

Buenas prácticas para la Construcción en Acero

EDIFICACIÓN INDUSTRIAL

La guía para Arquitectos, Diseñadores y Constructores



Índice



LABEIN-Tecnalia es un Centro Tecnológico de referencia en Europa, con una importante implicación empresarial en I+D+i y cuya misión es ser un aliado natural de las empresas en sus mercados para el

desarrollo de su capacidad innovadora a través de la tecnología como herramienta de competitividad. El cuanto a Acero en Construcción se refiere, LABEIN-Tecnalia, gracias al conocimiento desarrollado en proyectos de I+D+i de ámbito europeo, proporciona la capacidad necesaria a sus socios tecnológicos para emprender proyectos relacionados con:

- Sistemas y procesos constructivos para la edificación industrializada.
- Metodologías de análisis y diseño estructural.
- Normativa y divulgación de sistemas y procesos constructivos para edificación.

www.labein.es, <http://edificacionindustrializada.com>

Esta publicación ofrece una guía útil de diseño en construcción de acero destinada a la edificación industrial, enfocada a arquitectos y a otros profesionales del sector en las primeras fases de planificación del proyecto. Es la segunda de una serie de tres guías que recogen los conocimientos adquiridos en el proyecto de divulgación *Euro-Build in Steel* desarrollado dentro del Programa del Fondo de Investigación del Carbón y del Acero, *Research Fund for the Coal and Steel- RFCS* (Proyecto nº RFS2-CT-2007-00029). El objetivo del proyecto es presentar una guía de diseño práctica para el sector de la construcción en acero, y ofrecer una nueva visión para la edificación industrial. Las otras dos guías existentes dentro del proyecto recogen información práctica para un buen diseño en edificación comercial y residencial.

Los socios participantes en el proyecto *Euro-Build* son los siguientes:

ArcelorMittal

Bouwen met Staal

Centre Technique Industriel de la Construction Métallique (CTICM)

Forschungsvereinigung Stahlanwendung (FOSTA)

Labein - Tecnalia

SBI

The Steel Construction Institute (SCI)

Technische Universität Dortmund

A pesar de haberse tomado todas las precauciones pertinentes para que los datos e información de la guía sean exactos en el momento de su publicación, ni los socios integrantes en el proyecto *Euro-Build*, ni los revisores del mismo asumen ninguna responsabilidad por daños o perjuicios derivados de posibles errores o malas interpretaciones de dichos datos, pérdida o deterioro causado relacionado con su uso.

ISBN 978-1-85942-189-5

© 2008. Labein - Tecnalia. Traducción técnica: S. Meno y J.A. Chica.

Este proyecto ha sido financiado íntegramente por el **Programa de Investigación de la Comisión Europea, Research Fund for the Coal and Steel (RFCS)**.

Fotografía en portada: Mors Company Building, Opmeer / Netherlands
Fotografiado por J. and F. Versnel, Amsterdam

01 Introducción



02 Principales Criterios de Diseño



03 Estructura Principal



04 Sistemas de Cubierta y Cerramiento



05 Prácticas Nacionales



06 Casos Prácticos



01 Introducción

Las naves industriales y los edificios industriales en general, son muy habituales en los parques tecnológicos, de ocio y pabellones deportivos. Su funcionalidad y calidad arquitectónica están influenciadas por muchos factores, por ejemplo, el programa a desarrollar, la variedad de usos prevista y la calidad deseada del edificio. El acero ofrece numerosas posibilidades al lograr un uso funcional flexible y agradable.

Para edificios de gran superficie, el ahorro de la estructura juega un papel importante. Para luces mayores, el diseño se optimiza en orden a minimizar el uso de materiales, costes y facilidad de montaje. Cada vez más, los edificios se diseñan para economizar energía y alcanzar un elevado grado de sostenibilidad.

Los edificios industriales utilizan estructuras aporticadas de acero y cerramientos metálicos de todo tipo. Se obtienen grandes espacios amplios, eficientes, fáciles en su mantenimiento y adaptables a posibles cambios futuros. Se escoge el acero tanto por su competitividad económica, así como por otros aspectos tales como, la seguridad ante incendio, la calidad arquitectónica y la sostenibilidad.

En la mayoría de los casos, la edificación industrial no se resuelve con una única estructura, si no que se amplía para

disponer de oficinas y departamentos de administración o elementos tales como marquesinas. Estos elementos adicionales pueden diseñarse de manera que armonicen con el conjunto de la edificación.

Esta publicación realiza una descripción de las formas más habituales en la edificación industrial y grandes superficies, así como su rango de aplicación en Europa. Las diferencias nacionales existentes dependiendo de la práctica más extendida, normativa y capacidades de la cadena de suministro son tratadas en el anteúltimo capítulo. Las mismas tecnologías pueden extenderse a diferentes tipologías de edificaciones, incluyendo instalaciones de ocio, pabellones deportivos, naves, supermercados y otros usos terciarios.



Figura 1.1 Centro de ocio realizado con estructura aporticada de acero

02 Principales Criterios de Diseño

El diseño en edificación industrial está influenciado por diferentes aspectos. Por consiguiente, la siguiente guía general presenta las principales ventajas de diseño y los beneficios que ofrece la construcción en acero en el sector industrial.

Generalmente, la edificación industrial es concebida mediante recintos que ofrecen un espacio funcional para las actividades internas, lo que puede implicar el uso de puentes grúa o equipos suspendidos, así como un espacio adicional para las oficinas o entreplantas.

A lo largo de los últimos 30 años, se han desarrollado diferentes formas estructurales que optimizan el volumen útil del edificio y el ahorro económico. Sin embargo, en años más recientes, formas estructuralmente más expresivas han sido utilizadas en aplicaciones arquitectónicas de edificación industrial, especialmente soluciones atirantadas y estructuras de perfiles tubulares.

Una única nave de gran superficie suele ser el principal distintivo en la mayoría de las edificaciones industriales. La construcción y aspecto de una nave industrial proporciona al ingeniero estructural una gran variedad de posibles configuraciones para innovar arquitectónicamente y cumplir los requisitos funcionales. Generalmente, la edificación industrial consiste en un espacio rectangular orientado longitudinalmente. El diseño de la edificación tiene que coordinarse con los requisitos funcionales y el concepto de ahorro de energía incluyendo el sistema de alumbrado.

Las siguientes tipologías de edificios industriales representan una visión de conjunto de las posibles soluciones constructivas y arquitectónicas. Las salas de exposiciones, estaciones de trenes,

aeropuertos y centros deportivos tienden a construirse con estructuras especiales. Sin embargo, las siguientes cuestiones se restringen principalmente a programas de implantación más generales.

Tipologías de edificación industrial

El sistema más elemental utilizado en la construcción industrial consta de dos pilares y una viga. Esta configuración puede variarse utilizando diversas tipologías de uniones entre las vigas y pilares, y para la base del pilar. Los tipos de estructuras más comunes en la edificación industrial son la estructura aporticada con la base de los pilares articulados y, las estructuras de vigas y pilares con bases de pilares empotrados o articulados. Las estructuras aporticadas proporcionan suficiente estabilidad en el plano y de ese modo, sólo requieren arriostramientos fuera del plano.

La Figura 2.1 presenta diversas tipologías de estructuras de pórticos con la base de los pilares (a) empotrados o (b) articulados. Las bases de pilares empotrados pueden considerarse cuando son requeridas grúas pesadas, teniendo menores flechas bajo fuerzas horizontales. Por otra parte, las bases de pilares articulados precisan una cimentación menor y uniones simples. En los ejemplos (c) y (d), la estructura queda parcialmente fuera del edificio, a la intemperie, y por tanto, los detalles concernientes a la fijación de la envolvente del edificio tienen que diseñarse cuidadosamente. La complejidad en este tipo de estructura

Tipologías de edificación industrial

Seguridad ante incendio

Física del edificio

Cargas

Principales aspectos de diseño

Forjados

Integración de servicios

Alumbrado

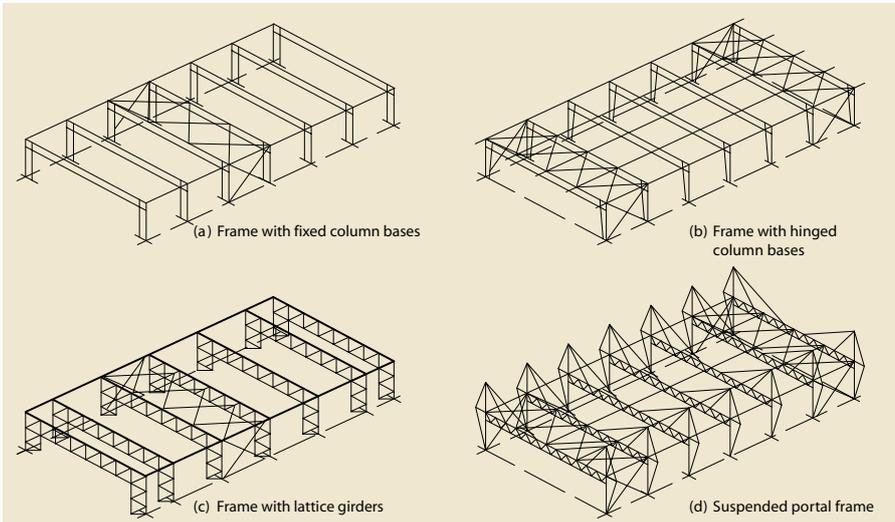


Figura 2.1 Ejemplos de estructuras de pórticos

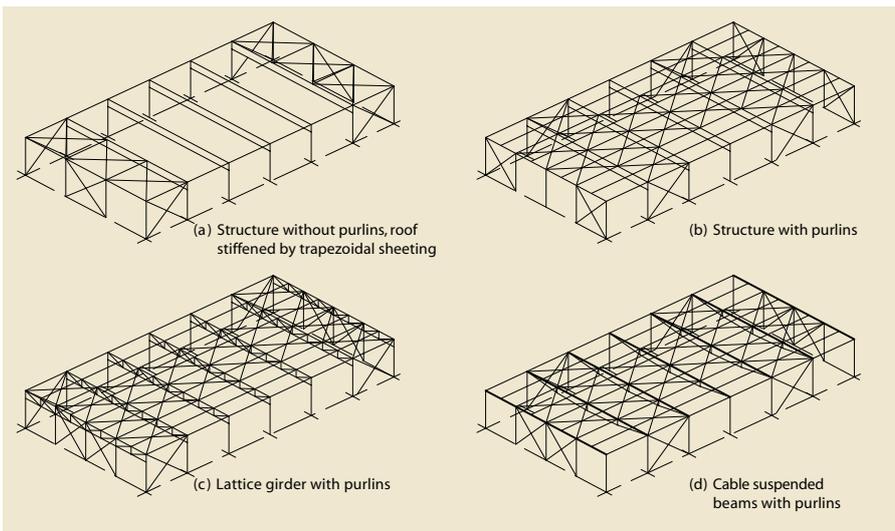


Figura 2.2 Ejemplos de estructuras de pilar y viga

sirve también al propósito de lograr una singularidad arquitectónica.

En la Figura 2.2, se presentan diferentes estructuras consistentes en elementos estructurales de vigas y pilares. La Figura 2.2 (a) muestra un ejemplo de una estructura sin correas, que es rigidizada mediante la acción de diagrama del cerramiento de la cubierta y los arriostramientos en las fachadas. En la Figura 2.2 (b), las correas utilizadas conducen a un diseño sencillo del revestimiento de la cubierta reduciendo luces de apoyo del mismo y sólo soportan cargas verticales. La cubierta está rigidizada por un arriostramiento. La estructura sin correas

puede ofrecer un aspecto más agradable, vista desde el interior. Las Figuras 2.2 (c) y (d) ofrecen soluciones en celosía y vigas atirantadas que podrían ser beneficiosas para lograr grandes luces, pero también pueden ser deseadas por razones estéticas.

Las estructuras en arco ofrecen ventajas en el comportamiento estructural, así como un aspecto visual atractivo. En la Figura 2.3 (a) se muestra un edificio con un arco en celosía con tres articulaciones. Como alternativa, la estructura puede elevarse en pilares o integrarse en una estructura de celosía como se observa en la Figura 2.3 (d).

Las tipologías descritas de edificaciones con elementos estructurales principales y secundarios son todas estructuras direccionales, en las cuales las cargas son soportadas principalmente en caminos de transferencia de carga direccionales individuales. Las estructuras y las celosías espaciales son estructuras no direccionales; pueden ampliarse, pero serían muy pesadas en grandes luces. En la Figura 2.4 se presentan algunos ejemplos de estructuras espaciales.

Estructuras aporticadas

Las estructuras de acero aporticadas son utilizadas en la mayor parte de los países europeos por su combinación de eficacia

Figura 2.3 Ejemplos de estructuras curvas o en arco

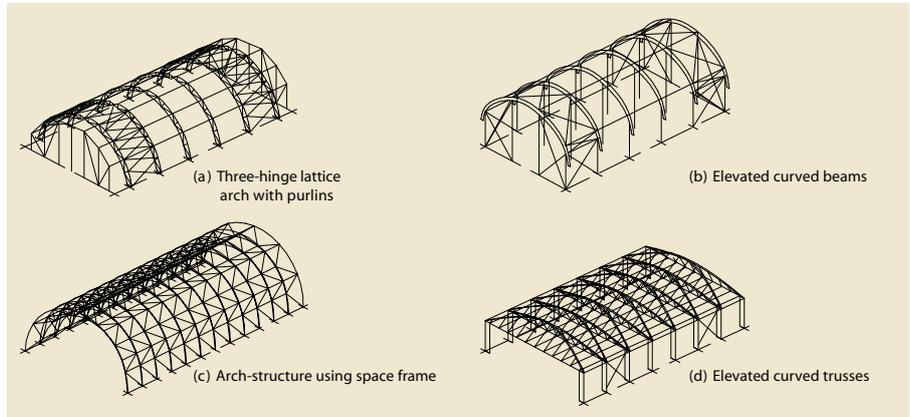


Figura 2.4 Ejemplos de estructuras espaciales

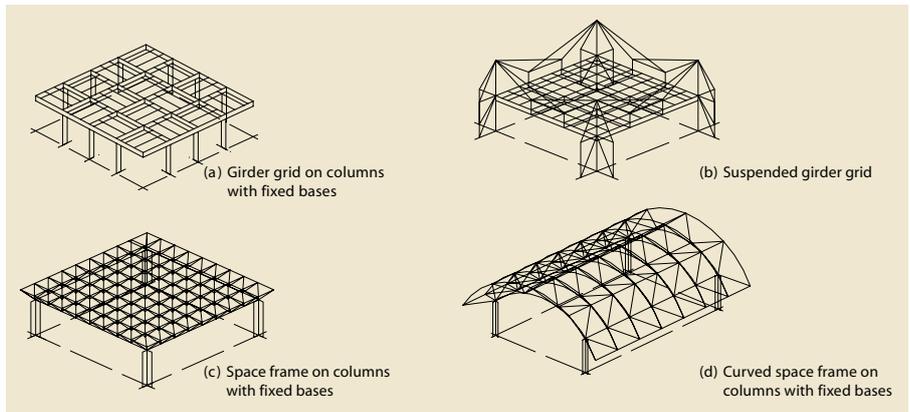


Figura 2.5 Varias formas de estructuras aporticadas

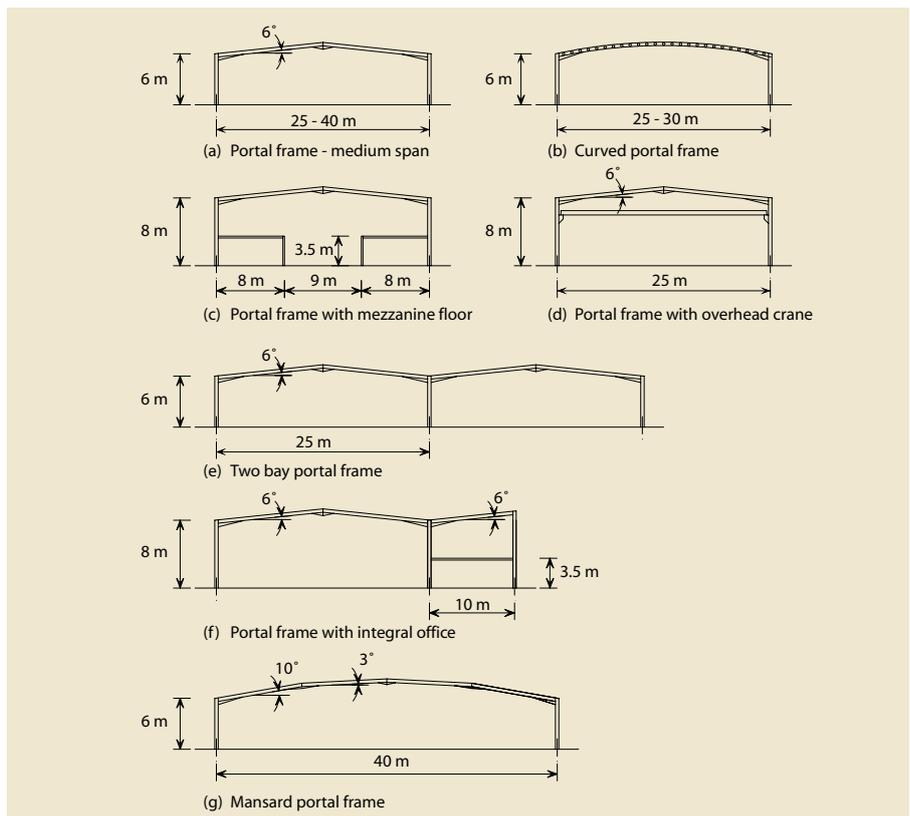




Figura 2.6 Estructura apuntalada de doble vano



Figura 2.7 Pórtico de dos vanos con arriostramiento en cubierta Kingspan Ltd



Figura 2.8 Vigas curvadas utilizadas en una estructura apuntalada

Figura 2.9 Solución innovadora para unión rígida en edificación industrial



Figura 2.10 Proceso de montaje para una estructura aporticada moderna Barrett Steel Buildings Ltd



estructural y aplicación funcional. Pueden utilizarse varias combinaciones de estructuras aporticadas para el diseño con el mismo concepto estructural como muestra la Figura 2.5. También pueden diseñarse pórticos de varios vanos, como presenta la Figura 2.5 (e) y (f), bien utilizando pilares internos únicos o pareados.

Además de la estructura principal de acero, se han desarrollado un gran número de elementos secundarios, tales como las correas conformadas en frío, que a la vez proporcionan estabilidad a la estructura (véanse las Figuras 2.6 y 2.7).

Las tipologías simples de los sistemas estructurales también pueden ser diseñadas con elementos curvos, vigas alveolares o vigas perforadas, etc. (como muestra la Figura 2.8.).

Asimismo se han desarrollado sistemas estructurales innovadores, en los cuales las estructuras aporticadas se establecen mediante uniones capaces de resistir momentos utilizando articulaciones y tirantes, como puede observarse en la Figura 2.9.

El proceso de montaje de la estructura principal y de los elementos secundarios,

así como de las correas, es generalmente llevado a cabo por grúas móviles como se presenta en la Figura 2.10.

Estructuras en celosía

Los edificios industriales de grandes luces pueden diseñarse en base a cerchas, utilizando perfiles abiertos de secciones tipo C o H o perfiles tubulares. Las celosías se emplean principalmente en estructuras de vigas y pilares y raramente se utilizan en estructuras porticadas. La Figura 2.11 describe varias combinaciones de cerchas. Las dos formas genéricas de triangulación son disposiciones de barras en forma de

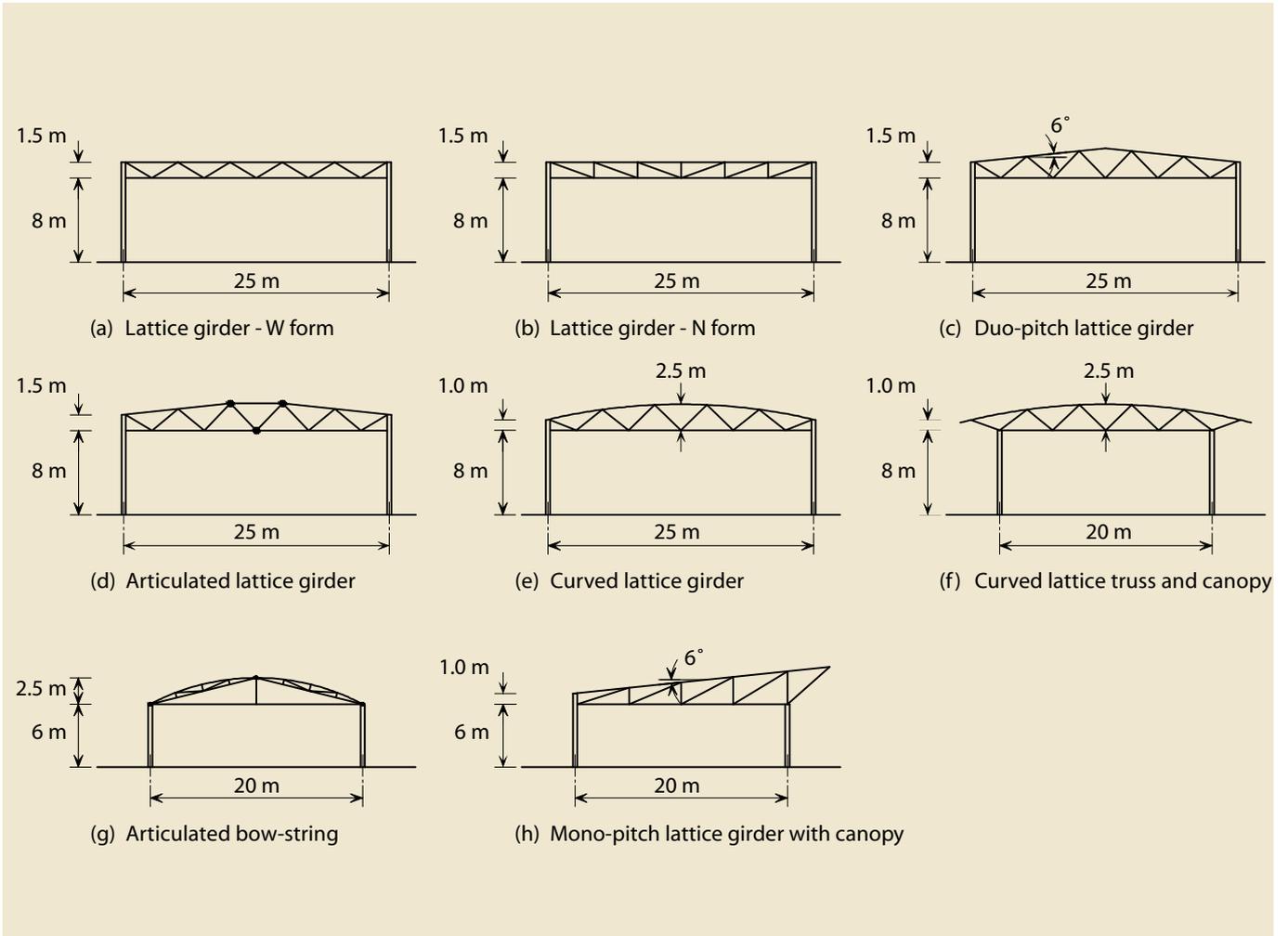


Figura 2.11 (Arriba) Varias formas de celosías utilizadas en edificación industrial



Figura 2.12 (Izquierda) Celosías usando perfiles tubulares



Figura 2.13 Estructura de celosía usando pilares en celosía

W o N. En este tipo de estructuras, la estabilidad en el plano del pórtico es proporcionada generalmente por el sistema de arriostramiento. No obstante, los pilares pueden ser construidos también de manera similar, según lo ilustrado en la Figura 2.13 para proporcionar estabilidad en el plano.

