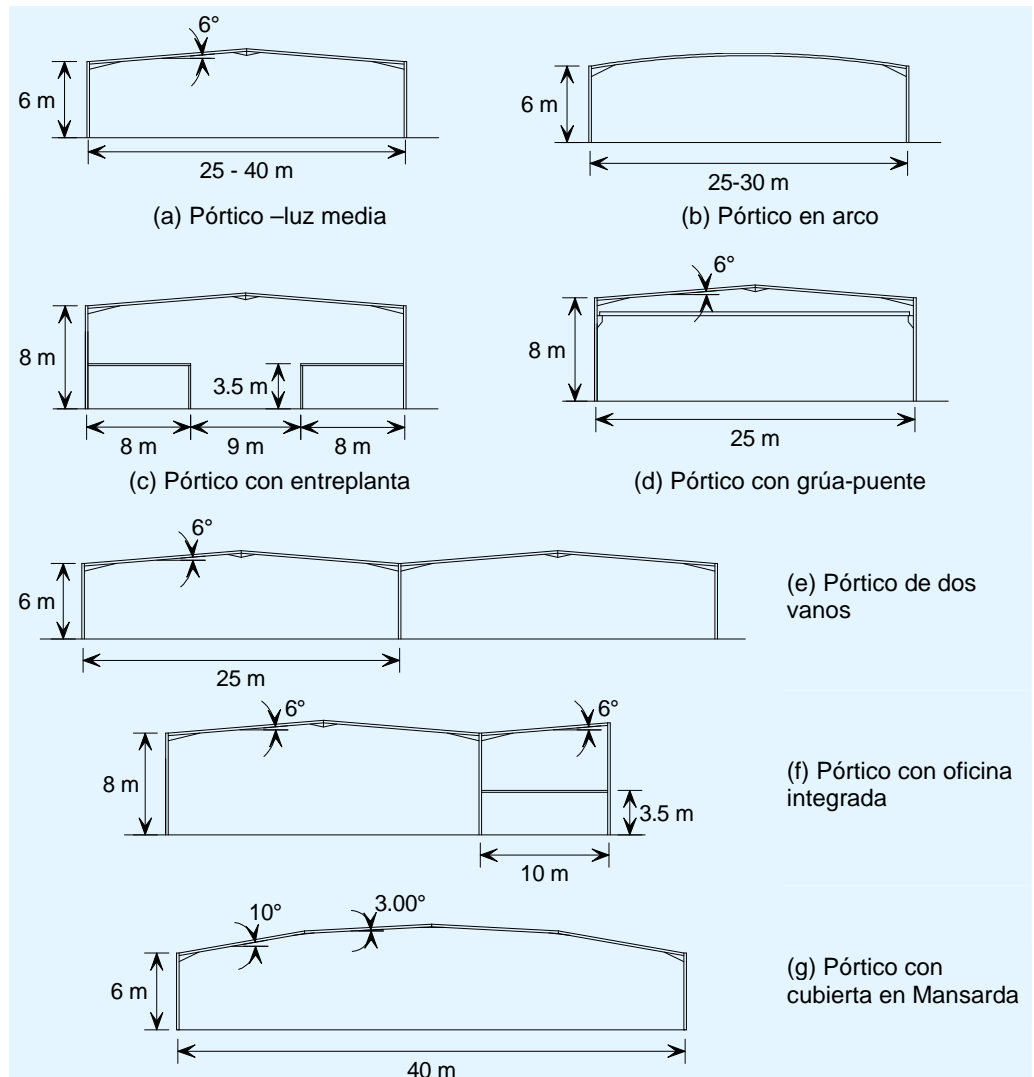


Figura 3.1 Configuración más habitual de pórtico



**Figura 3.2 Configuraciones de pórticos**

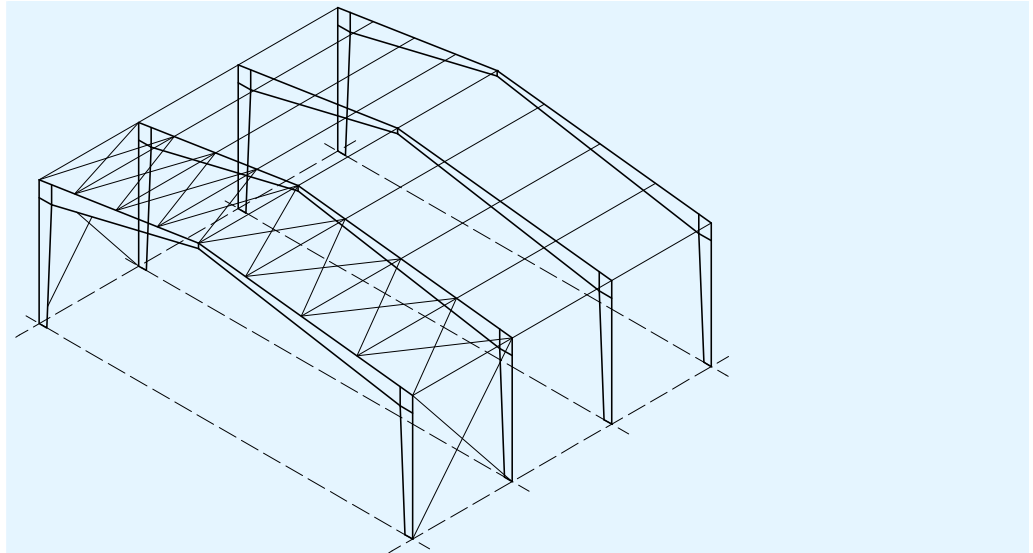
Normalmente los pórticos están compuestos por vigas rectas, tal y como se muestra en la Figura 3.3. En el caso de los pórticos-arco Figura 3.4 se siguen exactamente los mismo principios de cálculo. En ambos casos, la unión viga – pilar (hombro) es considerable, y generalmente acartelada. La cartela debe tenerse en cuenta a la hora de considerar los requisitos de altura.



**Figura 3.3** Pórtico con cubierta a dos aguas



**Figura 3.4** Pórtico con cubierta curva



**Figura 3.5** Típica disposición arriostramiento de cubierta y fachada (con cruces de San Andrés) en estructuras porticadas

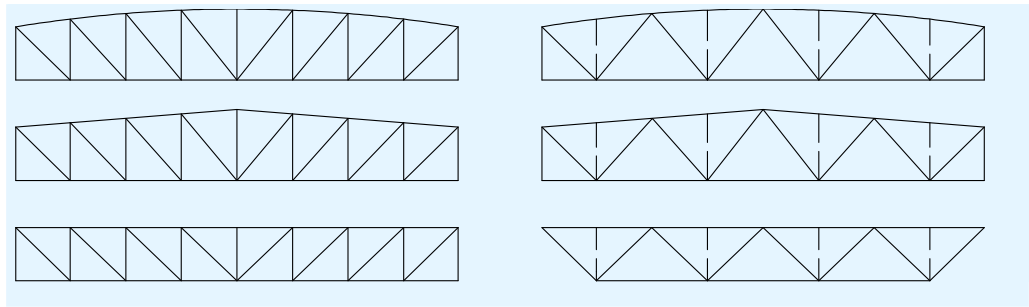
En la mayoría de los casos las vigas (y posiblemente los pilares) necesitarán arriostramiento local, tal y como se muestra en la Figura 3.6. En algunos países se exige verificar adecuadamente los cálculos cuando se usa este tipo de refuerzo, para asegurar que las correas están alineadas con el arriostramiento de la cubierta. La ubicación de estas riostras la definirá el calculista.



**Figura 3.6** Estabilizadores del ala inferior en viga de cubierta

### **Cerchas rígidas**

En el caso de cerchas planas, los cordones superior e inferior se pueden conectar fácilmente a los pilares, creando así una estructura rígida. Para vanos de grandes luces, las cerchas suponen una alternativa eficiente y económica. La Figura 3.7 muestra las cerchas planas más habituales, mientras que en la Figura 3.8 se muestra una cubierta con cerchas.

