

STEEL BUILDINGS IN EUROPE

**Edificios de acero de una sola
planta**

Parte 2: Diseño conceptual

**Edificios de acero de una sola
planta
Parte 2: Diseño conceptual**

PRÓLOGO

Esta publicación es la parte 2 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

	Página Nº
PRÓLOGO	iii
RESUMEN	vi
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Jerarquía de la toma de decisiones en el diseño	1
1.2 Diseño arquitectónico	2
1.3 Elección del tipo de edificio	7
1.4 Requisitos de diseño	10
1.5 Sostenibilidad	14
2 CASOS PRÁCTICOS DE EDIFICIOS DE UNA SOLA PLANTA	16
2.1 Instalación de fabricación, Express Park, Reino Unido	16
2.2 Supermercado, Esch, Luxemburgo	17
2.3 Estación de servicio en autopista, Winchester, Reino Unido	19
2.4 Hangar de Airbus Industrie, Toulouse, Francia	19
2.5 Nave industrial, Krimpen aan den IJssel, Holanda	20
2.6 Centro de distribución y oficinas, Barendrecht, Holanda	20
3 DISEÑO CONCEPTUAL DE PÓRTICOS	22
3.1 Pórtico con cubierta a dos aguas	23
3.2 Estabilidad estructural	25
3.3 Estabilidad de los elementos	26
3.4 Predimensionamiento	28
3.5 Uniones	30
3.6 Otros tipos de pórticos	33
4 DISEÑO CONCEPTUAL DE CELOSÍAS	38
4.1 Introducción	38
4.2 Elementos de las celosías	39
4.3 Estabilidad de la estructura	41
4.4 Predimensionamiento	42
4.5 Celosías rígidas	43
4.6 Uniones	43
5 ESTRUCTURAS DE PÓRTICOS SIMPLES	45
6 PILARES COMPUESTOS	46
7 CUBIERTAS Y FACHADAS	48
7.1 Chapa trapezoidal de una capa	48
7.2 Sistemas doble capa	48
7.3 Paneles con fijaciones verticales	50
7.4 Paneles compuestos o tipo sándwich	50
7.5 Protección frente al fuego de las fachadas	50
8 DISEÑO PRELIMINAR DE PÓRTICOS	52
8.1 Introducción	52
8.2 Estimación de la sección de los elementos	52
REFERENCIAS	55

RESUMEN

Esta publicación recoge la información necesaria para ayudar en la elección y uso de estructuras metálicas durante la fase de proyecto básico de edificios de una única altura. Esta dirigida, principalmente, a edificios de carácter industrial, aunque esta misma información es de aplicación en cualquier edificio destinado a otro sector como el comercial o el del ocio. La información se estructura de acuerdo a la estrategia de diseño, la anatomía del edificio y los sistemas estructurales de relevancia para edificios de una única altura. En otras partes de esta misma guía se habla de la aplicación de las cargas, del cálculo detallado de pórticos y celosías y de cerramientos.

1 INTRODUCCIÓN

En los edificios de una única altura se utilizan estructuras metálicas, fachadas y cubiertas metálicas de todo tipo. Se pueden crear espacios interiores amplios, eficientes, de fácil mantenimiento y capaces de adaptarse a los cambios en las necesidades del cliente. Los edificios de una única altura, y en concreto las naves industriales, son un mercado objetivo para el acero. Sin embargo, el uso de acero en este tipo de edificaciones varía en cada país europeo.

Los edificios de una única altura tienden a distribuirse en único espacio interior, aunque puede ser necesario construir otros espacios para otros usos, cómo oficinas, logística, procesos, transporte, puentes grúa, etc. Por lo tanto, es necesario considerar muchos factores a la hora de diseñar un edificio de esta naturaleza.

Cada vez más, es necesario considerar aspectos como el diseño arquitectónico y el impacto visual, por lo que muchos arquitectos de prestigio los están aplicando en las nuevas naves industriales.

Esta sección describe las geometrías más habituales utilizadas en edificios de una única altura y su rango de aplicación. Dependiendo de la tradición constructiva, las normativas y regulaciones, las instalaciones y la capacidad de suministro pueden presentarse diferencias regionales.

1.1 Jerarquía de la toma de decisiones en el diseño

El desarrollo de una solución de diseño para un edificio de una única altura, como un gran almacén o instalación industrial, depende más de la actividad que va a ser llevada a cabo y de las futuras necesidades asociadas al uso del espacio, que cualquier otro tipo de edificio como los edificios comerciales o residenciales. Aunque este último tipo de edificios tienen un requerimiento funcional, priman en ellos las consideraciones arquitectónicas asociadas a los deseos del cliente y a los condicionantes urbanísticos.

Para el diseño de una nave industrial, deben considerarse al menos los siguientes factores, teniendo también en cuenta el futuro uso y la forma del edificio:

- El uso del espacio, por ejemplo, las diferentes necesidades para manipular materiales o productos en una instalación industrial
- Flexibilidad en el uso y distribución del espacio, actual y futura
- Rapidez de ejecución
- Buen comportamiento medioambiental, inclusive la necesidad de servicios y el aislamiento térmico
- Impacto estético y visual
- Aislamiento acústico, especialmente en instalaciones de producción
- Seguridad y vías de acceso

- Sostenibilidad
- Vida útil, necesidades de mantenimiento y posibilidades de reutilización, reciclaje o desmantelamiento una vez que el edificio ya no satisfaga las necesidades para las que fue diseñado.

Para desarrollar adecuadamente el diseño conceptual, es necesario tener en cuenta todas estas consideraciones basadas en el tipo de edificio de una única altura. Por ejemplo, los requisitos de un edificio destinado a albergar un centro de distribución serán muy diferentes de las de un futuro centro de manufactura. En la Tabla 1.1 se muestra una revisión de la importancia de los diferentes factores en un edificio común.

Tabla 1.1 Factores de diseño importantes para edificios de una sola planta

Tipos de edificios de una única altura	Requisitos del espacio	Versatilidad en los usos	Rapidez de ejecución	Seguridad y accesos	Estandarización de los elementos	Comportamiento medioambiental	Impacto estético y visual	Aislamiento acústico	Vida útil, mantenimiento y reutilización
Centros de distribución de gran altura	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓		
Fábricas	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓		✓	✓✓	✓
Centros de Distribución	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓		✓
Centros comerciales	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓		✓
Almacenaje/ Almacenaje en frío	✓	✓	✓	✓✓	✓	✓✓	✓		✓✓
Oficina y fabricación ligera	✓	✓	✓	✓	✓	✓✓	✓	✓✓	✓
Centros de procesamiento	✓		✓	✓✓	✓	✓		✓✓	✓
Centros de ocio	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓	✓
Polideportivos	✓✓	✓✓	✓	✓	✓	✓✓	✓✓		✓
Centros de exhibición	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓
Hangares	✓✓	✓	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓	✓

Leyenda: No tick = No importante ✓ = importante ✓✓ = muy importante

1.2 Diseño arquitectónico

Los edificios de una única planta modernos construidos en acero, son a la vez funcionales y arquitectónicamente atractivos. A continuación se muestran varios ejemplos con una breve descripción del diseño conceptual. Es posible recurrir a una gran variedad de soluciones estructurales, presentadas en las secciones 2 y 3.

1.2.1 Diseño arquitectónico

La estructura básica de un edificio de una sola planta puede ser de varios tipos, tal y como se muestra en la Figura 1.1. En el gráfico se muestra un esquema de la sección transversal en cada tipo de edificio, con anotaciones sobre el concepto estructural y las solicitaciones internas debidas a las cargas gravitatorias.

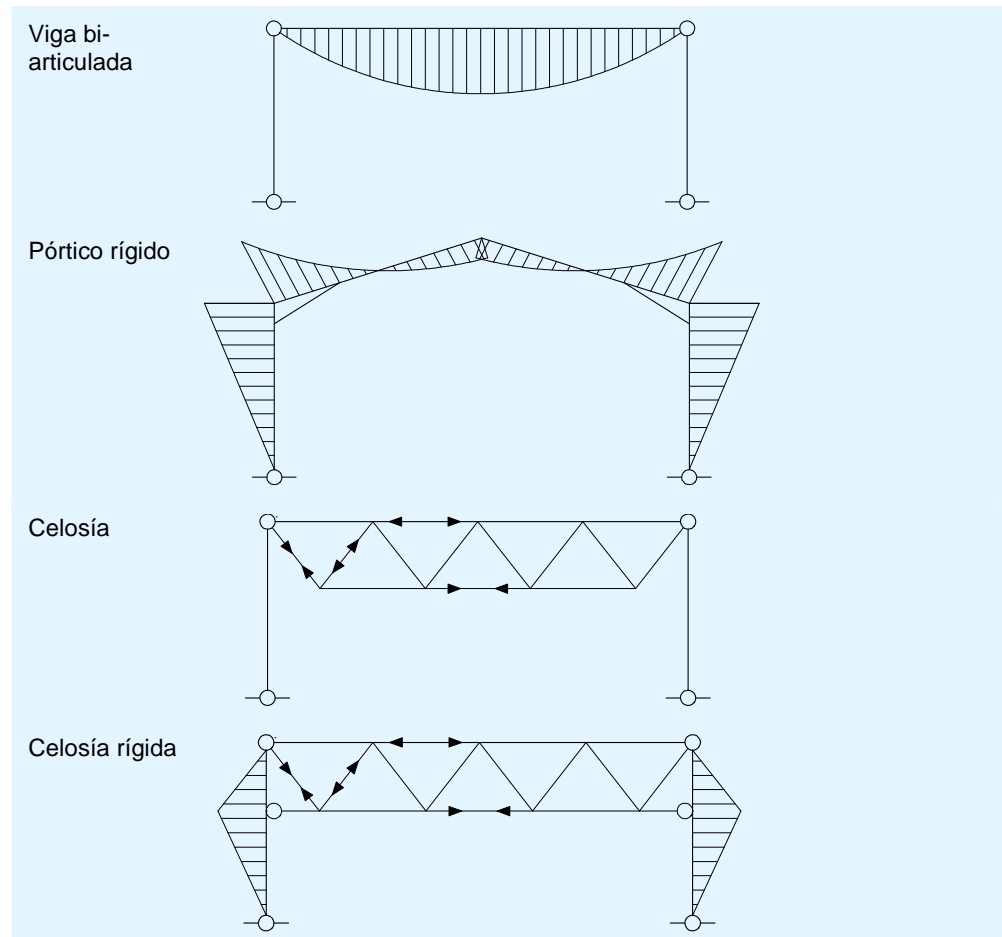


Figura 1.1 Conceptos estructurales

A continuación se describen brevemente los diferentes diseños estructurales:

Viga de cubierta simplemente apoyada sobre pilares

Los vanos tienen luces modestas, aproximadamente hasta 20 m. La viga de cubierta puede tener contraflecha. Es necesario disponer un sistema de arriostramiento en la cubierta y en ambas direcciones de la fachada, para garantizar la estabilidad longitudinal y transversal.

Pórtico rígido

Tal y como su nombre indica, un pórtico rígido (en adelante pórtico), es una estructura cuyas uniones (rígidas) son capaces de resistir y transmitir momentos flectores, garantizando la estabilidad en el plano de la estructura. Un pórtico puede ser de uno o varios vanos, tal y como se muestra en la Figura 1.2. Generalmente, los elementos que lo componen son perfiles laminados en caliente, reforzados localmente con una cartela. En muchos casos la estructura tendrá bases articuladas.

La estabilidad longitudinal queda garantizada mediante una combinación de arriostramiento en la cubierta, en uno o ambos vanos extremos, y arriostramiento vertical entre pilares. Si no es posible disponer arriostramiento entre los pilares, (por ejemplo debido a la existencia de puertas industriales) se dispondrá una estructura rígida entre los pilares para garantizar la estabilidad.

Trusses

Tal y como su nombre indica, un pórtico rígido (en adelante pórtico), es una estructura cuyas uniones (rígidas) son capaces de resistir y transmitir momentos flectores, garantizando la estabilidad en el plano de la estructura. Un pórtico puede ser de uno o varios vanos, tal y como se muestra en la Figura 1.4. Generalmente, los elementos que lo componen son perfiles laminados en caliente, reforzados localmente con una cartela. En muchos casos la estructura tendrá bases articuladas.

La estabilidad longitudinal queda garantizada mediante una combinación de arriostramiento en la cubierta, en uno o ambos vanos extremos, y arriostramiento vertical entre pilares. Si no es posible disponer arriostramiento entre los pilares, (por ejemplo debido a la existencia de puertas industriales) se dispondrá una estructura rígida entre los pilares para garantizar la estabilidad.

Otros tipos de construcción

Normalmente, se utilizan pilares compuestos (construidos a partir de chapas o perfiles) para soportar grandes cargas, como grúas. Se pueden utilizar en estructuras porticadas, aunque casi siempre van acompañadas de bases rígidas y arriostramiento.

También se pueden utilizar estructuras exteriores o atirantadas, tal y como muestra la Figura 1.6, aunque no son demasiado usuales.



Figura 1.2 Estructura porticada de varios vanos



Figura 1.3 Pórtico rígido en arco con vigas alveolares de alvéolos circulares



Figura 1.4 Celosías de cubierta sobre pilares compuestos



Figura 1.5 Centro de ocio construido con una cubierta curva sustentada sobre una viga alveolar



Figura 1.6 Estructura externa atirantada de un edificio de una sola altura

1.3 Elección del tipo de edificio

Se considera que los pórticos son una solución muy económica para diseñar un edificio de una única altura. Su eficiencia depende del método de análisis utilizado y las hipótesis consideradas en el cálculo de la estructura referentes a las coacciones de los elementos constituyentes de la misma, tal y como se muestra en la Tabla 1.2. Las hipótesis sobre la estabilidad de los elementos varían en función del país.

Tabla 1.2 Diseño eficiente de pórticos

Mayor eficiencia	Menos eficiencia
Cálculo elasto-plástico con software específico	Cálculo elástico
El cerramiento arriestra el ala de las correas	Correas sin arriostamiento lateral
Las correas arriestran ambas alas de los elementos principales	Ala interior de los elementos principales sin arriostar
Considerar la rigidez nominal de la base	No considerar la rigidez nominal de la base

Las razones para elegir estructuras de vigas simplemente apoyadas, pórticos rígidos o celosías se muestran en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3 Comparativa de los tipos estructurales básicos para edificios de una sola planta

Viga simple	Pórtico rígido	Celosía
Ventajas		
Simplicidad en el diseño	Vanos de grandes luces	Posibilidad de vanos de luces muy elevadas
	Estabilidad en el plano de la estructura	Posibilidad de soportar grandes cargas
	El tamaño de los elementos y las cartelas se pueden optimizar	Pequeñas flechas
Inconvenientes		
Vanos relativamente pequeños	Es necesario utilizar software específico para un diseño eficiente	Generalmente, los costes de fabricación son elevados.
Necesidad de arriostramiento para garantizar la estabilidad en el plano de la estructura	Limitado a cargas verticales y grúas-puente relativamente ligeras para evitar flechas excesivamente grandes	Generalmente se arriostran para garantizar la estabilidad en el plano de la estructura
La repetitividad no conlleva ahorro		

1.3.1 Tipos de cerramientos

Los tipos principales de fachadas y cubiertas utilizados en edificios de una única planta son los que se describen a continuación:

Cubiertas

- Cubierta de doble capa o armada, dispuesta entre elementos secundarios como correas.
- Paneles compuestos (paneles tipo sándwich) dispuestos entre correas
- Cubierta con gran cantos, dispuesta entre las vigas principales y que soporta el aislamiento, con una chapa exterior de protección y membrana impermeable.

Fachadas

- Paneles verticales sustentados en correas de fachada.
- Paneles o bandejas de soporte orientadas en horizontal dispuestas entre pilares.
- Paneles compuestos o tipo sándwich dispuestos horizontalmente entre pilares, eliminando la necesidad de correas.
- Paneles metálicos Cassette sustentados en correas.

Se pueden utilizar de forma conjunta diferentes tipos de cerramientos para lograr distintos efectos visuales en una misma fachada. En la Figura 1.7, Figura 1.8 y Figura 1.9 pueden observarse diferentes ejemplos. Las paredes en ladrillo suelen utilizarse hasta el nivel de las ventanas para mejorar la resistencia a impacto, tal y como muestra la Figura 1.8.



Figura 1.7 Paneles dispuestos horizontalmente



Figura 1.8 Edificios con grandes ventanas, paneles compuestos y paredes de mampostería



Figura 1.9 Paneles compuestos horizontales y ventanas tipo 'ribbon'

1.4 Requisitos de diseño

Los requisitos de diseño para edificios de un solo vano se presentan a continuación:

1.4.1 Acciones

Acciones permanentes

Las acciones permanentes son el peso propio de la estructura, elementos embebidos, accesorios y equipamiento fijo. Estas se calcularán a partir de EN 1991-1-1.

Los valores habituales del peso por unidad de superficie, de los materiales más habituales en cubiertas se muestran en la Tabla 1.4.

Si una cubierta únicamente soporta las cargas normales (no existe maquinaria suspendida, o similar) el peso propio por unidad de superficie de una estructura de acero es, normalmente, del orden de 0,2 a 0,4 kN/m².

Tabla 1.4 Peso propio de los materiales para cubierta más habituales

Material	Peso Propio (kN/m ²)
Chapa de acero simple (una única capa)	0,07 – 0,12
Chapa de aluminio (single skin)	0,04
Aislamiento (madera, por cada 25 mm. de espesor)	0,07
Aislamiento (fibra de vidrio, por cada 100 mm. de espesor)	0,01
Bandejas de soporte (0,4 mm – 0,7 mm de espesor)	0,04 – 0,07
Paneles compuestos (40 mm – 100 mm de espesor)	0,1 – 0,15
Correas de acero (distribuidas a lo largo del área de la cubierta)	0,03
Cubiertas de chapa de acero colaborante	0,2
Triple capa de fieltro con gravilla	0,29
Pizarra	0,4 – 0,5
Tejas (cerámicas o tejas simples de hormigón)	0,6 – 0,8
Tejas (entrelazadas de hormigón)	0,5 – 0,8
Tejado de madera	0,1

Acciones Variables

Las acciones variables se determinan de acuerdo a lo establecido en las siguientes partes de Eurocódigo:

EN 1991-1-1: sobrecargas de uso

EN 1991-1-3: cargas de nieve

EN 1991-1-4: acciones de viento

EN 1991-1-1 recomienda utilizar una carga uniforme de 0,4 kN/m² para cubiertas no accesibles excepto en caso de operaciones normales de reparación y mantenimiento (categoría H). También se recomienda suponer una carga aplicada puntual de 1,0 kN que afectará únicamente a las chapas de cubierta, pero no a la estructura principal.