La utilización de estructuras en celosía permite lograr una relativa alta rigidez y resistencia con un ahorro de material. Además de la capacidad de proporcionar luces mayores, las estructuras en celosía proporcionan un aspecto visual estético y facilita la integración de los servicios.

La estructura de uniones articuladas es una idealización típica del diseño de celosías. Las uniones rígidas pueden ser diseñadas tanto utilizando uniones soldadas como atornilladas. Además, las fuerzas internas adicionales resultantes son consideradas para el diseño de los elementos en celosía, cuando ésta actúa como estabilizador del edificio contra las cargas laterales.

Estructuras atirantadas

Mediante estructuras atirantadas pueden construirse edificios de grandes luces con una gran calidad visual y arquitectónica.

La división entre elementos que están predominantes sujetos a tracción o a

compresión permite el diseño de estructuras muy ligeras. Sin embargo, las estructuras que obtienen ahorro en el uso de material no son necesariamente las más económicas. Particularmente en el caso de estructuras espaciales, debido a que las uniones pueden ser muy complejas y laboriosas en su fabricación y montaje. Por consiguiente, las posibles aplicaciones de este tipo de estructura son los edificios industriales que sirven también para constituir un hito arquitectónico más que únicamente como edificios funcionales.

Las estructuras atirantadas pueden diseñarse con pilares que se prolongan fuera del edificio, como se muestra en la Figura 2.14. Las estructuras atirantadas logran luces más amplias, aunque los cables o tirantes penetran la fachada del edificio y pueden obstruir el uso del espacio externo.

Las estructuras en celosía y las suspendidas son generalmente complejas y no están explicadas con la profundidad requerida en esta Guía de Buenas Prácticas.

Seguridad ante incendio

Incluso cuando el contexto general de la legislación de seguridad ante incendios es idéntica en toda Europa, existen apreciables diferencias nacionales. Por ejemplo, a una nave industrial de planta

única, con un tamaño de compartimiento de 50 por 100 m, en los Países Bajos no se le requiere de ninguna resistencia al fuego adicional, mientras que en Francia es de 30 minutos en algunos casos y de hasta 90 minutos en Italia. En la etapa de diseño, se deben tratar los aspectos siguientes:

- Vías de evacuación (número de salidas de emergencia, características de la señalización de las salidas, número de escaleras y anchura de las puertas).
- Propagación del incendio (incluyendo reacción del fuego y resistencia.)
- Sistema de la ventilación y extracción de calor y humo.
- Sistemas activos de protección contra incendio (extintores, detectores de humo, aspersores, bomberos en la instalación industrial).
- Accesos para los bomberos.

Los requisitos de resistencia al fuego deberían basarse en los parámetros que afectan al crecimiento y el desarrollo del fuego, los cuales incluyen:

- Riesgo de incendio (probabilidad de que ocurra un incendio, propagación, duración, carga de fuego, severidad del fuego, etc.).
- Las condiciones de ventilación (entrada de aire, evacuación de humo).
- Sector de incendio (tipo, tamaño, geometría).
- Tipo de sistema estructural.



Figura 2.14 Estructura atirantada en la fábrica de Renault, Swindon, R.U., construida en los 1980's
Architect:Richard Rogers Partnership

- Condiciones de evacuación.
- Seguridad del equipo de rescate y bomberos.
- Riesgo para los edificios adyacentes.
- Sistemas activos de protección contra el incendio.

La nueva generación de normativas europeas permite, además de realizar ensayos de incendios, tres niveles para los cálculos del diseño de la seguridad contra incendios.

Nivel 1 Clasificación de componentes estructurales empleando datos tabulados.

Nivel 2 Métodos simplificados de cálculo.

Nivel 3 Métodos avanzados de cálculo.

Física del edificio (confort interior)

Aislamiento térmico

El propósito principal de la protección térmica en edificación industrial es asegurar un adecuado clima interior dependiendo del uso del edificio. Durante la estación en la que se precisa calefacción, una de las funciones principales de la envolvente del edificio es reducir la pérdida de calor, desde el interior al exterior, a un mínimo mediante un aislamiento eficaz. Esta estrategia es particularmente aplicada en edificios con una temperatura normal en el interior,

tales como tiendas al por menor, centros de exposición y centros de ocio y, en un grado inferior, para los edificios con temperaturas de interiores bajas tales como talleres y almacenes.

En el caso de los paneles grandes, los puentes térmicos y la estanqueidad de las juntas tienen una importante influencia en el balance de energía del edificio. El aislamiento térmico tiene que colocarse sin separaciones y el cerramiento tiene que ser sellado para así lograr que las juntas longitudinales y transversales sean completamente herméticas.

En el verano, la tarea de la envolvente del edificio es reducir los efectos del calor solar del interior de la nave.

La reducción del calentamiento en verano depende del área total y orientación de las aberturas, así como de su efectividad en las medidas de protección solar.

Riesgo de condensación (barrera de vapor)

El aislamiento térmico y la humedad están ligados porque los daños debido a humedad son normalmente el resultado de carecer de aislamiento térmico o de

que esté incorrectamente instalado. Por otra parte, la carencia de protección contra la humedad puede conducir a la condensación durante la construcción, que además afecta a la eficacia del aislamiento térmico.

En las cubiertas multi-capa el riesgo de condensación tiene que ser controlado instalando una barrera del vapor en la capa interna de la estructura. Las construcciones de paneles que tienen barreras de vapor en ambos lados, como los paneles sándwich, previenen la difusión. Sin embargo, la humedad en el espacio de la nave tiene que ser regulada mediante aire acondicionado. En el Capítulo 4 se tratan los sistemas de forjado y cubiertas en más detalle.

Aislamiento acústico

En todos los países europeos existen requerimientos mínimos de aislamiento acústico en edificios. Además, en los edificios industriales puede ser necesaria una limitación en los cálculos de emisiones acústicas de maquinaria particular.

En la edificación con estructuras de acero, el aislamiento acústico se logra principalmente en la construcción del cerramiento del edificio. Todas las medidas de protección acústica están

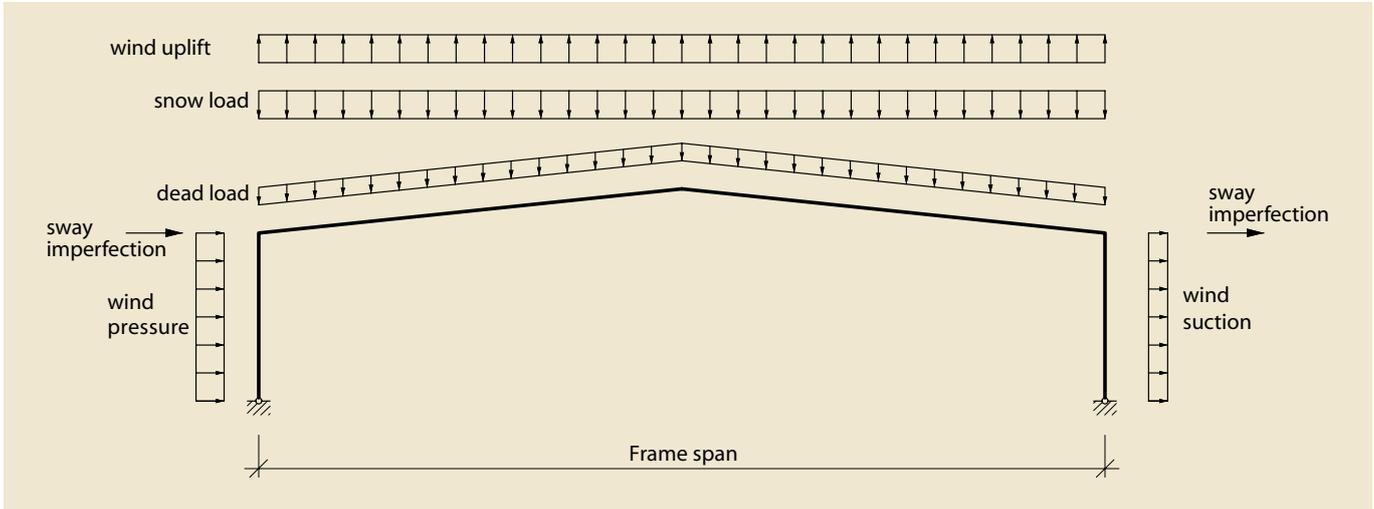


Figura 2.15 (Arriba) Esquema de carga en una estructura aporticada

Acción	Aplicada en
Peso propio	Cerramiento, correas, estructura, cimentación
Nieve	Cerramiento, correas, estructura, cimentación
Concentración de nieve	Cerramiento, correas, (estructura), cimentación
Viento	Cerramiento, correas, estructura, cimentación
Viento (incremento en un elemento)	Cerramiento, correas (fijaciones)
Viento (succión)	Cerramiento, correas (fijaciones)
Temperatura, dilataciones	Envolvente, estructura global
Sobrecarga de uso	Depende de la especificación: cubierta, correas, estructura
Cargas de grúas	Vigas carril, estructura
Cargas dinámicas	Estructura global (depende del uso específico del edificio y su ubicación)
Efectos de segundo orden (imperfección traslacional)	Arriostramiento en fachada, pilares

Tabla 2.1 Acciones y componentes estructurales relevantes

Material	Peso (kN/m ²)
Chapa de cubierta de acero (chapa simple)	0,07 - 0,20
Chapa de cubierta de aluminio (chapa simple)	0,04
Aislamiento (tablero, por 25 mm. de espesor)	0,07
Aislamiento (fibra de vidrio, por 100 mm. de espesor)	0,01
Bandejas (0,4 mm. – 0,7 mm. de espesor)	0,04 - 0,07
Paneles sándwich (40 mm. – 100 mm. de espesor)	0,10 - 0,15
Correas (distribuidas sobre el área de cubierta)	0,03
Forjado de acero	0,20
Tres capas de impermeabilización asfáltica con protección	0,29
Pizarra	0,40 / 0,50
Teja (de arcilla o teja plana de hormigón)	0,60 - 0,80
Teja (de hormigón con unión por solape)	0,50 - 0,80
Listones de madera (incluidos rastreles de madera)	0,10

Tabla 2.2 Pesos típicos de materiales en cubierta

basadas en los principios físicos siguientes:

- Interrupción de la transmisión, generalmente mediante construcciones de capas múltiples.
- Absorción acústica, generalmente por la utilización de chapas perforadas o bandejas.
- Reducción de la respuesta mediante aumento de la masa de un componente.

En el caso de fuentes acústicas únicas y localizadas, es recomendable un cerramiento local con su aislamiento. Para alcanzar un alto nivel de aislamiento acústico, una cubierta y una fachada especiales de absorción acústica serían lo apropiado. En una fachada de capas múltiples, el nivel acústico puede controlarse variando la masa. Debido a la complejidad de este aspecto se recomienda consultar en cada caso a los fabricantes especialistas.

Cargas

Las acciones y las combinaciones de las acciones descritas en esta sección deben considerarse en el diseño de edificación industrial de planta única con estructura de acero. Las sobrecargas de uso, el viento y las cargas de nieve se proporcionan en los Eurocódigos EN 1991-1-1, EN1991-1-3 y EN1991-1-4. La Tabla 2.1 presenta las acciones relevantes para los diferentes elementos estructurales, y la Figura 2.15 muestra un típico esquema de carga.

Cargas verticales

Cargas permanentes

Siempre que sea posible, los pesos propios de los materiales empleados en la construcción deben de comprobarse con los datos del fabricante. Los datos mostrados en la Tabla 2.2 pueden ser tomadas como típicos para materiales de cubiertas y utilizados en el diseño previo de un pórtico. El peso propio de la estructura de acero está comprendido entre 0,2 y 0,4 kN/m², expresados sobre la superficie en planta.

Sobrecargas de uso

La sobrecarga puede variar en gran medida dependiendo del uso del edificio. En una estructura aporticada, las cargas más pesadas pueden ser debidas a elementos tales como pasarelas, vigas carril o unidades de climatización. Las siguientes cargas pueden emplearse en el prediseño:

- Una carga nominal sobre el área de la cubierta total de entre 0,1 y 0,25 kN/m² en planta dependiendo del uso del edificio y de que se haya colocado o no un sistema de rociadores.

Sobrecargas en cubierta

El Eurocódigo EN 1991-1-1 y -3 define unos valores característicos para varias tipologías de sobrecargas en cubierta:

- Se debe aplicar una carga mínima de 0,6 kN/m² en planta para cubierta con pendiente menor de 30°, siempre y cuando no haya acceso más que para limpieza y mantenimiento.
- Carga concentrada de 0,9 kN - solo afectaría al diseño de la chapa de cerramiento.
- Carga uniformemente distribuida para la nieve sobre todo el área de la cubierta. El cálculo de la carga depende de la ubicación del edificio y de su altura sobre el nivel del mar. Caso de estructuras aporticadas de pórticos adosados múltiples con sucesión de pendientes a dos aguas, se deberá verificar el comportamiento de la carga de nieve concentrada en las limahoyas.
- Carga no uniforme causada por la acumulación de nieve en la cubierta debida a la acción del viento dando lugar a que se deposite más nieve en el lado de sotavento. Esta situación de carga se considera sólo para pendientes mayores de 15° y, por consiguiente, no será de aplicación en la mayoría de los edificios industriales.

Cargas horizontales

Cargas de viento

Las acciones del viento están indicadas

en el Eurocódigo EN1991-1-4.

Las cargas de viento raramente determinan el tamaño de los elementos en naves industriales donde la relación de la altura frente a la luz es menor de 1:4. Por consiguiente, la carga del viento normalmente puede ignorarse en el diseño preliminar, a no ser que la relación altura - luz sea grande, o si la presión dinámica es alta. La combinación del viento y la carga de nieve en este caso, puede ser crítica.

No obstante, en estructuras con dos o múltiples vanos, la combinación del viento con las cargas verticales puede determinar en ocasiones las secciones de los elementos cuando se eliminan de forma alternativa pilares interiores. Atendiendo a la magnitud de la carga de viento, se puede determinar que tipo de verificación debe ser aplicada. Caso de grandes desplazamientos horizontales en los aleros combinados con cargas axiales elevadas, deberán considerarse los efectos de segundo orden en las verificaciones.

Las fuerzas de empuje del viento en el cerramiento pueden ser relativamente elevadas en la esquina del edificio, los aleros y la cumbre. En estas áreas puede ser necesario reducir la separación de las correas en cubierta y fachada.

Imperfecciones

Deben considerarse unas fuerzas horizontales equivalentes debido a imperfecciones estructurales y geométricas. Según el Eurocódigo EN1993-1-1, para las estructuras susceptibles de pandeo en modo traslacional, puede permitirse la consideración del efecto de las imperfecciones en el análisis estructural mediante una imperfección equivalente en la forma de:

- Deformaciones iniciales debidas a la traslacionalidad; y/o
- Imperfecciones en forma de arco de los elementos.

Consideraciones para el diseño conceptual																
Tipología de edificios industriales de una planta	Optimización del espacio	Velocidad de construcción	Acceso y seguridad	Flexibilidad en uso y espacio	Comportamiento medioambiental	Estandarización de componentes	Especialista infraestructuras	Sostenibilidad	Final vida útil y reutilización	Integración de servicios	Paisajismo	Éstetica e impacto visual	Aislamiento térmico	Aislamiento acústico	Consideraciones climáticas	Vida útil
Almacenes de grandes luces	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓		✓✓	✓
Instalaciones industriales de producción	✓✓	✓	✓	✓✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓✓	✓	✓
Centros de logística	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Supermercados minoristas	✓✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓		✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓		✓✓	✓
Almacenamiento / Almacenamiento climatizado	✓	✓	✓✓	✓	✓✓	✓		✓	✓✓	✓		✓	✓✓		✓	✓
Instalación de producción de pequeño tamaño	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓	
Oficinas e industria ligera	✓	✓	✓	✓	✓✓	✓		✓✓	✓✓	✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓	✓
Plantas de procesamiento	✓	✓	✓✓		✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓			✓	✓✓	✓	✓
Centros de ocio	✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓		✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓
Complejos deportivos	✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓		✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓		✓✓	✓✓
Ferias de muestras	✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓		✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
Aeronáutica y hangares de mantenimiento	✓	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Legenda	Sin ✓ = no importante			✓ = importante			✓✓ = muy importante									

Tabla 2.3 Aspectos principales del diseño para edificios industriales

Otras cargas horizontales

Dependiendo del proyecto, deben considerarse cargas adicionales horizontales tales como el empuje de tierras, fuerzas debido a las grúas, acciones accidentales y la acción sísmica.

Principales aspectos de diseño

Aspectos generales

Previamente al diseño en detalle del edificio industrial, es esencial considerar

una serie de aspectos tales como:

- Optimización del espacio.
- Rapidez de construcción.
- Accesibilidad y seguridad.
- Flexibilidad de uso.
- Impacto medioambiental.
- Estandarización de los componentes.
- Infraestructura especial para suministros.
- Integración de servicios.
- Paisajismo.
- Estética e impacto visual.

- Eficiencia energética y estanqueidad.
- Aislamiento acústico.
- Impermeabilidad frente a la climatología.
- Seguridad ante incendio.
- Vida útil.
- Consideraciones sobre la sostenibilidad.
- Fin de vida útil y reutilización.

En primera instancia, es necesario identificar el tamaño del espacio y

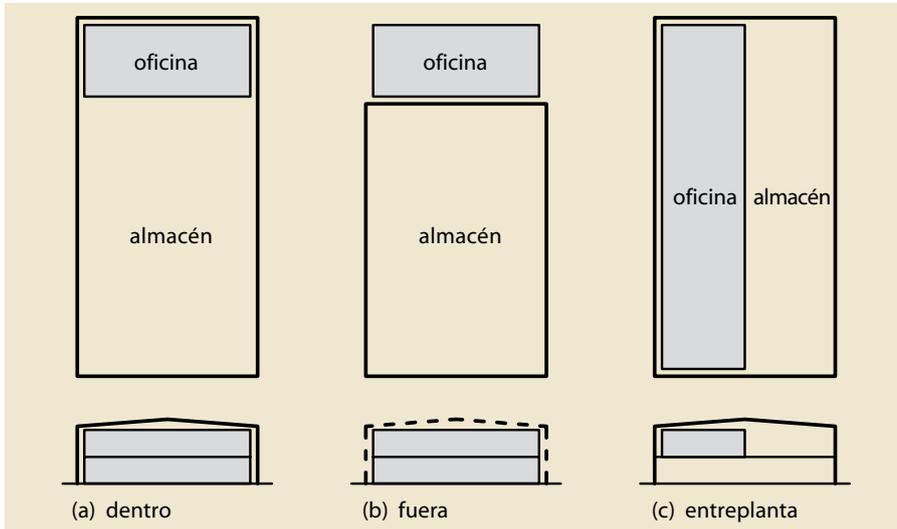


Figura 2.16 Posible localización de una oficina localizada en un edificio industrial

desarrollar un esquema estructural que proporcione el espacio funcional, teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriores.

La importancia de cada uno de estos aspectos dependerá del uso del edificio industrial. Por ejemplo, los requisitos concernientes a un centro de distribución son diferentes a los de una planta de fabricación.

Para desarrollar un diseño conceptual eficaz, es necesaria una revisión de estos aspectos en base a su importancia, dependiendo del tipo de edificio. La Tabla 2.3 presenta una matriz que relaciona la importancia de cada aspecto para determinadas tipologías singulares de edificios industriales. No obstante, esta matriz es meramente indicativa, ya que cada proyecto será sustancialmente diferente. Sin embargo, la matriz puede utilizarse como una guía general.

Compartimentación y uso multidisciplinar

Hoy en día los edificios industriales son mayores y cada vez más a menudo, diseñados para una variedad de usos; por ejemplo, en la mayoría de los casos se integran oficinas y espacios comunes para los empleados. Existen diferentes ubicaciones posibles para estos compartimentos adicionales como se

puede observar en la Figura 2.16.

- Para naves industriales de planta única, se crean espacios separados en el interior del edificio, incluso de dos plantas de altura, con una separación mediante tabiques internos.
- En un edificio externo, uniéndolo directamente a la nave.
- Para un edificio industrial de dos plantas, ocupando parcialmente la parte superior.

Esto conduce a unos requisitos especiales en el diseño concernientes tanto a la estructura principal como a la física del edificio, confort interior. Si el área de la oficina está situada en la parte superior de la nave, puede diseñarse como una estructura separada dentro de la envolvente de la estructura de la nave. En este caso pueden utilizarse los sistemas de forjados de los edificios comerciales, generalmente basados en estructuras mixtas, por ejemplo, vigas de forjado integradas. Otra solución posible podría ser la unión de la oficina a la estructura principal. Esto requiere particular atención en la estabilización de las partes combinadas del edificio. Además de los aspectos estructurales, debe dedicarse especial atención a aspectos tales como:

Seguridad ante incendio

En las edificaciones industriales grandes, los compartimentos de incendios pueden

tener un papel importante en el diseño, aunque no haya oficina interna. Con el objeto de prevenir la propagación del fuego, el tamaño del compartimento está limitado a un tamaño determinado. Por consiguiente, deben preverse muros cortafuegos de compartimentación y asegurar al menos 60 minutos (R60) y a veces hasta 90 minutos de resistencia al fuego. Este aspecto sería más crítico si hay mercancías peligrosas almacenadas en el interior del edificio.

Debido a que las oficinas están diseñadas para alojar un gran número de personas, los requisitos de seguridad ante incendios son más estrictos. Si las oficinas están situadas en la planta superior del edificio, se requieren vías de evacuación adicionales y se deben considerar sistemas de protección activa. La propagación del fuego se debe prevenir para que no se extienda de un compartimento a otro, lo cual puede lograrse mediante un forjado mixto entre la oficina y el espacio de uso industrial.