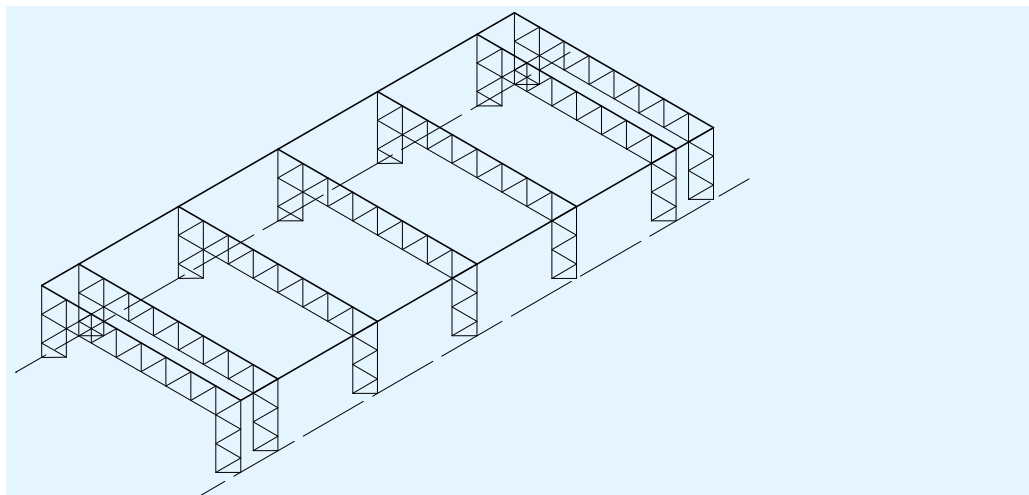


**Figura 3.7 Geometrías de cerchas más habituales**



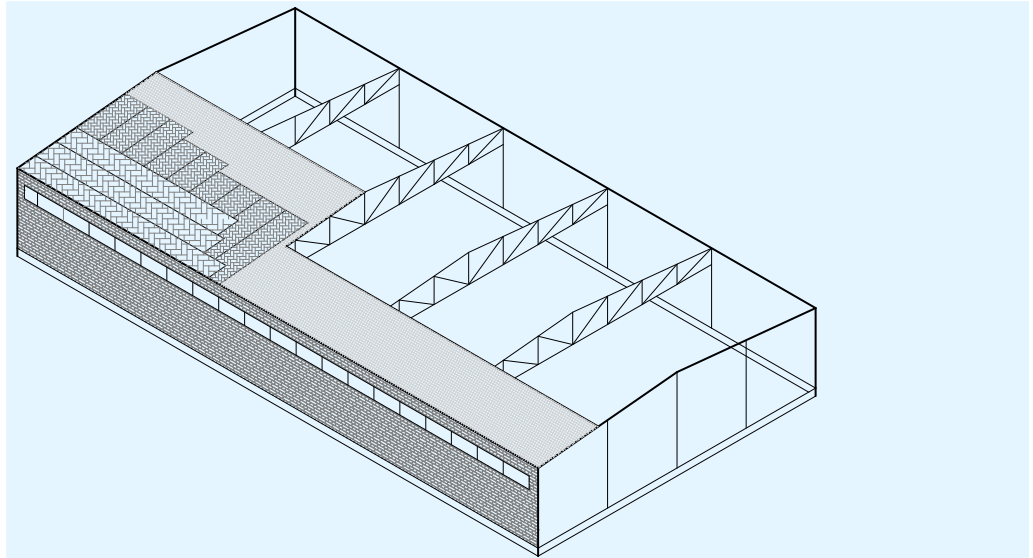
**Figura 3.8 Estructura compuesta por cerchas planas rígidas (tipo Pratt)**

En ocasiones los pilares también están formados por una celosía, en este caso la estructura general es la mostrada en la Figure 3.9.



**Figure 3.9 Estructura rígida con cerchas planas y pilares en celosía**

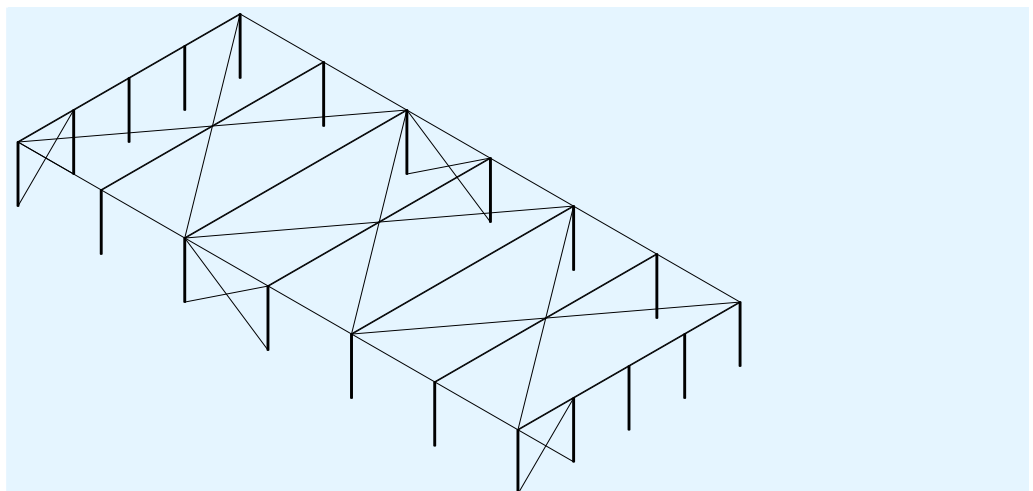
La estabilidad transversal del cordón superior en las cerchas, normalmente viene dada por las correas (y por paneles arriostrados, al igual que en los pórticos), aunque en el caso de utilizar diseño de envolvente tensionado el arriostramiento no será necesario tal y como se muestra en la Figura 3.10.



**Figura 3.10** Cubierta calculada con stressed skin es una estructura rígida de cerchas

### 3.1.2 Estructuras articuladas de vigas y pilares

En una estructura de uniones articuladas, la configuración básica consiste en una serie de vigas paralelas, cada una de ellas apoyadas sobre pilares en sus extremos. Los nudos viga-pilar (hombro) deben ser articulados (flexibles). Es necesario arriostrar en cubierta, para transmitir los esfuerzos horizontales debidos al viento a las paredes laterales y extremas, que también deberán estar arriostradas para transmitir dichas cargas a las cimentaciones. (En algunos países se permite que las cubiertas actúen como arriostramiento, lo que se denomina envolvente tensionada, suprimiendo la necesidad de utilizar riostras). Una configuración habitual se puede observar en la Figura 3.11.



**Figura 3.11** Configuración habitual de estructura a base de vigas y pilares articulados

Las vigas pueden ser de varios tipos:

- Secciones laminadas en caliente (perfiles en I)
- Vigas armadas
- Vigas aligeradas o alveolares
- Cerchas

### Perfiles en I laminados en caliente

El tipo de perfil más utilizado en estructuras de vigas y pilares articulados, para ambos elementos, es la sección en I laminada en caliente. Estas secciones se producen de acuerdo a los estándares internacionales, por lo que hay disponibles catálogos y prontuarios disponibles para facilitar la selección del tamaño de la sección en función de las cargas aplicadas. Los tamaños más habituales están disponibles en los distribuidores y pueden servirse bajo pedido en muy cortos plazos de tiempo.

Las secciones de mayor canto y relativamente menores alas, son las preferidas para vigas, tal y como se muestra en la Figura 3.12, ya que resisten principalmente esfuerzos de flexión. Los pilares en cambio, resisten principalmente compresión y por ello suelen ser secciones más robustas y de alas mayores.

La relación luz/canto en vigas normalmente está dentro del rango 30-40 para vanos de hasta 20 m.