En EN 1991-1-3 se incluyen varias hipótesis de cargas, debidas a nieve (ya sea nieve uniforme o deslizada, cosa que suele ocurrir en los valles, tras parapetos, etc.). También se recoge la posibilidad de suponer cargas excepcionales debidas a la nieve.

El valor asignado a la carga de nieve depende de la localización geográfica del edificio, y de la altitud sobre el nivel medio del mar en Alicante a la que esté situada (s.n.m.m. en adelante).

EN 1991-1-4 se utiliza para determinar las acciones debidas al viento, que dependen de la altitud s.n.m.m., distancia al mar y el terreno circundante.

El cálculo de las acciones y cargas a considerar se detalla en un capítulo aparte de esta guía.

Las sobrecargas de uso varían considerablemente, dependiendo del futuro uso del edificio. Una sobrecarga típica puede ser del orden de $0,1 - 0,25 \text{ kN/m}^2$ en función de la futura función del edificio. Si va a ser necesario sustentar cargas debidas a equipos de ventilación u otros servicios auxiliares, la sobrecarga de uso se debe calcular de forma precisa.

1.4.2 Efectos de la Temperatura

Teóricamente, las estructuras de acero se contraen y expanden con los cambios de temperatura. Muchas veces, la variación térmica que experimenta una estructura de acero es muy inferior al cambio en la temperatura ambiente, ya que la estructura está protegida. Es algo generalmente aceptado que en el uso de uniones atornilladas, el movimiento diferencial de los tornillos es suficiente como para absorber las deformaciones producidas por temperatura.

Se recomienda evitar, en la medida de lo posible, las juntas de expansión, ya que estas son caras y pueden suponer un detalle difícil de solventar a la hora de mantener el cerramiento estanco. Si se decide disponerlas, la estructura debe calcularse al detalle, incluyendo los efectos sobre el diseño de una variación de temperatura. Las acciones debidas a temperatura se determinan en la norma EN 1991-1-5, y las combinaciones de acciones deben satisfacer lo establecido en la norma EN 1990. En la mayoría de los casos, se comprobará que los elementos son adecuados.

En el norte de Europa, la práctica más común en naves industriales, en ausencia de cálculos específicos, es que no es necesario disponer juntas de dilatación en edificios de longitud inferior a 150 m. En climas más cálidos, la práctica más común es limitar la longitud de los edificios a 80 m. Aunque es una buena práctica disponer el arriostramiento vertical en mitad de la estructura, esto no es siempre posible o deseable. Muchas estructuras industriales clásicas disponen el arriostramiento en los extremos o a intervalos a lo largo del edificio, sin juntas de dilatación, y se comportan perfectamente bien.

1.4.3 Eficiencia térmica y hermeticidad

El comportamiento térmico de un edificio de una única altura, y con un único espacio interior, es muy relevante debido al tamaño de su área superficial. El comportamiento térmico también se refiere a prevenir la pérdida de calor debido a entradas de aire del exterior. A este fenómeno se le denomina estanqueidad.

Hay una fuerte inter-relación entre los tipos de cerramientos y el comportamiento térmico de un edificio. Los modernos sistemas de cerramientos en acero, como los paneles compuestos pueden alcanzar valores de U menores que $0,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

La estanqueidad se evalúa en base a ensayos a tamaño real una vez terminada la construcción de la estructura, en los cuales se presuriza el interior del edificio – generalmente a 50 Pa (este valor puede variar en función del país). Se mide el volumen de aire perdido en el ensayo y este debe ser inferior a un valor tabulado, generalmente $10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hora}$.

1.4.4 Resistencia al fuego

Los requisitos de resistencia al fuego dependen de una gran cantidad de factores, como pueden ser el contenido combustible del edificio, rutas efectivas de evacuación y la densidad de ocupación (por ejemplo en espacios públicos). Generalmente, en un edificio de una única planta las vías de evacuación son buenas, por lo que la mayoría de los espacios se diseñan para resistir un tiempo de 30 minutos o inferior. Una excepción podrían ser las oficinas adosadas a estas naves.

Las normativas nacionales, generalmente, están más enfocadas a evitar que el fuego se propague a los edificios colindantes que al comportamiento de la estructura en sí, especialmente si dicha estructura es un edificio industrial. El factor determinante es, frecuentemente, la distancia al límite más cercano. Si se aplican dichos reglamentos, la solución más habitual es asegurar la integridad de la elevación/ más cercana a dicho límite. Generalmente esto se consigue mediante cerramientos resistentes al fuego y garantizando que la estructura principal permanece estable – protegiendo la estructura metálica de esa pared, y diseñándola para que resista las fuerzas aplicadas por otras partes de la estructura que pueda haber colapsado.

Para muchos tipos de edificios, tal y como salas de exhibición, se puede llevar a cabo un análisis mediante la ingeniería de fuego para demostrar que las medidas activas de protección son efectivas a la hora de reducir la temperatura causada por el fuego hasta niveles en los que la estructura es capaz de resistir las cargas y solicitaciones aplicadas en el caso de incendio, sin protección adicional de la estructura.

1.5 Sostenibilidad

La construcción sostenible debe atenerse a tres objetivos:

- Criterio medioambiental
- Criterio económico
- Criterio social

Estos tres criterios se dan en cualquier construcción en acero.

Criterio medioambiental

El acero es uno de los materiales con mayor capacidad de recuperación y reciclaje que existen. Aproximadamente el 84% del total se recicla sin ninguna pérdida en la capacidad resistente o en la calidad, y el 10% se reutiliza directamente. Generalmente tiene más beneficios el extender la vida útil de un edificio que el recurrir a su demolición. Esto se facilita con la construcción en acero, ya que los espacios amplios y sin columnas son más fáciles de adecuar a nuevos usos. Los nuevos avances en los procesos de producción de materias primas implican que se disminuye el consumo de agua y energía en la fabricación, y permite reducir el ruido y las emisiones tanto de partículas sólidas como de GAI (Gases de Efecto Invernadero).

Criterio económico

La construcción en acero integra varios elementos de una estructura en un único diseño. Los materiales se producen, fabrican y construyen utilizando eficientes procesos productivos. El uso de material está muy optimizado y prácticamente no se genera ningún residuo. Las estructuras en sí mismas, se utilizan para todos los aspectos de la vida actual, incluyendo logística, comercio, ocio e industria, facilitando la infraestructura sin la que la sociedad no puede vivir. La construcción en acero permite bajas inversiones iniciales, óptimos costes de explotación y una flexibilidad en los usos del edificio, asegurando al mismo tiempo muy alta calidad, funcionalidad, estética y rapidez de construcción.

Criterio Social

En la construcción con acero, una alta proporción del proceso se realiza en fábrica, lejos del lugar en que están emplazadas las obras, lo que implica condiciones laborales más seguras, controladas y protegidas de las inclemencias meteorológicas. El mantener un puesto de trabajo fijo (geográficamente hablando) ayuda a generar comunidades, vida en familia y los conocimientos necesarios para desarrollar el trabajo en cuestión. El acero no emite ningún tipo de sustancia nociva al medio ambiente, y los edificios en acero son una solución robusta y segura.

Estructuras de una sola altura

El diseño de edificios de poca altura depende cada vez más de la sostenibilidad, definida por criterios como:

- El que los materiales procedan de fuentes responsables, y hacer un uso eficiente de ellos.
- Eliminar la generación de residuos en los procesos de fabricación y construcción.

- Eficiencia energética durante la explotación del edificio, incluso mejorar los niveles de hermetismo para evitar las pérdidas de calor
- Medidas para reducir el consumo de agua
- Mejoras del confort de los usuarios
- Realizar una planificación y gestión global, en la que se incluyan factores como los medios de transporte público, la estética o preservar el valor ecológico y patrimonial del entorno.

Los edificios construidos con estructura en acero pueden diseñarse para satisfacer todos estos criterios. Algunos de los beneficios sostenibles más reconocidos del acero son:

- Las estructuras en acero son robustas, y con una vida útil alta. Es más, cuando se mantienen adecuadamente, las estructuras de acero pueden utilizarse indefinidamente.
- El 10% de los perfiles de acero se reutilizan^[1]
- Aproximadamente el 95% del acero estructural se recicla
- Los productos de acero, potencialmente, pueden ser desmantelados y reutilizados, especialmente los componentes modulares de las estructuras metálicas
- Las estructuras de acero son ligeras, por lo que necesitan cimentaciones de menor tamaño que otros tipos estructurales
- El acero se produce de forma eficiente y controlada en fábrica, mediante procesos controlados.
- Aproximadamente todos los residuos de fabricación se reciclan, y durante la construcción no se produce ningún residuo ‘in-situ’
- La construcción con acero maximiza las posibilidades de ampliar o modificar el edificio en actuaciones futuras
- Mediante los cerramientos en acero, se puede garantizar un elevado aislamiento térmico
- Los sistemas de construcción con elementos prefabricados requieren menor tiempo de ejecución e implican procedimientos de construcción mucho más seguros.

En los diferentes países europeos existen varios sistemas de asesoramiento sobre la sostenibilidad^[2].

2 CASOS PRÁCTICOS DE EDIFICIOS DE UNA SOLA PLANTA

Los siguientes casos prácticos ilustran el uso de acero en edificios de una única altura, como son salas de exposición, fábricas, supermercados y otros edificios similares.

2.1 Instalación de fabricación, Express Park, Reino Unido



Figura 2.1 Estructura de pórticos durante la construcción

Los pórticos mostrados en la Figura 2.1 forman parte de una nueva instalación de fabricación de ‘Homeseeker Homes’, que elabora casas móviles para áreas residenciales. El proyecto incluye una nave de 150 m de longitud, un edificio de oficinas adyacente e instalaciones separadas para el almacenaje de materiales.

El área de fabricación está formada por pórticos a dos aguas, con una luz de 35 m y una altitud máxima en el alero de 9 m. Además, dicha nave debe albergar 4 grúas puente, cada ellas con una capacidad de carga de 5 t. Dos de las grúas pueden usarse al mismo tiempo, por lo que las solicitaciones derivadas de esta situación de carga deben considerarse cuidadosamente. Los esfuerzos horizontales generados por las grúas los soporta el arriostramiento vertical, que también garantiza la estabilidad longitudinal. No se ha dispuesto ninguna junta de dilatación en esta instalación – las riostras se han dispuesto para resistir cualquier carga derivada del gradiente térmico.

Para controlar los movimientos horizontales a la cota en que se sitúan las vigas-rail de las grúas, los pórticos, situados cada 6 m, son mucho más rígidos que una estructura equivalente en la que no se hubiesen dispuesto grúas. Los pilares tienen un canto de 762 mm y las vigas de 533 mm.

La estructura de los pórticos frontales está compuesta por pórticos rígidos en lugar de por vigas simplemente apoyadas sobre pilares, para reducir la deformación diferencial entre éstos y los pórticos adyacentes.

Esta instalación está relativamente cerca del límite de la parcela, lo que implica que el cálculo de las fachadas cercanas a dicho límite debe cuidarse. Se analizó la estructura en caso de incendio, y se diseñaron las bases de los pilares para resistir los momentos generados por las deformaciones extremas de la estructura en este caso. El cerramiento en dichas fachadas también se diseñó para evitar que el incendio se extienda.

La estructura de 380 t de acero se levantó en seis semanas.

2.2 Supermercado, Esch, Luxemburgo



Figura 2.2 Supermercado en Esch , Luxemburgo, con vigas alveolares curvas

En este supermercado de Luxemburgo se optó por una estructura en acero visto, compuesta por vigas alveolares curvas, de 20 m de luz, tal y como muestra la Figura 2.2. Las vigas utilizadas fueron perfiles HEB 450, cortadas y soldadas para formar una viga con alvéolos circulares de 400 mm de diámetro. Dichas vigas se dispusieron con un espaciamiento de 7,5 m, y los pilares tenían también una altura de 7,5 m, tal y como refleja la Figura 2.3. La estructura se diseñó mediante el uso de la ingeniería de fuego, con la que se demostró la capacidad de resistir un mínimo de 90 minutos sin ningún tipo de protección contra el fuego.



Figura 2.3 Pórtico utilizando vigas alveolares curvas

2.3 Estación de servicio en autopista, Winchester, Reino Unido

Las vigas alveolares proporcionan una solución estéticamente atractiva a la vez que práctica, para espacios públicos amplios, como en el restaurante de una estación de servicio en Winchester, Reino Unido mostrado en la Figura 2.4. Las vigas alveolares doblemente curvadas, con canto de 600 mm, salvan un vano de 18 m apoyadas sobre vigas primarias, también alveolares y de 1,2 m de canto, separadas entre sí 20 m, y apoyadas sobre pilares de sección H. Las vigas alveolares también permiten disponer los diferentes servicios auxiliares en el área de cocina.



Figura 2.4 Vigas alveolares con doble curvatura y vigas alveolares primarias

2.4 Hangar de Airbus Industrie, Toulouse, Francia

El hangar que posee Airbus en Toulouse tiene una extensión de 200.000 m², con una altura de 45 m y una anchura de 117 m, sin pilares intermedios. Está compuesto por celosías de 8 m de canto fabricadas a partir de secciones en H. La celosía se apoya sobre pilares compuestos que proporcionan estabilidad a toda la cubierta. El edificio se muestra en fase de construcción en la Figura 2.5. En uno de los extremos del edificio se abre una puerta de 117 m x 32 m que se cierra mediante puertas correderas. También se instalaron dos grúas puente, con una luz de 50 m y 20 t de capacidad de carga.



Figura 2.5 Vista del hangar de Airbus Industrie durante la construcción

2.5 Nave industrial, Krimpen aan den IJssel, Holanda

Esta nave industrial holandesa tiene unas dimensiones de 85 m de largo, 40 m de ancho y 24 m de alto, con puertas de altura completa en uno de los extremos del edificio, tal y como muestra la Figura 2.6. La cubierta está apoyada sobre celosías inclinadas. Debido a que no se dispuso sistema de arriostramiento en los extremos, la estructura se diseñó para que fuese estable únicamente con los pilares y las riostras situadas en los planos de cubierta y fachada).



Figura 2.6 Vista de la colocación de las puertas en el edificio holandés de Krimpen aan den IJssel

2.6 Centro de distribución y oficinas, Barendrecht, Holanda

Este edificio, con una superficie en planta de 26.000 m², alberga un centro de distribución de un gran supermercado en Holanda. El área principal se eleva sobre una estructura en acero convencional, y las oficinas aledañas, de dos pisos de altura, están suspendidas sobre una carretera de acceso, tal y como

puede verse en la Figura 2.7. El edificio de oficinas, de 42 m de largo, tiene un voladizo de 12 m sustentado en una estructura interior de acero de dos plantas de altura con arriostramiento diagonal. En la estructura se han utilizado perfiles en H para vigas y pilares, y para el arriostramiento perfiles tubulares.

Tanto en el almacén como las oficinas se han dispuesto rociadores antiincendios, para disminuir el riesgo de incendio. Al mismo tiempo la estructura metálica está recubierta de material ignífugo, lo que permite que en interior del edificio la misma esté expuesta. La temperatura en el área del almacén es de 2°C por lo que la estructura del área de oficinas está aislada térmicamente del almacén.



Figura 2.7 Centro de distribución, Barendrecht, Holanda, vista del voladizo y del arriostramiento de la estructura del edificio de oficinas

3 DISEÑO CONCEPTUAL DE PÓRTICOS

Los pórticos en acero son un recurso muy extendido ya que combinan eficiencia y funcionalidad, tanto estructuralmente, como en la forma. Se pueden diseñar varias geometrías de pórticos siguiendo el mismo tipo estructural, tal y como muestra la Figura 3.1.