Aislamiento térmico

Al igual que para la seguridad ante incendio, los compartimentos de oficinas también tienen mayores requisitos de aislamiento térmico. En edificios industriales destinados al almacenamiento de productos no perecederos podría no requerirse

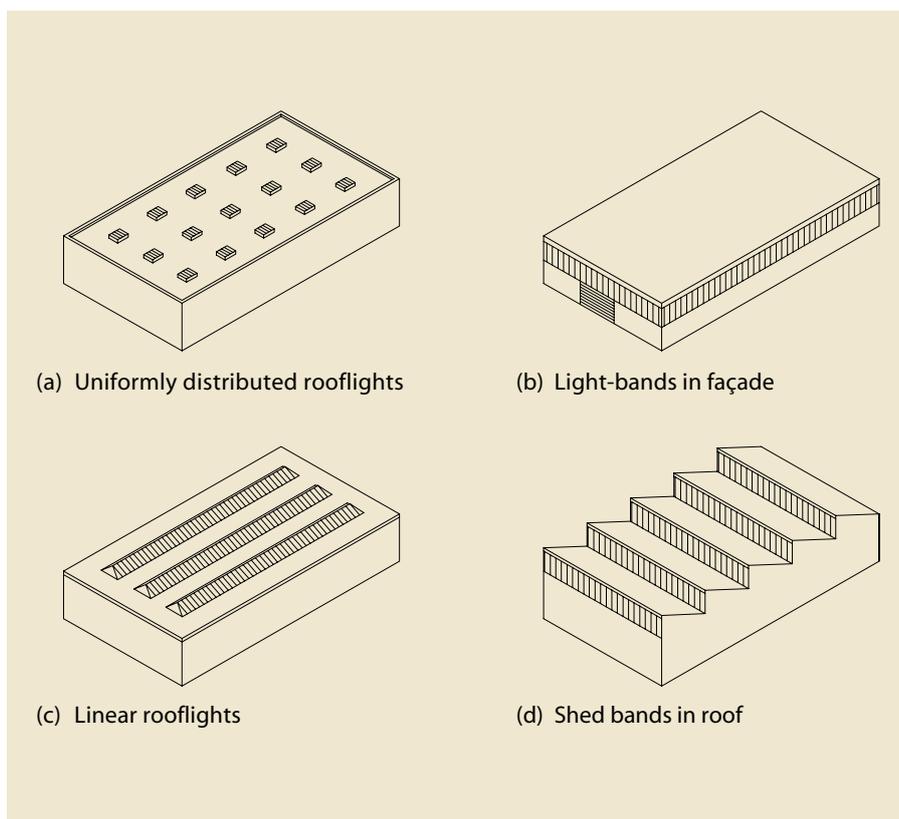
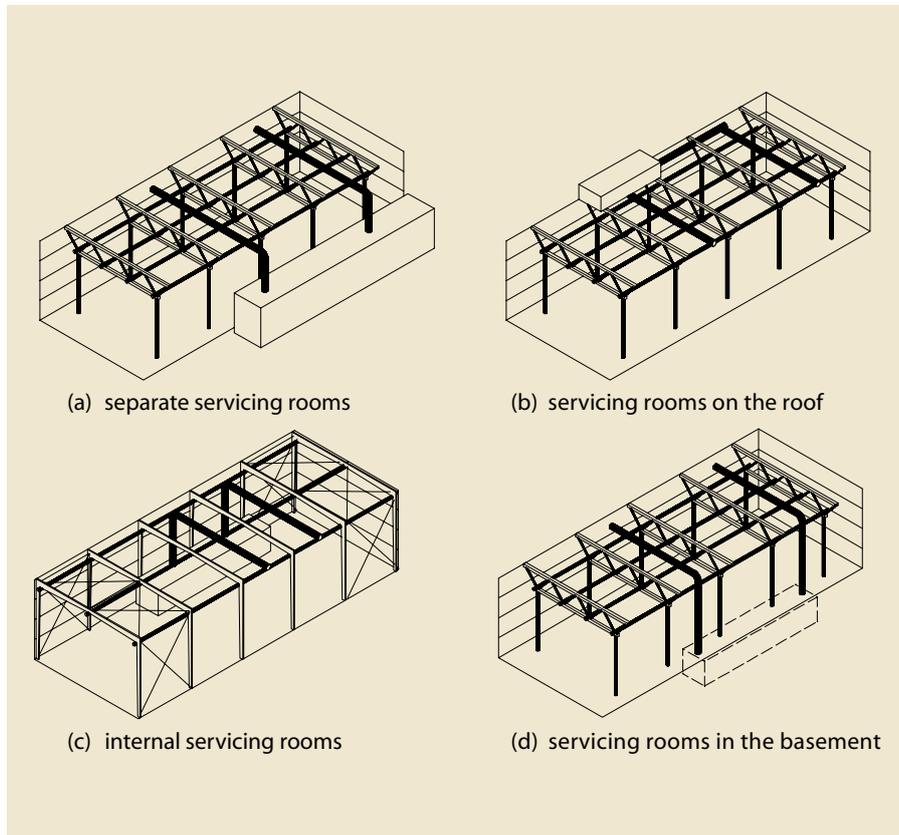


Figura 2.17 (Derecha) Posibles disposiciones de los cuartos de servicio y rutas de servicios

Figura 2.18 (Abajo derecha) Diferentes formas de proporcionar iluminación natural en edificación industrial

aislamiento térmico. En las oficinas, sin embargo, se necesita un elevado nivel de confort y para ello, el aislamiento térmico es necesario. Por ello, las separaciones de los compartimientos fríos y climatizados tienen que ser cuidadosamente diseñados para proporcionar un aislamiento adecuado y eficaz.

Comportamiento acústico

Especialmente en edificios industriales con procesos productivos que presentan ruidos continuos e intensivos, tiene que realizarse una estricta separación entre las zonas de producción y las oficinas. Por lo tanto, esto puede requerir medidas especiales para el aislamiento acústico, dependiendo del proceso productivo.

Forjados

En la mayoría de los casos, los forjados de los edificios industriales son utilizados para tráfico de vehículos o maquinaria pesada y se diseñan para soportar cargas pesadas y deben ser "llanos". Las cargas concentradas debidas a vehículos, máquinas, estanterías y contenedores deben ser consideradas, dependiendo de la aplicación.

La mayoría de los edificios industriales poseen una solera de hormigón con un canto mínimo de 150 mm. sobre una capa de arena o grava, de, por lo menos, otros 150 mm. de espesor. Para el caso de áreas extensas, se requiere una capa deslizante entre la capa base y la losa de hormigón, que generalmente se realiza mediante dos capas de material sintético.

Integración de servicios

Usualmente se establecen requisitos especiales para los servicios e instalaciones, que pueden ser necesarios para la operación de las máquinas y las líneas de fabricación.

La integración de servicios debe considerarse en las etapas iniciales del diseño. Particularmente, la posición y el tamaño de los conductos deben ser

coordinados con la estructura y las provisiones de iluminación natural.

La utilización de sistemas estructurales tales como las vigas aligeradas o cerchas, puede facilitar la integración de los servicios y ayudar a lograr un aspecto coherente del edificio.

El diseño de los cuartos de maquinaria para los servicios es de una importancia vital en la edificación industrial.

La centralización de los servicios puede ofrecer la ventaja de un fácil mantenimiento. La Figura 2.17 presenta muestra diferentes soluciones posibles para la colocación de los cuartos de servicios.

La ventilación natural reduce las necesidades de sistemas de aire acondicionado, lo que además supone una reducción en las emisiones de CO₂ del edificio. La eficacia de la ventilación natural depende del tamaño y de la orientación del edificio. Los sistemas de ventilación en cubierta son la opción más común para la ventilación natural en edificios sin posibilidad de implantar grandes aberturas; sin embargo, tienen que colocarse cuidadosamente para maximizar su rendimiento. En la actualidad, resultan habituales los sistemas híbridos en los edificios industriales. Utilizan ventilación natural predominantemente, pero con ventiladores mecánicos con el fin de mejorar su rendimiento cuando las condiciones meteorológicas lo demandan.

Los sistemas mecánicos de calefacción y ventilación con recuperación de calor (MHVR, en sus siglas inglesas) utilizan el calor del aire caliente que se evacua para acondicionar el aire frío que entra en el edificio. El aire caliente es expulsado al exterior del edificio mientras que el aire frío entra al interior, permitiendo así una transferencia de calor del aire saliente y entrante. Aunque esta transferencia no es 100% eficaz, el empleo de los sistemas MHVR reduce

significativamente la energía requerida para calentar el aire frío a un nivel confortable.

Asimismo, los siguientes aspectos tienen que considerarse en el diseño de servicios:

- Las posibles interferencias de los elementos de protección solar con la ventilación.
- Extracción de olores.
- Control de humedad.
- Control de estanqueidad.
- Aislamiento acústico.

Alumbrado

Los requisitos para el alumbrado dependen directamente del tipo de uso del edificio.

El concepto y la disposición de aberturas para proporcionar luz natural permiten una diversificación de posibilidades en el diseño arquitectónico. Las claraboyas y lucernarios en cubierta son comúnmente empleadas junto con lucernarios dispuestos en bandas longitudinales en fachada (véase la Figura 2.18). Las aberturas para la iluminación natural también pueden servir para la eficaz evacuación del humo y del calor en caso de incendio.

Diseñar adecuadamente la iluminación natural puede ofrecer un impacto significativo en la reducción de las emisiones de CO₂ del edificio. Sin embargo, demasiada iluminación natural puede resultar excesiva en verano, tendiendo al sobre calentamiento, e incrementar la pérdida de calor en invierno a través del cerramiento.

La decisión de la utilización de iluminación natural en un edificio y el tipo de iluminación escogida tiene implicaciones importantes en el diseño global del edificio.

03 Estructura Principal

Este capítulo describe los sistemas más comúnmente utilizados en las estructuras principales de edificación industrial. Se describen las características de los pórticos, así como de las estructuras de pilares y vigas, junto con información de los elementos secundarios y uniones.

Estructura aporticada

Generalmente son estructuras más bien bajas compuestas por pilares y dinteles horizontales o a dos aguas, mediante uniones rígidas.

Los pórticos con pilares de base articulada son generalmente los preferidos, debido a que dan lugar a elementos de cimentación menores en comparación con los pilares empotrados. Además, los pilares empotrados requieren de detalles en las uniones más caros y, por lo tanto, predominantemente utilizados en caso de precisar resistencia frente a grandes fuerzas horizontales. No obstante, los pilares articulados presentan la desventaja de conducir a mayores pesos en acero debido a la menor rigidez de la estructura frente a fuerzas verticales y horizontales.

Esta forma de estructura rígida es estable en su plano y proporciona luz libre sin obstrucciones de arriostramiento. La estabilidad se logra por la acción de la estructura rígida provista por la continuidad en las uniones, siendo normalmente obtenida por el uso de rigidizadores en las uniones de alero.

En la mayoría de casos, la estabilidad fuera del plano es proporcionada por elementos adicionales como riostras tubulares o correas (véase la Figura 3.1). La rigidez de la cubierta puede lograrse mediante una acción de diafragma del cerramiento sin arriostramiento adicional utilizando chapa nervada. El empleo de pantallas, núcleos y pilares empotrados pueden también proporcionar

arriostramiento fuera del plano a las estructuras aporticadas.

Numerosos tipos de estructuras pueden clasificarse, en términos generales, como pórticos. La información facilitada en relación a luces, pendientes de cubierta, etc., es típica de las formas de construcción que aparecen ilustradas.

Los perfiles de acero usados en las estructuras con luces entre 12 m. y 30 m. son normalmente laminados en caliente y se especifican los tipos de acero S235, S275 ó S355. El acero de alto límite elástico es rara vez económico en estructuras donde el estado en límite de servicio (deformación) o el criterio de estabilidad pueden controlar el diseño.

El diseño de estructuras mediante análisis global plástico ofrece un mayor ahorro económico en las mismas, aunque se prefiere el análisis elástico global en algunos países. Cuando se emplea el análisis plástico, las dimensiones de los elementos, la clase, debe ser apropiada para el desarrollo de la resistencia plástica a flexión.

Tipologías de pórticos de acero

Pórtico con cubierta a dos aguas

Una de las estructuras más comunes en las naves industriales es el pórtico simétrico con un solo vano, como se puede observar en la Figura 3.2. Las siguientes características se consideran las más económicas y por consiguiente, pueden considerarse como base en la etapa de predimensionamiento.

Estructura aporticada

Estructura de vigas y pilares

Elementos secundarios y arriostramientos

Uniones

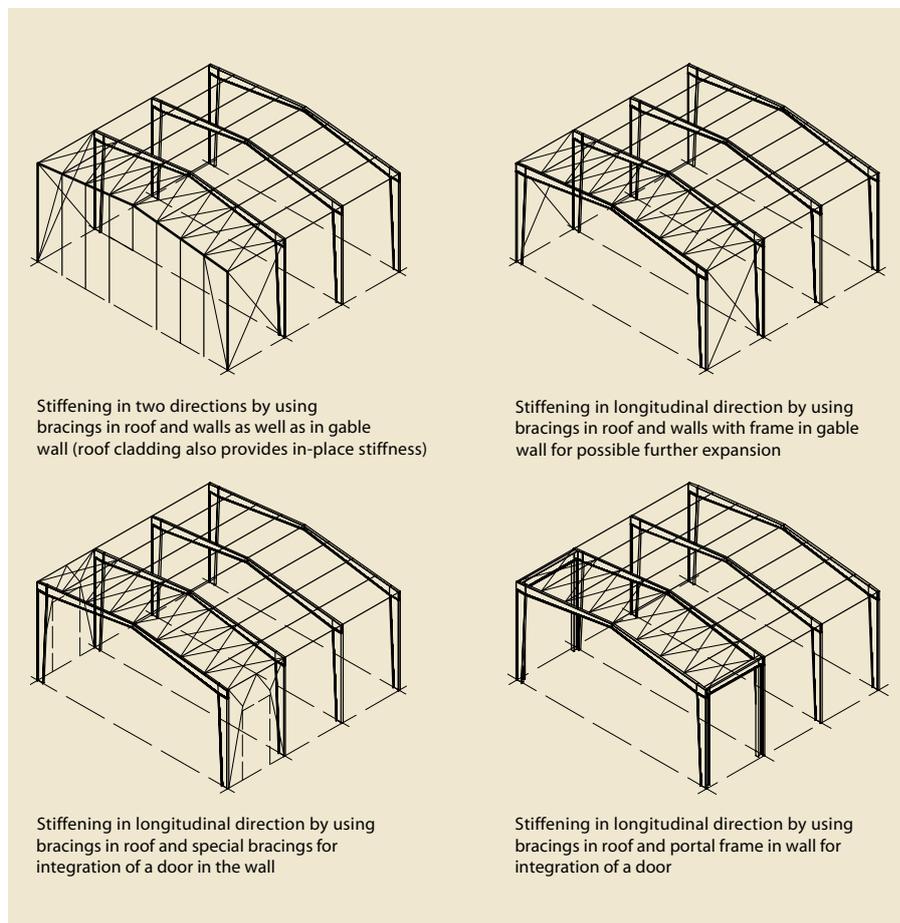


Figura 3.1 Ejemplo de arriostramientos fuera de plano del pórtico

- Luz entre 15 m. y 50 m. (25 m. a 35 m. es la más eficiente).
- Altura del alero entre 5 m. y 10 m. (de 5 m. a 6 m. es la más eficiente).
- Pendiente de la cubierta entre 5° y 10° (6° es lo comúnmente adoptado).
- Modulación de la estructura entre 5 m. y 8 m. (modulaciones más grandes se asocian con las estructuras aporticadas de grandes luces).
- Rigidizadores en el dintel, en los aleros y si fuese necesario, en la cumbrera.

La Tabla 3.1 puede utilizarse como guía para el predimensionamiento de pórticos de un único vano. El empleo de rigidizadores en los aleros y la cumbrera reducen el canto requerido del dintel y logran una unión eficaz en estos puntos. Generalmente, el rigidizador se corta a

partir de la misma sección que el perfil empleado en el dintel.

Pórtico con entreplanta interior

La ubicación de la oficina se realiza usualmente en el interior de la nave a través de una entreplanta (véase la Figura 3.3), la cual puede ser de anchura igual a la luz total del pórtico o parcial.

Asimismo, pueden ser diseñadas para estabilizar el pórtico. El forjado de la entreplanta requiere generalmente una protección adicional al fuego.

Pórtico con entreplanta exterior

Las oficinas pueden ubicarse en el exterior la nave, lo que crea a su vez una estructura asimétrica, véase la Figura 3.4. La ventaja principal es que los pilares y rigidizadores no obstruyen el espacio de la oficina. Generalmente, esta

estructura adicional depende del pórtico para su propia estabilidad.

Pórtico para grúa con ménsulas en pilares

Las grúas, si fuesen necesarias, tienen una importante influencia en el diseño y en las dimensiones del pórtico. Esto es debido a que crean cargas adicionales verticales así como fuerzas horizontales considerables, que influye en la dimensión del perfil del pilar principalmente.

Cuando la grúa sea de baja capacidad (hasta 20 toneladas), los apoyos de la grúa se pueden resolver mediante ménsulas empotradas a los pilares (véase la Figura 3.5). El uso de una viga de arriostrado horizontal entre las ménsulas a lo largo del edificio o la utilización de bases de pilares empotrados, puede ser necesario para

Carga de nieve [kN/m ²]	Luz [m]	Altura del alero [m]	Pendiente de la cubierta [°]	Modulación de pórticos [m]	Sección de acero requerida	
					Pilar	Dintel
0,75	30,0	6,0	6,0	5,0	IPE 600	IPE 550
	25,0	6,0	6,0	5,0	IPE 500	IPE 500
	20,0	6,0	6,0	5,0	IPE 450	IPE 450
	15,0	5,0	6,0	5,0	IPE 360	IPE 360
	12,0	4,0	6,0	5,0	IPE 300	IPE 300
1,20	30,0	6,0	6,0	5,0	HEA 500	HEA 500
	25,0	6,0	6,0	5,0	IPE 600	IPE 550
	20,0	6,0	6,0	5,0	IPE 500	IPE 500
	15,0	5,0	6,0	5,0	IPE 450	IPE 450
	12,0	4,0	6,0	5,0	IPE 360	IPE 360
2,00	30,0	6,0	6,0	5,0	HEA 650	HEA 650
	25,0	6,0	6,0	5,0	HEA 550	HEA 550
	20,0	6,0	6,0	5,0	IPE 600	HEA 600
	15,0	5,0	6,0	5,0	IPE 500	IPE 500
	12,0	4,0	6,0	5,0	IPE 400	IPE 400

Tabla 3.1 Tabla de predimensionamiento para pórticos

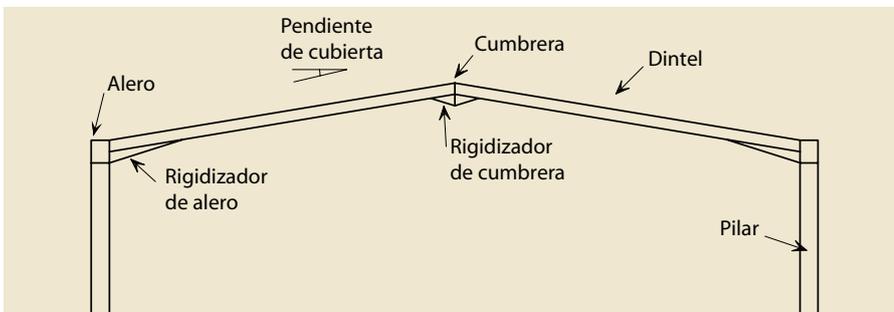


Figura 3.2 Pórtico de una sola luz a dos aguas

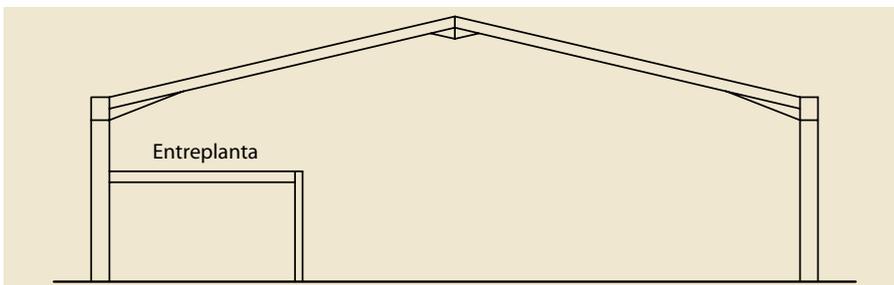


Figura 3.3 Pórtico con entreplanta interior

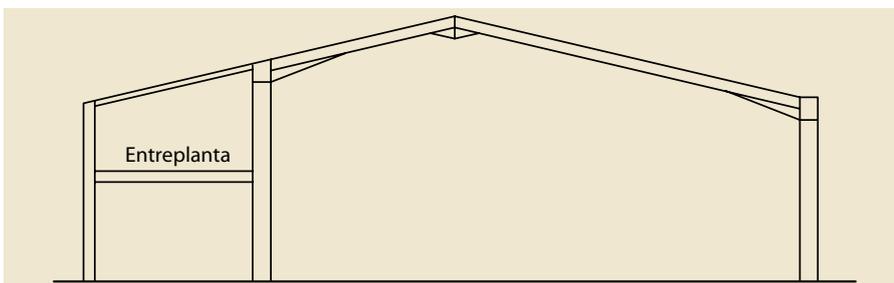


Figura 3.4 Pórtico con entreplanta exterior

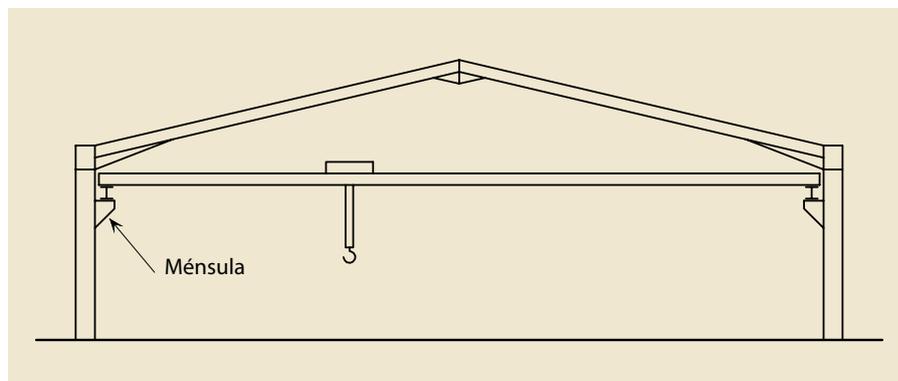


Figura 3.5 Pórtico con ménsulas

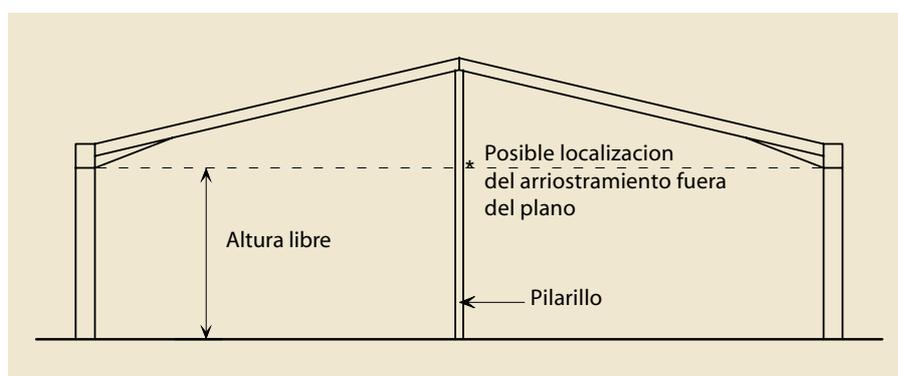


Figura 3.6 Pórtico apuntalado

reducir la deformación a la cota de los aleros. El movimiento externo de la estructura en la cota de la viga carril puede ser de importancia crítica para el correcto funcionamiento de la grúa.

Para grúas más pesadas es conveniente apoyar las vigas carril en soportes adicionales, que pueden ser unidos al pilar mediante arriostramientos para evitar problemas de inestabilidad.

Pórtico apuntalado

En caso de que la luz del pórtico sea mayor de 30 m. y no sea necesario proporcionar toda la luz libre, un pórtico apuntalado (véase la Figura 3.6) puede reducir la sección del dintel y también las fuerzas horizontales en las bases de los pilares, con el consecuente ahorro de acero y en costes de cimentación.

Este tipo de estructura suele denominarse “pórtico apuntalado de un solo vano”, pero actúa como una estructura de dos vanos para el comportamiento de la viga de cubierta.

Pórtico atirantado

En un pórtico atirantado (véase la Figura 3.7), los movimientos horizontales de los aleros y los momentos en los pilares se reducen, a expensas de una reducción de altura libre. En pendientes de cubierta menores de 15° , se desarrollan fuerzas importantes en los dinteles y el tirante.

Pórtico amansardado

Una estructura amansardada se configura con una serie de vigas y rigidizadores (como se aprecia en la Figura 3.8). Puede utilizarse cuando se requiera una luz libre importante pero la altura de los aleros del edificio debe minimizarse. Una mansarda atirantada puede ser la solución más económica donde sea necesaria una restricción de la deformación en los aleros.

Pórtico de dintel curvo

Los pórticos de dintel curvo (véase la Figura 3.9 y la Figura 2.8) son usados habitualmente en aplicaciones arquitectónicas. El dintel puede curvarse

para determinado radio por deformación en frío. Para luces mayores de 16 m., se pueden requerir empalmes en el dintel debido a limitaciones en el transporte. Estos empalmes deben ser cuidadosamente detallados debido a exigencias arquitectónicas.