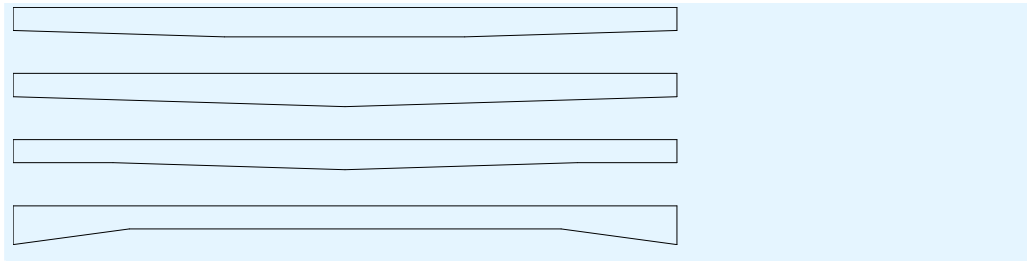
**Figura 3.12 Estructura de vigas y pilares articulados**

### Vigas armadas

Se trata de vigas armadas de sección en I construidas a partir de dos chapas, que hacen la función de alas, soldadas a otra chapa que hace la función de alma. Se recurre a este tipo de solución cuando los perfiles I o H estándar no son adecuados. Se elige una geometría y dimensiones de la sección para que resista las cargas de diseño establecidas (momentos flectores, axiles y cortantes). Estas secciones pueden diseñarse con perfiles que se adecuen a las necesidades, tal y como muestra la Figura 3.13.

El ratio Luz/canto es del orden de 20-25 para luces hasta 30 m.

Otra alternativa a la que se recurre para vanos mayores, es a reducir el espesor del alma utilizando chapas corrugadas. De esta manera el ratio Luz/Canto es de 30-40 para luces hasta 100 m.



**Figura 3.13 Geometría de vigas armadas**

En general, las vigas armadas son más caras que los perfiles estándar laminados en caliente.

### Vigas con el alma perforada (alveolares)

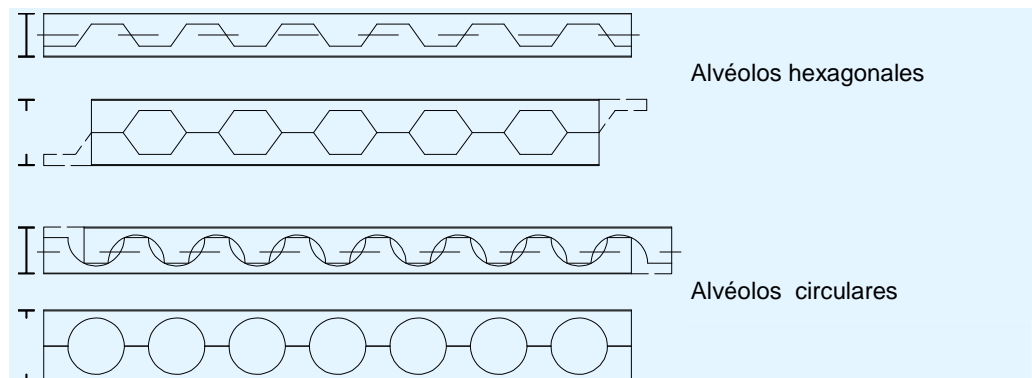
Debido a que las vigas soportan cargas uniformemente repartidas relativamente ligeras, las vigas que salvan grandes vanos pueden ser secciones con el alma perforada (aligeradas o alveolares). Históricamente, la primera viga de este tipo fue la viga alveolar, con alvéolos hexagonales. Hoy en día las vigas con alvéolos circulares son muy comunes.

En ambos casos, la viga se fabrica a partir de una sección laminada en I que se divide por la mitad, de acuerdo a la geometría especificada, y soldando posteriormente las dos mitades. Este proceso se ilustra en la Figura 3.14. La mayor ventaja de este tipo de vigas es la reducción del peso propio: aproximadamente de un 30% respecto de una viga con el alma completa capaz de resistir las mismas cargas y salvar los mismos vanos.

En la Figura 3.15 se muestra un ejemplo de uso de vigas alveolares con alvéolos circulares.

Las vigas alveolares no son adecuadas para grandes cargas concentradas.

El ratio Luz/canto suele ser del orden de 30 para luces hasta 50 m.



**Figura 3.14 Proceso de fabricación de las vigas alveolares**





**Figura 3.15 Vigas alveolares con alvéolos circulares**

### **Cerchas**

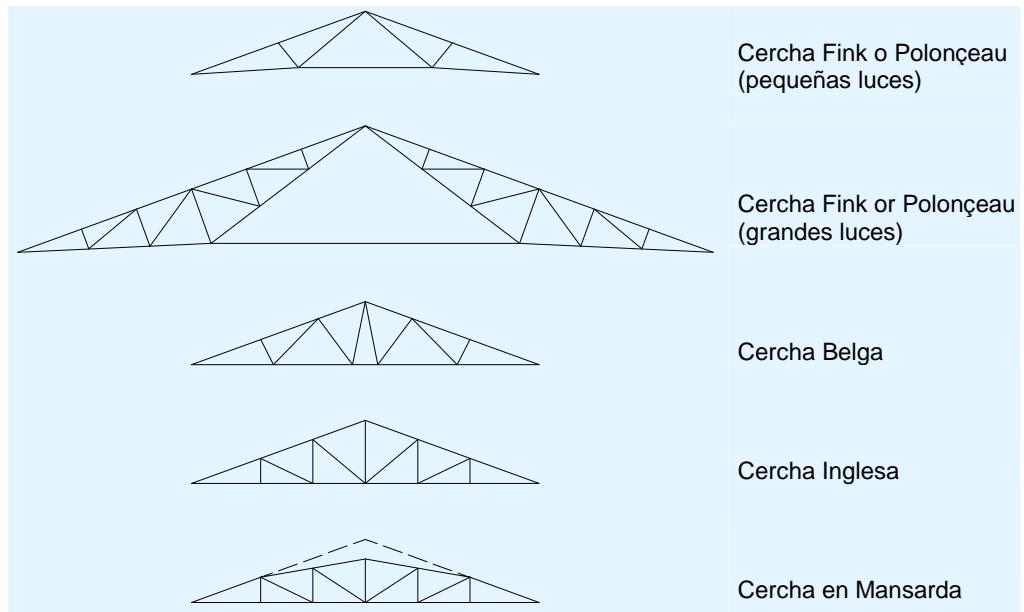
Las cerchas están constituidas por elementos lineales ensamblados en forma triángular. Básicamente existen dos configuraciones, de canto variable (en cubiertas inclinadas) o de canto constante (en cubiertas planas).

#### *Cerchas de canto variable (cubiertas inclinadas)*

Tal y como muestra la Figura 3.16 existe una gran variedad de cerchas de este tipo.

Las cerchas mostradas en la Figura 3.16, normalmente, están fabricadas a partir de secciones en T o de secciones angulares, y se utilizan para crear cubiertas inclinadas. El gran espacio (normalmente no aprovechado) entre ambas partes de la cercha puede considerarse una desventaja, ya que es espacio que es necesario climatizar y eleva la altura total del edificio, pero se trata de una solución económicamente rentable para vanos modestos y que permite utilizar dicho espacio para el paso de instalaciones.

Debido a que las cerchas se utilizan en cubiertas inclinadas, el ratio Luz/Canto es del orden de 5 a 10 para luces de hasta 20 m



**Figura 3.16 Tipos de cerchas de canto variable**

### *Cerchas de canto constante*

Las cerchas planas se utilizan principalmente en estructuras rígidas (explicación en la sección 0), aunque también se utilizan en estructuras con uniones articuladas, tal y como muestra el ejemplo de la Figura 3.17.



**Figura 3.17 Cercha plana en una estructura con nudos articulados**

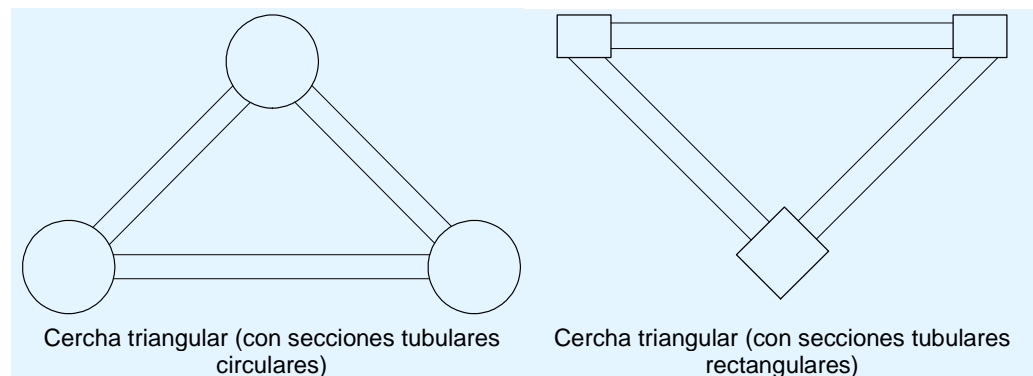
En general, las cerchas tienen un canto mayor que un perfil laminado o una viga armada. La flecha que experimenta una cercha es mínima y puede controlarse, por lo que las cerchas son específicamente adecuadas cuando las cargas de cubierta son significativas, o si se trata de una cubierta plana o casi plana. El incremento de canto en las cerchas supone un incremento en la superficie de fachada, aunque también proporciona espacio para albergar las diferentes instalaciones del edificio en el tejado de la estructura en lugar de en bajo el mismo.