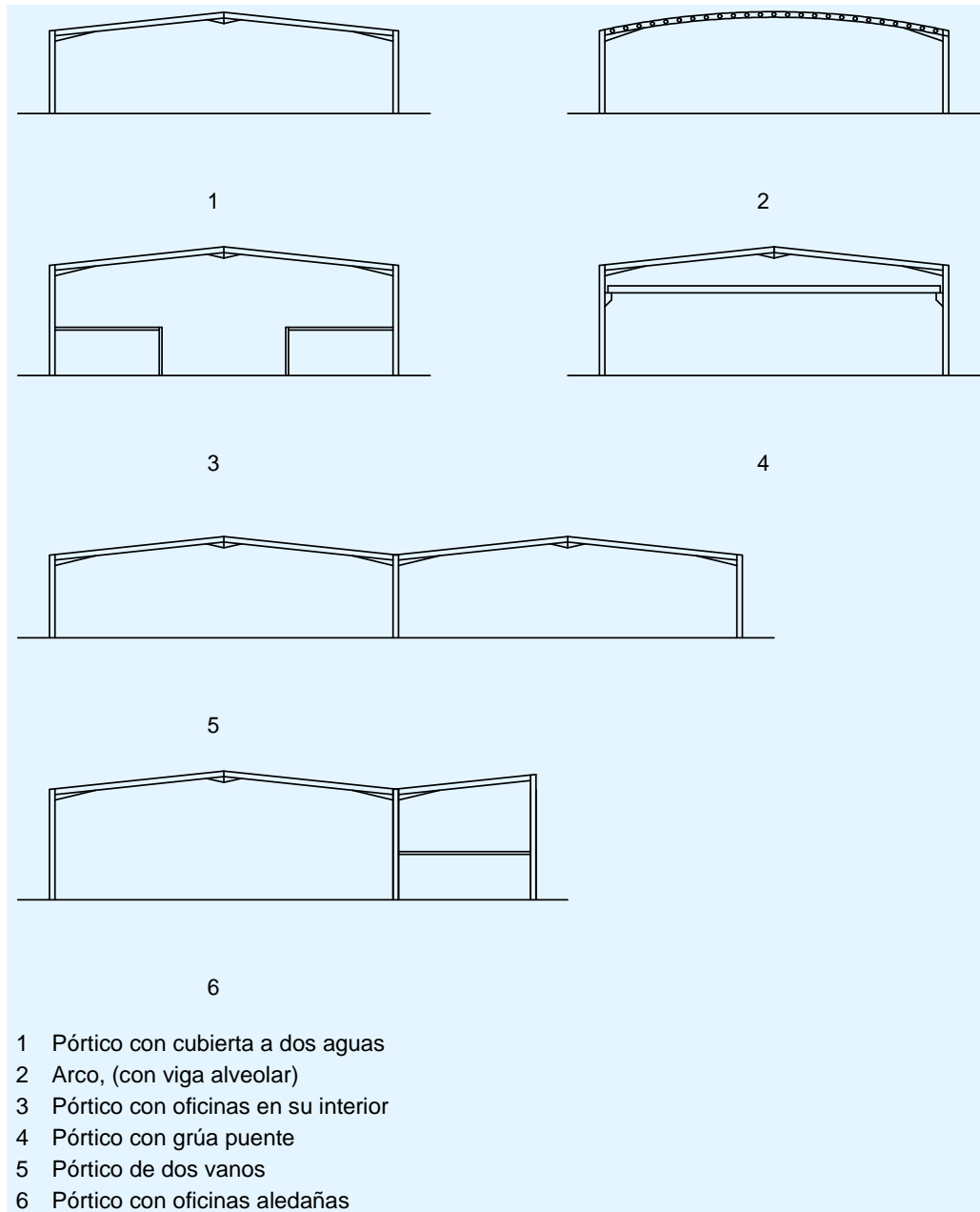


Figura 3.1 Varios tipos de pórticos

3.1 Pórtico con cubierta a dos aguas

Se trata de una estructura de un único vano, simétrica (tal y como muestra la Figura 3.2), y que suele tener las siguientes dimensiones:

- Un vano de 15-50 m (el rango de mayor eficiencia es entre 25-30 m)
- Una altura libre (desde la base hasta claveteado) de entre 5 y 10 m (7,5 m es la altura comúnmente adoptada). La altura libre se determina de acuerdo con el espacio libre especificado entre el suelo y el punto más bajo de la cartela de la unión en alero.
- Una inclinación de la cubierta de entre 5° y 10° (6° es el comúnmente adoptado)
- Una separación entre pórticos de 5-8 m (cuanto mayor sea el vano, mayor es la separación)
- Los elementos suelen ser perfiles en I, en lugar de perfiles en H, ya que deben soportar momentos flectores significativos y garantizar la estabilidad y rigidez en el plano de la estructura.
- Las calidades de acero utilizadas suelen ser S235 o S275. Dado que las flechas suelen ser críticas, el uso de aceros superiores no suele estar justificado.
- Se disponen cartelas en el alero, para mejorar la resistencia a flexión de las uniones y las vigas, y para facilitar las uniones atornilladas a los pilares.
- Se disponen pequeñas cartelas triangulares en los extremos para facilitar las uniones atornilladas

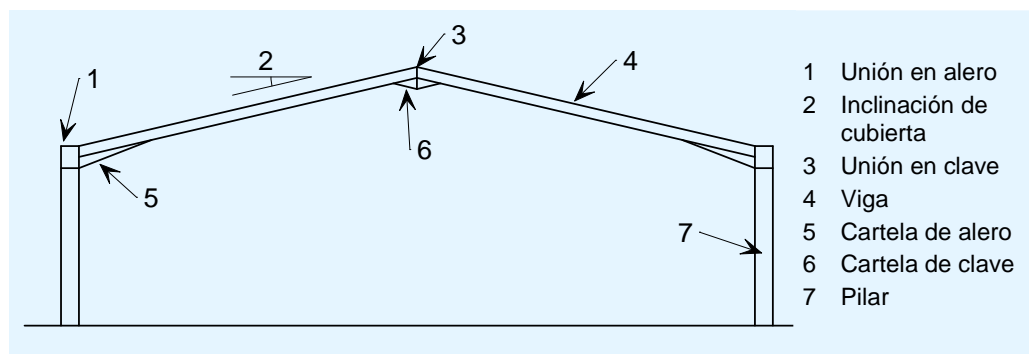


Figura 3.2 Pórtico simétrico de un único vano

La cartela de la unión en alero, generalmente se corta del mismo perfil laminado que la viga, o incluso de uno ligeramente superior y se suelda al ala inferior de ésta. La longitud de esta cartela es, generalmente, del orden del 10% de la luz., Eso implica que el momento negativo en el punto en que termina la cartela, es aproximadamente del mismo orden que el momento positivo en la clave del pórtico, tal y como muestra la Figura 3.3.

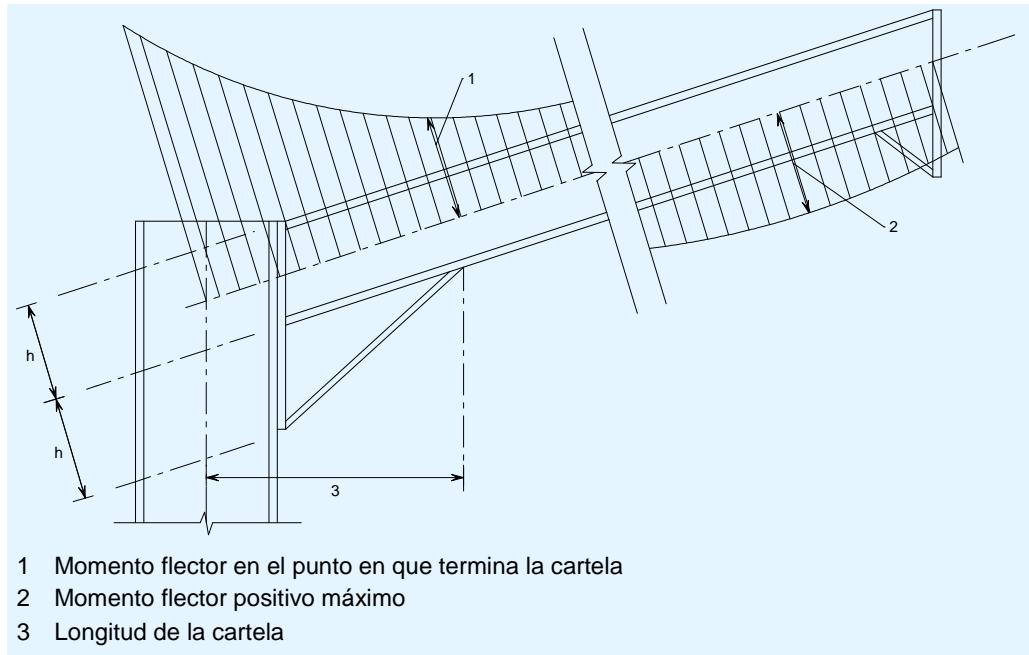


Figura 3.3 Ley de momentos flectores en la viga y en la longitud de la cartela

Los pórticos situados en los extremos de la nave se denominan testeros o frontales. Los testeros pueden ser idénticos a los pórticos interiores, aunque generalmente están sometidos a solicitaciones menores. Si se prevé una futura ampliación del edificio, se utilizan pórticos como testeros, para minimizar el futuro impacto en la estructura. En la Figura 3.4 se muestra un testero típico.

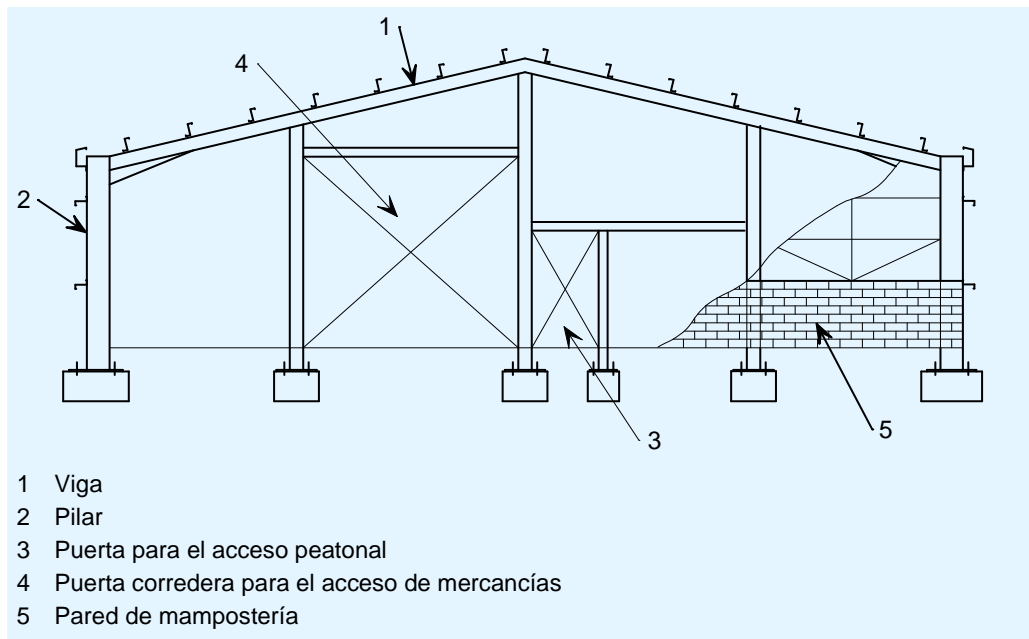


Figura 3.4 Detalle típico de un pórtico testero

Se pueden construir otro tipo de testeros a partir de pilares y pequeñas vigas simplemente apoyadas en ellos, tal y como muestra la Figura 3.5. En este caso es necesario disponer riostras, también mostradas en el gráfico.

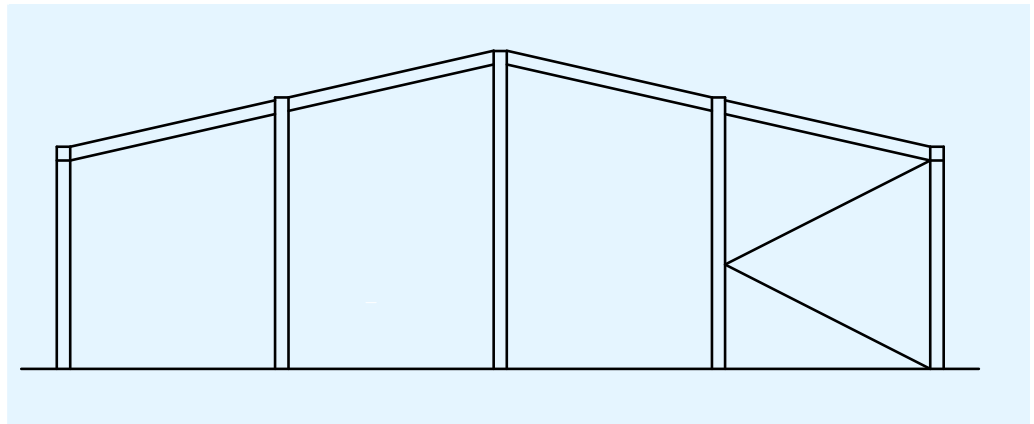


Figura 3.5 Testero (no tipo pórtico)

3.2 Estabilidad estructural

La estabilidad en el plano de la estructura la proporciona la continuidad de la misma. En la dirección longitudinal, sin embargo, la estabilidad la proporcionan las riostras dispuestas entre los pilares. El arriostramiento vertical puede estar en los dos extremos de la nave, o únicamente en uno. Cada pórtico está conectado al arriostramiento vertical mediante un perfil laminado en caliente dispuesto en el alero. En la Figura 3.6 se muestra una disposición habitual del arriostramiento.

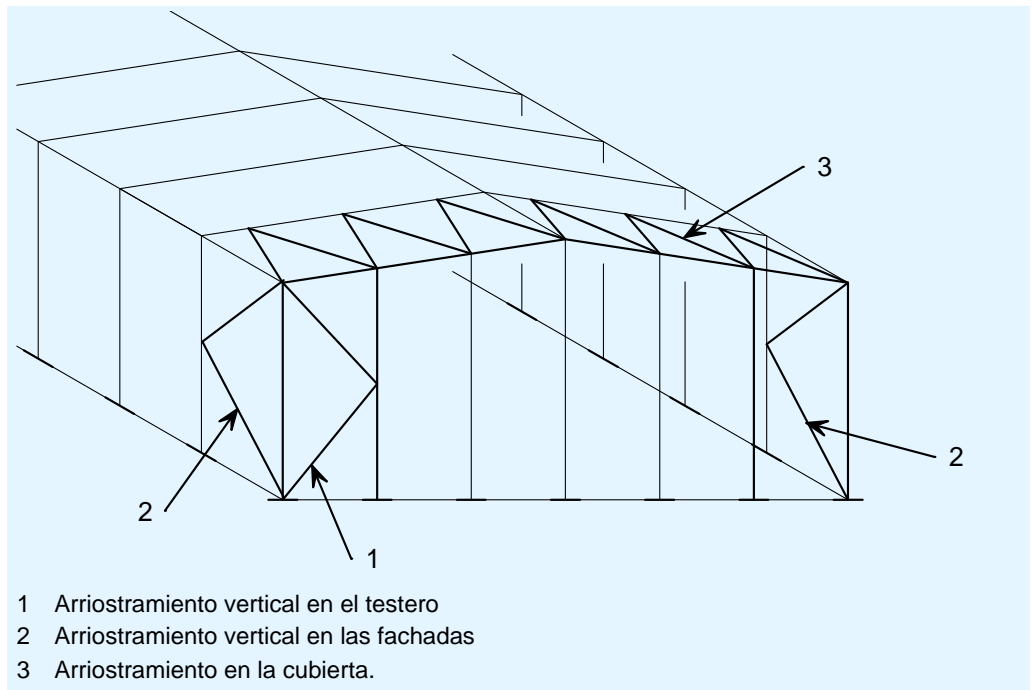


Figura 3.6 Arriostramiento típico en una estructura de pórticos

Los pilares de los testeros, que van desde la base hasta la cubierta, ayudan a transmitir a las cimentaciones los esfuerzos del arriostramiento, junto con los perfiles dispuestos en los aleros.

Si no es posible disponer un arriostramiento diagonal entre pilares, la estabilidad longitudinal se puede garantizar mediante una estructura rígida entre pilares., tal y como muestra la Figura 3.7.

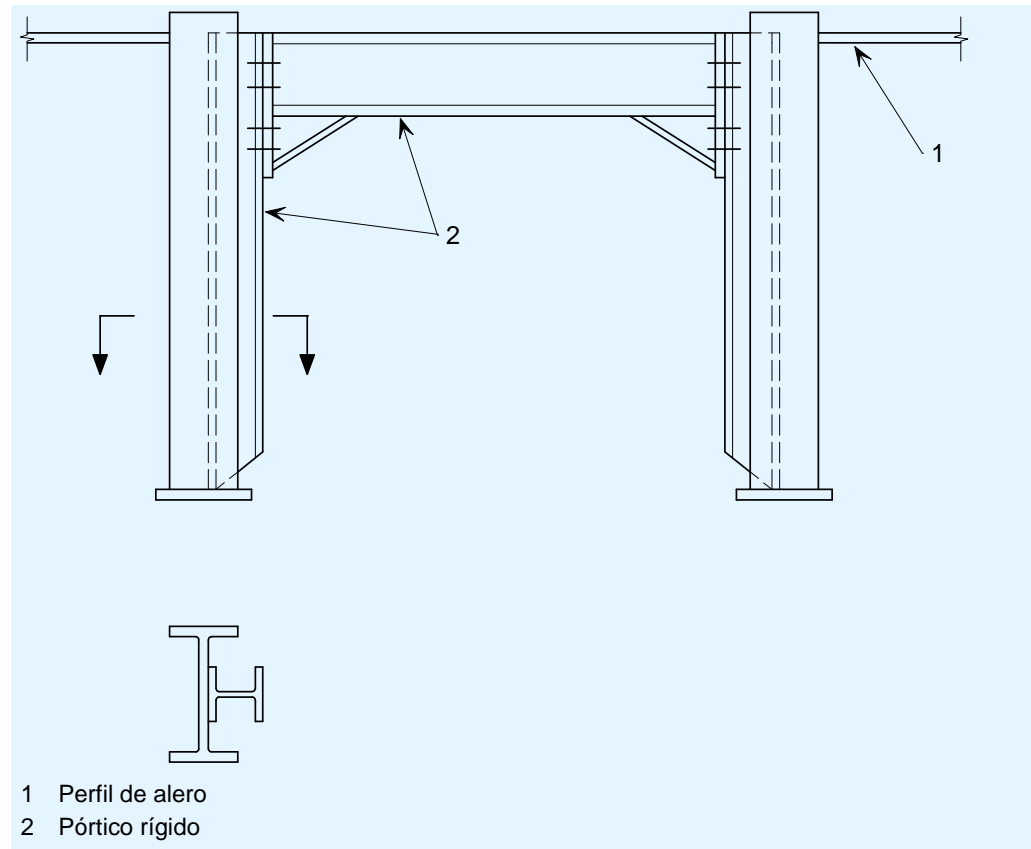


Figura 3.7 Alternativa al arriostramiento: estructura rígida

3.3 Estabilidad de los elementos

Debe comprobarse la estabilidad de los elementos utilizando las expresiones 6.61 y 6.62 de la norma EN 1993-1-1. Para un diseño eficiente, deben considerarse riostras tanto en vigas como en pilares. Las correas de cubierta y de fachada se consideran adecuadas para limitar los movimientos en el ala a la que están ancladas/unidas, pero si no se dispone de ningún otro elemento, no se puede asumir que también se limitarán los movimientos en el otro ala del perfil. El ala interior, en general, se fija a las correas mediante arriostramientos auxiliares, como se muestra en la Figura 3.8. El arriostramiento está formado por pequeños elementos metálicos, diseñados para trabajar a tracción, o por angulares que garanticen la resistencia a compresión si solo es posible arriostrar desde un lado.