Como alternativa, cuando la cubierta requiera curvatura pero la estructura no, el dintel puede fabricarse como una serie de elementos rectos.

Pórtico aligerado

Las vigas alveolares o aligeradas son comúnmente utilizadas en los pórticos con dinteles curvos (véanse las Figura 3.10 y Figura 2.9). En caso de requerirse empalmes en los dinteles por restricción en el transporte, estos deben ser cuidadosamente detallados para preservar las características arquitectónicas en esta forma de construcción.

Pórtico hastial

Los pórticos hastiales están situados en los extremos del edificio y podrán

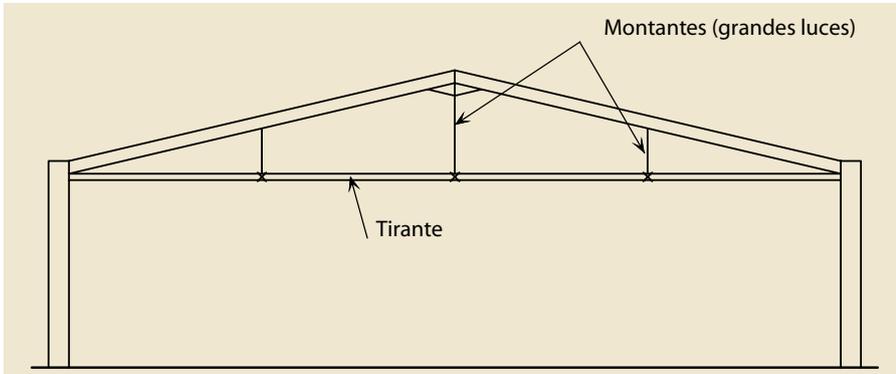


Figura 3.7 Pórtico atirantado

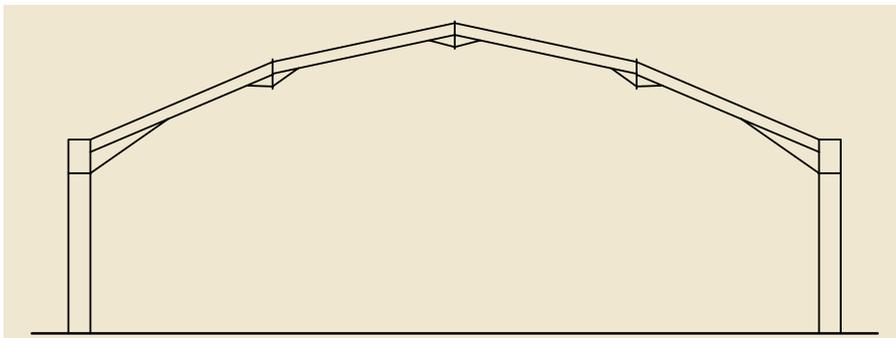


Figura 3.8 Pórtico amansardado

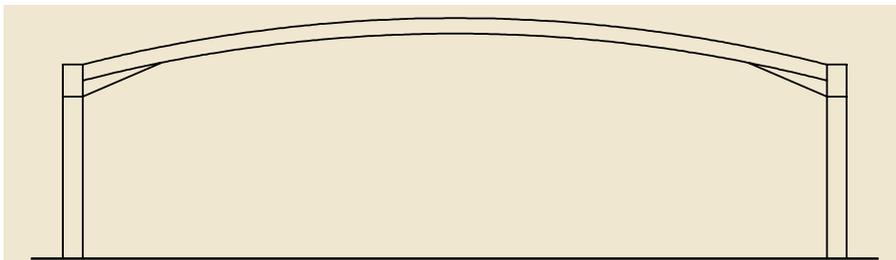


Figura 3.9 Pórtico con dintel curvo

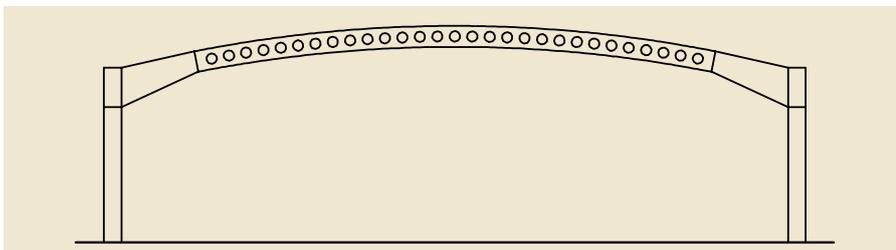


Figura 3.10 Viga aligerada utilizada en un pórtico.

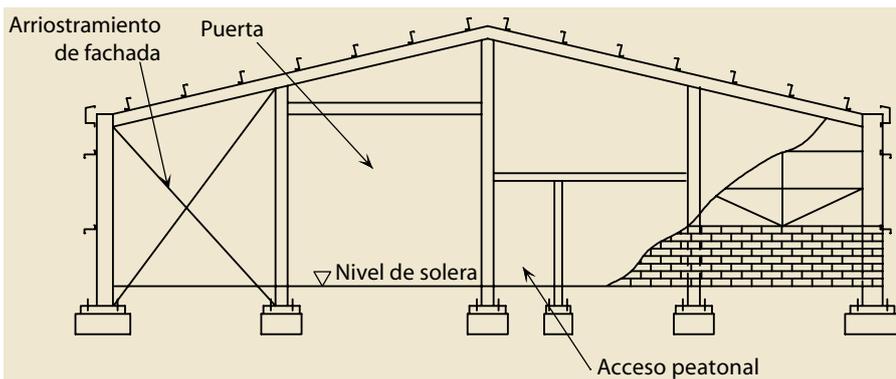


Figura 3.11 Pórtico hastial en una estructura de pórticos.

Carga de nieve [kN/m ²]	Luz [m]	Altura del alero [m]	Pendiente de la cubierta [°]	Modulación de pórticos [m]	Sección de acero requerida	
					Pilar	Dintel
0,75	30,0	6,0	6,0	5,0	IPE 270	HEA 550
	25,0	6,0	6,0	5,0	IPE 270	IPE 600
	20,0	6,0	6,0	5,0	IPE 240	IPE 500
	15,0	5,0	6,0	5,0	IPE 200	IPE 360
	12,0	4,0	6,0	5,0	IPE 160	IPE 300
1,20	30,0	6,0	6,0	5,0	IPE 300	HEA 700
	25,0	6,0	6,0	5,0	IPE 300	HEA 550
	20,0	6,0	6,0	5,0	IPE 270	IPE 550
	15,0	5,0	6,0	5,0	IPE 220	IPE 450
	12,0	4,0	6,0	5,0	IPE 180	IPE 360
2,00	30,0	6,0	6,0	5,0	IPE 330	HEA 900
	25,0	6,0	6,0	5,0	IPE 300	HEA 700
	20,0	6,0	6,0	5,0	IPE 300	HEA 500
	15,0	5,0	6,0	5,0	IPE 240	IPE 500
	12,0	4,0	6,0	5,0	IPE 200	IPE 450

Tabla 3.1 Tabla de predimensionamiento para estructuras de viga y pilar

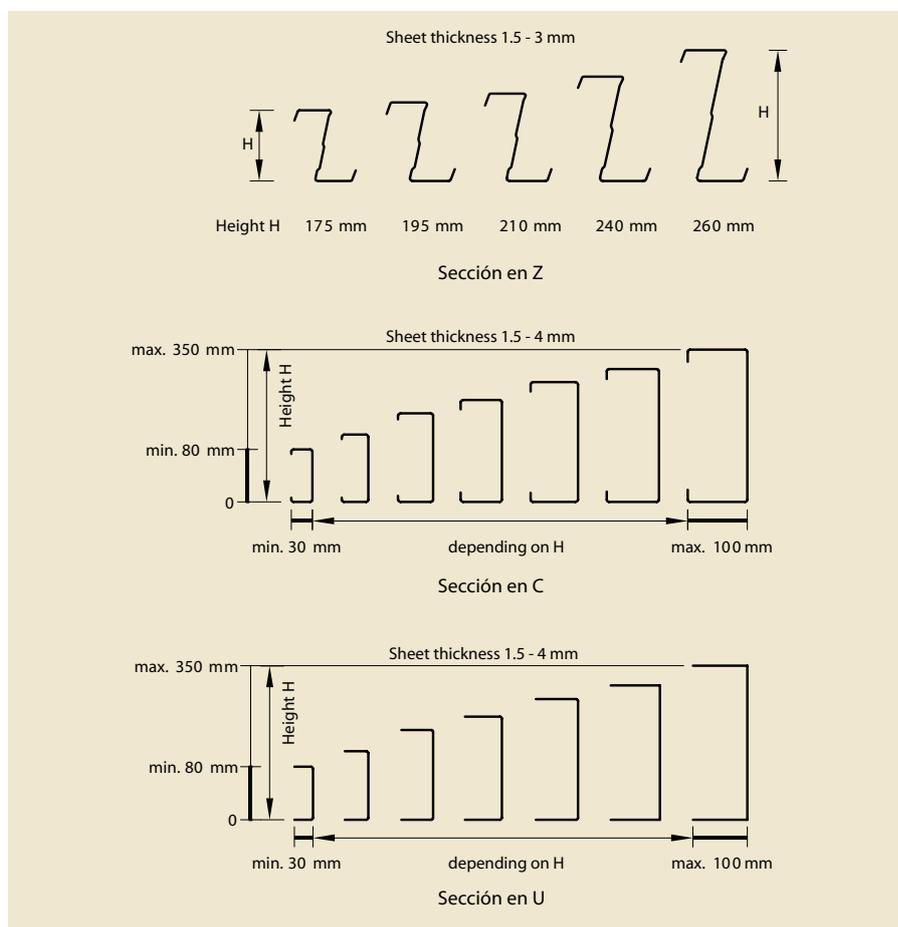


Figura 3.12 Secciones conformadas en frío habitualmente utilizadas como correas

incluir pilarillos de fachada y dinteles de apoyo continuos con apoyos articulados en lugar de una estructura aporticada de luz completa (véase la Figura 3.11). Si el edificio se fuese a ampliar en un futuro, se debería optar por un pórtico del mismo tipo que los interiores.

En el caso en que la estabilidad del pórtico hastial no esté proporcionada por el propio pórtico, serán necesarios arriostramientos en su propio plano o bien unos cerramientos suficientemente rígidos.

Estructura de vigas y pilares

Las estructuras de vigas y pilares requieren un sistema de arriostramiento independiente en ambas direcciones. Las vigas pueden resolverse con perfiles de sección en I o con celosías. La Tabla 3.2.

proporciona valores estimados para el predimensionamiento de pilares y vigas.

Estructura de pilares y vigas con bases de pilares articulados

En las estructuras articuladas de pilares y vigas, los pilares son solicitados predominantemente en compresión, lo que conduce a unos pilares de sección menor. En comparación con la solución aporticada, los momentos flectores en el dintel son mayores dando lugar a perfiles de mayor canto. Dado que las uniones articuladas son menos complejas que las rígidas, los costes de fabricación pueden reducirse considerablemente.

Para este tipo de estructura principal, se requieren arriostramientos en ambas direcciones en la cubierta así como arriostramientos de fachada, para proporcionar estabilidad frente a las

cargas horizontales. Por esta razón, a menudo son usadas principalmente para naves cerradas (es decir, sin aberturas considerables). Este hecho debe tenerse en cuenta durante la fase de montaje, proporcionando arriostramientos temporales.

Estructura de vigas y pilares con bases empotradas de pilares

Cuando se utilizan pilares empotrados, se requieren mayores cimentaciones como resultado de las solicitaciones de flexión. Como los pilares tendrán solicitaciones axiales bajas, el tamaño requerido para la cimentación será importante y poco económico. Por ello, los grandes pilares para las edificaciones industriales con grúa deben diseñarse como estructuras en celosía.

En comparación con la estructura aporticada, los momentos flectores

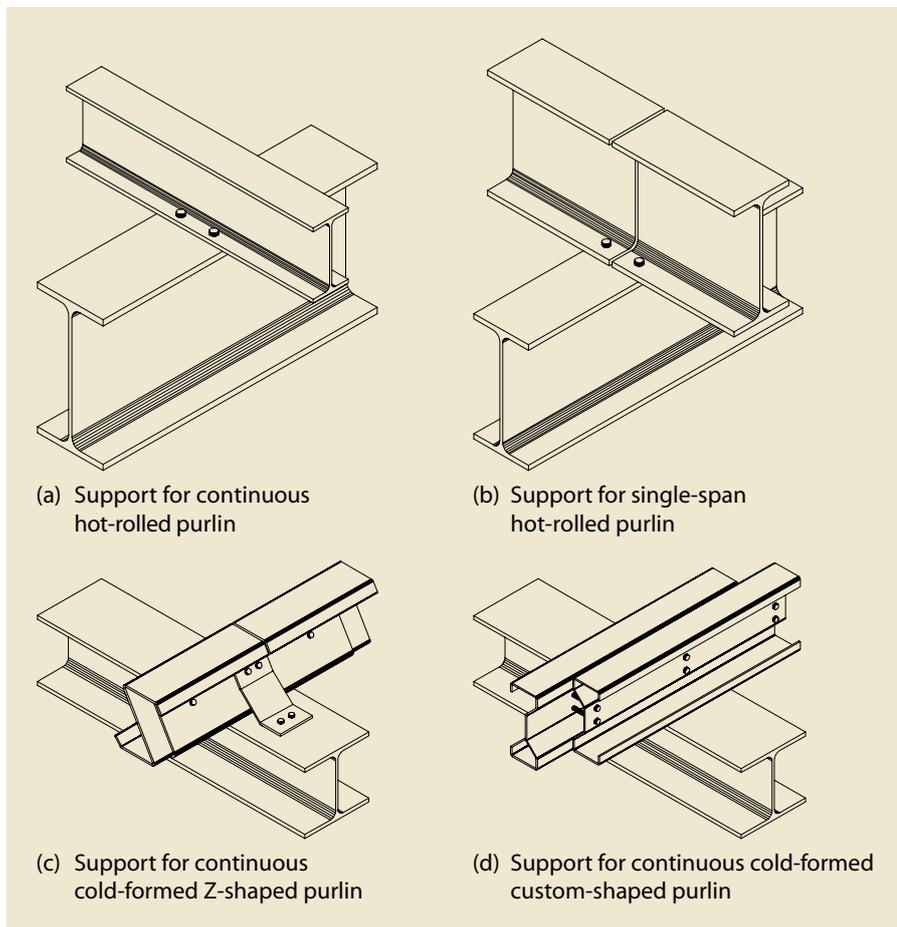


Figura 3.13 Posibles soluciones para uniones de correas y dinteles

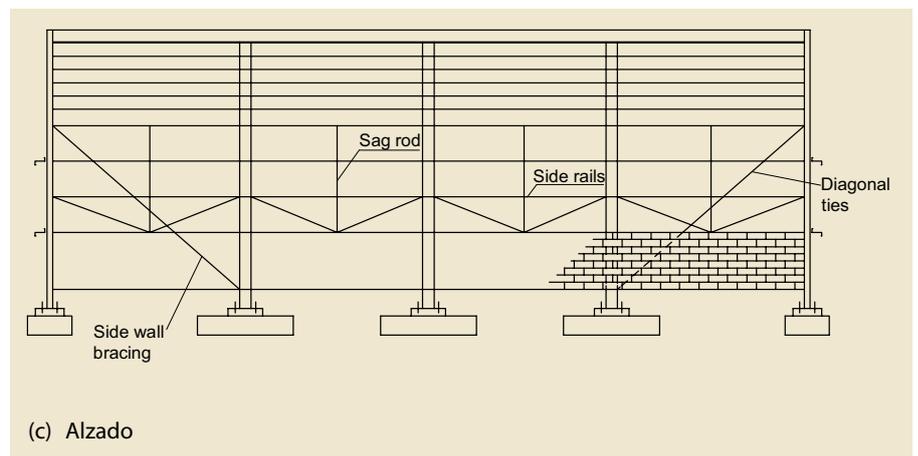
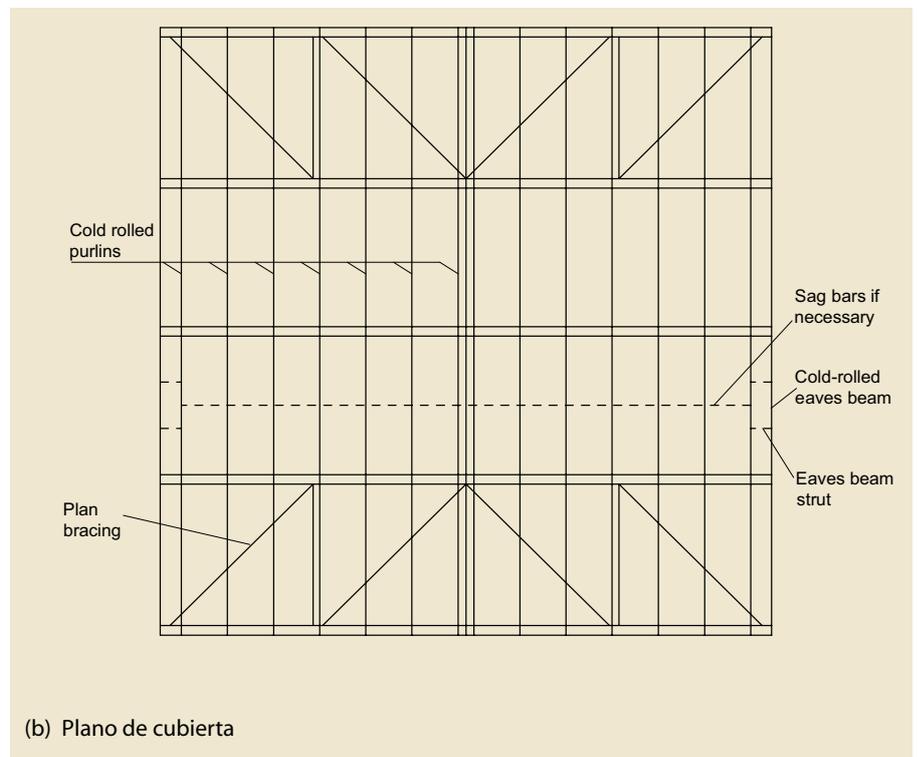
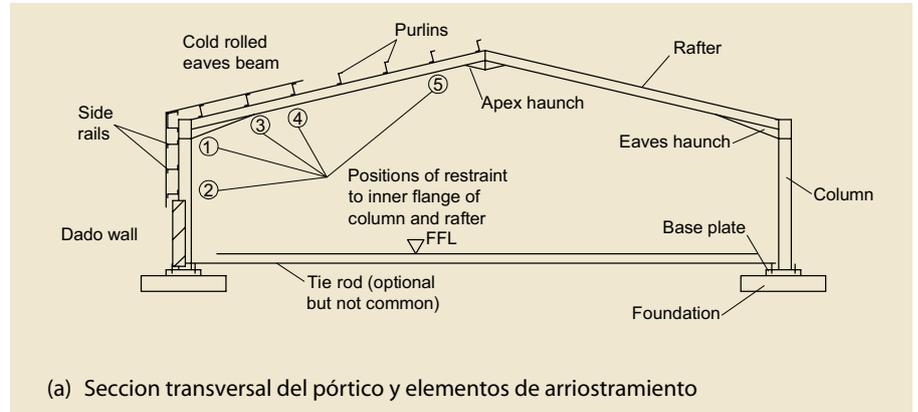


Figura 3.14 Elementos estructurales secundarios en estructura aporticada

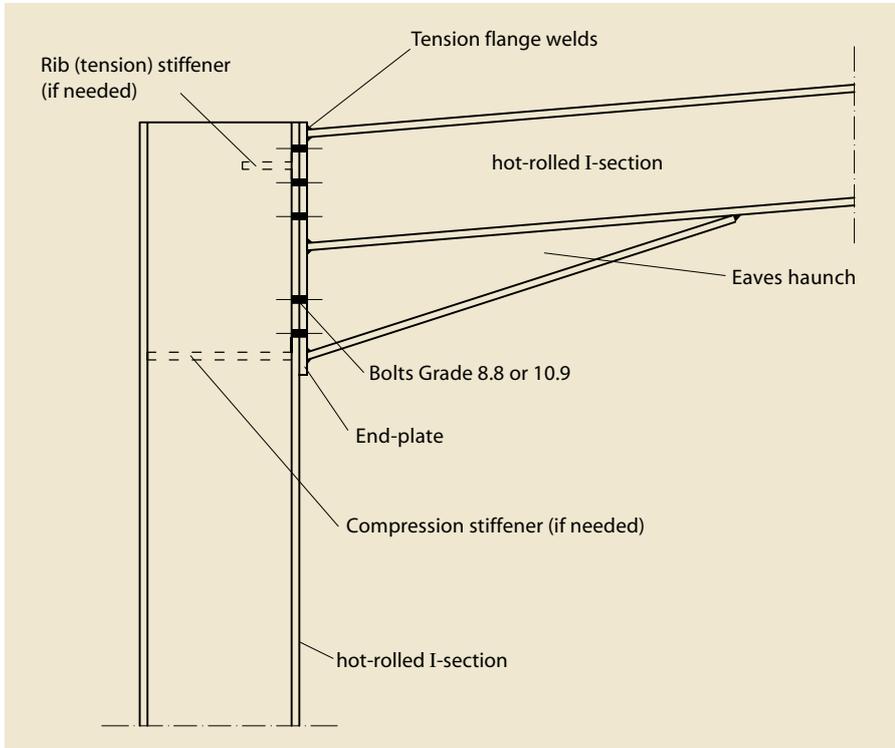


Figura 3.15 Unión típica de alero en un pórtico

en las vigas y las deformaciones laterales son mayores. La ventaja de este sistema es su insensibilidad al asentamiento y, en el caso de bases empotradas, la rigidez de la base actúa en ambas direcciones principales y la estructura es estable después de su montaje sin precisar arriostramientos adicionales.

Elementos secundarios y arriostramientos

En la Figura 3.14 se puede observar una estructura aporticada de acero típica con elementos secundarios. Igualmente, se proporcionan sistemas típicos para uniones de viga y pilar.

Los sistemas de arriostramiento mostrados en la Figura 3.1 son habitualmente logrados por arriostramientos (generalmente, elementos de sección circular) en el plano de la cubierta o fachada. Las correas de cubierta y fachada soportan el cerramiento y estabilizan la estructura de acero contra el pandeo lateral. Como alternativa, se pueden utilizar paneles o

chapas nervadas para proporcionar la rigidez suficiente que permita una acción de diafragma suficiente para proporcionar la estabilidad fuera del plano.

Correas

Las correas transfieren acciones de la cubierta a los elementos principales estructurales, por ejemplo, los dinteles. Además, pueden actuar como elementos en compresión formando parte del sistema de arriostramiento, proporcionando arriostramiento contra el pandeo de lateral torsional del dintel. Para modulaciones de la estructura de hasta de 7 m., pueden ser económico emplear chapa nervada entre los dinteles, directamente, sin el uso de correas. Mayores modulaciones entre los pórticos reducen el número de elementos estructurales principales y cimentaciones pero precisa la utilización de correas más pesadas. En la edificación industrial pueden utilizarse perfiles laminados en caliente así como perfiles conformados en frío con secciones en Z, C, U ó perfiles hechos a medida, como se muestra en la Figura 3.12.

Cuando se usan correas conformadas en frío, normalmente se colocan aproximadamente con separaciones de entre 1,5 m. y 2,5 m. La separación entre las correas deberá ser mas reducida en zonas de mayor acción del viento y cargas de nieve, y donde son requeridas para la estabilidad del dintel, por ejemplo, cerca de los aleros y de la cumbrera. Los fabricantes proporcionan generalmente soluciones aprobadas para las uniones de correas al dintel utilizando elementos prefabricados de chapa de acero, ejiones, como muestra la Figura 3.13.