El peso propio de una cubierta diseñada con cerchas por unidad de superficie, en general, es menor que el de una cubierta construida a partir de vigas armadas, aunque los costes de fabricación/construcción son mayores. Las cerchas pueden ser vistas una vez completada la estructura, lo que puede conllevar un incremento en el coste si se recurre al uso de perfiles tubulares.

El ratio Luz/Canto en cerchas planas, es del orden de 15 a 20 para vanos hasta 100 m.

Las cerchas son, en general, estructuras planas que necesitan arriostramiento para garantizar la estabilidad. Como alternativa se puede recurrir a cerchas en tres dimensiones tal y como se muestra en la Figura 3.18 (secciones transversales) y Figure 3.19. Este tipo de geometría es, normalmente, más cara de construir, debido a la complejidad de las uniones entre sus elementos.

El ratio Luz/Canto para estructuras/cerchas tridimensionales es del orden de 16 a 20 para vanos superiores a 50 m.



**Figura 3.18 Cerchas tridimensionales triangulares**



**Figure 3.19 Cercha tridimensional sustentando una cubierta**

### 3.1.3 Cubiertas atirantadas

En las estructuras atirantadas, los tirantes (ya sean cables o barras) son los encargados de sustentar los elementos de la estructura, cómo las vigas de cubierta, permitiendo que dichos elementos tengan una sección reducida. Los tirantes deben estar sustentos a pilares o mástiles, que a su vez deben estar anclados o sustentados con otros tirantes (retenida). La geometría de los tirantes puede ser muy compleja, y las consideraciones estéticas se deben de tener en cuenta. En la Figura 3.20 se muestra un ejemplo de cubierta atirantada.

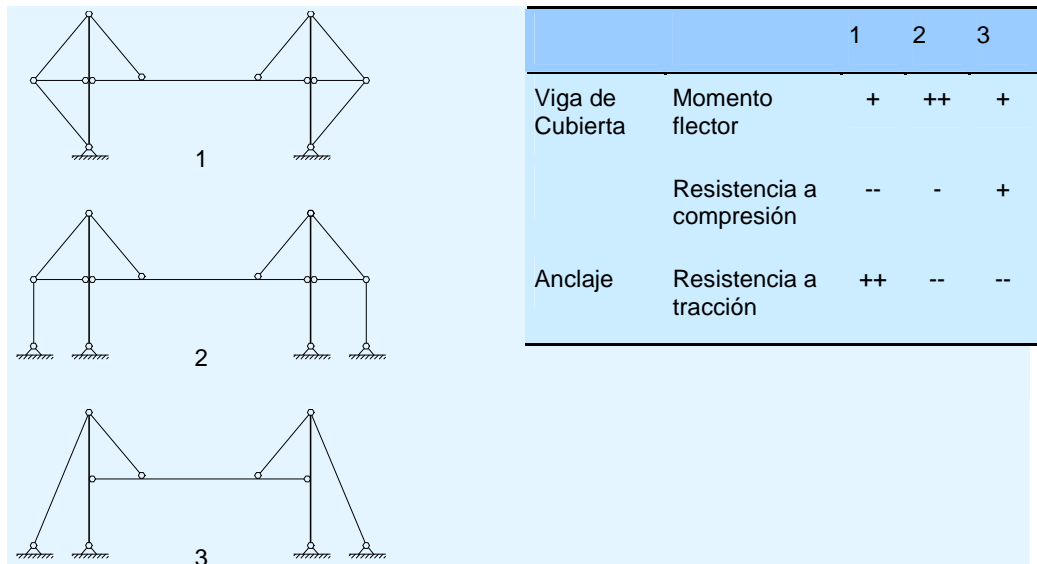


**Figura 3.20** Cubierta y estructura atirantada de un almacén

Otras configuraciones alternativas de edificios con cubiertas planas se muestran en la Figure 3.21.

Las estructuras sustentadas por tirantes son rentables para vanos de luces comprendidas entre los 30 y los 90 m.

Dado que la mayor parte de la estructura se encuentra en el exterior del edificio, los costes de mantenimiento asociados a este tipo de instalaciones son muy elevados. También es importante cuidar la impermeabilización y las vías de desagüe en los puntos en que los tirantes se anclan o atraviesan la cubierta y las fachadas.



**Figure 3.21 Comparación entre tres tipos de configuración de estructuras atirantadas**

La disposición de la estructura influye notablemente en las solicitaciones, y por lo tanto en el tamaño de las secciones utilizadas. La configuración de la estructura del edificio deberá ser elaborada junto con el ingeniero de estructuras.

### 3.1.4 Arcos

Los arcos suelen ser parabólicos o circulares, tal y como muestra la Figura 3.22. Las cargas uniformemente distribuidas se transmiten por compresión en los arcos; los momentos flectores, generalmente reducidos, son inducidos por cargas no lineales y por cargas puntuales. Las fuerzas de compresión se compensan en la cimentación con esfuerzos horizontales, o por tirantes entre cimentaciones, tal y como muestra la Figura 3.22.

Los elementos arco pueden estar formados a partir de perfiles en I curvados en frío.

El ratio Luz/Canto en elementos arco suele ser del orden de 60 a 75 para vanos hasta 50 m.

En la Figura 3.23 se muestra un ejemplo de cubierta en arco.