Si la normativa nacional no permite un sistema de arriostramiento como el mostrado en la Figura 3.8, la estabilidad deberá garantizarse mediante perfiles laminados en caliente.

Este tipo de arriostramiento será necesario siempre y cuando el ala interior esté comprimida. Esta situación aparece:

- En el interior del pilar y del dintel de cubierta, en el área de la cartela, con la combinación de acciones por gravedad
- Hacia la clave del dintel con la combinación de cargas de viento (succión).

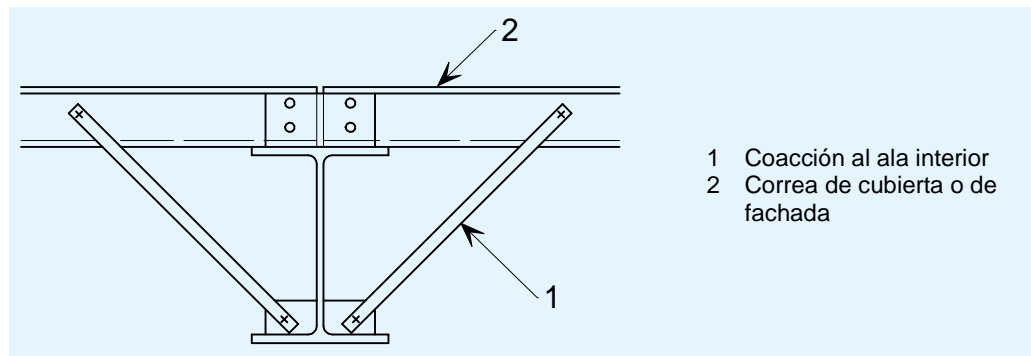


Figura 3.8 Arriostramiento típico del ala interior

La disposición de las coacciones al ala interior, generalmente, es similar a la mostrada en la Figura 3.9. En algunas ocasiones no será posible disponer las coacciones al ala interior del pilar por lo que en esta situación, posiblemente, se deba recurrir a una sección mayor de pilar. Esta sección deberá ser estable (a pandeo) entre la parte inferior de la cartela y la base del pilar.

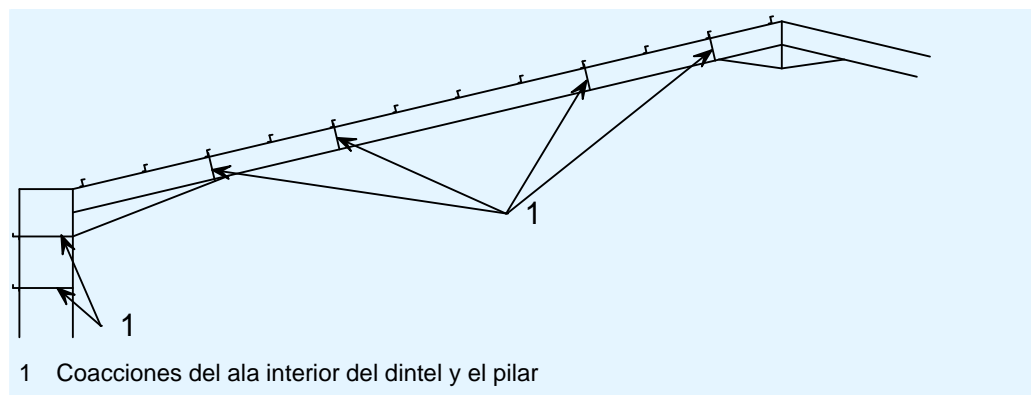


Figura 3.9 Disposición habitual de coacciones a las alas interiores

En todos los casos debe coaccionarse el movimiento de la unión entre la cara interior del pilar y la parte inferior de la cartela, mostradas en la Figura 3.10. Esta coacción se realizará mediante el sistema mostrado en la Figura 3.8, o mediante un perfil laminado en caliente dispuesto a tal propósito.

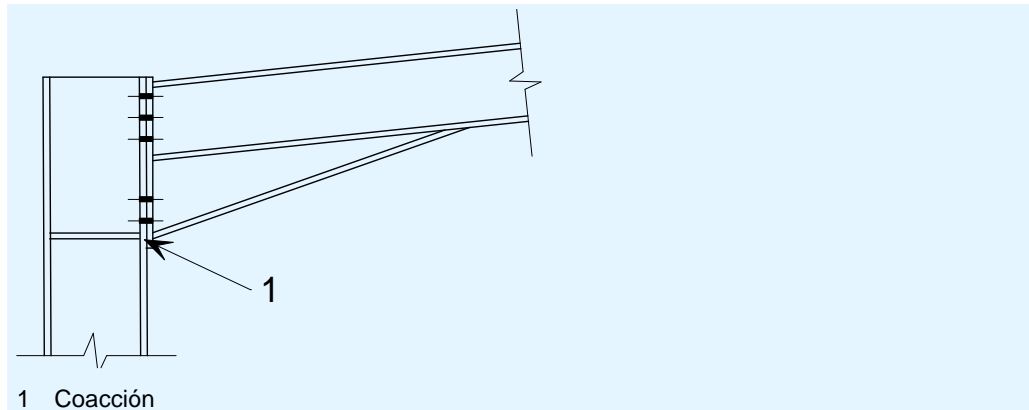


Figura 3.10 Coacción a la unión pilar-viga

3.4 Predimensionamiento

3.4.1 Estructuras principales

En el diseño eficiente de estructuras de pórticos se recurre al uso de Software especializado, aunque el predimensionamiento es sencillo. En la mayoría de los casos se puede estimar acertadamente la cuantía de los momentos máximos considerando únicamente las solicitaciones verticales. La combinación de acciones que consideran las cargas por viento, se comprobarán en el diseño final, y únicamente deberán considerarse de forma preliminar si su valor es considerable (por ejemplo en zonas costeras, o si la altura de los pórticos es elevada).

Basándose únicamente en las cargas verticales, en la sección 8 de esta guía se incluyen tablas que proporcionan el tamaño de predimensionamiento adecuado.

Como alternativa a los datos proporcionados en la sección 8, los momentos flectores en la clave y los aleros se pueden calcular mediante un análisis elástico

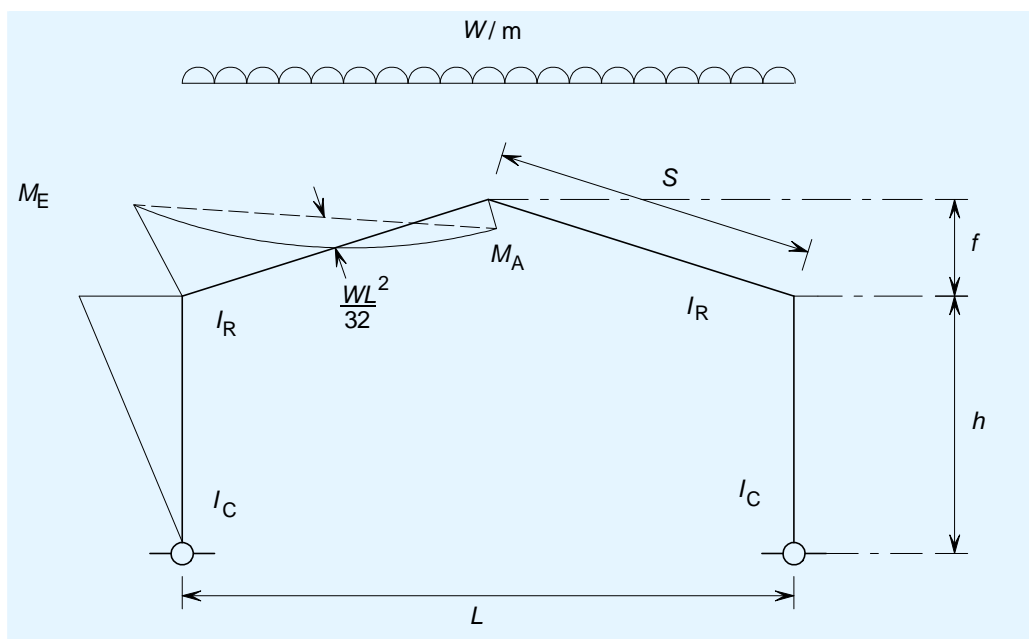


Figura 3.11 Detalles de un pórtico con bases articuladas

Para la estructura con bases articuladas mostrada en la Figura 3.11, el momento flector en los aleros M_E (del inglés *eaves*), y en la clave M_A (del inglés *apex*), se pueden calcular mediante las siguientes expresiones:

$$M_E = \frac{wL^2(3+5m)}{16N} \text{ and } M_A = \frac{wL^2}{8} + m \times M_E$$

donde:

$$N = B + mC$$

$$C = 1 + 2m$$

$$B = 2(k + 1) + m$$

$$m = 1 + \phi$$

$$\phi = \frac{f}{h}$$

$$k = \frac{I_R}{I_C} \frac{h}{s}$$

Para el diseño preliminar se puede asumir que $I_C = 1,5 \times I_R$ (I_C es el momento de inercia del pilar e I_R es el momento de inercia del dintel).

Conocidos los momentos flectores en la estructura, cubiertazos dinteles se deben seleccionar para que el momento de resistencia máximo de la sección supere tanto el momento negativo en el punto en el que empieza la cartela, como el máximo momento positivo en el perfil (ligeramente mayor que el momento en la clave).

3.4.2 Pilares de testeros

Los pilares en los testeros, generalmente, están diseñados como biarticulados en su base y en el dintel. Las cargas principales son las causadas por la acción del viento. La presión interior o la succión generarán cargas en los pilares del testero. Normalmente, el caso crítico en el diseño viene dado por presión en el interior del edificio y succión en el exterior, cuando el ala interior del pilar no está coaccionada. Si la legislación nacional lo permite, se dispondrá de arriostamiento al ala interior mediante una correa de fachada, para incrementar la resistencia a flexión.

3.4.3 Arriostamiento

En la fase de diseño preliminar, es conveniente calcular la carga longitudinal total sobre la estructura. Esta será el componente horizontal de la carga soportada por el arriostamiento vertical. Las riostras de cubierta más cargadas serán las más cercanas a los aleros. Los elementos longitudinales que discurren a lo largo del alero transmiten las cargas desde el arriostamiento de la cubierta al arriostamiento vertical. Las riostras podrán ser secciones huecas, angulares o secciones planas. Si se disponen secciones planas, se deberá tener en cuenta que sólo resisten fuerzas de tracción.

3.5 Uniones

3.5.1 Unión de alero

En la Figura 3.12 se muestra una unión típica en el alero. En casi todos los casos será necesario disponer un rigidizador de compresión en el pilar (ver la parte inferior de la cartela). También es posible que sea necesario disponer rigidizadores adicionales para aumentar la resistencia a flexión del ala del pilar adyacente a los tornillos de la unión que soportan la tracción, y para aumentar la resistencia a cortadura del alma del pilar. La cartela, generalmente, se fabrica de una sección de un tamaño similar o mayor que la viga o a partir de una chapa equivalente. Normalmente, la tornillería será M24 8.8 y la placa de borde de acero S275 y 25 mm de espesor.

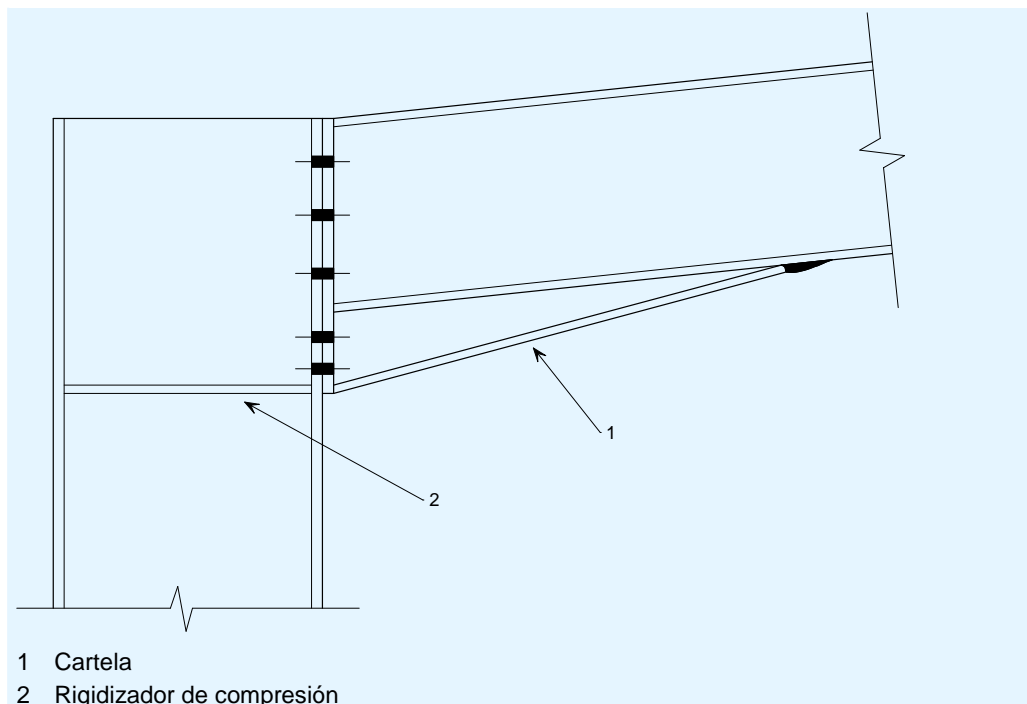


Figura 3.12 Unión de alero habitual

3.5.2 Unión en la clave

En la Figura 3.13 se muestra una unión típica en la clave. La cartela de la unión, principalmente, sirve para aumentar el canto de las vigas en ese punto y para poder realizar un correcto atornillado de las mismas. La cartela de la clave, normalmente, está fabricada a partir de la misma sección que las vigas, o de una chapa equivalente. Generalmente, la tornillería será M24 8.8 y la placa de borde de acero S275 y 25 mm de espesor.

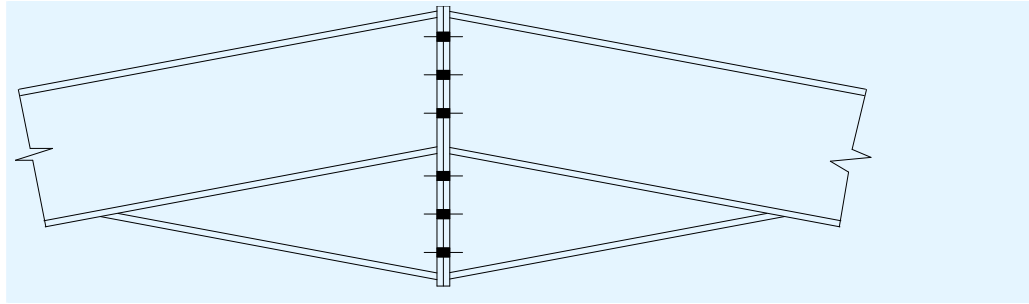


Figura 3.13 Unión en clave típica

3.5.3 Apoyos de pilares

En la Figura 3.14 se muestra una base articulada habitual. Generalmente, la placa base es como mínimo del mismo espesor que el ala del pilar. La mayor parte de las administraciones aceptan como unión articulada aquella que está atornillada con 4 pernos, como la que se muestra en la Figura 3.14. Otra alternativa es disponer únicamente dos pernos en la base, alineados con el eje del alma del pilar, aunque esto dificulta el proceso de construcción del pórtico.

Los pilares, normalmente están situados sobre una serie de forros para asegurar que la estructura está a la cota correcta, y el hueco entre la placa base y la zapata se rellena de mortero o un material cementante. Las bases de gran tamaño deberán construirse dejando una salida de aire para facilitar el inyectado de mortero.

Los pernos, generalmente están embebidos en la cimentación, con cierta libertad de movimiento lateral (tubos o vainas) de manera que la estructura se pueda alinear de forma adecuada. Los agujeros en la base, generalmente, se realizan de un tamaño 6 mm mayor que el diámetro de los pernos, para facilitar el montaje.

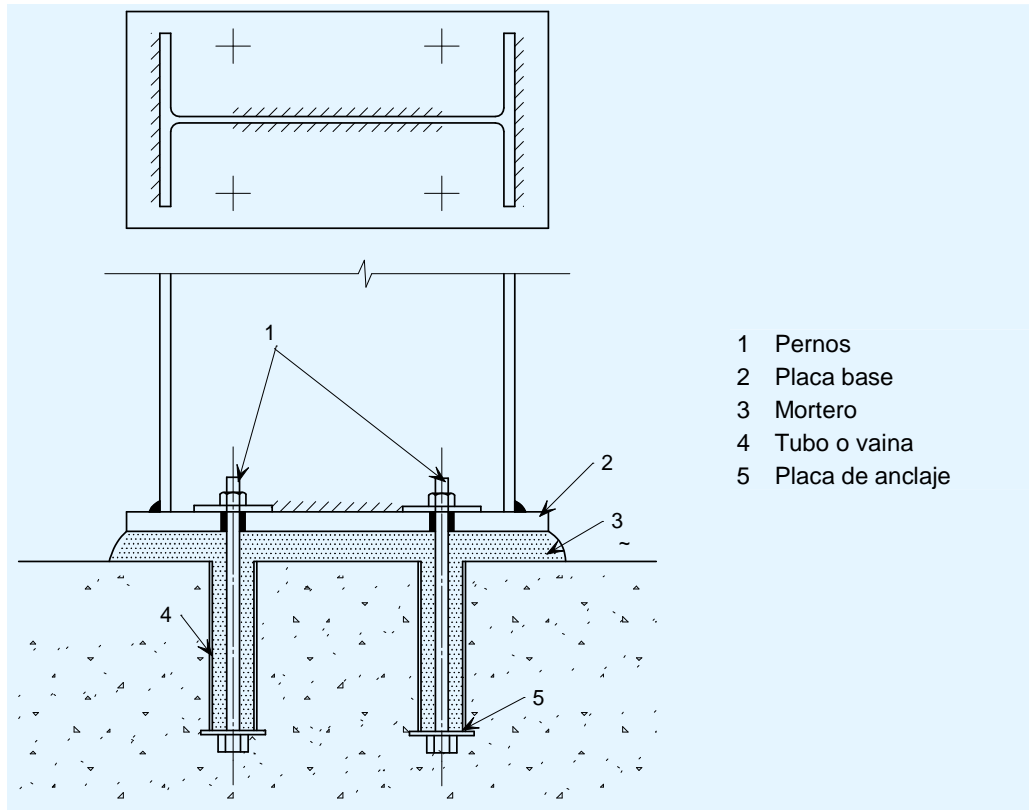


Figura 3.14 Detalle de una base típica

3.5.4 Uniones de las riostras

Los esfuerzos en las riostras de pórticos son generalmente modestos. Las uniones más habituales se muestran en la Figura 3.15. Las cartelas deben sustentarse en dos lados, siempre que sea posible.