Uniones

Las tres uniones principales en un pórtico de un solo vano son las de los aleros, la cumbrera y la base del pilar.

Para los aleros, las uniones atornilladas más comúnmente utilizadas son las mostradas en la Figura 3.15. Se puede crear una unión rigidizada soldando una cartela al dintel para aumentar el canto localmente y lograr que las uniones diseñadas sean más eficaces. La cartela

Figura 3.16 (Derecha) Típica unión de cumbrera en un pórtico

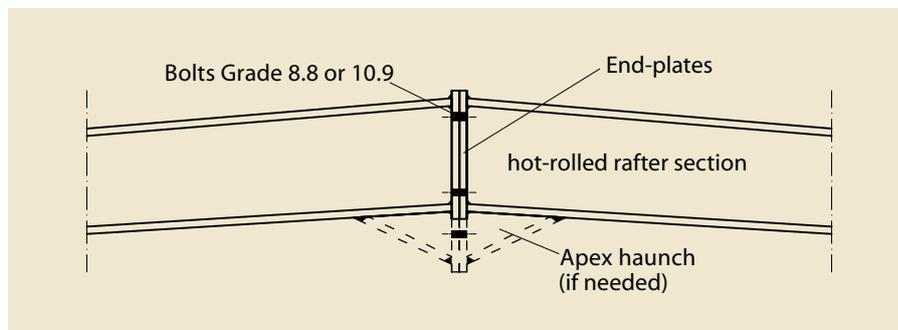
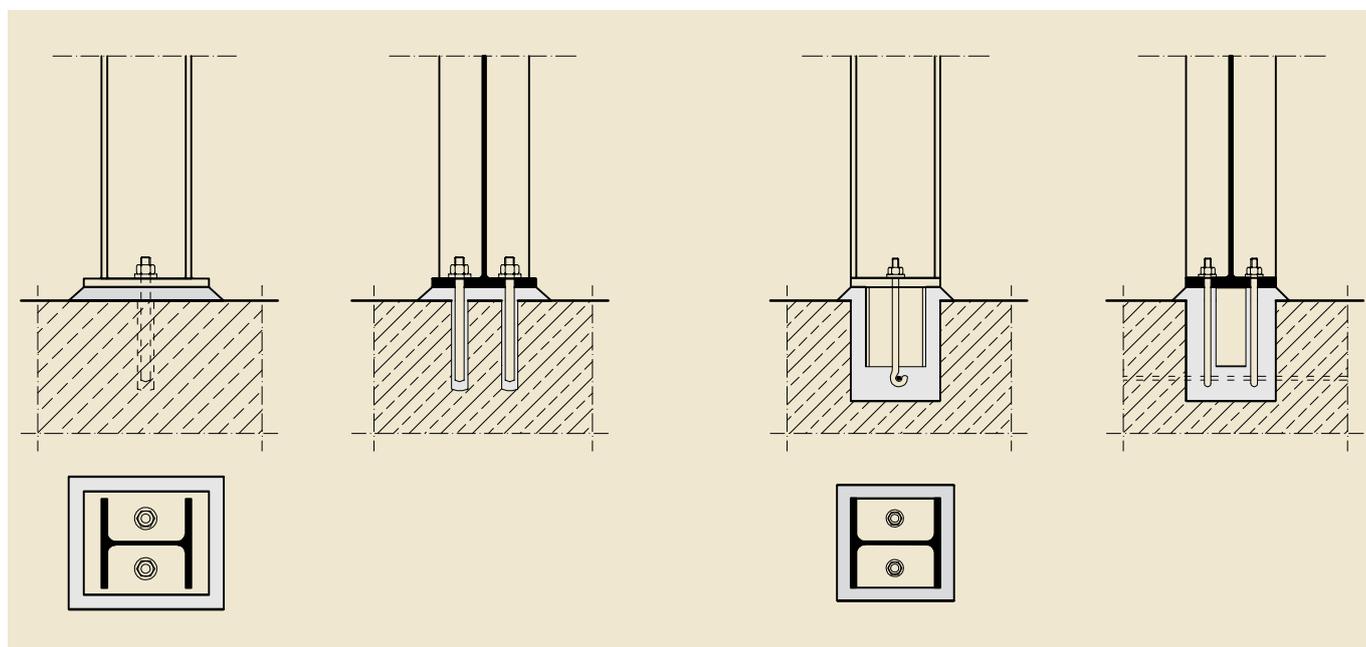


Figura 3.17 (Abajo) Ejemplos típicos de bases de pilares articuladas en pórtico



se fabrica normalmente a partir del mismo perfil de acero empleado para el dintel.

En algunos casos, el pilar y el nudo rigidizado del dintel se construyen como una unidad, y la parte del dintel de canto constante se atornilla mediante una chapa de borde soldada en su extremo.

Con el objeto de reducir los costes de fabricación, es preferible diseñar las uniones de los aleros sin el uso de rigidizadores. En algunos casos, los efectos de la consecuente reducción de rigidez de las uniones no rigidizadas en el comportamiento de la estructura global deben ser considerados, por ejemplo, caso de la determinación de las solicitaciones y deformaciones.

El Eurocódigo EN 1993-1-8 proporciona un procedimiento de diseño que toma estos efectos producidos por las uniones semi-rígidas en consideración.

La unión de la cumbrera se diseña a menudo de forma similar, véase la Figura 3.16. Si la luz de la estructura no excede el límite para transporte (en torno a los 16 m.), se pueden evitar las uniones de las cumbreras en obra, minimizando así los costes.

La base del pilar se realiza usualmente articulada, con grandes tolerancias para así facilitar la unión entre el hormigón y la estructura de acero. Los detalles más comunes se presentan en la Figura 3.17. Las uniones articuladas son preferidas

ya que minimizan el tamaño de la cimentación. No obstante, grandes cargas horizontales pueden requerir el uso de bases empotradas.

04 Sistemas de Cubierta y Cerramiento

En este capítulo se describen los sistemas más comunes para cubierta y cerramiento, que constituyen la envolvente del edificio y, al mismo tiempo, proporcionan estabilidad a la estructura principal. También se presentan los aspectos arquitectónicos fundamentales en la edificación industrial, tales como la integración de servicios y el alumbrado.

Sistemas de cubierta

Existe una serie de consideraciones que se deben tener en cuenta en la selección de un sistema o producto de cubierta. A fin de cumplir con el criterio de diseño de la cubierta, es crucial evaluar si los materiales y sistemas pueden cumplir con las exigencias de diseño, durabilidad en el tiempo, adecuación a la localidad y al clima. El costo es un factor clave pero debe verse en términos de la vida útil de los materiales. Se deben considerar otras cuestiones como detalles constructivos, mantenimiento y eliminación final.

Se emplean numerosas tipologías de diseño en cubiertas para edificación industria, las cuales tienden a clasificarse en diversas categorías.

Panel nervado simple

La chapa simple se utiliza bastante en estructuras de uso agrícola e industrial, donde no se requiere ningún aislamiento importante. Generalmente, puede utilizarse en pendientes de cubierta de hasta 4° siempre y cuando los solapes y las juntas de sellado sean recomendadas por los fabricantes de cubiertas planas. El panel está fijado directamente a las correas y a los carriles laterales, así proporcionan arriostramiento (véase la Figura 4.1) En algunos casos, el aislamiento se instala directamente bajo el mismo panel.

Generalmente, la chapa de acero se fabrica con calidades de acero galvanizado de tipo S 280 G, S 320 G,

Sistemas de cubierta

Sistemas de fachada

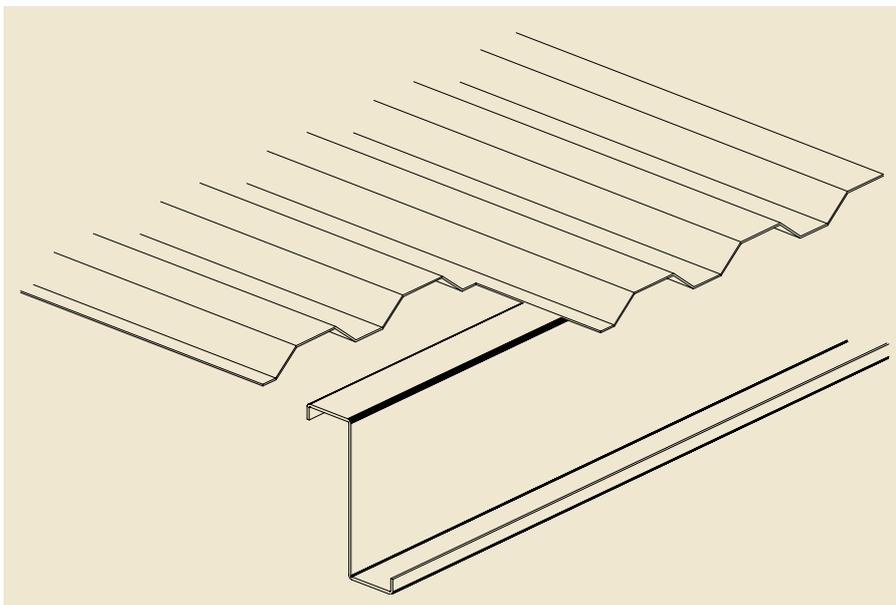


Figura 4.1 Chapa trapezoidal simple

o S 275 G, de acuerdo a la norma EN 10326. Debido a la diversidad de productos, no existen dimensiones estándar, aunque hay fuertes similitudes entre formas y productos. Los paneles de acero permiten espesores entre 0,50 mm. y 1,50 mm. de espesor (incluyendo el galvanizado).

Sistema de chapa doble con aislamiento

El sistema de chapa doble se monta en obra y normalmente consta de una chapa

de inferior, que se fija a las correas, seguidas de un sistema de separación (espaciador o cabio con un separador), el aislamiento y la chapa exterior resistente a la intemperie. Debido a que la unión entre la chapa externa e interna pueden no ser suficientemente rígidas, la chapa de revestimiento y las fijaciones deben elegirse de manera que proporcionen la restricción adecuada a las correas. Las formas alternativas de construcción usando separadores de plástico y espaciadores de sección Z o cabios

y separadores soporte se presentan en las Figuras 4.2 y 4.3.

Debido a que el espesor de aislante aumenta para incrementar el aislamiento, existe una tendencia hacia las soluciones de espaciadores “cabio y soporte”, porque proporcionan una mayor estabilidad.

Con un adecuado sellado en las juntas, las chapas de revestimiento pueden utilizarse como frontera

Figura 4.2 Cubierta de doble chapa con fijaciones de plástico y separadores en forma de Z

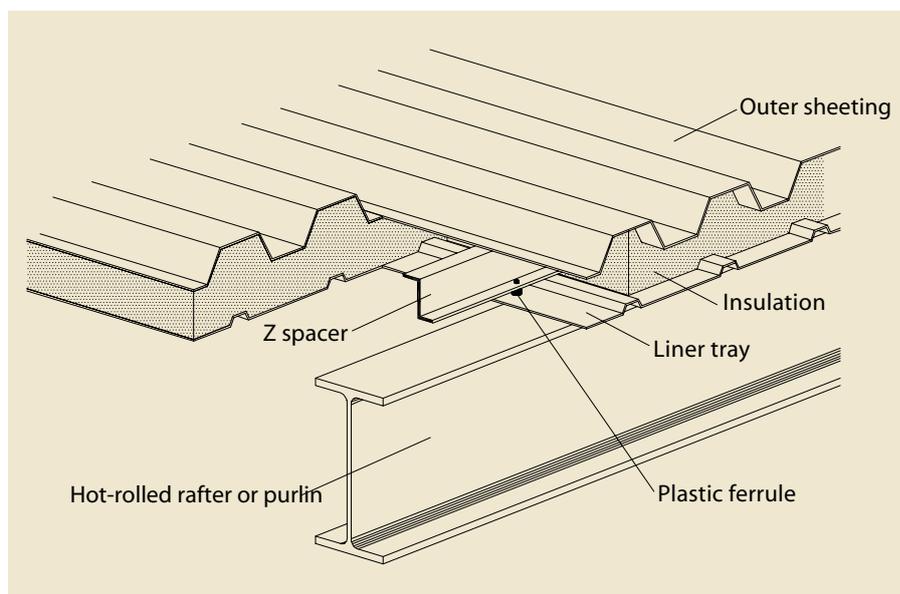
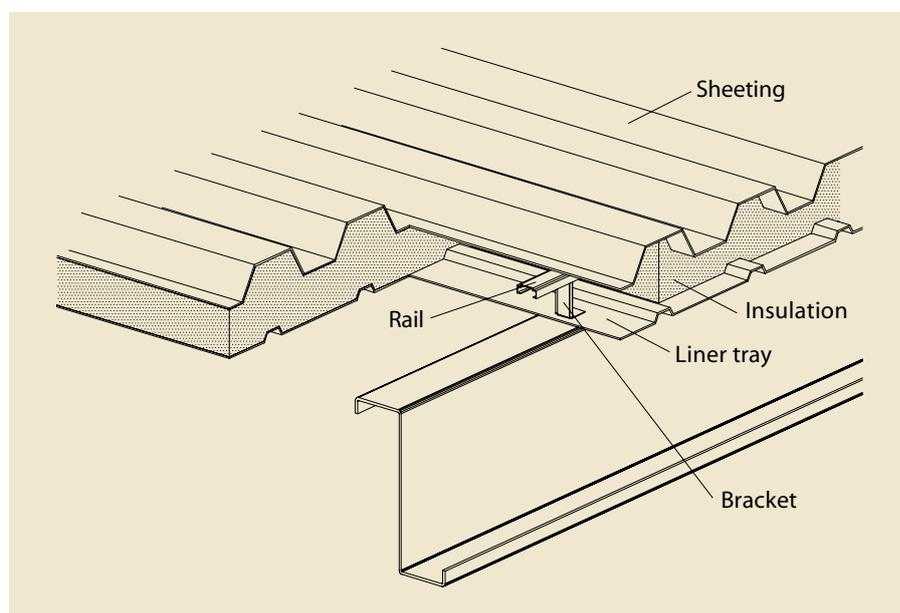


Figura 4.3 Construcción doble capa utilizando sistema “cabio y soporte”



hermética. Alternativamente se puede añadir una membrana impermeable en la parte superior de la chapa de revestimiento.

Chapa de junta oculta o “invisible”

Las chapas de juntas “invisibles” o de fijaciones ocultas se pueden utilizar en longitudes de hasta 30 m. La ventaja es que no hay penetraciones directamente a través de la chapa, por donde podría filtrar el agua; el montaje es rápido.

Consecuentemente, los sistemas de junta “invisible” se pueden utilizar con pendientes de cubierta muy baja. Las sujeciones tienen forma de abrazaderas o cabestros que sujetan la chapa inferior

pero permiten que ésta se mueva longitudinalmente (véase la Figura 4.4). La desventaja es que ofrecen menos arriostramiento a las correas que con un sistema de fijación convencional y que los sistemas que se utilizan frecuentemente en conjunción con chapas con función estructural. Sin embargo, una bandeja correctamente fijada proporcionará un adecuado arriostramiento a las correas.

Paneles sándwich o mixtos

Los paneles sándwich o mixtos consisten en una chapa exterior y una chapa de revestimiento, la cual está unida a un material aislante.

Los paneles mixtos tienen capacidades de cubrir luces grandes debido a la acción mixta en flexión. Tanto los sistemas de junta oculta (véase Figura 4.5) como de fijación directa se pueden emplear. Esto proporciona claramente diferentes niveles de restricción en las correas.

Los paneles sándwich para cubiertas tienen generalmente un ancho de 1.000 mm con espesores entre 70-110 mm., dependiendo de nivel de aislamiento requerido y de las demandas estructurales. A pesar del espesor de estos elementos su peso propio es relativamente bajo. Por lo tanto, estos

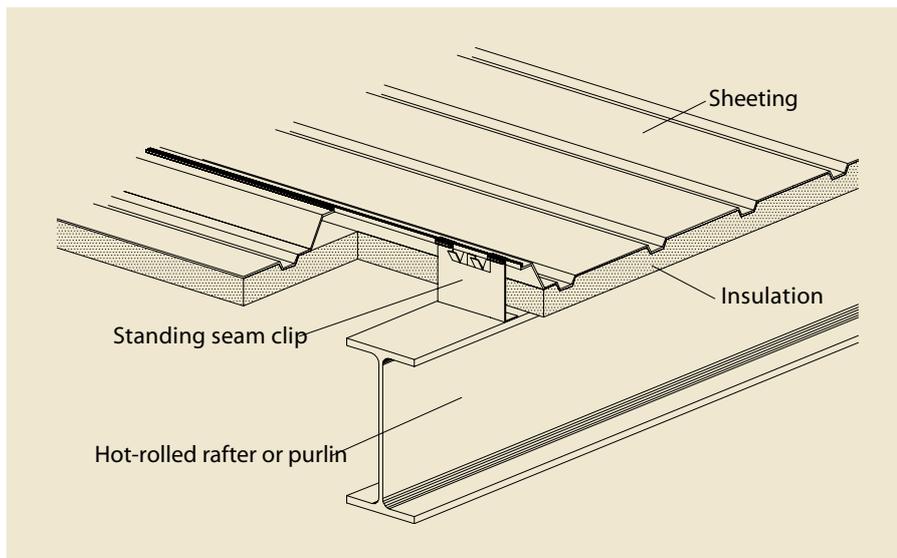


Figura 4.4 Paneles con juntas “invisibles” o fijaciones ocultas, y chapa de revestimiento

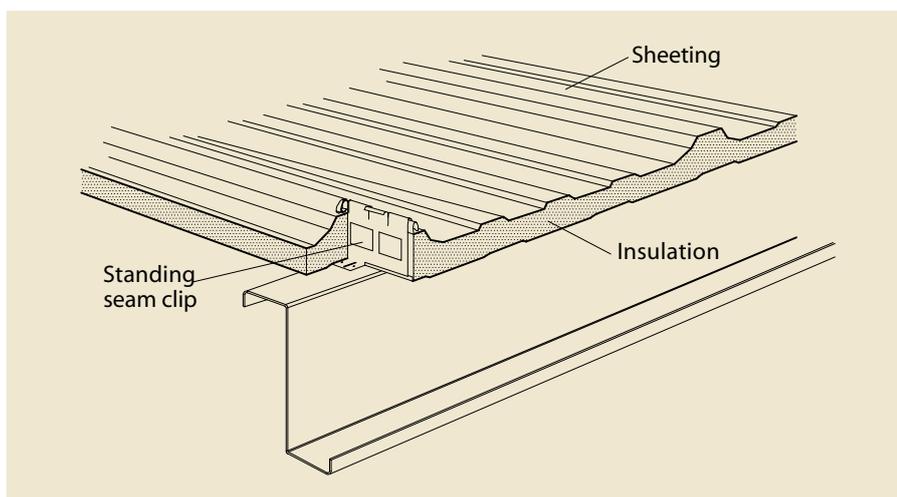
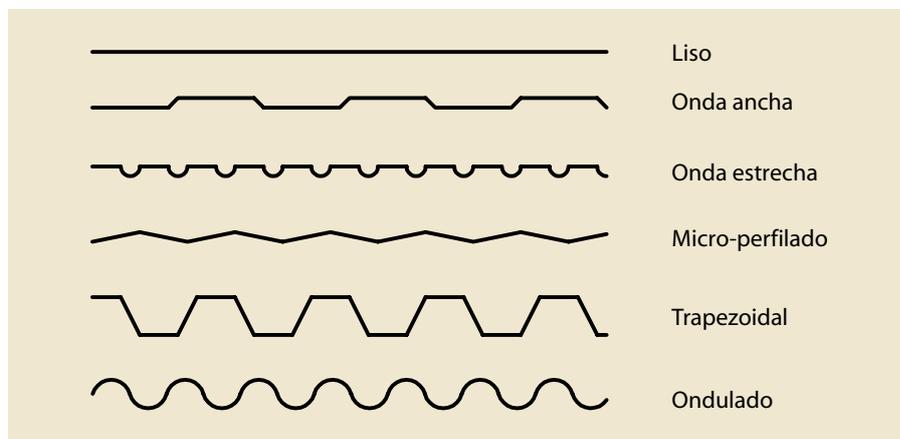


Figura 4.5 Paneles mixtos o sándwich con fijaciones por presión

Figura 4.6 Diferentes posibilidades en el perfil de los paneles sándwich



Los paneles sándwich y mixtos ofrecen numerosas ventajas:

- Rapidez de fabricación del panel y bajo coste
- Buena apariencia estética del edificio
- Fácil instalación en prácticamente todas las condiciones ambientales
- Capacidades de grandes luces minimizando la estructura soporte principal

paneles son fáciles de manipular y permiten un montaje rápido en obra. Para longitudes de componente de hasta 20 m. para cubierta y fachada se permiten construcciones con o sin juntas. Normalmente, las chapas exteriores del panel son de acero galvanizado con espesores entre 0,4 y 1,0 mm.

Por otro lado, las chapas interiores de revestimiento de los paneles sándwich habitualmente se presentan revestidas o perforadas; y también se encuentran disponibles diseños especiales con superficies planas. Además, hay desarrollos para cubiertas de poca pendiente que dan un aspecto de cubierta plana. Algunos tipos de superficie para la chapa exterior (plana, nervada, trapezoidal, ondulada, etc) se presentan en la Figura 4.6.

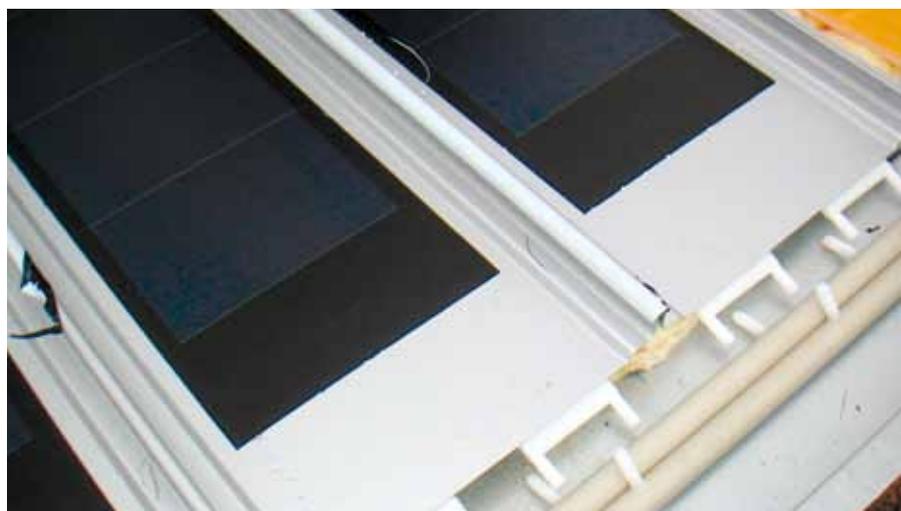
Los requisitos de protección a la corrosión para los paneles sándwich o mixtos son iguales que para las chapas de acero trapezoidales. El núcleo de material para el aislamiento puede ser de:

- Poliuretano rígido (PUR).
- Material de aislamiento de fibra o mineral.
- Poliestireno (en excepciones, debido a su bajo comportamiento aislante).

La chapa de acero con espuma aislante es inocua durante su producción y montaje, así como durante su uso permanente en el edificio.

El núcleo de aislamiento es inodoro, libre de degradación y resistente al moho, lo que ofrece conjuntamente buenas posibilidades de reciclaje.