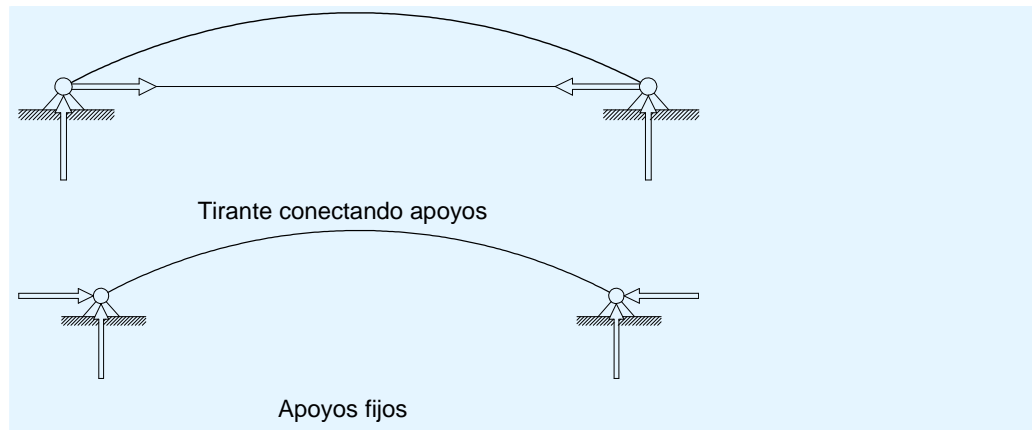


Figura 3.22 Sistemas de sustentación de elementos arco



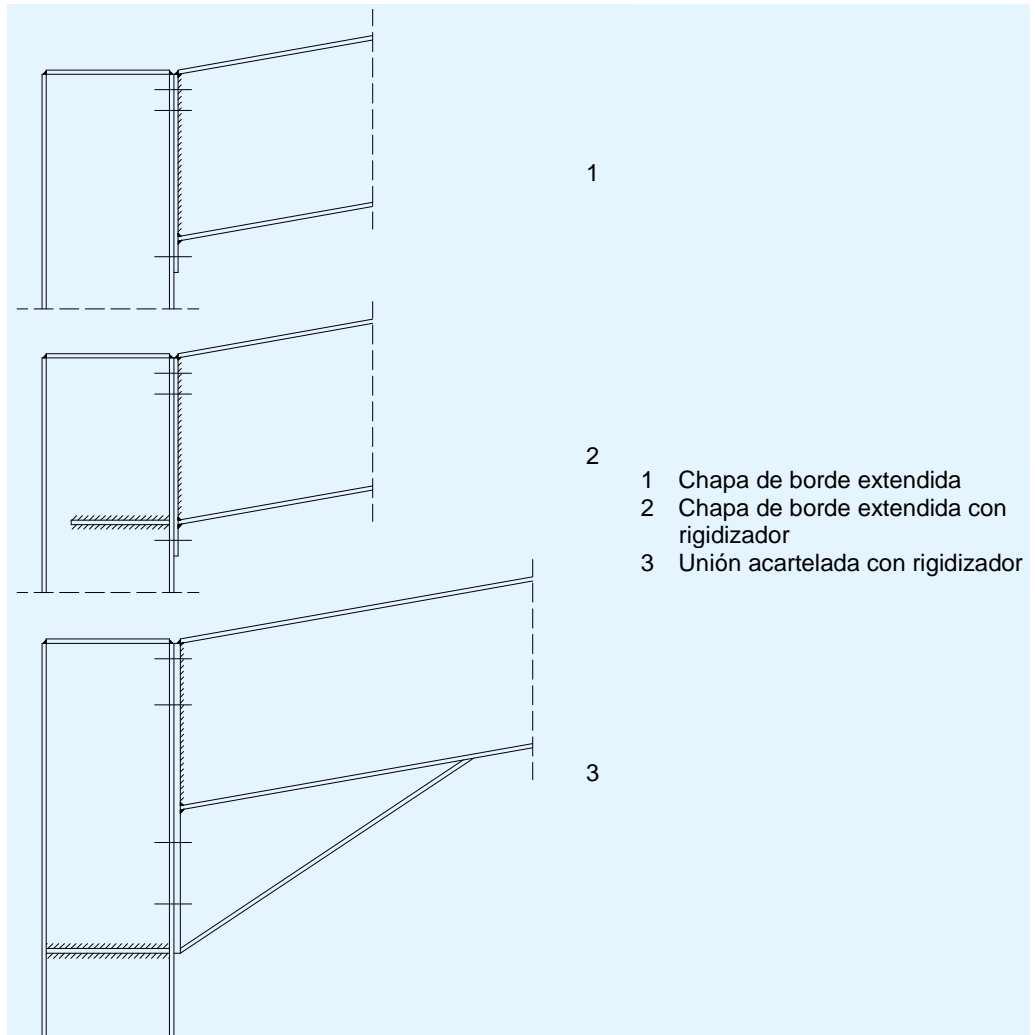
Figura 3.23 Estación de bomberos

## 3.2 Uniones entre vigas y pilares

### 3.2.1 Uniones rígidas

En una estructura de pórticos, las uniones entre pilares y viga transmiten los momentos flectores, así como los esfuerzos axiales y cortantes, por lo que deben estar diseñados como uniones rígidas.

Una unión rígida, generalmente se construye con una chapa de borde de canto total. La viga de cubierta suele estar unida al pilar mediante una cartela, y normalmente el pilar está rigidizado para resistir los esfuerzos locales. En la medida de lo posible, debe evitarse el uso de rigidizadores ya que incrementan significativamente los costes de fabricación.



**Figura 3.24 Uniones rígidas atornilladas entre pilares y vigas**

Las uniones entre cerchas y pilares, generalmente se elaboran con chapas de borde en los cordones superior e inferior, atornilladas al ala del pilar. En la Figura 3.25 se muestra un ejemplo.



**Figura 3.25 Unión entre cercha y pilar en una estructura rígida**

### 3.2.2 Uniones articuladas

En una estructura de vigas y columnas simplemente apoyadas, los nudos suelen ser articulados, es decir, que no son capaces de transmitir momentos flectores entre los elementos que unen. Para resistir acciones externas, como los esfuerzos debidos al viento, se recurre al arriostramiento. El arriostramiento puede estar constituido por riostras de acero o por núcleos de hormigón. Para estructuras de una única altura las riostras de acero están universalmente aceptadas.

Las uniones articuladas son relativamente sencillas y baratas de fabricar. En las uniones más habituales se utilizan chapas de borde de canto parcial, cartelas o angulares. Estos elementos se atornillan en obra.

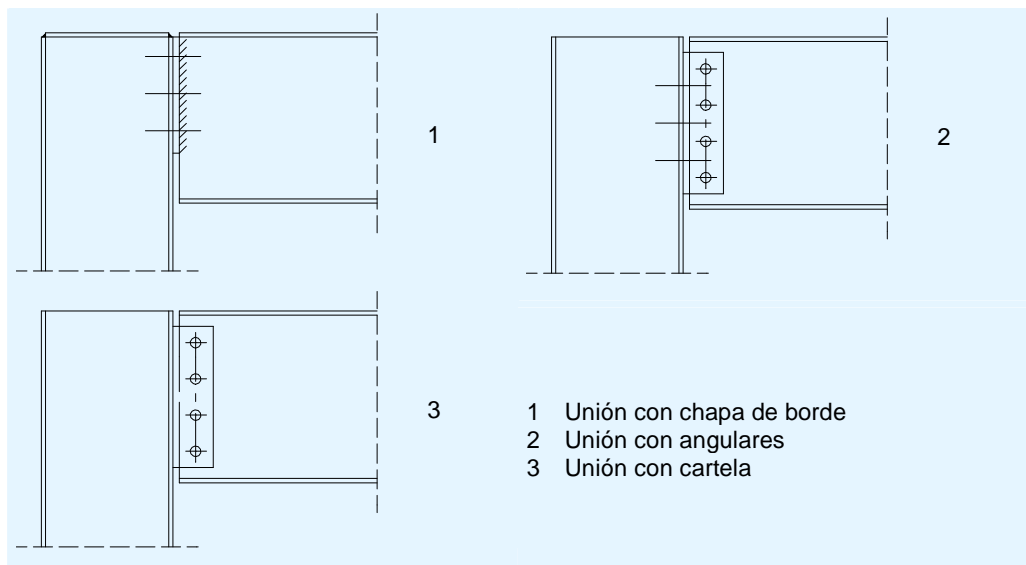


Figura 3.26 Uniones articuladas atornilladas más habituales



## 4 CERRAMIENTOS

La estructura metálica de un edificio de una sola planta puede decirse que se compone de tres tipos de elementos: la estructura principal (vigas, pilares y arriostramiento); la estructura secundaria, formada por correas y elementos auxiliares que soportan la cubierta y las fachadas; y por último la cubierta y fachadas en sí mismas. En general, a la cubierta y las fachadas se les denomina cerramientos.

El cerramiento aísla el espacio interior del edificio de las inclemencias del tiempo. En la mayoría de los casos también proporciona aislamiento térmico del exterior. La apariencia exterior suele ser un condicionante muy importante a la hora de seleccionar el tipo de cerramiento a instalar. Por lo tanto, el arquitecto debe elegir un cerramiento que equilibre por un lado las acciones que debe soportar (viento, sobrecargas en el caso de cubiertas planas) y por otro el aislamiento térmico, para construir un edificio que permita un uso eficiente de la energía y cuya apariencia externa satisfaga las necesidades del cliente.

En general se utiliza el mismo sistema de cerramiento para cubierta y fachadas.

Los detalles constructivos son importantes en el diseño y cálculo de los cerramientos. Es imprescindible instalar sistemas de drenaje que no bloqueen, intercepten o tengan pérdidas en las aperturas (puertas y ventanas), así como cuidar que dichas aperturas no perjudiquen el aislamiento térmico.

En la Figura 4.1 se muestra un singular ejemplo de uso de paneles pintados.



**Figura 4.1** Taller de reparación de coches elaborado con cubierta y fachadas de acero

## 4.1 Tipos de cerramientos

Se puede elegir entre varios sistemas:

- Perfil de chapa en acero
  - De una capa
  - De doble capa, construida in situ a partir de panel interior, aislamiento y chapa exterior
  - Panel tipo sándwich, prefabricados y compuestos por dos chapas, una interior y otra exterior, y aislamiento.
- Chapa de acero con aislamiento, cubierta de una membrana impermeable – normalmente utilizada en cubiertas planas.
- Paneles o techos de madera
- Losas prefabricadas de hormigón
- Mampostería (para fachadas)

### 4.1.1 Cerramientos con perfil en chapa

En la Tabla 4.1 se resumen los principales tipos de perfiles en chapa de acero utilizados en cubiertas y fachadas.