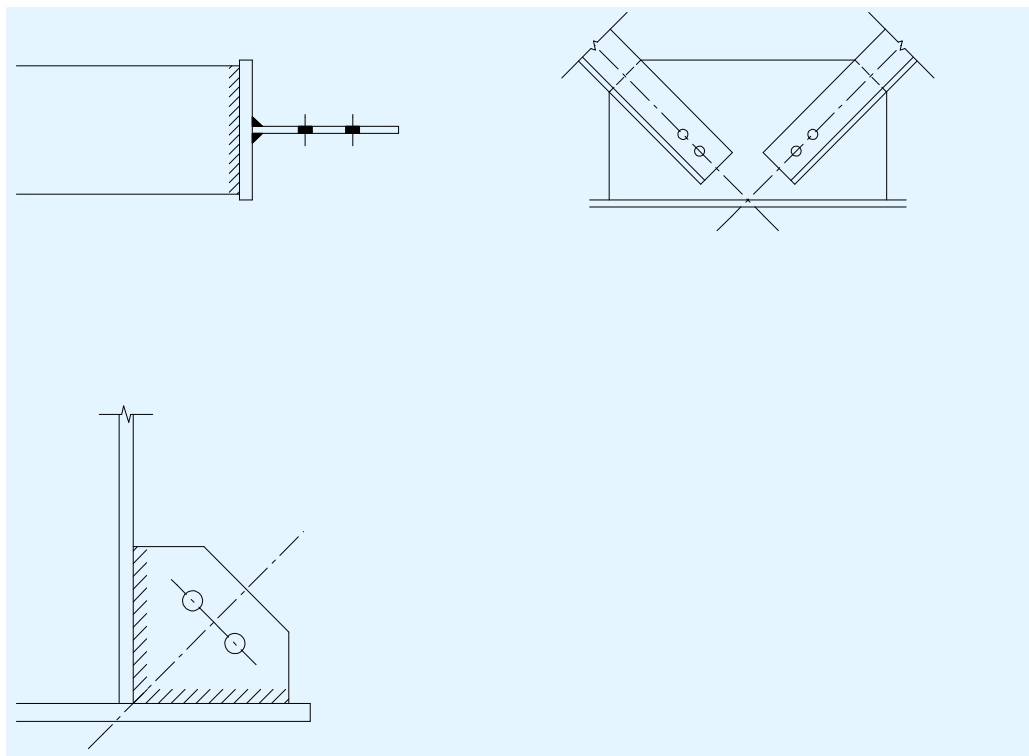


Figura 3.15 Uniones de arriostramiento típicas

3.6 Otros tipos de pórticos

En las secciones 3.1 a 3.5 se han descrito las características fundamentales de los pórticos clásicos. El concepto estructural básico de los pórticos se puede modificar de infinitas maneras para obtener la solución económicamente más eficiente en cada caso, como se ilustra a continuación.

3.6.1 Pórtico con entreplanta

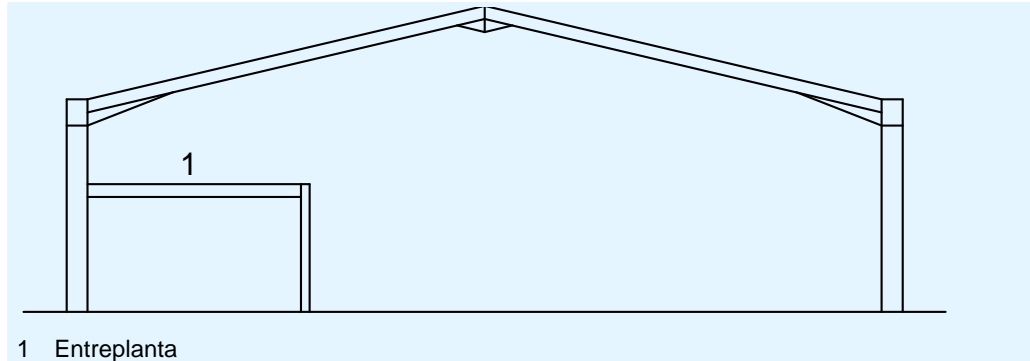


Figura 3.16 Pórtico con entresuelo interior

Las oficinas, normalmente, se disponen dentro de la estructura porticada utilizando un entresuelo o planta mezzanine (como se muestra en la Figura 3.17). El entresuelo puede ocupar parte o la totalidad del ancho del pórtico y puede diseñarse de manera que colabore a estabilizar la estructura. Generalmente, el recinto interior de las oficinas requiere de protección contra incendios.



Figura 3.17 Pórtico con entresuelo

3.6.2 Pórtico con entresuelo en el exterior

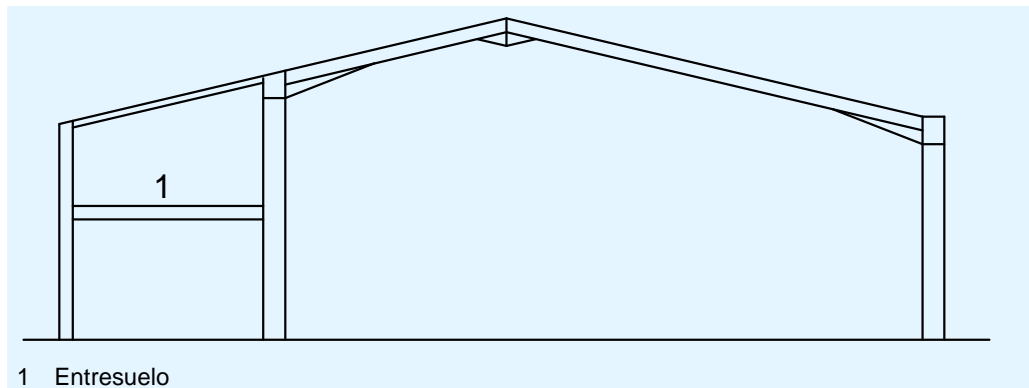


Figura 3.18 Pórtico con entresuelo en el exterior

Las oficinas pueden estar situadas en el exterior del pórtico (como se muestra en la Figura 3.18). La principal ventaja de este tipo de estructura es que los grandes pilares y dinteles no obstaculizan el área de las oficinas. Generalmente, esta estructura exterior está construida con elementos livianos, y su estabilidad depende del pórtico principal (los elementos suelen estar ensamblados con la estructura principal mediante uniones articuladas).

3.6.3 Pórtico con grúa puente

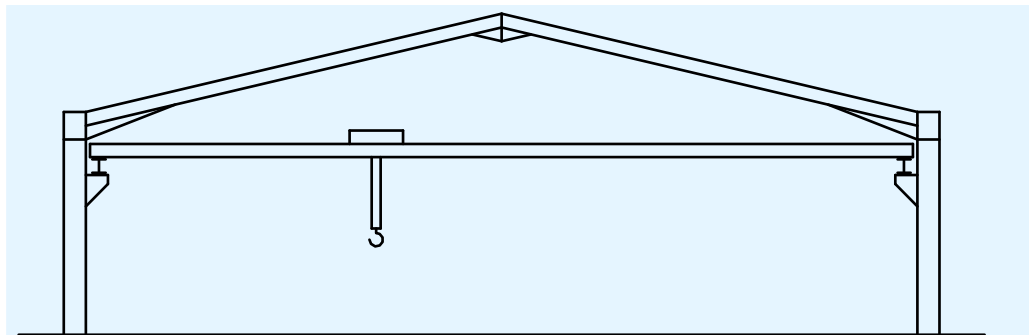


Figura 3.19 Grúa puente sobre pórtico con ménsulas

En el caso de grúas con capacidad moderada de carga (aproximadamente hasta 20 t), los pórticos pueden sustentar las vigas carrileras y el puente de la grúa, tal y como muestra la Figura 3.19. Uno de los factores más críticos en el diseño es el desplazamiento horizontal de la estructura a la cota de las vigas carrileras. Puede ser necesario recurrir a tirantes horizontales de fijación o a bases rígidas para reducir este desplazamiento.

En el caso de grúas con una capacidad de carga superior, será más apropiado disponer una estructura con una celosía superior (ver sección 4) para minimizar los desplazamientos horizontales de los pilares. Para cargas muy pesadas, los pilares compuestos son la solución más adecuada, tal y como se especifica en la Sección 6. Las guías de diseño detalladas cubren tanto el cálculo de celosías^[3] como el de pilares compuestos^[4]

3.6.4 Pórtico atirantado

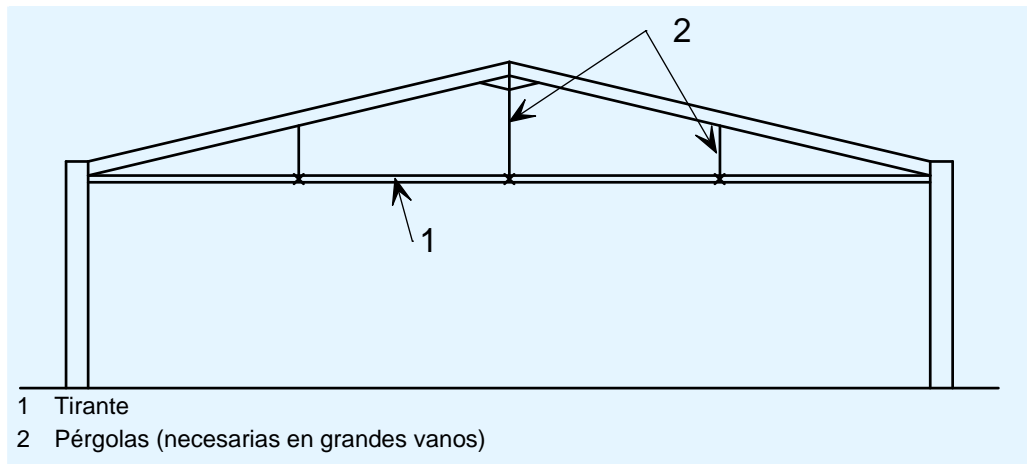


Figura 3.20 Pórtico atirantado

En la Figura 3.20 se muestra un pórtico atirantado, en el cual se reducen significativamente tanto el movimiento horizontal en la unión de los aleros, como los momentos flectores en el conjunto de la estructura. Las vigas estarán sometidas a compresiones, lo que reduce la estabilidad de los elementos, por lo que para su cálculo y dimensionamiento será necesario recurrir al uso de Software que contemple los esfuerzos de segundo orden.

3.6.5 Pórticos con cubierta mansarda o curva

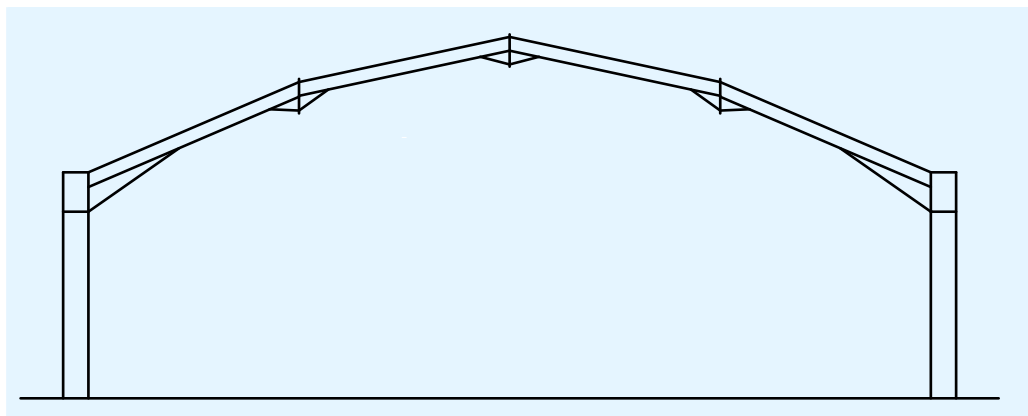


Figura 3.21 Pórtico con cubierta mansarda

Un pórtico con cubierta mansarda consiste en una serie de vigas y cartelas, dispuestas tal y como se indica en la Figura 3.21, que crean un pseudo arco. Las uniones entre los elementos pueden ser acarteladas para facilitar el atornillado.

Los pórticos con dinteles curvos, como el de la Figura 3.22, normalmente tienen aplicaciones arquitectónicas. La viga puede curvarse en frío con un determinado radio de curvatura. Para vanos de más de 18 m de luz, generalmente se recurre a empalmar los dinteles debido a las limitaciones del transporte.

Otra alternativa es disponer una cubierta curva sobre un pórtico poligonal, haciendo uso de diferentes correas, tal y como muestra la Figura 3.23.



Figura 3.22 Dinteles curvos usados en pórticos-arco

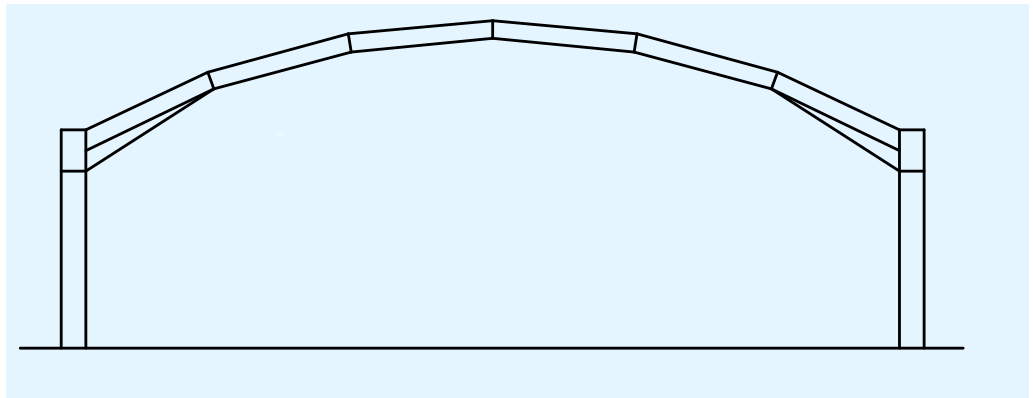


Figura 3.23 Pórtico cuasi-curvo (poligonal)

3.6.6 Estructura porticada de varios vanos

Las estructuras porticadas de varios vanos pueden diseñarse utilizando pilares intermedios, como muestra la Figura 3.24. Si fuera necesario minimizar el número de pilares intermedios, podría disponerse un pilar por cada dos o tres pórticos. Cuando se suprime un pilar, se dispone una viga de gran canto, denominada “viga valle” entre los pilares restantes. La continuidad de las vigas se garantiza utilizando uniones acarteladas entre los electos (dinteles y viga valle), tal y como muestra la Figura 3.25.



Figura 3.24 Estructura porticada de varios vanos

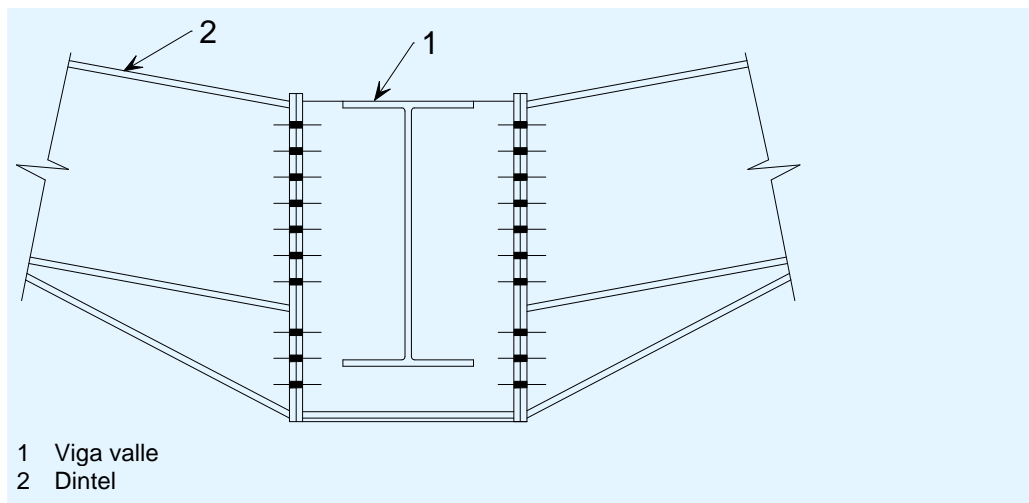


Figura 3.25 Unión con la viga valle

4 DISEÑO CONCEPTUAL DE CELOSÍAS

4.1 Introducción

Se pueden concebir muchos tipos de celosías. Algunas de las más habituales en edificios de una sola altura se muestran en la Figura 4.1.

Las celosías se utilizan para vanos con luces grandes, y en particular cuando la cubierta debe resistir grandes cargas, ya que la flecha se puede reducir variando el tamaño de los elementos de la celosía.