Figura 4.7 Células solares y sistema de refrigeración por agua.
Fuente: Corus



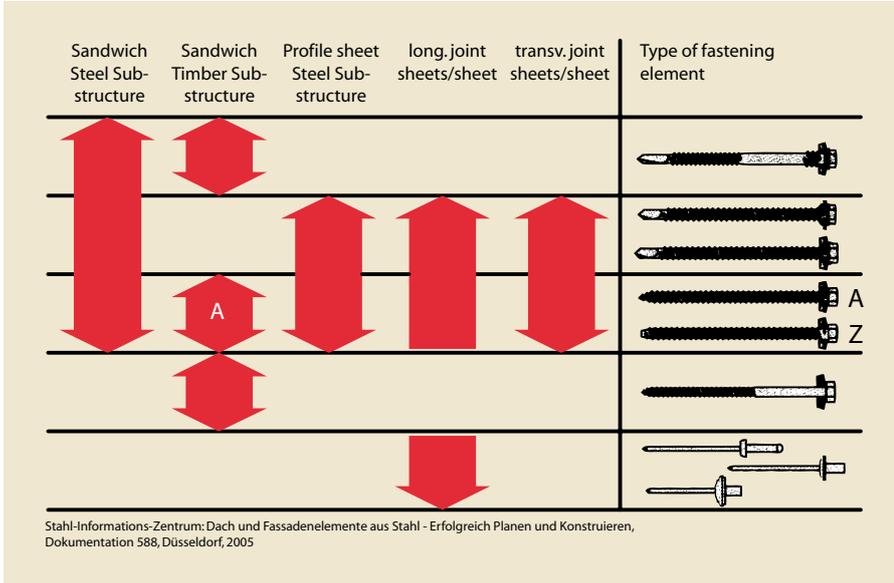


Figura 4.8 Rango de aplicación para elementos de fijación en diferentes tipos de cerramiento

Un factor clave que debe tenerse en cuenta en el diseño de los paneles sándwich es la diferencia de temperatura a través del elemento. En caso de calentamiento, la chapa exterior se dilata y la interior no, debido al núcleo de separación aislante.

En los paneles de chapa única, esto conduce a una flexión en el panel. Aunque esto no conduzca a fuerzas internas adicionales, puede influenciar la apariencia de la envolvente.

Para paneles continuos, la restricción de flexión conduce a flexión y a fuerzas de

compresión en las capas, lo cual puede producir pandeo del panel. Cuanto más oscuro es el color del panel, mayores son las fuerzas de la compresión. Por consiguiente, para los paneles continuos, las comprobaciones para las consideraciones de diseño para "temperatura en verano" y "temperatura en invierno" deben realizarse teniendo en cuenta el color del panel. A nivel europeo, la norma EN 14509 (actualmente en preparación) define el método de diseño estructural así como la producción y las calidades principales del panel sándwich y panel mixto.

Debe consultarse a los fabricantes para obtener más información.

Sistemas especiales de cubierta

La cubierta plana de un edificio industrial abarca una gran extensión y está directamente expuesta a los rayos solares. Por ello, este sistema puede presentar la ventaja de introducir células fotovoltaicas en la cubierta para aprovechar la energía solar. Existen actualmente en el mercado productos económicos y fáciles de instalar.

Por otro lado, se ha desarrollado un sistema de cubierta de acero que integra



Figura 4.9 Cerramiento de chapa con nervios horizontales

Figura 4.10 Largos paneles mixtos orientados horizontalmente



Figura 4.11 Amplios ventanales y paneles mixtos de ladrillo



conducciones de agua, recogiendo la misma y calentándola (colector solar térmico).

Elementos de fijación

Las técnicas de fijación incluyen las uniones de las chapas a la estructura soporte, así como las uniones de las chapas entre sí.

Para fijar las chapas de acero se emplean tornillos auto-roscantes o remaches. En cambio, si las chapas son nervadas, al menos cada dos nervios se deben fijar a la estructura soporte. Si las chapas se utilizan como arriostramientos (diafragma), el número de fijaciones debe diseñarse de manera que resistan el esfuerzo cortante aplicado.

Para los elementos sándwich, el diseñador tiene que considerar la

influencia del método de unión en la longitud del panel.

La Figura 4.8 presenta diferentes tipos de elementos de unión dependiendo de la estructura soporte.

Sistemas de fachada

Actualmente, existen numerosos sistemas para el diseño de fachadas en edificación industrial. Debido a una alta calidad, rapidez de construcción y su eficiencia económica, los cerramientos de chapa metálica son los más frecuentemente utilizados. Habitualmente, los cerramientos de fachada presentan los mismos tipos que para cubierta, siendo las tipologías principales las siguientes:

- Chapa orientada verticalmente y apoyada en correas laterales de fachada.

- Chapas o bandejas estructurales distribuidas horizontalmente entre la estructura principal.
- Paneles mixtos o sándwich espaciados horizontalmente entre los pilares, eliminando correas laterales.
- Bandeja metálica sujeta por correas laterales.

Pueden utilizarse diferentes tipos de acabados en fachada para conseguir efectos visuales diversos, véase las Figuras 4.9 a 4.11. En la Figura 4.11 se puede observar la fachada con revestimiento de ladrillo para conseguir un refuerzo frente a impactos.

Paneles sándwich o mixtos

Los paneles mixtos o sándwich son elementos continuos de doble capa con varios tipos de aislamiento. Es la elección

más común para cerramientos de fachada en la edificación industrial en Europa. En fachada, los paneles sándwich presentan anchos de 600 mm. a 1.200 mm. con espesores de 40 a 120 mm., y en algunos casos, espesores de hasta 200 mm. para paneles instalados en almacenes frigoríficos.

Los aspectos siguientes son relevantes para conseguir una buena apariencia estética final:

- Textura de la superficie.
- Elección del color.

- Diseño de las uniones.
- Tipo de accesorios y fijaciones.

Asimismo, para sistemas modernos de construcción, el cliente cuenta con que las uniones en las esquinas del edificio sean invisibles y con transiciones limpias. No obstante, las fijaciones directas convencionales son usualmente empleadas. Los detalles constructivos comprenden tanto las fijaciones invisibles como las uniones con chapas de sujeción adicionales, véanse las Figuras 4.5 y 4.12. Con el empleo de

elementos de conexión intermedios se pueden evitar la aparición de pequeñas melladuras a causa de un inapropiado montaje o por la influencia de la temperatura.

Para el acabado final de las fachadas, se deben desarrollar componentes específicos para las transiciones entre fachada y cubierta. Especialmente, en fachadas de alta calidad, los fabricantes ofrecen elementos redondos o angulados para cubierta o secciones de borde. Estos elementos especiales deben tener

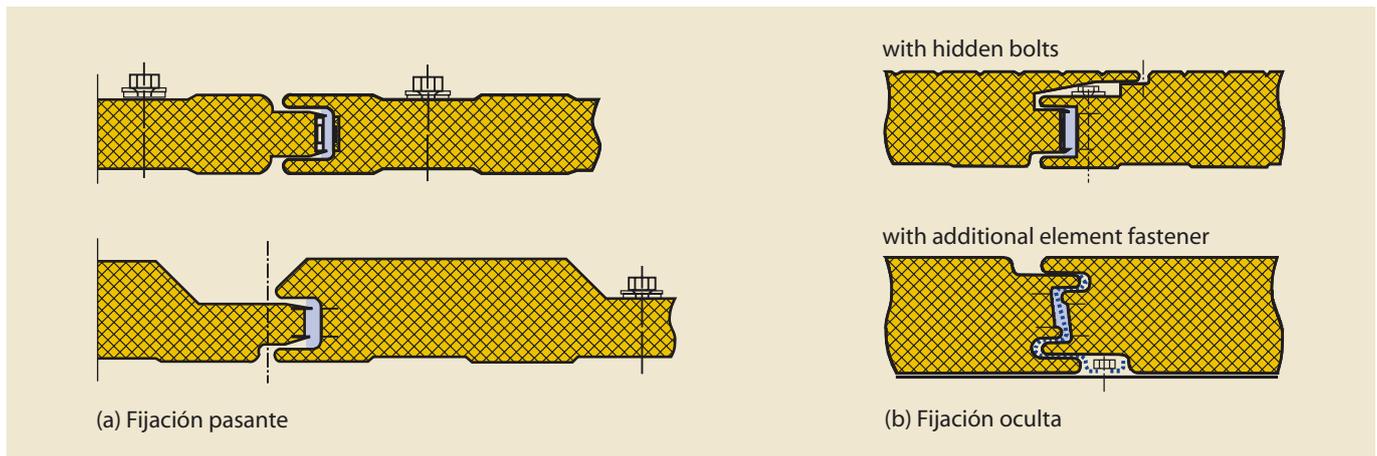


Figura 4.12 (Arriba) Ejemplos de métodos de fijación para paneles sándwich. Stahl-Informations-Zentrum: Dach und Fassadenelemente aus Stahl - Erfolgreich Planen und Konstruieren, Dokumentation 588, Düsseldorf, 2005

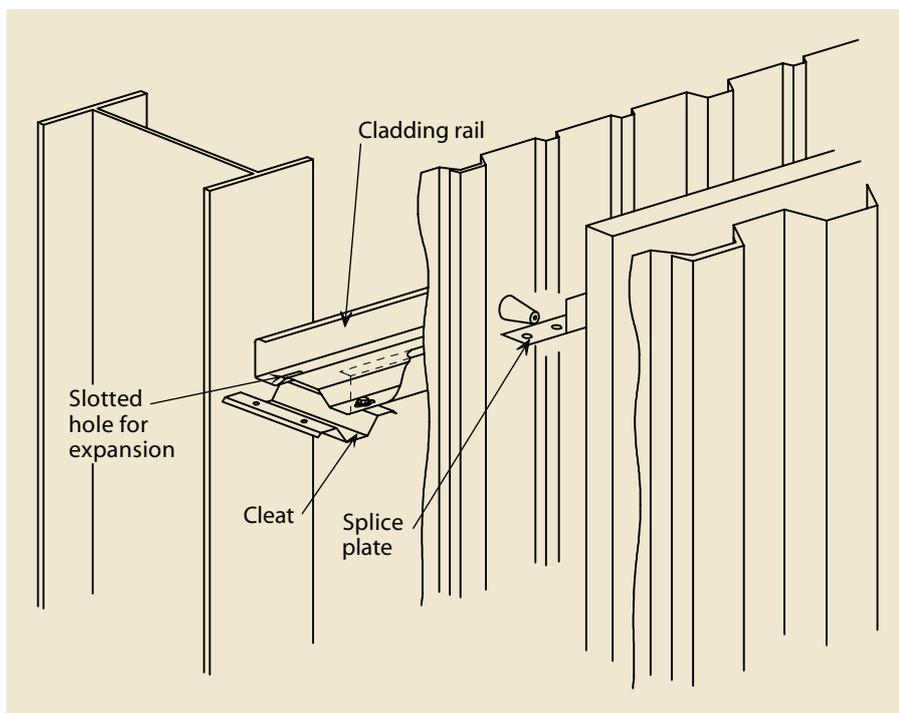


Figura 4.13 Detalles típicos en muros cortafuegos con agujeros rasgados para la expansión debida al calor

la misma calidad y color que sus elementos adyacentes.

Ingeniería de fuego en fachada

Cuando los edificios están ubicados en una zona, las reglamentaciones nacionales pertinentes de edificación requieren que la fachada esté diseñada para prevenir la posible propagación del fuego a la propiedad adyacente. Las pruebas contra incendios realizadas han señalado que, en general, las distintas tipologías de paneles se comportan adecuadamente permaneciendo fijados a la estructura. Aún así, los fabricantes deben proporcionar una guía adicional con información más específica.

Normalmente, se considera necesario incluir agujeros ranurados en las uniones de las correas laterales de fachada para permitir así la expansión térmica necesaria. Para asegurarse de que no se compromete la estabilidad del pilar al eliminar alguna restricción bajo condiciones normales, los orificios ranurados se ajustan con arandelas especiales que puedan amoldarse adecuadamente ante altas temperaturas y permitan que las correas laterales puedan moverse con respecto al pilar únicamente ante situación de incendio. En la Figura 4.13 se presenta un ejemplo gráfico de este detalle.

Otros tipos de fachadas

En la edificación industrial son utilizadas diferentes alternativas en la selección de un sistema de fachada como, por ejemplo, fachadas totalmente acristaladas (véase la Figura 4.14).

La utilización de este sistema de fachada de alta calidad arquitectónica no implica automáticamente costes más elevados. En la Figura 4.14, los perfiles laminados en caliente definen la estructura, así como también un sistema típico de fachada. La integración de paneles solares aumenta el balance térmico y los costes de mantenimiento se reducen también perceptiblemente. La estructura

principal que soporta la fachada así como otros elementos de detalle se pueden adaptar desde las soluciones existentes para edificación en altura, para la cual este tipo de cerramientos es de práctica común.

Otra moderna técnica de especial interés arquitectónico en el diseño de edificios industriales consiste en el empleo de colorido en la fachada. Existen una gran variedad de tonalidades disponibles por los distribuidores, incluidos los colores pastel y los acabados metálicos. La Figura 4.15 muestra un ejemplo constructivo de un edificio integrado adecuadamente con su entorno mediante la utilización colores en fachada.

Como característica adicional, se pueden integrar paneles fotovoltaicos en la fachada. A pesar del hecho de que el ángulo al sol no sea óptimo, el uso de multicapas implica que las células fotovoltaicas sean menos dependientes al ángulo de incidencia de los rayos de sol. Esta tecnología se ilustra en la Figura 4.16.

Figura 4.14 *Edificio industrial con fachada acristalada.*
Fuente: BAUEN MIT STAHL e.V.



Figura 4.15 *Edificio industrial con fachada multicolor.*
Fuente: www.tks-bau-photos.com



Figura 4.16 *Fachada con paneles solares integrados.*
Fuente: www.tks-bau-photos.com



05 Prácticas Nacionales

En este capítulo, se presentan las prácticas nacionales habituales en diferentes países. En cada uno de los países que se presentan, los sistemas constructivos se han considerado de “buena práctica”, aunque no sean ampliamente utilizados en toda Europa.

Práctica actual en Alemania

Estructura

En Alemania, la edificación industrial más convencional se constituye con pórticos de pilares articulados en su base. La luz de los pórticos puede variar entre 12-30 m. Cuando se utilizan perfiles con sección en I laminados en caliente o soldados, aunque generalmente la luz que más comúnmente se utiliza es entre 15-20 m. Las cerchas son una solución habitual para luces mayores de 30 m., aunque son posibles mayores luces. Si no hay limitaciones en el uso del edificio se suelen plantear pórticos de múltiples vanos con perfiles en I para luces de hasta 20 m.

Otro tipo de estructuras portantes, tales como vigas simplemente apoyadas en pilares, arcos, celosías, placas, etc. son utilizadas con menos frecuencia, excepto para edificios más expresivos arquitectónicamente.

La luz entre pilares suele estar situada en un rango de entre 5 m. y 8 m., aunque es posible lograr hasta 10 m. de luz. La altura de los aleros de la estructura es de aproximadamente 4,5 m. en general, incrementando incluso a más de 8 m. si hubiera que instalar grúas.

Los pilares de los pórticos realizados mediante secciones IPE o HE, a menudo, se diseñan acarteladas en las zonas más solicitadas. Generalmente, se utilizan uniones atornilladas en pilares continuos combinados con vigas de chapa de borde como se muestra en la

Figura 3.15. En algunos casos, los pilares son fabricados con la parte acartelada de la viga, por lo tanto, la parte de la viga con canto constante se empalma en obra mediante uniones atornilladas.

Esto es exactamente igual para los paneles de chapa entre dinteles y correas. El 40% de las correas son laminadas en caliente y un 60% conformadas en frío, cada vez aumentando más el empleo de las conformadas en frío.

El diseño está realizado casi exclusivamente mediante análisis elástico para las solicitaciones ocasionadas por las acciones, comparando éstas, con la resistencia elástica o plástica de la sección transversal. El diseño actual se realiza en base a la normativa DIN 18800, parte 1-5, similar al Eurocódigo Estructural EN 1993 1-1.

Cubierta

Las cubiertas de los edificios industriales en Alemania consisten generalmente en chapas de acero trapezoidal extendiéndose directamente sobre los pórticos o apoyadas en las correas.

Actualmente, la cubierta de chapa con aislamiento, como muestra la Figura 5.1 (a), es el tipo de cubierta más ampliamente utilizado en Alemania para edificación industrial. Para este cerramiento, la pendiente no debe ser menor de 2°, con el fin de asegurar un drenaje apropiado. Asimismo, este tipo de cubierta es comparativamente baja en

Alemania

Países Bajos

España

Suecia

Reino Unido

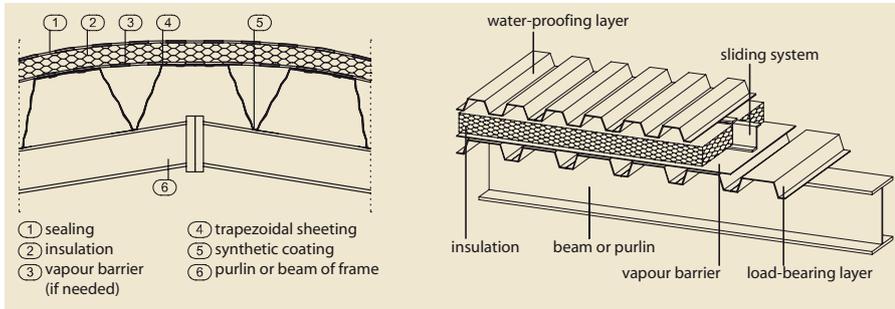


Figura 5.1 Sistema de cubiertas común en edificación industrial en Alemania utilizando chapas trapecoidales de acero

costes, pero es susceptible a daños mecánicos de la capa impermeabilizada.

La construcción mediante paneles sándwich, como se ilustra en la Figura 5.1 ha ganado mayor importancia, por su fácil mantenimiento y aumento de vida útil. Tiene mayores ventajas como una resistencia estructural elevada, buen comportamiento acústico y mayor resistencia al fuego. A menudo, la capa de impermeabilización se fija a la capa portante mediante una fijación por presión con un sistema deslizante especial para que la capa de aislamiento no sea traspasada.

Fachada

Para edificación industrial en Alemania se utilizan una variedad de tipologías en fachada dependiendo del uso, los requerimientos físicos del edificio y sus condiciones de contorno.

Los sistemas de paneles sándwich de grandes dimensiones, ligeros y nervados están ganando importancia, ya que se reducen los requisitos de protección ante incendio con la introducción del “Muster-

Industriebau-Richtlinie”. Estos paneles se instalan rápido y fácilmente y no les afecta directamente las condiciones climatológicas. También presentan excelente comportamiento ante aislamiento térmico.

Comportamiento térmico

En Alemania, el “Energy Saving Act” (ENEV 2002) hace una distinción en cuanto a edificios con “temperatura normal interna” y edificios que contienen una “baja temperatura interior” (menor de 19° C), muy frecuentemente existentes en el sector industrial. Para este tipo de edificios sólo deben ser cumplidos los requisitos concernientes a las pérdidas de transmisión de calor en la envolvente del edificio. La instalación de calefacción no necesariamente tiene que ser considerada. Existen también otras limitaciones térmicas que pueden implicar espesores menores de la capa de aislamiento.

Seguridad ante incendio

En Marzo del 2000 se presentó una nueva guía respecto a la protección ante incendios para edificios industriales

teniendo en cuenta los recientes estudios basados en el concepto de fuego natural. En referencia a la norma alemana DIN 18230, se regula el diseño de la protección ante incendios en las naves industriales en términos de tiempo resistente ante fuego de los componentes estructurales, el tamaño, ubicación y longitud de las vías de evacuación.

La guía proporciona tres métodos de cálculo, en orden de complejidad:

1. Método simplificado de cálculo.
2. Método más preciso de cálculo con una determinación de densidad de carga de fuego, según DIN 18230-1.
3. Método avanzado de ingeniería de seguridad ante incendio.

Cuánto más simplificado sea el método de cálculo más conservador es el resultado.

Utilizando el método simplificado de cálculo, los edificios industriales de una sola planta, pueden diseñarse mediante secciones de acero sin proteger en una superficie de hasta 1.800 m² sin tener

Medidas protección ante incendios	Sin requisitos	R30
Medidas pasivas (K1)	1.800 m² *	3.000 m²
Sistema automático de detección de incendios (K2)	2.700 m² *	4.500 m²
Sistema automático de detección de incendios y cuerpo de bomberos (K3)	3.200-4.500 m² *	6.000 m²
Sistema automático de extinción de incendios (K4)	10.000 m²	10.000 m²

*Superficie de evacuación de humo y calor ≥ 5% y luz del edificio ≤ 40 m

Tabla 5.1 Tamaño permitido de sectores de incendio en edificios industriales

unas medidas adicionales de protección activa. Debido al empleo de rociadores automáticos, la superficie máxima de los sectores de incendio puede alcanzar 10.000 m². Si se instalan muros cortafuegos, el tamaño del edificio puede incrementarse al aumentarse el número de los sectores de incendio.

Los edificios de una planta con rociadores empleados como local de venta al por menor presentan bajos requerimientos a fuego de los componentes estructurales. El tamaño de los compartimentos es también de 10.000 m².

Un método de cálculo más preciso, método 2, según norma DIN 18230-1, se centra en la determinación tiempo equivalente de exposición al fuego.

Este valor relaciona la curva de fuego paramétrico, considerando unos parámetros específicos para el proyecto concerniente a la curva ISO. Esto lleva a considerar unos parámetros específicos como las condiciones de ventilación etc. Por este método, se puede diseñar áreas de los sectores de incendio de hasta 30.000 m², con acero no protegido.

Además de los dos métodos anteriormente comentados, también se puede desempeñar un análisis de ingeniería de seguridad ante incendio. Añadido a los dos cálculos simplificados, un análisis de ingeniería de seguridad ante incendio, puede ser empleado. La guía formula los principios básicos para realizar los ensayos apropiados para satisfacer la legislación competente.

Práctica actual en los Países bajos

Desde hace décadas el acero es el material más comúnmente utilizado para los sistemas estructurales, sistemas de cubierta y fachada para la edificación de uso industrial y agrícola. Los atributos para la construcción en acero se consideran beneficiosos en los edificios de planta única con grandes luces:

- Rapidez de construcción.
- Costes económicos.
- Estructura ligera.
- Sistemas prefabricados.
- Componentes industrializados.
- Flexibilidad.
- Fácil deconstrucción.
- Reutilización en tres niveles; material, elemento y edificio.

Figura 5.2 Para luces libres de hasta 25 m. se prefieren secciones laminadas en caliente



Figura 5.3 Las cerchas son la alternativa más popular para grandes luces



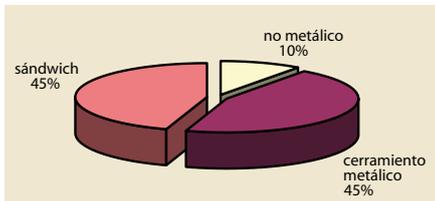


Figura 5.4 Cuota de mercado de sistemas de fachada de acero en edificación industrial en los Países Bajos (2006)



Figura 5.5 Paneles de chapa de acero unidos a bandejas



Figura 5.6 Paneles sándwich

Figura 5.7 (Derecha) La mayoría de los edificios industriales son de una planta, naves de un solo vano combinadas con oficinas. La mayoría de los edificios tienen cubierta plana. Las cubiertas a dos aguas son habituales en construcciones agrícolas

Construcción

La inmensa mayoría de las edificaciones industriales son de una sola planta, y naves de un solo vano, en algunas ocasiones combinadas con oficinas. Los pórtico de múltiples vanos en los Países Bajos son una minoría. En edificios de una sola planta con una luz de aproximadamente 25 m. y una altura de hasta aproximadamente 6 m., los pórticos con uniones rígidas son la mejor solución (véase la Figura 5.2). Para naves con una altura mayor de 6 m., la estructura de acero con uniones articuladas y arriostramientos laterales contra viento es la solución más económica. En este caso, las uniones pueden resultar más complejas pero el uso de material es más eficaz. La edificación habitual en los Países Bajos se constituye con pórticos con perfiles laminados en caliente. Los pilares presentan perfiles de sección HEA 180 y las vigas de cubierta son perfiles IPE 500 con una luz de 5,4 m. Lo más común, son los paneles nervados de cubierta conformados en frío con canto 106 mm. Los elementos de fachada incluyen correas de 90 mm. de canto con el perfil de cerramiento fijado al exterior. Para edificios de una planta con luces mayores de 25 m., se prefiere normalmente vigas en celosía (véase

la Figura 5.3). Las vigas alveolares y aligeradas se están convirtiendo en una alternativa a las secciones de alma llena. Las construcciones atirantadas y suspendidas pueden ser más ventajosas económicamente para luces extremadamente grandes y para instalaciones pesadas suspendidas.