**Tabla 4.1 Principales tipos de fachadas y cubiertas**

Sistema	¿Aislado?	Ventajas
Sistemas contruidos in situ	si	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elección del perfil de chapa exterior</li> <li>• Alta resistencia en caso de incendio</li> <li>• Buen aislamiento acústico y absorción de ruidos</li> <li>• De rápida construcción, con uniones sencillas de metal</li> </ul>
Paneles compuestos (sandwich)	si	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De rápida construcción</li> <li>• Totalmente prefabricado</li> </ul>
Una única chapa	no	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De construcción barata y rápida</li> <li>• De fácil desmantelamiento</li> <li>• Libertad para crear diferentes geometrías</li> </ul>

### 4.1.2 Losas de hormigón prefabricado

Para cubiertas planas que deben soportar grandes cargas, las losas alveolares prefabricadas de hormigón constituyen una opción adecuada, ya que se instalan rápidamente y son un buen aislante térmico.

En el caso de que existan pesadas cargas debidas a la nieve, o que sea necesario instalar una cubierta pesada por razones de seguridad (por ejemplo resistir presión en caso de explosión), las losas prefabricadas de hormigón, ya sean de sección hueca o tipo sándwich, tienen la resistencia adecuada. Sin embargo, las losas prefabricadas de hormigón son significativamente más pesadas que cualquier perfil en acero usado como cubierta o fachada, por lo que la estructura principal debe ser mucho más robusta.

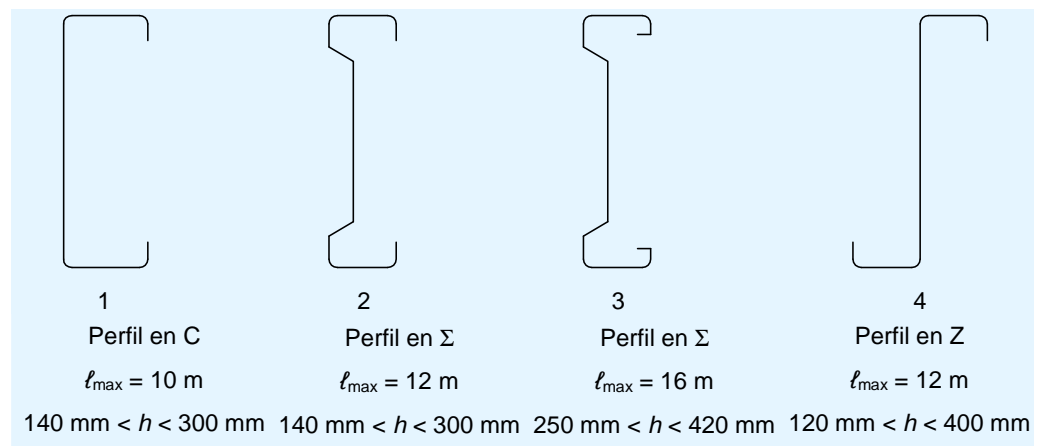
### 4.1.3 Mampostería

La construcción con ladrillo, en edificios de una única altura, suele utilizarse para construir las paredes, ya sean completas o a media altura (con cerramiento de chapa para completar el resto de la altura). El ladrillo da robustez y aísla al mismo tiempo. También puede elegirse por motivos estéticos.

## 4.2 Estructura secundaria

Las vigas secundarias son necesarias cuando la luz entre pórticos, cerchas o vigas primarias es demasiado grande como para que lo salve, por sí mismo, un panel de cubierta o fachada; o cuando los cerramientos se colocan en paralelo con las vigas principales, caso muy habitual en cubiertas inclinadas.

Estos elementos auxiliares pueden ser perfiles conformados en frío o laminadas en caliente. En la Figura 4.2 se muestran las secciones más habituales de los perfiles conformados en frío. Una sección conformada en frío puede ser hasta un 30% más ligera que una laminada en caliente.



**Figura 4.2 Secciones transversales más habituales de vigas secundarias conformadas en frío**

Las secciones laminadas en frío se fabrican a partir de acero galvanizado, lo que garantiza una protección suficiente contra la corrosión en el interior del edificio (excepto en ambientes agresivos, como instalaciones ganaderas en las que está presente el amoníaco).

Las secciones conformadas en frío, utilizadas como elementos secundarios (correas) se disponen, normalmente, cada 1,6-2,5 m. Aunque también es posible construir elementos secundarios mucho más largos en forma de pequeñas celosías.

## 4.3 Cubiertas

La elección entre cubierta plana o inclinada generalmente está basada en las necesidades y tradiciones locales. En algunos países se impone el uso de cubiertas planas, capaces de sustentar pesadas cargas, otros países en cambio favorecen el uso de cubiertas inclinadas que facilitan el drenaje y únicamente

resisten pequeñas solicitaciones. Claramente, la elección de cubierta depende de todos estos condicionantes.

#### 4.3.1 Cubiertas inclinadas

La pendiente en una cubierta inclinada también depende de condicionantes locales y tradiciones. Generalmente se tiende a instalar una pendiente mayor o igual al 10% ( $6^\circ$ ).

Cuando se utilizan perfiles en chapa, las estrías se disponen paralelas a la pendiente, para facilitar la evacuación del agua. El aislamiento/impermeabilización debe situarse debajo del panel exterior (posiblemente como un panel compuesto). Las chapas se sustentan en correas situadas entre las vigas de cubierta, unidas a las mismas mediante tornillería. Las chapas superpuestas no necesitan de ningún sistema de impermeabilización ya que los paneles/chapas se disponen superpuestos en el sentido de la pendiente.

La Figura 4.3 muestra una disposición habitual de cubierta inclinada en el alero. La instalación de un sistema de drenaje que permita evacuar adecuadamente todos los caudales de lluvia de la cubierta es muy importante.