Para naves industriales son comunes las celosías con vigas tipo Pratt o tipo Warren, o las celosías inclinadas. La celosía Fink, generalmente, se reserva para edificios con vanos menores. A continuación se comparan las Celosías tipo Pratt y tipo Warren:

- En la celosía tipo Warren, hay más espacio entre los elementos que la constituyen
- Los elementos de las celosías tipo Warren pueden ser mayores, ya que las diagonales están comprimidas, mientras que en las tipo Pratt los elementos comprimidos son cortos.

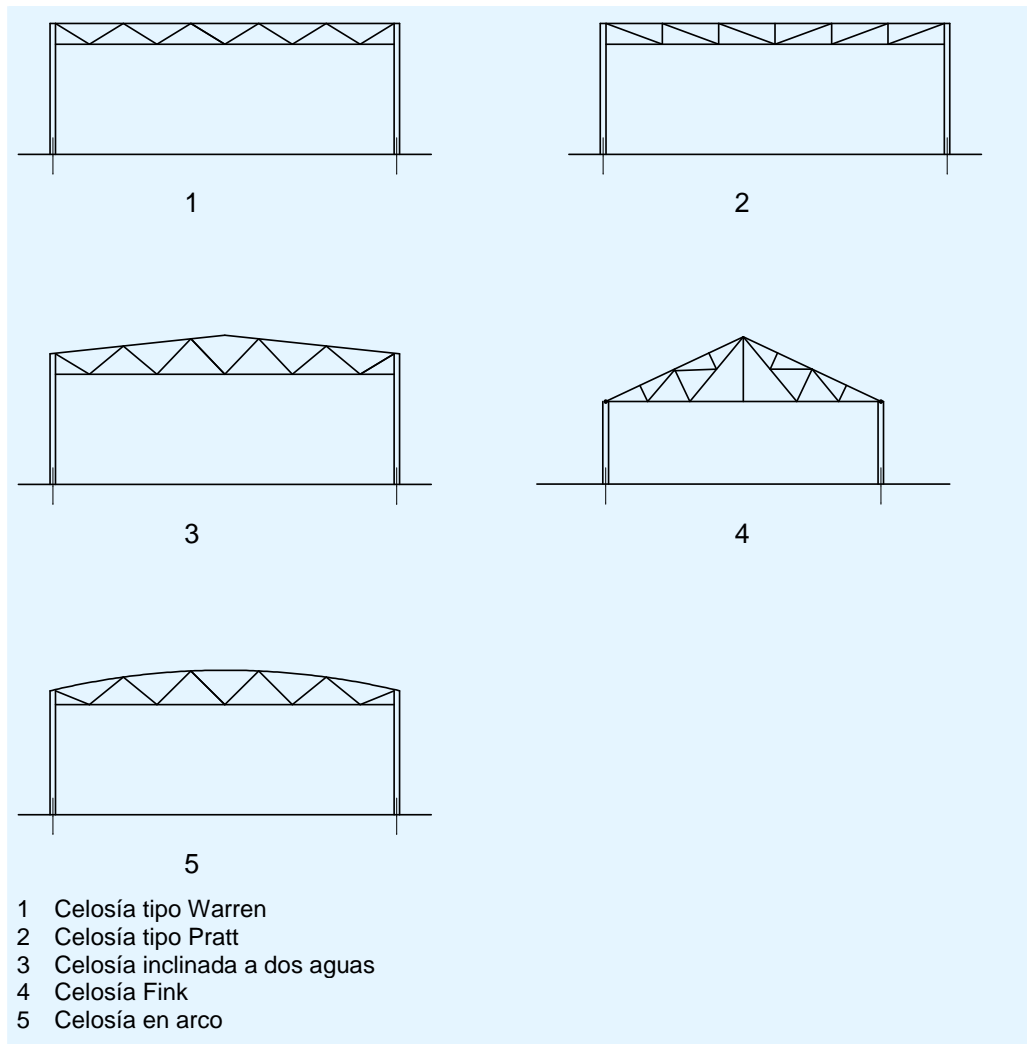


Figura 4.1 Tipos de celosías utilizadas en naves industriales

4.2 Elementos de las celosías

Excepto en el caso de que haya requisitos arquitectónicos específicos, los elementos a partir de los que se construye una celosía se seleccionan para conectar los cordones superior e inferior de manera sencilla. Las combinaciones más habituales se muestran en la Figura 4.2:

- Perfiles en T utilizados como cordones, con angulares utilizados como barras interiores. Los perfiles angulares pueden soldarse o atornillarse a los cordones.
- Angulares dobles, utilizados como cordones, y perfiles angulares (dobles o sencillos) utilizados como barras interiores. Las uniones se realizarán con cartelas hexagonales soldadas a las barras interiores y al cordón.
- Perfiles laminados como cordones, con el alma en el plano de la celosía. Las barras interiores son, normalmente, perfiles angulares unidos mediante cartelas hexagonales soldados directamente al cordón.
- Perfiles laminados como cordones, con el alma perpendicular al plano de la celosía. Las uniones con los cordones serán mediante cartelas hexagonales soldadas al alma, aunque las uniones requerirán de una consideración

cuidadosa a la hora de diseñar el detalle. Una posible alternativa, es seleccionar cordones que tengan el mismo canto, y que se unan a las barras interiores al exterior de ambas alas, generalmente mediante soldadura.

- Para celosías sometidas a grandes cargas, se utilizarán como barras interiores perfiles laminados de sección en I, en H o en U. En estas grandes celosías, es importante seleccionar los cordones y las barras interiores teniendo en mente en el diseño la economía de las uniones.

El diseño detallado de celosías se recoge en: *Edificios un una sola altura. Parte 5: Diseño detallado de celosías* [Error! Marcador no definido].

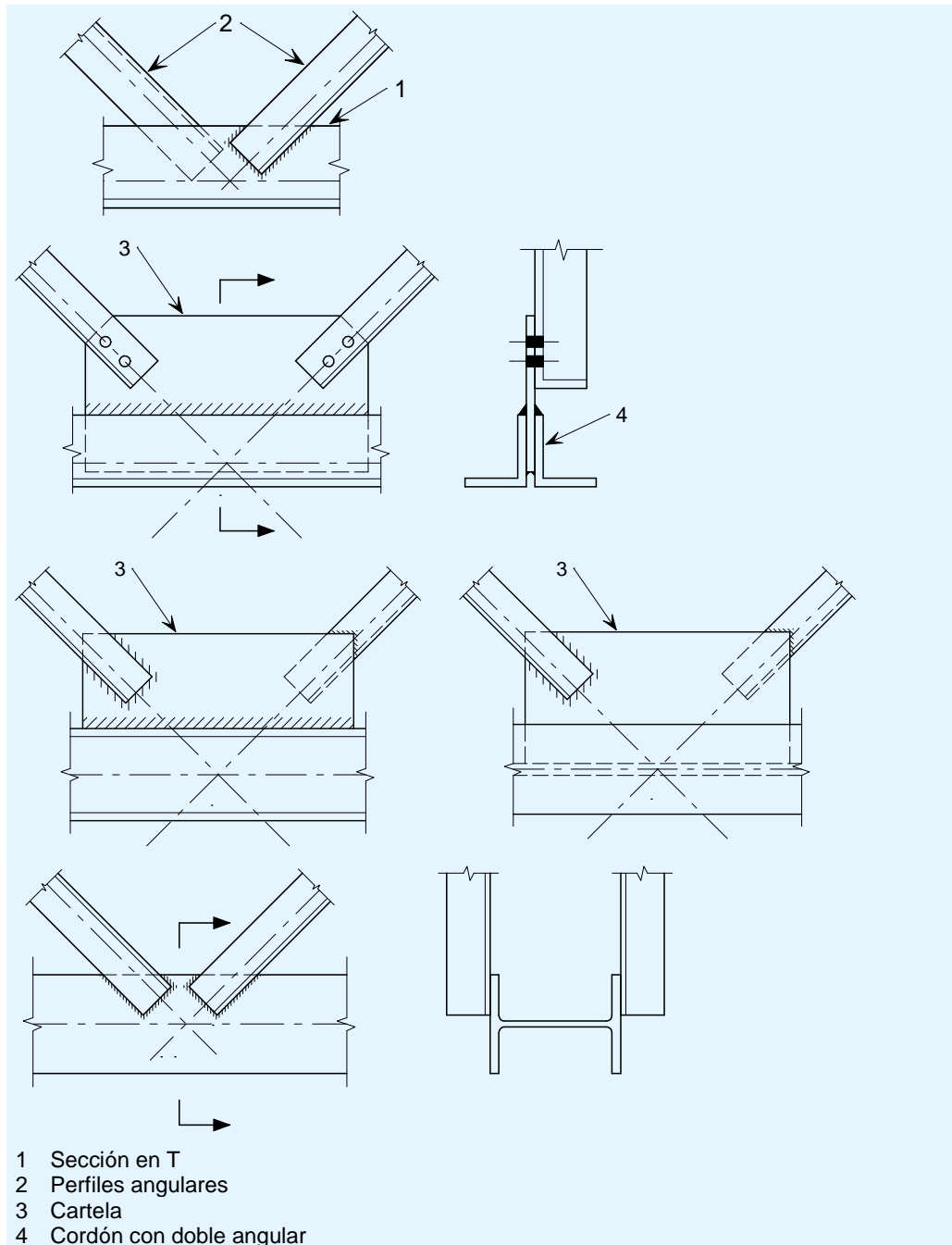


Figura 4.2 Componentes habituales de una celosía

Una celosía fabricada a partir de perfiles laminados se muestra en la Figura 4.3.



Figura 4.3 Celosía fabricada a partir de perfiles laminados

4.3 Estabilidad de la estructura

En la mayoría de los casos, la estabilidad estructural viene dada por el arriostramiento en ambas direcciones ortogonales, de manera que ésta está simplemente apoyada sobre los pilares. Para realizar una unión articulada, no es necesario unir ambos cordones al pilar, tal y como muestra la Figura 4.4, por lo que generalmente se permite el deslizamiento del elemento innecesario en la dirección del cordón.

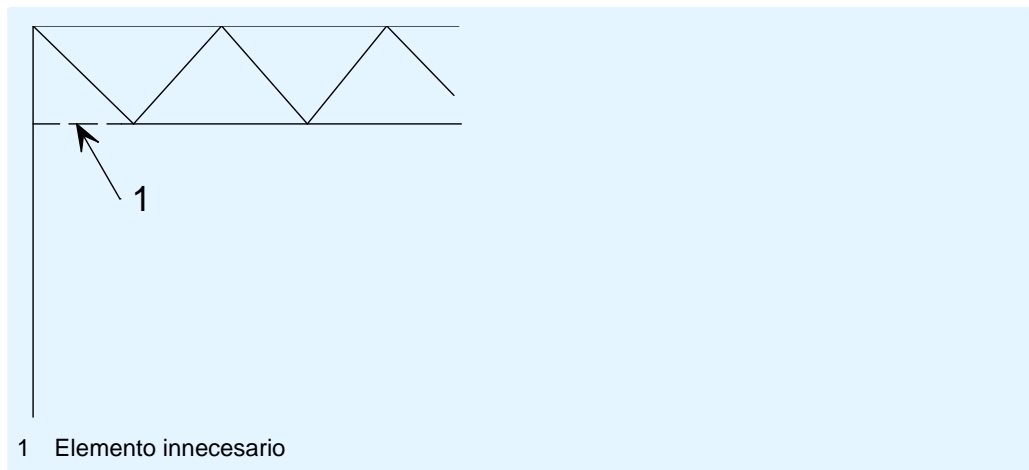


Figura 4.4 Elemento innecesario en una unión articulada de una celosía simplemente apoyada sobre pilares

En la dirección longitudinal, la estabilidad la garantiza el arriostramiento vertical.

4.4 Predimensionamiento

En una primera fase de diseño, se recomienda seguir los siguientes pasos:

1. Determinar las cargas a las que estará sometida la celosía. Ver sección 1.4.1. En el predimensionamiento es suficiente convertir todas las cargas, incluido el peso propio, en cargas puntuales aplicadas en los nudos, así como que toda la celosía es una estructura perfectamente articulada. De hecho, estas consideraciones generalmente también son válidas para el diseño final de la estructura. Como alternativa, se puede considerar que las cargas de cubierta se aplicarán sobre las correas y los cordones, supuestos continuos, están unidos a las barras interiores de forma articulada, aunque este tipo de precisión no es habitual.
2. Determinar el canto total de la celosía, y la disposición de las barras interiores, Un ratio luz/canto típico es aproximadamente 20, tanto para celosías tipo Warren como para celosías tipo Pratt. La eficiencia de los elementos interiores se maximiza cuando se disponen entre 50° y 40°
3. Determinar los esfuerzos en los cordones y en las barras interiores, asumiendo que la celosía es una estructura articulada. Esto puede calcularse utilizando software, o mediante métodos manuales clásicos tal y como se muestra en la Figura 4.5.

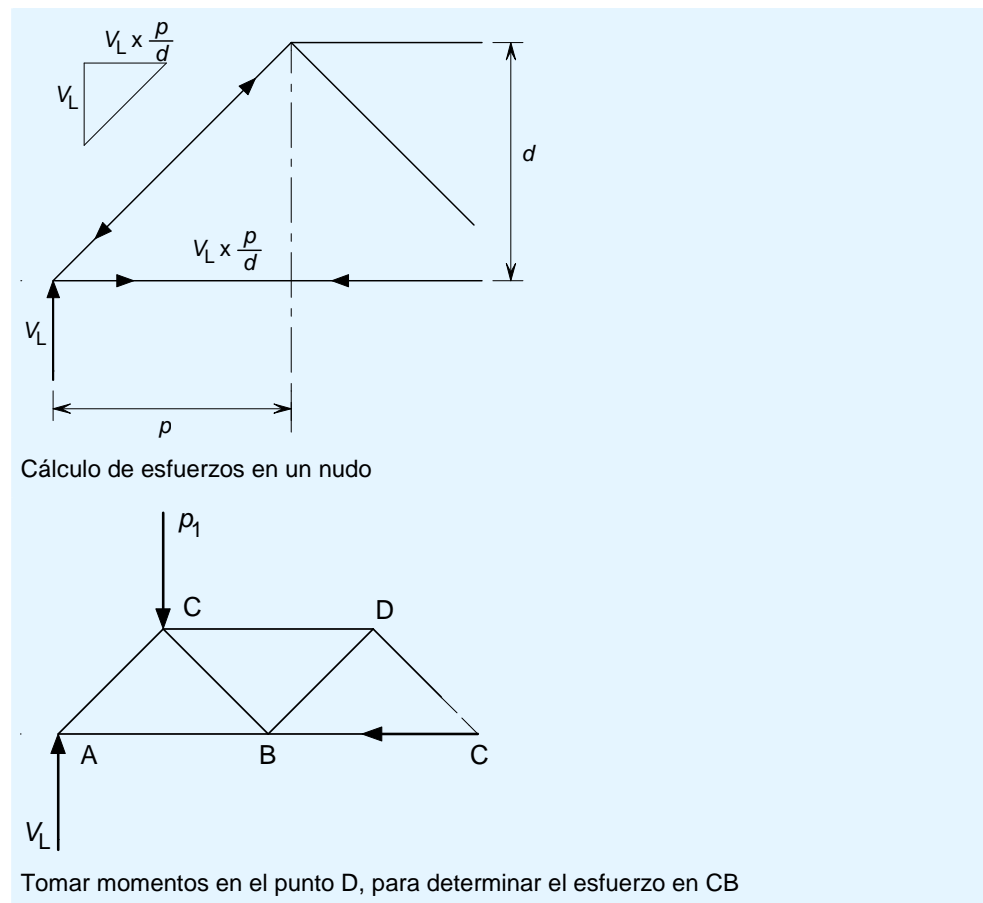


Figura 4.5 Cálculo de esfuerzos en una estructura articulada

Una aproximación simplificada es calcular el máximo momento flector en la celosía, asumiendo que se comporta como una viga, y dividir este momento entre los cordones para determinar los axiles a los que están sometidos los cordones.

4. Seleccionar el codón comprimido. La resistencia a pandeo está condicionada por la distancia entre nudos. El pandeo en la dirección ortogonal al plano de la celosía, está condicionada por las coacciones ortogonales al plano de la celosía, generalmente las correas u otros elementos.
5. Seleccionar el cordón traccionado. La situación crítica de diseño, seguramente, será el caso de succión, lo cual da lugar a que el cordón inferior esté comprimido. El pandeo en el plano perpendicular a la celosía, será limitante. Es habitual disponer un arriostramiento al nivel del cordón inferior, para garantizar la estabilidad en una hipótesis de inversión de esfuerzos. Este arriostramiento adicional no se realiza en cada nudo de la celosía, sino en aquellos lugares en los que sea necesario para garantizar el equilibrio de las tracciones y las compresiones.
6. Elegir las barras interiores, de manera que las uniones no sean demasiado complejas.
7. Comprobar las flechas de la celosía.

4.5 Celosías rígidas

Las estructuras descritas en las secciones 4.1 y 4.4 están estabilizadas mediante arriostramiento en ambas direcciones ortogonales. Es posible estabilizar las estructuras en el plano de las mismas haciendo que la celosía sea continua con los pilares (uniones rígidas). Ambos cordones se fijan a los pilares (sin apoyo deslizante). Las uniones en la celosía y a los pilares pueden ser articuladas. De esta manera, la celosía se asemeja a un pórtico. Para el análisis de este tipo de estructuras, generalmente, se recurre a software. Se debe prestar atención al diseño y cálculo de los pilares, ya que la longitud de pandeo del plano de la celosía es generalmente muy superior a la longitud real del elemento.

4.6 Uniones

Las uniones en las celosías son atornilladas o soldadas a los cordones, ya sea directamente o a través de una cartela, como muestra la Figura 4.6.