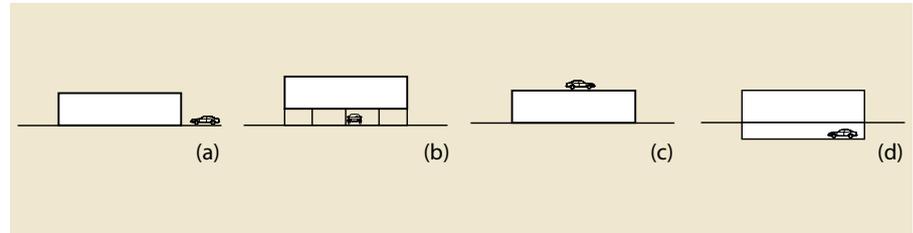
Fachadas

En el año 2007, Bouwen Met Staal elaboró un estudio de mercado sobre los materiales que eran los más utilizados para la realización de elementos de fachada y de cubierta en la edificación industrial de los Países Bajos. Se demostró que el cerramiento metálico tiene una cuota de mercado de aproximadamente un 90%. El 10% restante comprendía muros de mampostería.

Aproximadamente, la mitad de las fachadas metálicas en la edificación industrial se componen de una chapa nervada trapecial que se fija a las correas. La otra mitad comprende los



Figura 5.8 (a) Aparcamiento próximo al edificio.
(b) Bajo el edificio.
(c) Sobre el edificio.
(d) Subterráneo.



paneles sándwich. Con unos resultados respectivamente de 2 millones y 1,5 millones de m² por año, estos dos sistemas de fachada, junto con el ladrillo, son los productos más utilizados en fachadas de los Países Bajos.

Cubiertas

Contrariamente a otros países europeos, una gran mayoría de los edificios industriales en los Países Bajos utilizan cubiertas planas. Las cubiertas a dos aguas son inusuales en naves de una planta, excepto para la construcción de establos y graneros, en el sector agrícola.

Aproximadamente, el 80% de las cubiertas consisten en una chapa nervada conformada fijada directamente a las vigas de la cubierta o vigas intermedias. Un 15% son paneles sándwich y un 5% son elementos no metálicos.

Estancamiento

Un punto de interés es el habitual estancamiento de agua en las cubiertas planas. En el año 2002, en un solo día se

colapsaron seis cubiertas debido a lluvia torrencial. En respuesta a estos accidentes, el Ministerio de Vivienda y Medio Ambiente propuso un equipo de investigación y desarrollo con el fin de paliar el estancamiento en cubiertas. Uno de los resultados obtenidos fue la guía práctica NPR 6773, que se publicó como corrección a NEN 6702 "Principios técnicos para estructuras de edificación. Cargas y deformaciones." Este sencillo y eficaz método de cálculo en combinación con una adecuada supervisión y control, redujeron los desastres causados en cubiertas planas.

Protección al fuego

La razón principal para el amplio mercado en productos de acero en edificación industrial, son los requerimientos en cuanto a la resistencia al fuego. En los países Bajos, estos requisitos son relativamente menores en comparación con otros países europeos.

En los edificios de una sola planta y en la mayoría de las edificaciones industriales

que contengan una oficina pequeña, no se exigen requisitos para la resistencia al fuego. En algunos casos, se requiere un periodo de tiempo de 30 a 60 minutos (R30 o R60) para rutas de evacuación, sectores de incendio o para prevenir la propagación del fuego entre espacios y edificios colindantes. Estos requisitos son generalmente más fáciles de cumplir con medidas simples de protección.

Aparcamientos

Actualmente, unas 70.000 hectáreas de terreno se destinan a aparcamiento como área de desarrollo industrial. Esto implica aproximadamente el 2% del área total de los Países Bajos. El gobierno danés trata de frenar el rápido crecimiento de esas zonas. Ha habido un aumento de edificaciones industriales y comerciales en esta área por lo que esto implica solucionar en parte el problema de aparcamiento, al poder incluirse en el interior de la envolvente del edificio y reducir el colapso de plazas públicas de vehículos en zonas públicas (véase la Figura 5.8).

Figura 5.9 Pórtico simple con dinteles y pilares de sección variable en construcción (España)





Figura 5.10 Estructura interior de una nave industrial con pilares de sección variable

Tabla 5.2 (Abajo) Normativa aplicable en el diseño de edificios industriales en España

Código	Descripción
EAE	Spanish Structural Steel Design Code (Instrucción de Acero Estructural). Esta regulación será de obligado cumplimiento en el año 2009.
CTE	Spanish Technical Building Code (Código Técnico de la Edificación español). Documentos básicos: Bases de diseño estructural (DB-SE), acciones (DB-SE-AE) y diseño de estructuras de acero (DB-SE-A).
EN 1993-1-1	Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificios.
EN 1993-1-3	Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-3: Perfiles y chapas de paredes delgadas conformadas en frío.
RSCIEI	Spanish Fire Safety Regulation for Industrial Buildings (RSCIEI - Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales). El RSCIEI es el documento de obligado cumplimiento para el diseño a fuego en la edificación industrial.

Consideraciones energéticas

Para el 2012, toda nueva construcción industrial tendrá que ser “energéticamente neutra”. Esto significa que la energía consumida tiene que ser igual o menor que la energía producida. En una ciudad de los Países Bajos, Zaandam, se ha construido una nave experimental de “balance energético cero” con resultados prometedores, siendo su tecnología potencialmente aplicable de manera más extensa.

Práctica actual en España Estructura

Las edificaciones industriales generalmente son construidas mediante secciones armadas, aunque a menudo se utilizan las secciones laminadas en caliente para el diseño de naves industriales.

Los componentes constructivos de acero incluyen los sistemas estructurales, los sistemas de fachada y los de cubierta. Los elementos prefabricados, se diseñan con especificaciones exactas y se entregan en la obra preparados para su montaje. El proceso completo, por tanto, es rápido, eficaz y más económico.

Los elementos estructurales más característicos utilizados en el diseño de edificaciones industriales pueden ser identificados como:

- Perfiles armados con sección en I para la estructura principal de los pórticos (pilares y dinteles de sección variable con cantos desde 750 mm. a 1.280 mm., con acero S275 JR generalmente).
- Perfiles conformados en frío de

sección en Z y C para los elementos secundarios de la estructura (correas de cubierta, correas laterales, etc.).

- Sistemas de cerramiento en fachada y cubierta de acuerdo a las nuevas regulaciones contra incendios.

Generalmente, las vigas de sección variable cubre lucen entre 25-50 m, pero es posible también lograr lucen entre 60 y 70 m. sin apoyos intermedios. Por otra parte, las modulaciones típicas entre pórticos se comprenden entre 9-10 m. con pilares entre 7-12 m. de alto.

Los subsistemas complementarios consisten en forjados de entreplanta, vigas carril para las grúas, plataformas de cubierta, marquesinas, parapetos y todos los accesorios necesarios para



Figura 5.11 (Arriba) Apariencia exterior de un edificio industrial en España

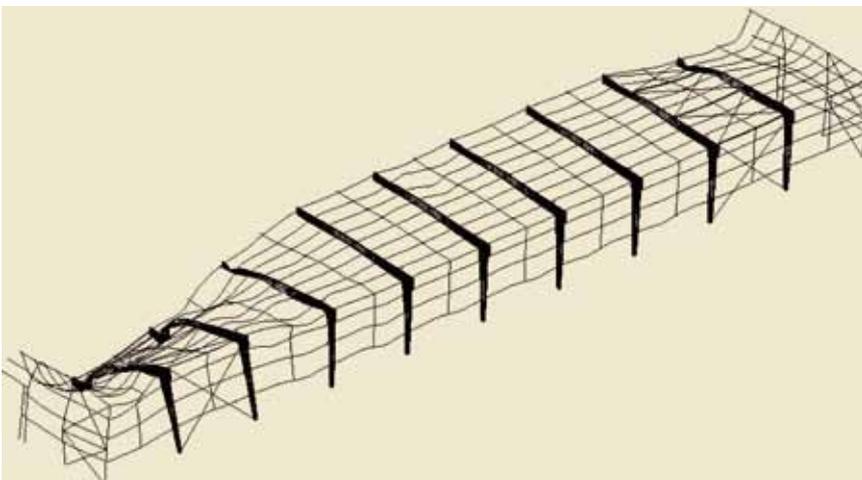


Figura 5.12 Simulación en condiciones de incendio mostrando el mecanismo de colapso

integrar completamente y funcionalmente un edificio.

Se reducen significativamente los requisitos de cimentación de los edificios de acero debido a la creación de espacios abiertos gracias a la posibilidad de cubrir grandes luces, reduciendo de esta manera, el peso de la estructura.

Las naves industriales de acero utilizan un abanico de materiales que satisfacen un amplio rango de requerimientos estructurales. Esta flexibilidad

proporciona infinidad de configuraciones posibles y aplicaciones del edificio.

Ventajas estructurales

El sistema estructural que se ofrece habitualmente en España, presenta unas ventajas con respecto otros sistemas más tradicionales. Unos métodos de fabricación y un diseño avanzados ayudan a reducir perceptiblemente los costes debido a la mayor rapidez de fabricación y a menores costes de mano de obra.

Los sistemas estructurales, fachadas, cubiertas y otros accesorios compatibles,

incluyen principalmente las siguientes ventajas:

- El uso de secciones armadas para la estructura principal con sección variable (pilares, y dinteles) proporcionan un ahorro en peso de la estructura principal de hasta un 40%, en comparación al uso convencional de perfiles laminados en caliente.
- La utilización de elementos de la estructura secundaria con perfil en Z (correas laterales y de cubierta, principalmente), particularmente cuando se emplean correas solapadas que trabajan de forma

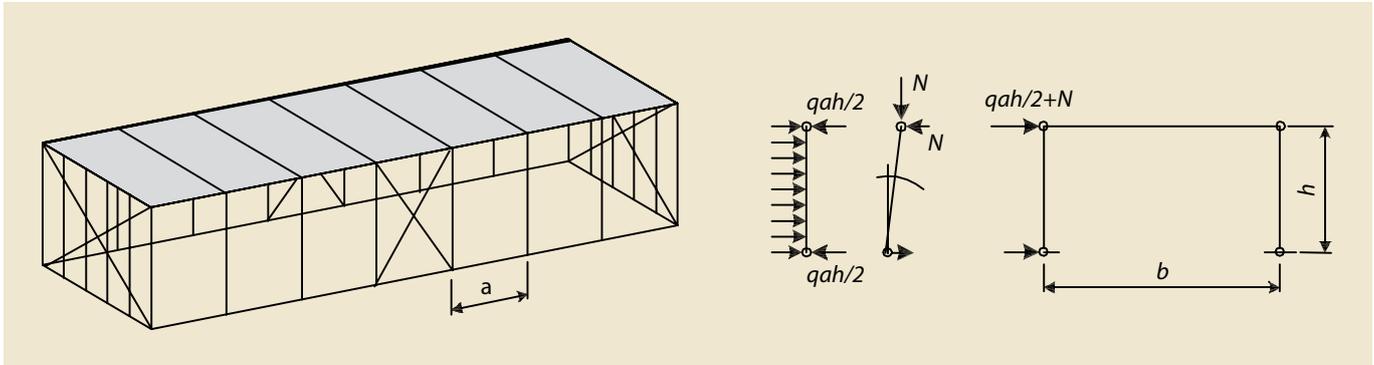


Figura 5.13 (Arriba) Edificio industrial estabilizado por un arriostramiento lateral en fachada y efecto diafragma de chapa trapezoidal en cubierta. Höglund, T.: Estabilización por acción diafragma, Publication 174, SBI, Stockholm, 2002.

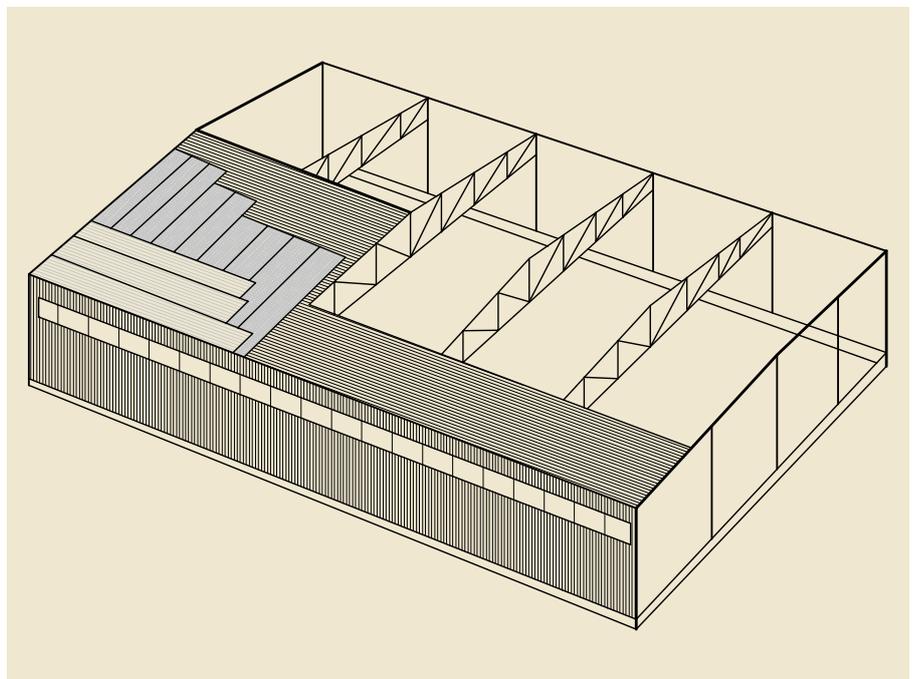


Figura 5.14 Nave industrial con aislamiento sencillo. Stålbbyggnad, Publication 130, SBI, Stockholm

continua, consiguen un ahorro en peso de un 25% para elementos secundarios.

- Generalmente, todos los componentes fabricados en taller y de forma automatizada salvan numerosos problemas durante la instalación en obra.
- Se reduce la cantidad de recortes producida en la fabricación de perfiles armados y de los perfiles Z conformados en frío.
- Todo el acero empleado es totalmente reutilizable y reciclable.

Los promotores públicos y privados, contratistas y diseñadores están cosechando un gran beneficio como

resultado de los ahorros y ventajas de coste de una construcción más rápida y eficiente.

Reglamentación

Los principales documentos concernientes al diseño referente de edificación industrial en España se describen en la Tabla 5.2.

Ingeniería de incendios

El Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales en España (RSCIEI) requiere una evaluación de la resistencia al fuego del edificio de acuerdo a las cargas de fuego esperadas, el sector de incendio y los edificios colindantes.

Aunque es posible diseñar naves industriales sin resistencia estructural ante incendio adicional, por ejemplo en naves independientes con baja carga de fuego, la ingeniería de seguridad ante incendio ofrece una aproximación competitiva en caso de grandes cargas de fuego o distribuciones con amplios sectores de incendio. En la Figura 5.12 se presenta un ejemplo del comportamiento estructural y del tiempo de colapso de la estructura de la nave industrial en caso de incendio.

Agradecimientos

A PRADO TRANSFORMADOS METÁLICOS S.A., situado en la norte de España (www.pradotm.com), por la



Figura 5.15 Ejemplo de diferentes productos en el mercado para fachada y cubierta en Suecia

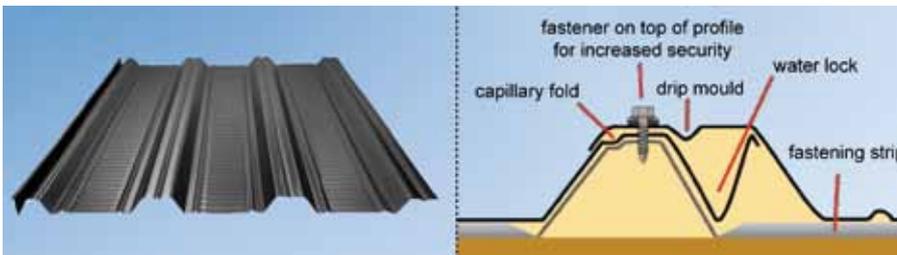


Figura 5.16 Cerramiento de cubierta Plannja 40 y detalle constructivo (para cubiertas con pendientes entre 3-6°)
Fuente: www.plannja.se



Figura 5.17 Fachada Ruukki Fasetti.
Fuente: www.ruukki.com

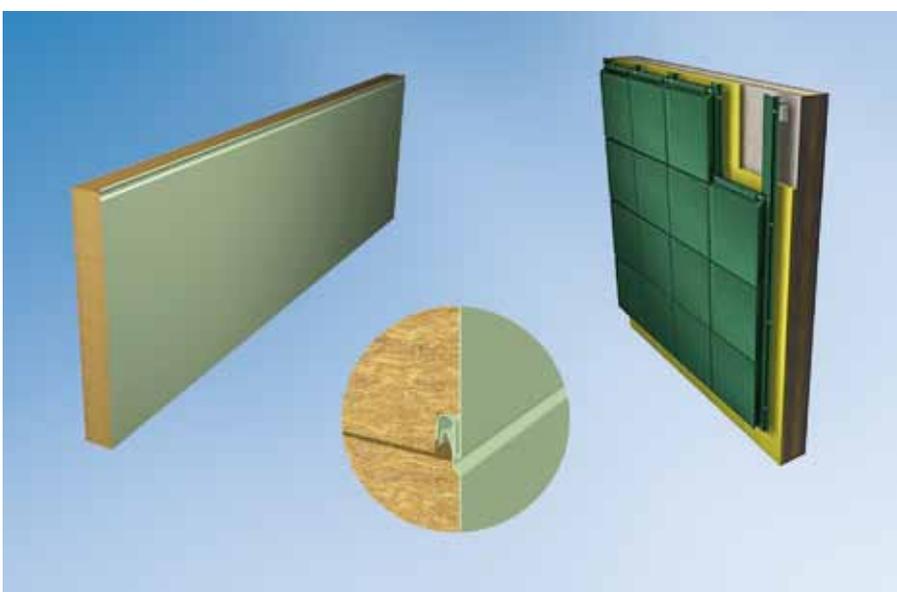


Figura 5.18 (Izquierda) Panel de fachada Plannja
(Derecha) Panel de fachada Liberta Grande, Ruukki

información suministrada y por las imágenes proporcionadas en este apartado.

Práctica actual en Suecia Edificación industrial habitual en Suecia

La edificación industrial es un mercado muy importante para el acero en Suecia (SBI 2004). Las dimensiones comunes para los edificios industriales ligeros comprenden luces entre 15-25 m. con una altura de 5 a 8 m. Son habituales los edificios con superficies de 1.500-2.000 m². Las compañías que se especializan en sistemas de edificación industrial ligera suelen distribuir el producto como producto "llave en mano".

Los edificios modernos de este tipo presentan generalmente un aislamiento de lana mineral de un espesor aproximado de 120 a 150 mm. Los edificios a menudo distribuyen la oficina en diferentes áreas utilizando también la entreplanta para ello.

La manera más común y a menudo, más económica de estabilizar un edificio industrial es incluyendo arriostramiento en las fachadas hastiales y en las longitudinales, y utilizando el efecto de acción de diafragma de la chapa nervada en la cubierta, como se muestra en la Figura 5.13. Los pilares se diseñan como uniones articuladas y el panel de fachada se puede también utilizar aprovechando la acción de diafragma.

La Figura 5.14. muestra un edificio industrial tipo. Se construyen habitualmente cubiertas con una pendiente de 3,6° ó 5,7°. Las luces entre dinteles son, por lo general, de entre 6-10 m. El cerramiento comprende paneles mixtos o chapa nervada rematados con correas laterales en acero ligero. El aislamiento se coloca en la parte superior de la chapa nervada y se remata con un material adecuado de cubierta. Una membrana plástica aporta

al sistema la hermeticidad de aire y humedad adecuada.

Las cerchas pueden lograr luces de hasta 45 m. mediante perfiles estandarizados. Los pilares típicos son perfiles de sección HEA, fijados con cuatro pernos de anclaje en una placa base. Aunque los pilares se consideren biarticulados, se recomienda incluir cuatro tornillos para proporcionar la estabilidad a los pilares durante el montaje.

Para las naves que no contengan aislamiento, la chapa nervada se apoya en correas y perfiles Z cuyas luces suelen ser de hasta 12 m. Al usar pilares articulados es esencial estabilizar el edificio durante el montaje.

A menudo es necesario arriostrar los pilares y, en ocasiones, también los dinteles. Durante el montaje es necesario el arriostramiento de los pilares, es muy común diseñar los arriostramientos como permanentes, de este modo no se considera la acción diafragma de las fachadas.

Cerramiento de cubierta

Existe una gran variedad de productos para la realización de las cubiertas, destacando las chapas nervadas y con forma de tejas. La chapa nervada puede presentar típica sección mostrada en la Figura 5.15. La chapa conformada a modo de tejas pueden utilizarse en cubiertas con pendiente de 14° e incluso mayores. Estas últimas chapas de cubierta son de colores tradicionales, resultando significativamente más ligeras que las convencionales de cerámica u hormigón.

Las chapas nervadas de canto se pueden utilizar para cubiertas con aislamiento con luces de aproximadamente 11m., y pueden lograrse luces mayores mediante chapas rigidizadas dispuestas en ambas direcciones. Las luces más cortas, de hasta 8 m., se logran con perfiles más tradicionales.

La cubierta, generalmente, se diseña para actuar con acción de diafragma que une la cubierta para construirse sin arriostramientos.

Las chapas nervadas se utilizan como una estructura de apoyo para cubiertas con aislamiento. El canto del perfil se elige dependiendo de la luz requerida. El aislamiento compuesto por lana de roca se coloca mediante dos capas con una envolvente plástica que actúa como lámina impermeabilizante y barrera de vapor.

La chapa trapezoidal se utiliza como material exterior de la cubierta. Se requiere una mínima inclinación de tan solo 3,6°.

Se pueden lograr unos valores de U, transmitancia térmica, de entre 0,3 a 0,7 W/m²k dependiendo principalmente del espesor del aislamiento.

Cerramiento

La chapa metálica utilizada para el revestimiento es generalmente la misma que la usada en la cubierta.

Los paneles sándwich o mixtos proporcionan el aislamiento, la protección al fuego y una estética aceptable. Los paneles constan de una chapa de acero en ambos lados con un aislamiento de lana mineral o EPS entre las mismas. Dependiendo del espesor del aislamiento, los valores de U pueden variar generalmente de 0,18 a 0,8 W/m²k. Los sistemas incluyen la hermeticidad e impermeabilización entre paneles. Si se utiliza la lana mineral, el sistema proporciona una integridad adecuada en caso de incendio, y un buen comportamiento acústico. Los paneles se proporcionan como piezas de hasta 10 m. de longitud.

Los paneles metálicos pueden combinarse con otros materiales tales como, la piedra, madera, vidrio, estuco y hormigón. El panel se proporciona con



Figura 5.19 Pórticos curvos de acero para edificación moderna industrial, Reino Unido

diferentes acabados y diferentes tipos de perfil.