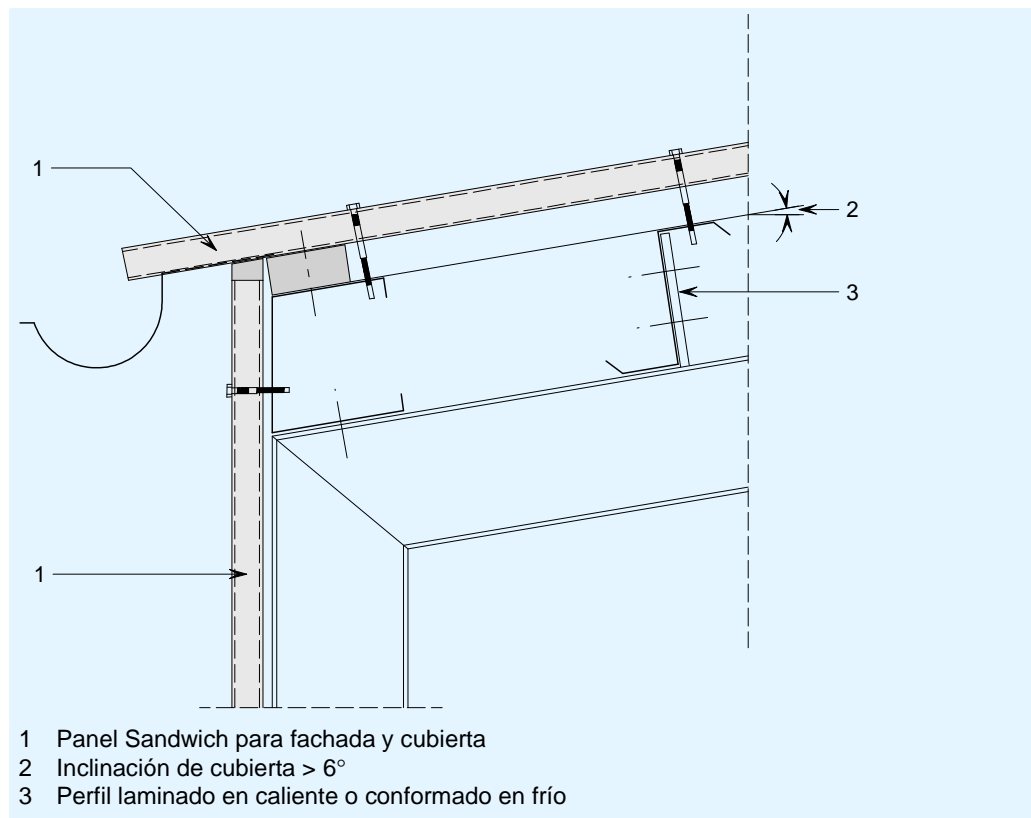


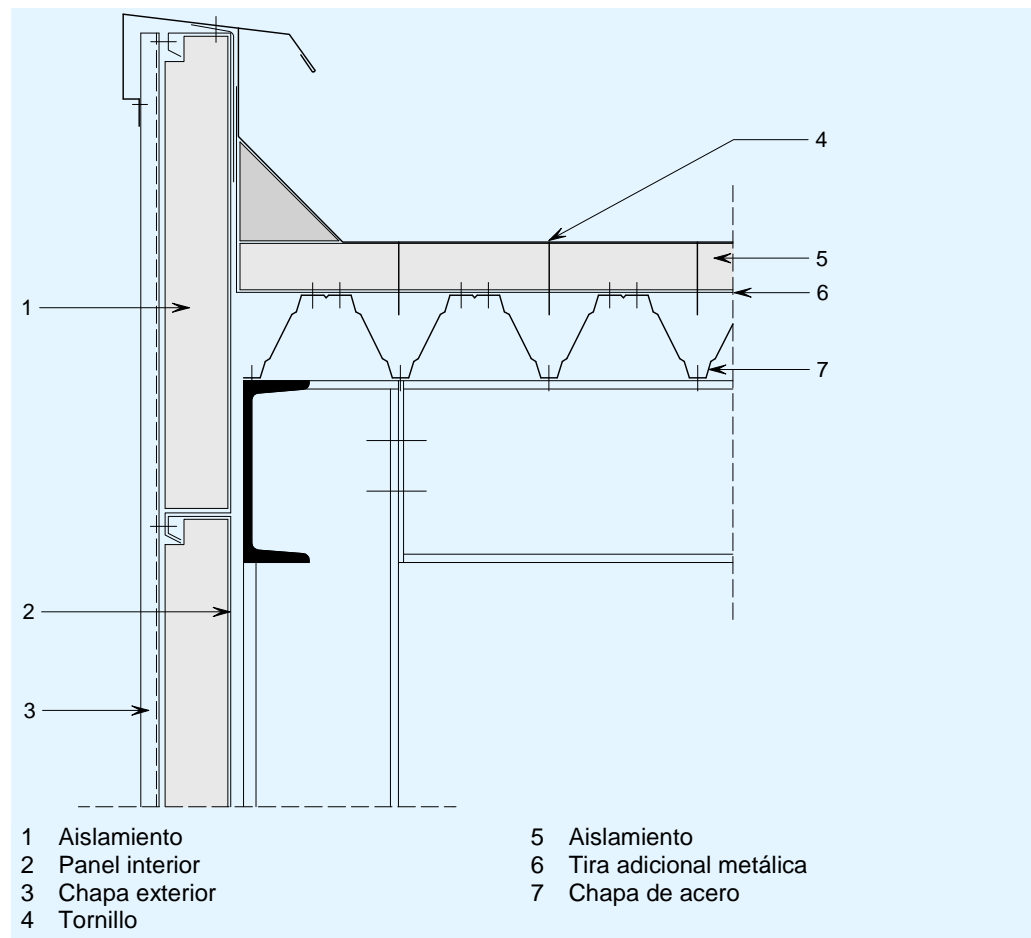
Figura 4.3 Cubierta inclinada con aislamiento

#### 4.3.2 Cubiertas planas

Cuando se recurre a una solución en cubierta plana cobra mucha importancia la impermeabilización. Debe ser una cubierta estanca contra el agua almacenada, por lo que normalmente es necesario instalar una membrana impermeable en la superficie de la cubierta.

Se puede utilizar perfil en chapa de acero, y normalmente este tiene mayor canto ya que salva los vanos entre las vigas de la estructura principal. El aislamiento se sitúa sobre las chapas mediante uniones atornilladas. Posteriormente se instala, sobre el aislamiento la membrana impermeable, tal y como muestra la Figura 4.4.

En los edificios con cubierta plana, siempre existe el riesgo del agua estancada. Si la flecha es lo demasiado grande, se puede acumular agua en la parte central de la cubierta. Si el sistema de drenaje no es adecuado, el agua puede almacenarse en los bordillos alrededor del lindero. Para evitar problemas con las acumulaciones de agua es importante dotar a la cubierta de una contraflecha que facilite el drenaje.



**Figura 4.4** Cubierta plana con aislamiento

## 5 SEGURIDAD EN CASO DE INCENDIO

Las especificaciones para la seguridad en caso de incendio están reguladas en los diferentes reglamentos de los diferentes países, aunque existen ciertas normas reconocidas internacionalmente sobre la resistencia de las estructuras metálicas al fuego. El nivel mínimo de protección de la estructura en caso de incendio está asociado al riesgo que pueden asumir los ocupantes del edificio, los bomberos y las personas en las inmediaciones del inmueble. Los niveles de seguridad siempre pueden aumentarse para proteger el contenido del edificio, la superestructura, el patrimonio, la continuidad del negocio, la imagen corporativa de los inquilinos o del dueño y el impacto ambiental.

Los requerimientos se suelen expresar en función de:

- **Propagación del incendio:** la inflamabilidad de los materiales se expresa en relación al tiempo que tarda en llegar el momento de combustión súbita generalizada (flashover). Se clasifican en A1 (no se da el fenómeno de flashover) hasta E (el flashover se da en menos de 2 minutos) y F (sin ensayar).
- **Intensidad de humos:** los materiales se clasifican de clase A2 a F en función de la cantidad de humo que producen durante su combustión.
- **Resistencia al fuego:** el período de tiempo durante el cual un elemento estructural resiste un ensayo de incendio estandarizado. Se consideran tres criterios, capacidad portante, integridad estructural y aislamiento (normalmente denominados R, E e I). El resultado se expresa en forma de R30, R60, etc. siendo el número el período en minutos que el componente estructural debe resistir.

Con el objeto de alcanzar los requisitos mínimos de seguridad en un edificio de una única altura, se deben considerar los siguientes factores:

- Legislación y reglamentos aplicables
- Compartimentación/sectores de incendio
- Propagación del incendio
- Vías de evacuación

Los edificios de una única planta, normalmente tienen requisitos poco restrictivos ya que la evacuación suele ser rápida. El requisito más limitante suele ser evitar que el fuego se extienda a los inmuebles colindantes.

Para proteger el contenido, especialmente en grandes almacenes o fábricas, suele ser necesario dividir el espacio, y si esto no fuese posible, tomar medidas alternativas como la instalación de rociadores.

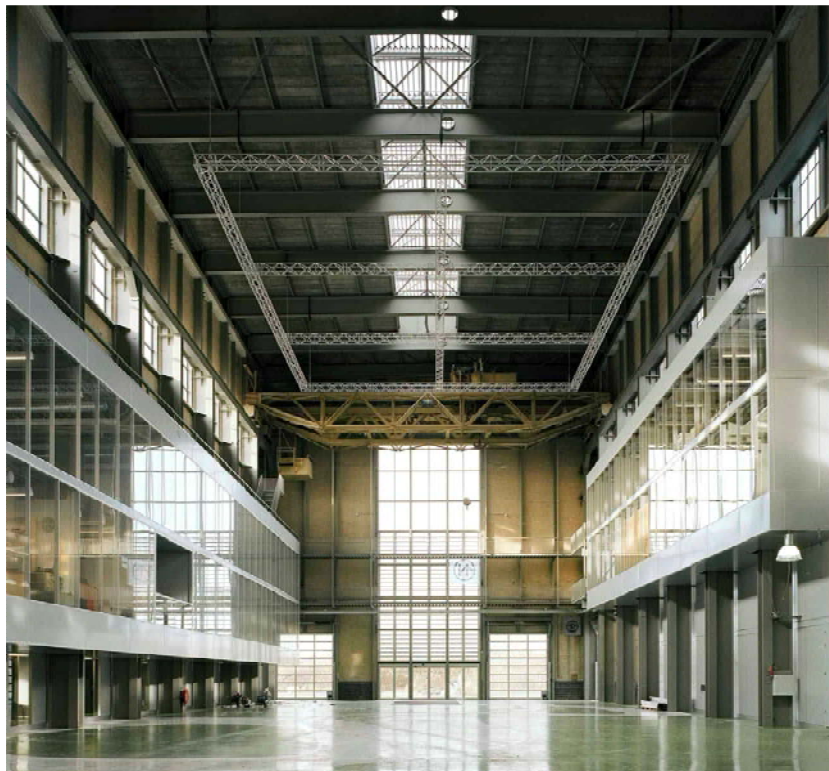
## 6 GRÚAS

En algunas instalaciones industriales es necesario instalar grúas puente – por ejemplo las imprentas (para desplazar los rollos de papel), los almacenes de equipos y maquinaria (para desplazar los elementos más pesados). En la Figura 6.1, se muestra un ejemplo.