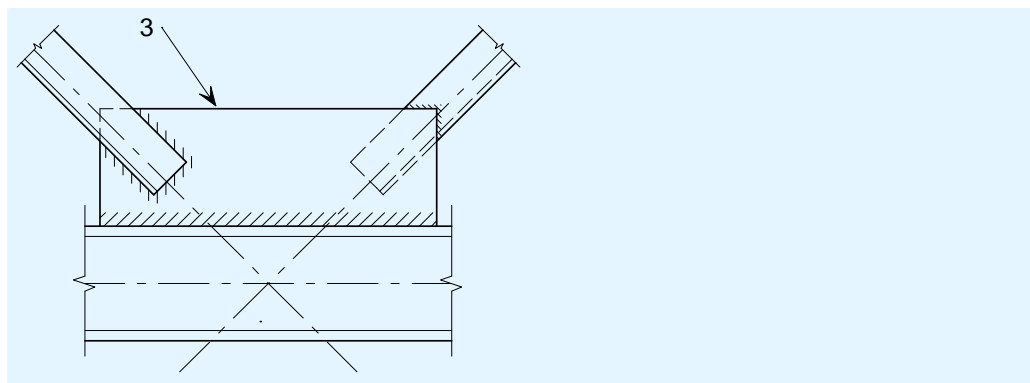


Figura 4.6 Uniones en una celosía

Las celosías, generalmente, están prefabricadas en taller, por lo que en obra será necesario elaborar empalmes. Además de los empalmes en los cordones, las barras interiores en las juntas requerirán de uniones realizadas in-situ. Las

juntas se pueden detallar con placas o como uniones con placa de borde, tal y como muestra la Figura 4.7.

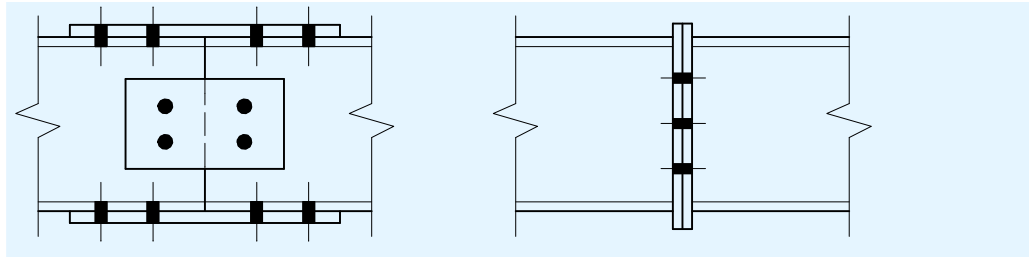


Figura 4.7 Detalle del empalme

Los tornillos ordinarios (no-pretensados) en agujeros con holgura pueden deslizarse ligeramente. Si este error se acumula en varias uniones, la flecha de la celosía puede ser superior a la calculada. En el caso de que la flecha sea un factor crítico, será necesario disponer tornillos pretensados en las uniones o realizar uniones soldadas.

5 ESTRUCTURAS DE PÓRTICOS SIMPLES

En el caso de vanos con luces modestas (hasta aproximadamente 20 m), una solución estructural de pórticos simples (viga simplemente apoyada sobre pilares) puede ser adecuada, tal y como se muestra en la Figura 5.1. El dintel estará constituido por un único perfil laminado en caliente, unido a los pilares mediante nudos articulados. Dicho dintel puede ser horizontal, curvo, disponer de contraflecha o ser una sección aligerada. La cubierta puede ser horizontal, o cómo es más habitual, con una ligera inclinación que favorezca el drenaje. La acumulación de agua en la cubierta debe evitarse, ya sea disponiendo una pendiente en cubierta, o con dinteles ligeramente curvos.

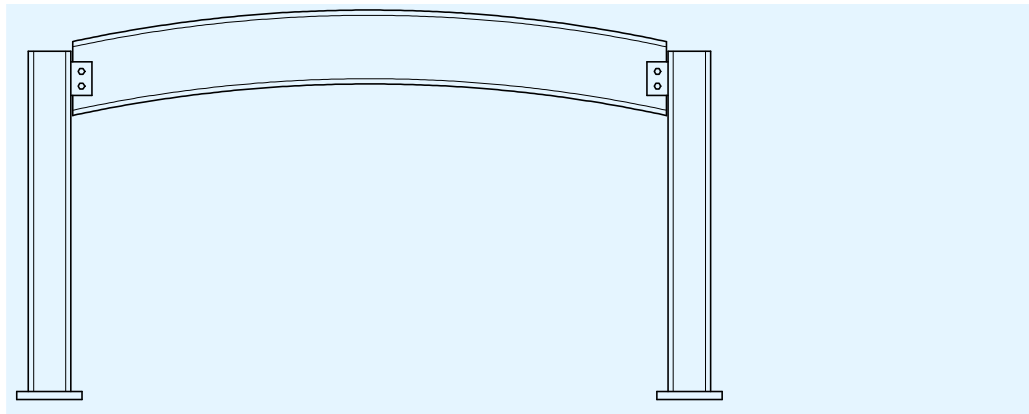


Figura 5.1 Pórtico simple: viga simplemente apoyada sobre pilares

La estabilidad estructural de este tipo de pórticos viene dada por el arriostramiento en ambas direcciones ortogonales. La viga se diseña como simplemente apoyada y los pilares como elementos comprimidos únicamente, con un momento nominal aplicado en la unión con el dintel. Generalmente, se asume que las fuerzas transmitidas por el dintel se aplican a 100 mm de la cara del pilar.

6 PILARES COMPUESTOS

Los pilares sometidos a pesados estados de carga, o pilares situados en elevadas naves industriales suelen ser pilares compuestos. Estos, generalmente, están compuestos por dos perfiles HE o UPE entre los cuales se sueldan presillas (chapas o angulares) uniendo sus respectivas alas, tal y como muestra la Figura 6.1.

Los pilares compuestos, normalmente, no se utilizan en estructuras porticadas, pero se utilizan habitualmente para sustentar grúas. En estos casos, la cubierta puede estar sostenida por vigas dobles o, más habitualmente, por celosías, tal y como muestra la Figura 1.4.

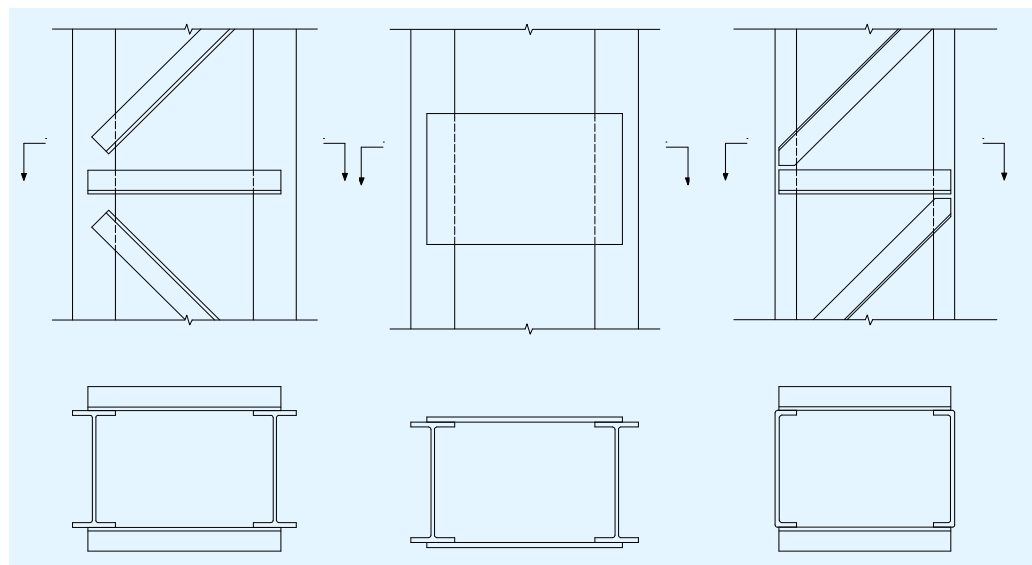


Figura 6.1 Sección transversal de pilares compuestos

Para soportar las cargas de la cubierta situada sobre la grúa, se suele disponer un único elemento, comúnmente conocido como columna o pilar “bayoneta”. Este elemento vertical puede ser una prolongación de cualquiera de los dos perfiles que componen la sección del pilar armado, o un perfil independiente situado sobre el eje central del pilar armado. En la Figura 6.2 se muestran varios ejemplos de pilares compuestos. Los edificios en que se usan este tipo de pilares están sometidos a cargas pesadas, y en general a cargas en movimiento derivadas de las grúas. En general, también disponen de fuertes sistemas de arriostramiento tanto longitudinal como transversal.

El diseño detallado de los pilares compuestos está recogido en la Parte 6 de esta guía: *Edificios metálicos de una sola altura. Parte 6: Diseño detallado de pilares compuestos*^[4].

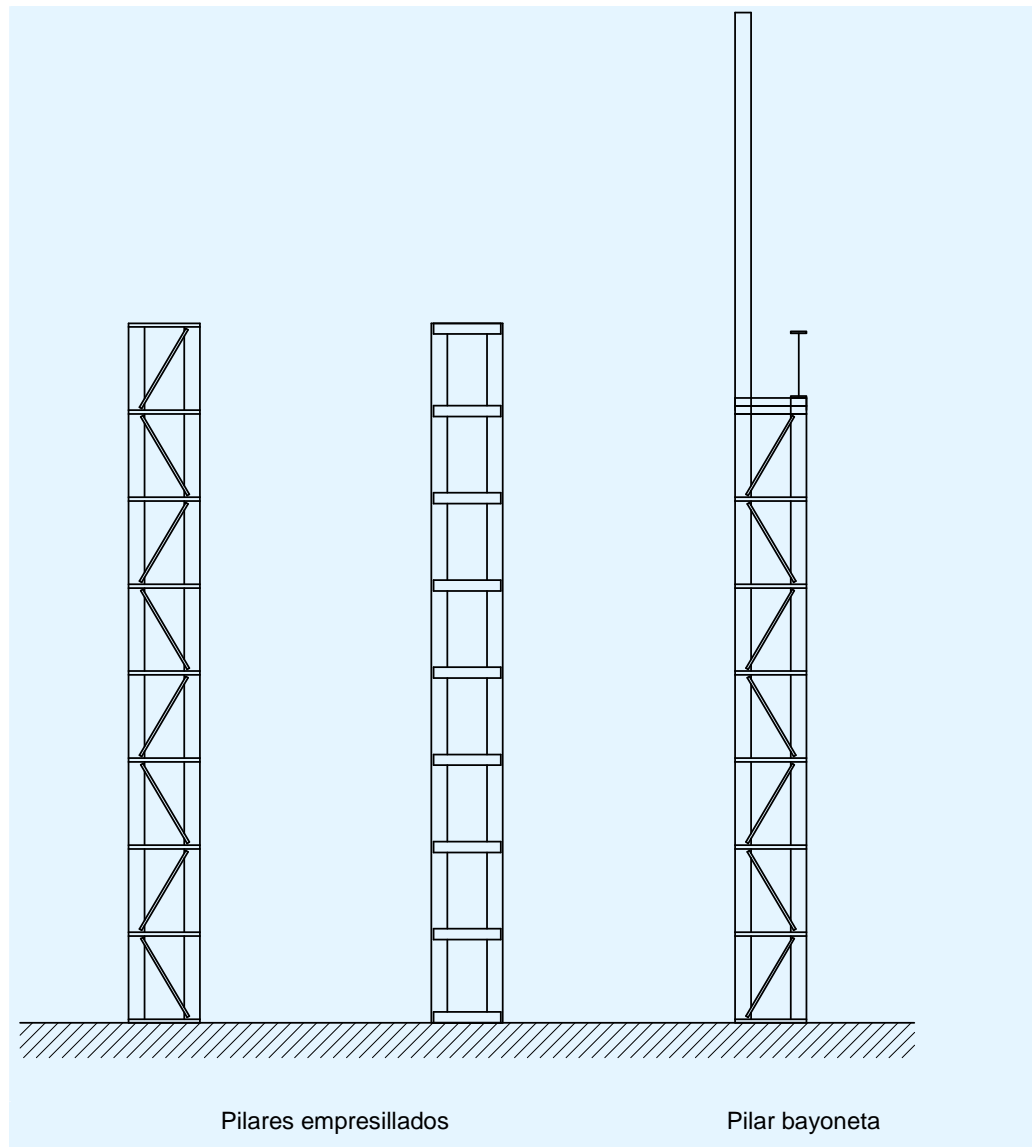


Figura 6.2 Ejemplos de pilares empresillados en edificios de una sola altura

7 CUBIERTAS Y FACHADAS

Existen varios tipos de fachadas que pueden utilizarse en edificios de una única altura, en función del tipo de uso al que se va a destinar dicha instalación. De forma general, estas fachadas se dividen en las 4 categorías que se explican a continuación.

7.1 Chapa trapezoidal de una capa

Los paneles de una sola capa se utilizan muy habitualmente en estructuras destinadas a la agricultura e industria, en las que no es necesario disponer aislamiento. Se puede utilizar en cubiertas con pendientes de hasta 4°, disponiendo los solapes y utilizando los sellantes recomendados por el fabricante en pendientes pequeñas. Los paneles se fijan directamente a las correas, tal y como muestra la Figura 7.1 de manera que proporciona coacción de cara al pandeo de las correas de cubierta. En algunos casos, se dispone el aislamiento justo debajo de la chapa.

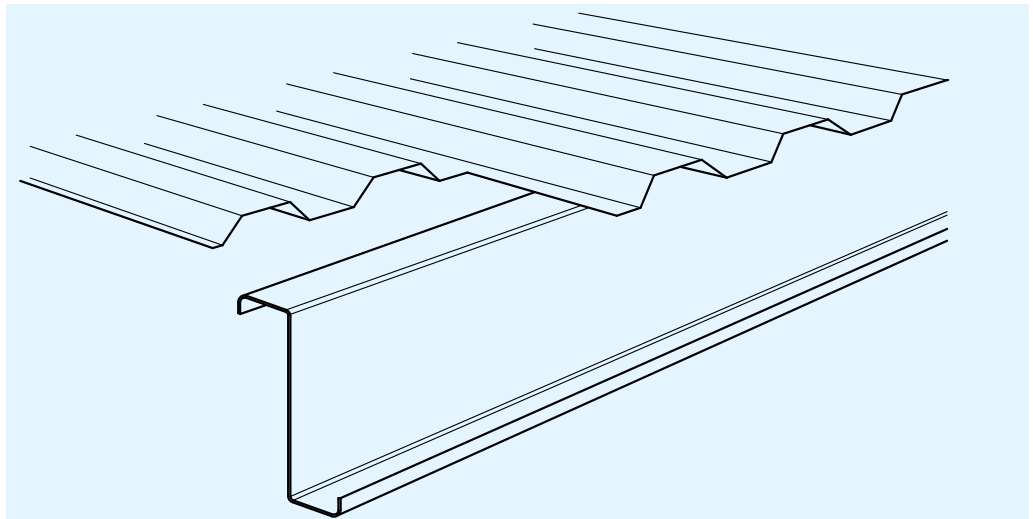


Figura 7.1 Chapa trapezoidal de una capa

7.2 Sistemas doble capa

Los sistemas de cubierta de doble capa o contruidos in situ utilizan bandejas fijadas a las correas, seguidas de un hueco (separador de material plástico o solución de rail y escuadra metálicos), el material aislante y la chapa exterior. Debido a que la unión entre las chapas exterior e interior puede no ser lo suficientemente rígida, las bandejas y la tornillería debe elegirse de manera que proporcionen la suficiente coacción a las correas. Este tipo de construcción se muestra en la Figura 7.2.

Paralelamente al incremento de los espesores de material aislante, se ha ido imponiendo la solución de “raíles y escuadras”, ya que proporciona una coacción lateral mayor a las correas. Este sistema se muestra en la Figura 7.3.

Con un adecuado sellado de las juntas, las bandejas pueden utilizarse para formar una cámara de aire hermética. De lo contrario, se debe situar una membrana impermeable encima de las bandejas.

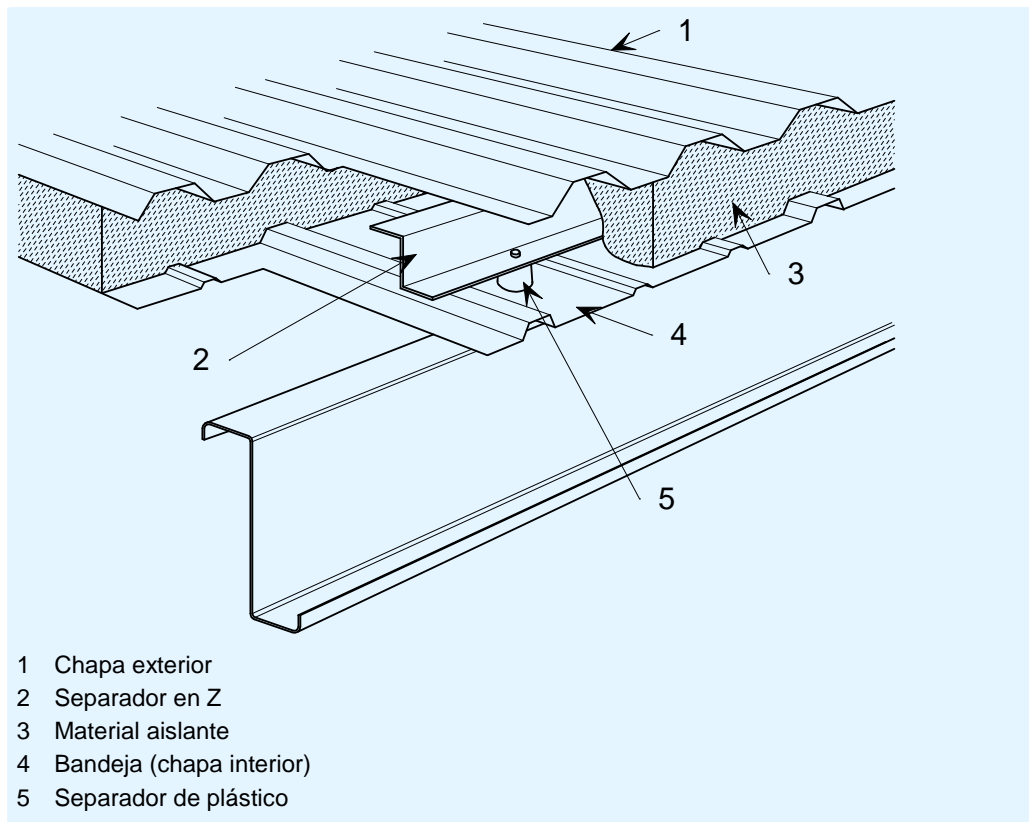


Figura 7.2 Sistema doble capa utilizando separadores en Z

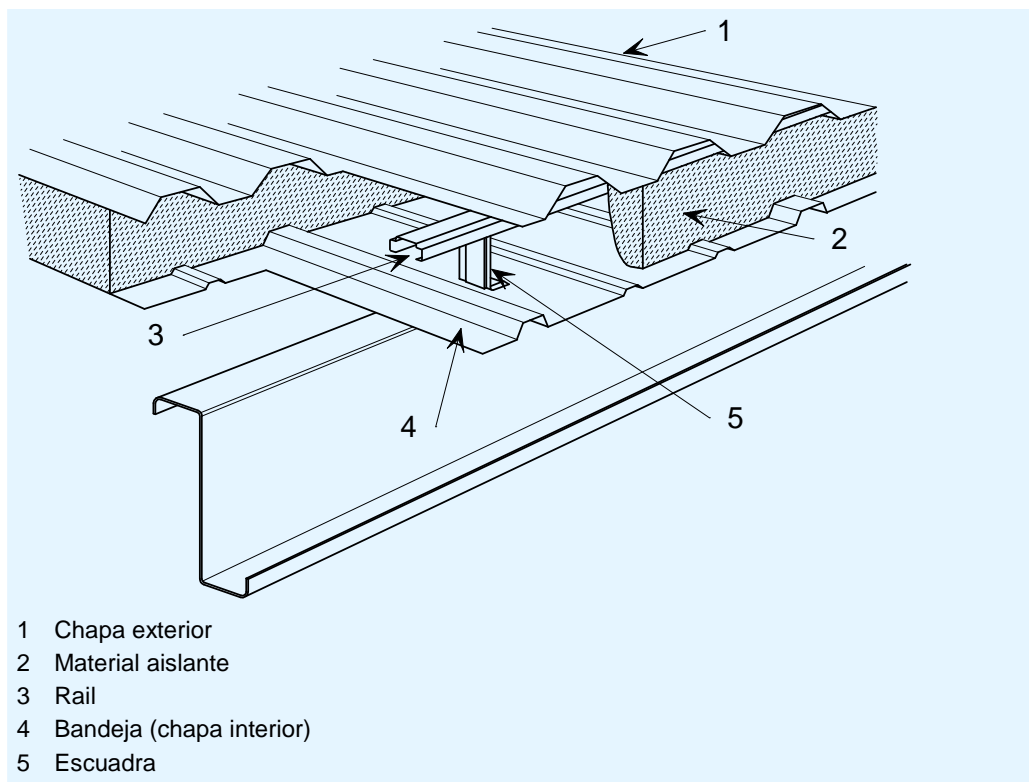


Figura 7.3 Sistema doble capa utilizando separadores de rail y escuadra

7.3 Paneles con fijaciones verticales

Los paneles con fijaciones verticales disponen de fijaciones escondidas en la matriz del panel y pueden ser de hasta 30 m de largo. La principal ventaja es que no existe ningún elemento pasante por toda la chapa que puedan derivar en filtraciones de agua, y que el montaje de la cubierta con este sistema es rápido. Las fijaciones tienen forma de clip que sujeta los paneles permitiendo que deslicen entre sí (ver Figura 7.4). La desventaja de este sistema es que proporciona menos rigidez a las correas que un sistema tradicional. En cualquier caso, si se ejecuta correctamente, este sistema proporciona la coacción adecuada a las correas.

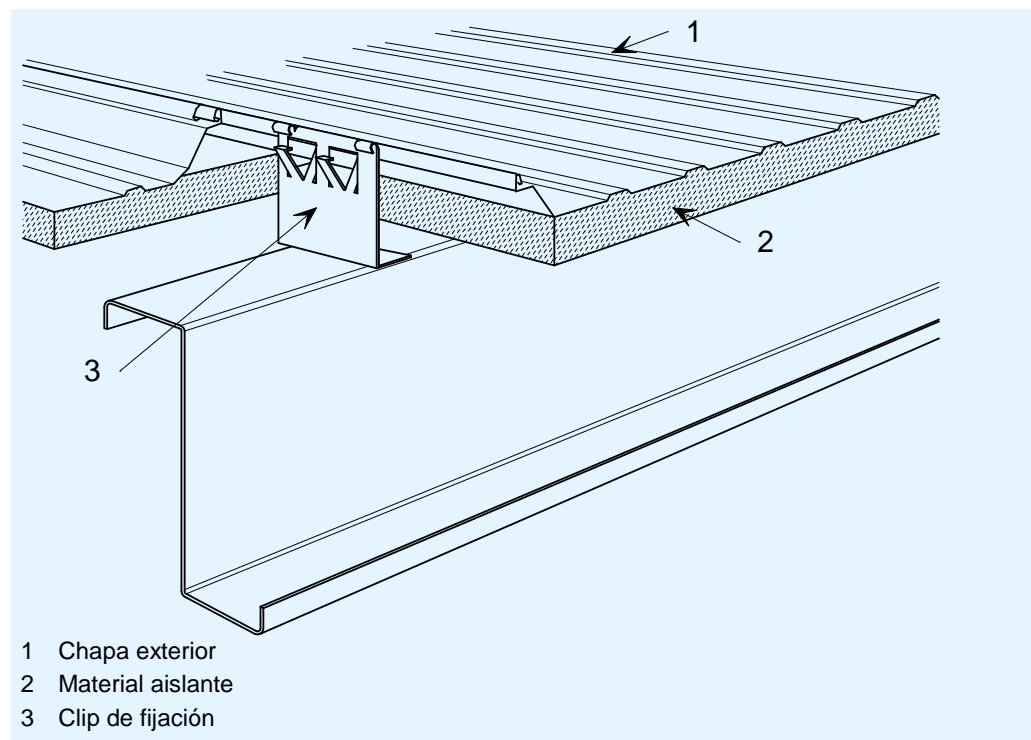


Figura 7.4 Paneles con fijaciones verticales

7.4 Paneles compuestos o tipo sándwich

Los paneles compuestos o tipo sándwich se construyen al crear una capa aislante entre las chapas interior y exterior. Los paneles compuestos pueden disponerse en vanos amplios debido a la acción combinada del material interior y las chapas exteriores. Pueden utilizarse Tanto las fijaciones verticales (ver Figura 7.4) como las uniones directas a las correas. En función del sistema elegido, se proporcionará mayor o menor coacción a las correas. Se recomienda consultar al fabricante de cada panel para más información.

7.5 Protección frente al fuego de las fachadas

Cuando un edificio está situado cerca del límite de la parcela, la mayor parte de las normativas nacionales requieren que la mediana (en el caso de que comparta pared con otra nave) o las fachadas se diseñen para prevenir la extensión del fuego a las propiedades adyacentes en caso de incendio. Los ensayos de incendio han demostrado que varios paneles de fachada se

comportan adecuadamente, siempre y cuando permanezcan fijados a la estructura. Se debe recurrir a las recomendaciones y consejos de los fabricantes.

Algunos fabricantes disponen agujeros alargados en los raíles para que hagan la función de juntas de dilatación térmica. Con el objeto de asegurar que esto no compromete la estabilidad de los pilares al reducir la coacción en condiciones normales, se utilizan arandelas de un material que se funde a altas temperaturas y únicamente permite al rail moverse respecto al pilar, que en caso de incendio. Los detalles de este tipo de sistema se ilustran en la Figura 7.5.

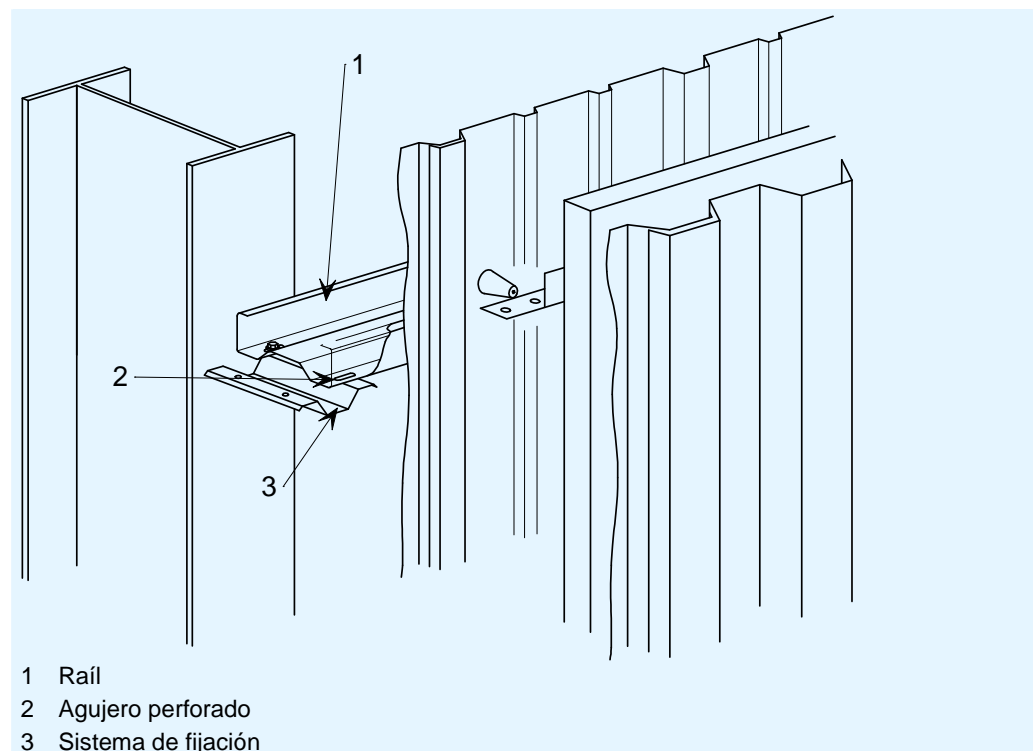


Figura 7.5 Típico diseño de una pared diseñada para resistir el incendio, con agujeros alargados que permiten la expansión térmica en caso de incendio

8 DISEÑO PRELIMINAR DE PÓRTICOS

8.1 Introducción

En una primera fase de predimensionamiento, se puede recurrir a los siguientes métodos para determinar el tamaño de los pilares y dinteles de pórticos de un único vano. Se debe tener en cuenta que estos métodos no consideran:

- Estabilidad general de la estructura
- Deformaciones en el Estado Límite de Servicio.

8.2 Estimación de la sección de los elementos

Estas directrices son de aplicación si el vano en cuestión tiene una luz de 15 a 40 m, y se presentan en la Tabla 8.1. En la elaboración de dicha tabla se han asumido las siguientes hipótesis:

- La inclinación de la cubierta es 6°.
- El acero utilizado es de tipo S235. Si el diseño está condicionado por las condiciones de servicio, el uso de elementos de menor tamaño, pero mayor límite elástico puede no suponer una ventaja. La utilización de aceros de mayor límite elástico puede ser apropiada cuando las deformaciones no son un factor limitante, por ejemplo cuando la estructura está completamente cerrada mediante paneles metálicos (cubierta y fachadas).
- La carga soportada por el dintel, compuesta por la carga permanente (incluido el peso propio) y las cargas variables, afectadas por los factores de carga, es de entre 8 y 16 kN/m.
- Los pórticos tienen una separación de 7,5 m.
- La longitud de la cartela es del 10% de la luz.
- Se considera que un pilar está coaccionado a torsión cuando está limitada la torsión en toda su longitud (estos pilares son, por lo tanto, más ligeros que aquellos que no estén coaccionados).
- Un pilar se debe considerar sin coacción, cuando no es posible coaccionar el ala interior.

La sección de los elementos que proporciona la siguiente tabla es válida para un predimensionamiento rápido. Sin embargo, cuando las deformaciones están muy limitadas puede ser necesario incrementar la sección de los elementos.

En todos los casos, se debe realizar una comprobación completa de la estructura y los elementos de acuerdo a lo establecido en la norma EN 1993-1-1.

Tabla 8.1 Sección de los elementos para estructuras porticadas de un único vano, con cubierta de 6° de inclinación

	Carga del dintel (kN/m)	Altura en alero (m)	Luz del pórtico (m)					
			15	20	25	30	35	40
Dintel	8	6	IPE 240	IPE 330	IPE 360	IPE 400	IPE 450	IPE 450
	8	8	IPE 240	IPE 330	IPE 360	IPE 400	IPE 450	IPE 450
	8	10	IPE 240	IPE 330	IPE 360	IPE 400	IPE 450	IPE 450
Pilar con coacción	8	6	IPE 300	IPE 360	IPE 450	IPE 550	IPE 550	IPE 600
	8	8	IPE 300	IPE 360	IPE 450	IPE 550	IPE 600	IPE 600
	8	10	IPE 300	IPE 400	IPE 450	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 137
Pilar sin coacción	8	6	IPE 360	IPE 450	IPE 550	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 137
	8	8	IPE 450	IPE 550	IPE 600	IPE 600	IPE 750 × 137	IPE 750 × 173
	8	10	IPE 450	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 137	IPE 750 × 173	HE 800
Dintel	10	6	IPE 270	IPE 330	IPE 400	IPE 450	IPE 450	IPE 550
	10	8	IPE 270	IPE 330	IPE 400	IPE 450	IPE 450	IPE 550
	10	10	IPE 270	IPE 360	IPE 400	IPE 450	IPE 450	IPE 550
Pilar con coacción	10	6	IPE 360	IPE 450	IPE 450	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 137
	10	8	IPE 360	IPE 450	IPE 550	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 137
	10	10	IPE 360	IPE 450	IPE 550	IPE 600	IPE 600	IPE 750 × 173
Pilar sin coacción	10	6	IPE 400	IPE 450	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 137	IPE 750 × 137
	10	8	IPE 450	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 137	IPE 750 × 173	HE 800
	10	10	IPE 450	IPE 600	IPE 750 × 137	IPE 750 × 173	HE 800	HE 800
Dintel	12	6	IPE 270	IPE 360	IPE 400	IPE 450	IPE 550	IPE 550
	12	8	IPE 270	IPE 360	IPE 400	IPE 450	IPE 550	IPE 550
	12	10	IPE 270	IPE 60	IPE 400	IPE 450	IPE 550	IPE 600
Pilar con coacción	12	6	IPE 360	IPE 450	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 137	IPE 750 × 173
	12	8	IPE 360	IPE 450	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 137	IPE 750 × 173
	12	10	IPE 360	IPE 450	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 137	IPE 750 × 173
Pilar sin coacción	12	6	IPE 450	IPE 550	IPE 600	IPE 600	IPE 750 × 137	IPE 750 × 173
	12	8	IPE 450	IPE 600	IPE 600	IPE 750 × 173	HE 800	HE 800
	12	10	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 173	HE 800	HE 800	HE 900

Tabla 8.1 (Continuación) Sección de los elementos para estructuras porticadas de un único vano, con cubierta de 6° de inclinación

	Carga del dintel (kN/m)	Altura en alero (m)	Luz del pórtico (m)					
			15	20	25	30	35	40
Dintel	14	6	IPE 330	IPE 400	IPE 450	IPE 450	IPE 550	IPE 600
	14	8	IPE 330	IPE 400	IPE 450	IPE 450	IPE 550	IPE 600
	14	10	IPE 330	IPE 400	IPE 450	IPE 450	IPE 550	IPE 600
Pilar con coacción	14	6	IPE 360	IPE 450	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 173	IPE 750 × 173
	14	8	IPE 400	IPE 450	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 173	HE 800
	14	10	IPE 400	IPE 450	IPE 600	IPE 750 × 137	IPE 750 × 173	HE 800
Pilar sin coacción	14	6	IPE 450	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 137	IPE 750 × 173	HE 800
	14	8	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 137	IPE 750 × 173	HE 800	HE 800
	14	10	IPE 550	IPE 750 × 137	IPE 750 × 173	HE 800	HE 800	HE 900
Dintel	16	6	IPE 330	IPE 400	IPE 450	IPE 550	IPE 550	IPE 600
	16	8	IPE 330	IPE 400	IPE 450	IPE 550	IPE 600	IPE 600
	16	10	IPE 330	IPE 400	IPE 450	IPE 50	IPE 600	IPE 600
Pilar con coacción	16	6	IPE 400	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 137	IPE 750 × 173	HE 800
	16	8	IPE 400	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 137	IPE 750 × 173	HE 800
	16	10	IPE 450	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 137	HE 800	HE 800
Pilar sin coacción	16	6	IPE 450	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 137	IPE 750 × 173	HE 800
	16	8	IPE 550	IPE 600	IPE 750 × 173	HE 800	HE 800	HE 900
	16	10	IPE 600	IPE 750 × 137	HE 800	HE 800	HE 900	HE 900

REFERENCIAS

- 1 SANSOM, M. y MEIJER, J.
Life-cycle assessment (LCA) for steel construction
Comisión europea, 2002
- 2 Se usan varios métodos de evaluación. Por ejemplo:
 - BREEAM en el Reino Unido
 - HQE en Francia
 - DGNB en Alemania
 - BREEAM-NL, Greencalc+ y BPR Gebouw en Holanda
 - Valideo en Bélgica
 - Casa Clima en Trento Alto Adige, Italia (cada región tiene su método propio)
 - LEED, utilizado en varios países
- 3 Steel Buildings in Europe
Edificios metálicos de una sola altura. Parte 6: Diseño detallado de celosías
- 4 Steel Buildings in Europe
Edificios metálicos de una sola altura. Parte 6: Diseño detallado de pilares compuestos