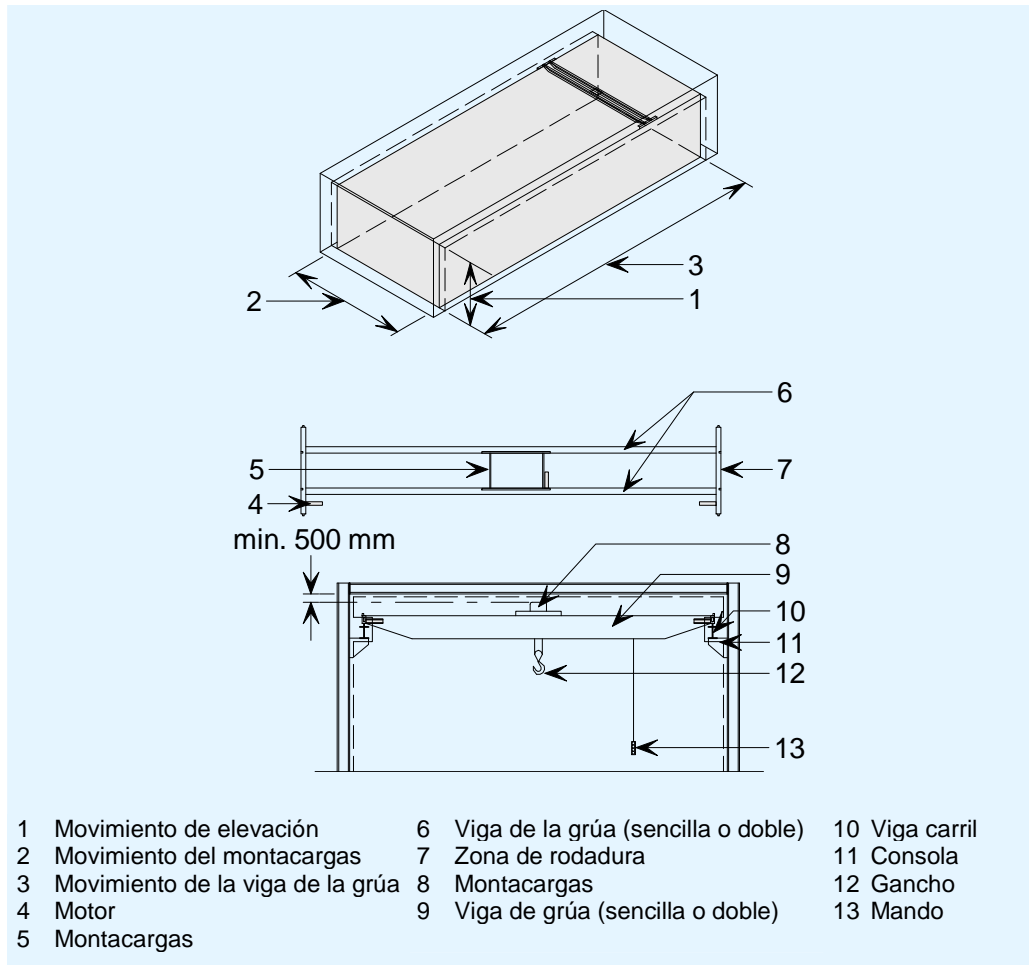
La mayor parte de las grúas puente consisten en una viga sencilla o doble, dispuesta transversalmente. Sobre dicha viga se instala el montacargas. Dichas vigas van apoyadas sobre un par de vigas carril dispuestas a lo largo de la nave. De esta manera la grúa da servicio a toda la superficie de la nave, tal y como muestra el ejemplo de la Figura 6.2.

Incorporar una grúa puente a una nave, siempre influye en su diseño y concepción, incluso cuando la capacidad de carga de la grúa es modesta. Un punto clave a considerar es el desplazamiento horizontal de los pilares a la cota en que se sitúa la grúa. Por esta razón el uso de pórticos no está indicado para grandes grúas, ya que limitar flechaduocho desplazamiento en los pilares no suele ser rentable. Además el uso de grúas también se traduce en la aparición de solicitaciones horizontales, por lo que será necesario un arriostramiento más robusto.

Una grúa con una capacidad de carga de 10 t (100 kN) normalmente puede ir sobre vigas carril sustentadas en los pilares que soportan la cubierta. Para grúas mayores, es más rentable utilizar pilares diferentes a los de la estructura principal (o celosías verticales), para evitar que ésta sufra solicitaciones demasiado elevadas.



**Figura 6.1 Gran grúa puente en una nave industrial**



**Figura 6.2** Típica disposición de grúa puente con montacargas y su estructura



## 7 CONCLUSIONES

El acero es un material que ofrece muchas posibilidades y permite al proyectista (arquitecto o ingeniero) diseñar cualquier tipo de estructura, desde los clásicos y ortodoxos pórticos rígidos para uso industrial hasta edificios vanguardistas con formas imposibles o cualquier otro requisito.

El cálculo de estructuras de acero está muy desarrollado, es eficiente y proporciona soluciones elegantes y económicamente rentables. El acero estructural se puede combinar con otros materiales para conseguir los acabados, las propiedades o la funcionalidad deseada.

La fabricación de los elementos de una estructura metálica se realiza en taller, lo que garantiza los más altos estándares de calidad y la mínima generación de residuos, es decir, una solución sostenible. Existen tanto detalles constructivos como procedimientos de construcción estándar, lo que facilita un rápido montaje de la estructura en obra, sin afectar significativamente al entorno inmediato.

El acero tiene una resistencia muy alta por unidad de masa, resultando una solución liviana, atractiva, y que no estorba los trabajos de construcción de la estructura. El transporte de elementos prefabricados reduce el número de entregas de material necesarias, factor especialmente relevante en áreas altamente congestionadas como centros urbanos. La eficiencia estructural de las estructuras metálicas se traduce en menores sollicitaciones en las cimentaciones, lo que se traduce en una rentabilidad económica mayor.

Los edificios con grandes vanos pueden diseñarse fácilmente en acero, obteniendo grandes espacios interiores. Esto aumenta la funcionalidad de la estructura, ofreciendo versatilidad en los usos. Los edificios construidos con acero son tanto fácilmente adaptables como ampliables, haciendo de la renovación del edificio para futuros usos una solución realista y posible, en lugar de la demolición.

Hoy en día, nadie duda de la sostenibilidad del acero. Los edificios metálicos se desmantelan con mucha facilidad y sus componentes pueden ser reutilizados o reciclados sin perder ninguna de las excelentes propiedades que caracterizan a este material, y reduciendo la cantidad de materias primas necesarias.

Su reducido peso propio, sostenibilidad y versatilidad hacen al acero la elección óptima para construir cualquier tipo de edificio.

## 8 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

*Buenas prácticas para la construcción: Edificación Industrial. La guía para Arquitectos, Diseñadores y Constructores*

Entregable del proyecto RFCS Euro-Build

Disponible, en lengua inglesa, en Steel Construction Institute, UK

Puede descargarse del enlace [www.eurobuild-in-steel.com](http://www.eurobuild-in-steel.com)