Hay sistemas para la rehabilitación de fachadas. Generalmente la rehabilitación se combina con el aislamiento de la misma. Existen perfiles ranurados para la sujeción de la chapa nervada y para permitir la colocación de la lana mineral como aislamiento.

Existen productos en el mercado sueco que satisfacen e incluso exceden los requerimientos normativos, como por ejemplo, las del aislamiento térmico en edificación industrial. Unos valores

típicos de U de un panel mixto de 150 mm. serían entre 0,24 y 0,28 W/m²k y también existen las soluciones típicas para los valores de U por debajo de 0,17 W/ m²k.

Práctica actual en Reino Unido

Aspectos generales

La construcción de grandes edificios industriales de una sola planta, comúnmente conocidos como naves, supone una parte significativa del sector de la construcción en acero en Reino Unido. Se utilizan como comercios al por menor, almacenes de distribución,

instalaciones de fabricación y centros de ocio.

Un ejemplo de innovación es la utilización de pórticos diseñados mediante análisis plástico, software para diseño y fabricación, componentes conformados en frío, tales como correas, y sistemas de revestimiento energéticamente eficientes.

El mercado de la edificación industrial de planta única en el Reino Unido alcanza un valor anual de aproximadamente 1.000 millones de libras en estructuras (1.400 millones de euros), y de



Figura 5.20 Vigas alveolares curvadas para un centro de ocio en Reino Unido. Fuente: Westok

1.500 millones de libras (2.100 millones de euros) para los sistemas asociados a la envolvente.

El diseño arquitectónico de edificios industriales y otros cerramientos ha obtenido un mayor desarrollo durante los últimos 10-15 años, ya que reconocidos estudios de arquitectura los han convertido en arquitecturas icono, como el centro de distribución de Renault, Swindon, y la fábrica de Schlumberger, Cambridge.

En cualquier caso, los pórticos de acero siguen siendo la principal tendencia en el mercado de la edificación industrial. Sin embargo, hay muchas variantes de esta técnica de fabricación simple en la que se utilizan vigas alveolares o perfiles curvos (véase la Figura 5.19).

Actualmente, existe una mayor demanda en la construcción de sistemas de envolventes, particularmente relacionados con los requisitos de eficiencia energética del Anexo L de la legislación de la edificación británica (UK Building Regulation), y con las actividades de mayor exigencia de confort a las que se destinan algunos de los edificios de este tipo. La entrada en vigor del Anexo L, el cual conlleva unos requisitos onerosos, y la "Directiva Europea sobre Eficiencia Energética en los Edificios", en vigor desde Abril del 2006, han conducido a los siguientes requisitos:

- La necesidad de alcanzar un ahorro energético de entre al 23%-28% en emisiones de CO₂ contrastándolo con el edificio equivalente de la regulación de 2002.
- La introducción de certificados energéticos para una amplia variedad de tipologías de edificios.

Selección de acero en edificación industrial de una sola planta

Los siguientes criterios pueden afectar al beneficio que el edificio proporciona a sus clientes y usuarios finales:

Diseño arquitectónico

Los arquitectos tienen una fuerte influencia en la elección de la forma y estética del edificio, así como en aspectos como el comportamiento térmico. Aunque la tipología estructural sigue siendo la tarea del ingeniero de estructuras y del estructurista, los arquitectos adoptan la utilización de modernas formas en sistemas estructurales, lo cual conlleva a una cada vez mayor implicación en el sector de la edificación industrial. Las Figuras 2.9 y 5.20 muestran ejemplos del uso arquitectónico de estructuras de acero.

Rapidez en la construcción

Para los negocios de logística o similares es vital la rapidez en la construcción. Esto puede afectar el diseño de muchas maneras, por ejemplo, la disposición y los componentes pueden ser diseñados de modo que pueda ser una construcción paralela o secuencial.

Flexibilidad en uso

Las largas luces y un uso mínimo de pilares utilizados en la construcción de acero, ofrecen mayores oportunidades al edificio, para acomodar diferentes procesos y cambios de utilización en el mismo.

El cliente podría en un futuro vender el edificio a una compañía de inversiones. Para facilitar esta opción, hay que tener un criterio de la construcción, una altura mínima y mayores cargas impuestas son a menudo especificadas para así mantener el valor de mercado y proporcionar flexibilidad para futuros usos.

Mantenimiento

Muchos edificios son construidos para su uso por los propios promotores. Cuando el edificio se concibe para alquiler, se adquiere un seguro de 25 años que cuenta con un servicio completo de reparaciones, donde el responsable del mantenimiento es el arrendatario, no obstante, se están empezando a sustituir por otros más cortos, en los cuales el dueño se responsabiliza de las mismas.

Así, el dueño pasaría a ser el responsable del mantenimiento y elegirá una mejor calidad de materiales con una vida útil más larga y costes de mantenimiento más reducidos.

Sostenibilidad

Los costes energéticos y la reducción de emisiones de CO₂ esta obteniendo mayor importancia y, por ello, la sostenibilidad es ahora un factor clave en el proceso de diseño. En un futuro, es probable que el permiso de planeamiento sea más fácil de obtener mediante soluciones de menor impacto medioambiental. Muchos clientes potenciales y ocupantes tienen políticas de sostenibilidad ante las que deben contrastar también sus inversiones.

Consideraciones económicas

El acero ha alcanzado una importante cuota de mercado en este sector debido a la respuesta de demanda del cliente. Con la creciente complejidad en diseño, también se han incrementado las interdependencias entre los elementos y un alto grado de cooperación y coordinación.

Aspectos de diseño

La construcción en acero es uno de los sectores más eficientes en la industria de la construcción. Los estructuristas fabrican los componentes en taller, utilizando equipos informáticos que emplean modelos 3D, los cuales son utilizados para la definir los detalles constructivos. Además de informar al proceso de fabricación, la información del modelo también es utilizada para elaborar el pedido de materiales y el programa de construcción, suministro a obra y montaje.

Elección de la estructura principal

La opción más extendida de construcción en cuanto a forma estructural para edificaciones de planta única con luces comprendidas entre 25-60 m. es el pórtico, debido a su eficacia estructural y facilidad de montaje y fabricación. Los pórticos pueden diseñarse utilizando

métodos de análisis plástico o elástico. Los pórticos diseñados mediante el método elástico suelen ser más pesados, pero más simples de diseñar y detallar utilizando software de diseño convencional.

Para luces mayores, las celosías se pueden utilizar como alternativa a los pórticos. Las celosías se consideran más eficaces para luces mayores de 60 m. y en edificaciones con luces menores donde hay un nivel significativo de sobrecargas de equipamiento.

Relación entre estructura y fachada

La eficacia estructural de los pórticos se logra gracias a la disposición de arriostramientos en los dinteles y los pilares, mediante la colocación de correas de cubierta y fachada respectivamente. De la misma forma, la eficacia de las correas depende del arriostramiento proporcionado por el cerramiento. La acción de membrana puede utilizarse también para el diseño, incluso únicamente para reducir las flechas.

Actualmente, los métodos de diseño de la estructura de acero, son bien conocidos y, por ello, el esfuerzo recae en el diseño de la envolvente del edificio. Existen tres razones principales para ello:

- La utilización de la estructura realizada en acero es muy común en aplicaciones industriales y comerciales.
- La necesidad de promover una imagen atractiva del cliente y hacia el público ha hecho más importante el diseño de la implantación y la estética.
- El enfoque actual de ahorro de energía mediante la envolvente y una mayor importancia de la Directiva de Eficiencia Energética en la Edificación (EPBD) con el requisito de certificación de eficiencia energética.

Rendimiento energético

Las reducciones de los valores de la transmitancia energética, U , en años

recientes ha conducido a un considerable aumento del espesor del aislamiento, con implicaciones para la estabilidad (particularmente, en sistemas prefabricados), el peso del revestimiento y los requisitos consecuentes de manipulación. Sin embargo, se ha alcanzado un punto en el se considera poco probable realizar una mejora significativa en el rendimiento energético con aumentos del espesor en el aislamiento.

En la mayor parte de las aplicaciones, la luz natural conseguida mediante la cubierta es importante ya que reduce el uso de la luz artificial y consecuentemente la demanda de energía del edificio. Sin embargo, también aumenta la ganancia solar que puede conducir a un calentamiento en verano e incrementar la demanda de ventilación.

La pérdida de calor a través de puentes térmicos también se hace más relevante ya que el espesor del aislamiento aumenta, requiriéndose, por tanto, la utilización de detalles mejorados y componentes constructivos especializados.

Hermeticidad

La introducción de ensayos de hermeticidad ha acentuado la importancia de diseñar y entregar el edificio asegurando que no esté sujeto a una pérdida de calor excesiva. Unos estudios recientes han demostrado una manera muy eficaz de mejorar la conservación de la energía controlando la hermeticidad.

Como ejemplo, mientras el valor estándar mínimo actual para la verificación de la hermeticidad de edificios es de $10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ a 50 Pascales, con una construcción estándar pueden lograrse unos niveles tan bajos como $2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$, pero lograr este nivel depende de una alta calidad de la construcción y de los detalles constructivos. Para edificaciones con áreas de forjado menores de 5.000 m^2 , lograr unos

buenos niveles de hermeticidad resulta difícil, debido a la alta proporción de aberturas en relación al área de la envolvente.

Coordinación de diseño

Una parte significativa del proceso de diseño del edificio actual consiste en la coordinación de las interfaces entre los diversos sistemas. Esta tarea se ha venido desarrollando tradicionalmente por el arquitecto, pero se logra una mayor coordinación si el contratista principal es responsable también del diseño.

Proceso de diseño

Aspectos que deben considerarse, además de los requeridos por las reglamentaciones son los siguientes:

- Consideraciones geométricas globales.
- Altura mínima (espacio para vigas carril de las grúas, canto del rigidizador, etc.)
- Conseguir la máxima área útil de acuerdo con la regulación de medida y dimensionamiento.
- Implantación de pilares para una apropiada flexibilidad.
- Carga y requerimientos de carga para el futuro.
- Control de flechas.
- Sistema de revestimiento y garantías disponibles.
- Un acceso adecuado para futuras necesidades de transporte
- Tolerancias de la losa de forjado.
- Potencial para el reciclado y reutilización de materiales.
- Requerimientos para la vida útil.
- Consumo de energía y reducción de emisiones de CO_2 .

Los condicionantes de la ubicación de obra para la solución estructural, junto con el diseño de ingeniería para los trabajos no relacionados con la estructura de acero requerirán normalmente la supervisión de un ingeniero consultor para trabajar junto con el arquitecto principal para posteriormente autorizar el contrato de Diseño y Construcción del edificio al estructurista. Sus obligaciones incluyen la

selección y el diseño del sistema de cimentación más adecuado. En la mayoría de los edificios industriales, la estructura presenta pilares de bases articuladas.

Construcción sostenible

El exigencia de una construcción sostenible está siendo impulsado de muchas formas, desde la Directiva para la Eficiencia Energética en los Edificios de la

Comisión Europea hasta el aumento de la adopción de políticas de Responsabilidad Social Corporativa en las empresas. La capacidad de demostrar un comportamiento sostenible está convirtiéndose en un elemento esencial para obtener un permiso de obra. El concepto de sostenibilidad se articula mediante un equilibrio triple: viabilidad económica, social y medioambiental. La construcción moderna con acero debe cumplir los tres criterios.

Resumen de tendencias en edificación industrial en Reino Unido

La Tabla 5.3 muestra una tendencia en el diseño de almacenes industriales modernos, adoptado de un informe del Steel Construction Institute (SCI).

Tabla 5.3 Resumen de tendencias en el diseño moderno de almacenes industriales en el Reino Unido

Aspectos de diseño	Diseños actuales	Diseños futuros
Estructura y forma del edificio	<p>Implantación del edificio mediante pórticos de múltiples vanos con área en planta de hasta 90x150 m.</p> <p>15m. de alto en alero</p> <p>Pórticos con luces de 30-35 m. con una pendiente de cubierta de 6°</p> <p>6-8m. entre vanos con pilares internos espaciados entre 12-16 m.</p> <p>Forjado de losa de hormigón armado de 200 mm.</p> <p>Oficina adjunta de estructura de acero de 13,5 m. de canto con luces entre 6-7,5 m.</p>	<p>8-12 m. de alto en alero</p> <p>Estructuras apuntaladas en acero con una pendiente de 2°.</p> <p>Forjado de losa de hormigón postensada</p>
Revestimiento	<p>Paneles mixtos (paneles sándwich) para cubierta y paneles de fachada superiores</p> <p>Paneles prefabricados de hormigón para la parte inferior de fachada</p> <p>Valores de U de 0,35 W/m²K para fachada y 0,25 W/m²K para cubierta</p> <p>15% aberturas de luz en cubierta para luz natural</p> <p>Buena hermeticidad (10 m³/h/m² en 50 Pa)</p>	<p>Paneles mixtos para cubierta</p> <p>Cubierta vegetal en áreas determinadas de servicio (aprox. 20 m.)</p> <p>Paneles prefabricados de hormigón para fachada con sistema de construcción "Tilt up"</p> <p>Losa mixta sobre el área de distribución</p> <p>Valores de U de 0,25 W/m²K para fachada y 0,20 W/m²K para cubierta</p> <p>15% aberturas de luz (capa triple)</p> <p>Viga de madera reforzada con fibras y sistema de correas para una luz de 16 m.</p>
Servicios y mantenimiento	<p>Inyector de calor mediante ventilación</p> <p>Uso selectivo de paneles fotovoltaicos en cubierta (PV)</p> <p>Sistema de extinción del fuego con agua</p> <p>Diseño de servicios definidos por el usuario final</p> <p>Vida de diseño útil de 40 años – 25 años para el primer mantenimiento</p> <p>Drenaje en aparcamientos por posible estancamiento</p> <p>Canalones en cubierta</p>	<p>Mejor utilización de paneles fotovoltaicos en cubierta (PVs)</p> <p>Instalación de aerogeneradores para generar energía principal</p> <p>Mayor uso del agua caliente solar térmica</p> <p>Rociadores para el control de incendios, su instalación depende de los requerimientos del cliente</p>

06 Casos Prácticos

En este capítulo se presentan una serie de casos prácticos de actualidad para ilustrar los principios constructivos y de diseño que se han descrito a lo largo de la guía. Los casos prácticos cubren diversas localizaciones y tipologías edificatorias en gran parte de Europa.

Los casos prácticos y los sistemas estructurales principales se indican resumidamente a continuación:

- *Hangar en East Midlands Aeropuerto, Reino Unido.*
Pórticos a dos aguas y vigas alveolares para forjados de entreplanta y área de oficinas adyacentes.
- *Airbus Industrial Hall, Toulouse, Francia.*
Cerchas con grandes luces para lograr flexibilidad de espacio y una rápida construcción.
- *Centro comercial Cactus, Esch/Alzette, Luxemburgo.*
Pórticos con vigas alveolares consiguiendo eliminar vigas intermedias y por tanto, máxima transparencia.
- *Supermercado Netto, Suecia.*
Estructura ligera viga-pilar utilizando la acción de diafragma en cubierta.
- *Centro de distribución, Waghäusel, Alemania.*
Almacén en base a estanterías con fachada y cubierta vegetal empleando chapa de acero para conseguir una construcción más económica.

*Hangar en East Midlands
Aeropuerto, Reino Unido*

*Hangar de Airbus en
Toulouse, Francia*

*Centro comercial Cactus,
Esch/Alzette*

*Supermercado Netto,
Suecia*

*Centro de distribución en
Waghäusel, Alemania*

Hangar en East Midlands Aeropuerto, Reino Unido

Almacén y complejo de oficinas construidos para la sede DHL en el aeropuerto de Nottingham East Midlands, Reino Unido. El almacén comprende pórticos con luces desde 40 metros y las oficinas presentan vigas alveolares con luces de 18 metros. El coste total ascendió a 45 millones de Euros.

Beneficios aplicados:

- Pórtico simple proporcionando un uso eficaz del espacio
- Entreplanta constituida por vigas alveolares para los equipos de manipulación
- 3 plantas de oficinas formadas por vigas alveolares de luz de 18 m.
- 18 plataformas para aviones
- 30 plazas de aparcamiento para camiones bajo una marquesina de 22,5 m. de luz



DHL ha operado en el aeropuerto de Nottingham East Midlands de Reino Unido durante 25 años. Con el incremento en el volumen de negocio, la instalación existente, "hub", era incapaz de hacer frente a las necesidades y por lo tanto, se diseñó una nave mayor capaz de manipular volúmenes de transporte superiores a 1.000 toneladas por año. Los 40,000 m² de las instalaciones comprende dos zonas diferenciadas: almacén de distribución y área de oficinas.

La implantación estructural estuvo condicionada por el sistema de manipulación mecánico modular permitiendo una ampliación futura. Se adoptó un pórtico de doble vano con luces de 40 m. La construcción del almacén se inició antes de que se finalizara el diseño del sistema de manipulación mecánico en la entreplanta del primer piso. El diseño flexible y adaptable de la estructura de acero garantizó que ello fuera posible. La entreplanta, construida con vigas alveolares permitiendo la integración de

servicios, se montó una vez terminadas la estructura principal y la envolvente del almacén.

Debido al tamaño del edificio se adoptó una estrategia de ingeniería de seguridad ante incendio para hacer frente a las grandes distancias de evacuación, de 95 m. El control de humo dentro del almacén fue previsto únicamente a nivel de la cubierta por una serie de cortinas de humo y exutorios para ventilación.

Las oficinas constituyen 9.000 m² con un espacio para alojar 650 empleados en 3 plantas de altura. La estructura fue diseñada con vigas alveolares de 18 m de luz. Al ser desmontables y ligeras las particiones internas, se garantiza que el espacio de oficinas se adapte al máximo a su uso actual, así como a modificaciones futuras. El acero ofrece, por lo tanto, la solución técnica perfecta ya que sus grandes luces permiten contar con la necesaria flexibilidad de diseño. El espacio de oficinas del primer piso se extiende sobre la planta de servicio;

Equipo de proyecto

Cliente:

DHL

Arquitecto:

Burkes Green

Consultor:

Burkes Green

Contratista:

Howard Associates

Estructura de acero:

Westcol

Servicios:

Couch Perry Wilkes

Fuente de las imágenes:

Cabinet Jaillet-Rouby, Francia

mientras que el segundo piso está suspendido de la cubierta por medio de celosías de acero.

Una marquesina con una luz de 22,5 m. se incluyó también para obtener mayor flexibilidad en la disposición del área de carga.

Las oficinas presentan una cubierta curvada elegida por razones estéticas con un sistema de chapas de junta “invisible” o con fijación oculta basada en un proceso conformado en obra para conseguir una rápida instalación. La cubierta presenta vigas de acero curvadas de 150 m. de radio.

El proyecto total se completó en tan sólo 18 meses y proporcionó a DHL un espacio eficaz logrando cumplir las demandas actuales y futuras.

Detalles constructivos

Cubiertas y cubiertas en celosía

La estructura metálica de los pórticos de doble vano se diseñaron mediante análisis plástico para lograr así una solución eficaz para los 40.000 m² destinados a almacén (edificio de clasificación). El equipo de manipulación mecánica se apoyaba sobre la estructura independiente de la entreplanta, la cual estaba constituida por vigas aligeradas de acero.

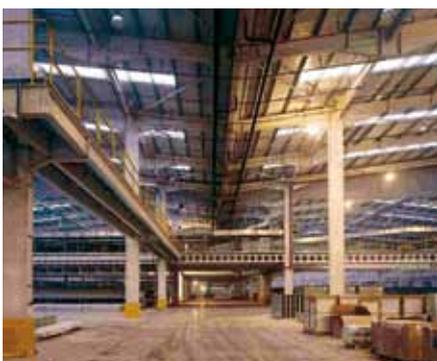
La misma tecnología fue utilizada para los 9.000 m² destinados a oficinas, las cuales tenían que permitir flexibilidad en su uso, ya que se estimaba una vida útil en su formato actual de aproximadamente

15 años. Las vigas aligeradas actuaban conjuntamente con losas mixtas distribuyendo la instalación de servicios a través de orificios de 600 mm. de diámetro que se eligieron para proporcionar la integración de servicios. El diseño del área de la oficina fue más complicado al extenderse sobre la planta de servicio, por lo que fue necesario soportar el forjado de la segunda planta de la cubierta en celosía.

La estrategia de la ingeniería de fuego también fue un factor clave en el concepto global del edificio, debido a su extensión y, por ello, el forjado de la entreplanta fue diseñado mediante una estructura en forma de emparrillado de acero, con el objeto de permitir la extracción de humos a nivel de cubierta.

Los pórticos de doble vano se diseñaron mediante la disposición de pilares rígidos y se construyeron antes de que se finalizase el sistema de manipulación mecánica. El diseño flexible y adaptable de la estructura de acero garantizó que esto fuese posible.

La marquesina presenta sus laterales abiertos y permiten el acceso al almacén principal de clasificación con una luz de 22,5m. entre pilares y un ancho de 45 m. entre apoyos. La marquesina fue proyectada a 45° y fue unida a la estructura aporticada para su mejor estabilidad.



Hangar de Airbus en Toulouse, Francia

La construcción en acero es capaz de proporcionar grandes luces y una estructura ligera adecuada para naves industriales de grandes dimensiones, como la presente, destinada a la producción de la nueva generación de aviones Airbus A380 para vuelos internacionales.

Beneficios:

- Rápida construcción
- Uso eficaz de los componentes de acero
- Flexibilidad del espacio
- Diseño sostenible
- Facilidades para grandes grúas



Este edificio industrial tiene una superficie en planta de 200.000 m², 45 m. de altura y unas luces de más de 115 m. El objetivo inicial de diseño comprende la obtención de un gran espacio eficaz disponible y la flexibilidad en la utilización del espacio interno.

Debido a los cambios del proceso productivo que se esperan a lo largo de los años en que se desarrollará la fabricación de estos aviones, se plantea un diseño capaz de considerar la reconfiguración de espacios, con la premisa de obtener un rápido reembolso financiero. Por otro lado, el aspecto arquitectónico y estructural pretende ser un reflejo de los valores que promueve la compañía.

Este edificio está compuesto por varias naves, la más larga de las cuales tiene unas dimensiones de 115 m. de longitud por 250 m. de ancho y está equipada con

los siguientes sistemas de transporte pesados:

- Dos puentes grúa con una luz de 50 m., capacidad de 22 toneladas para el transporte interior de las alas del avión.
- Dos puentes grúa con una luz de 35 m., capacidad de 30 toneladas para el transporte interior del fuselaje.
- Dos grúas suspendidas verticales 2 x 4 para operaciones cotidianas.

Los puentes grúa para el transporte de las alas de avión se desplazan sobre carriles apoyados en las cerchas de la estructura de cubierta. La nave tiene unas puertas correderas capaces de proporcionar una abertura de 117 x 32 m². Éstas están soportadas por una estructura propia. Esta estructura de grandes dimensiones fue diseñada e instalada utilizando secciones prefabricadas y una celosía en la parte superior.



Vista interna del edificio durante su construcción

Equipo de proyecto

Cliente:

EADS

Arquitecto:

ADPI

Oficina de diseño:

Cooperación: ADPI & Jaillet- Rouby

Contratistas:

URSSA (España), CIMOLAI (Italia), CASTEL et FROMAGET, JOSEPH PARIS, RICHARD DUCROS (Francia), BUYCK (Bélgica)

Oficina de control:

SOCOTEC y VERITAS**Detalles constructivos**
Cubierta y celosías en cubierta

Las cerchas en cubierta tienen una luz de 117 m. El canto de la celosía varía entre 8 m. en los apoyos y 13,5 m a media luz. La estructura principal de cubierta está constituida por dos pórticos paralelos en celosía de 33 m. de luz, colocados a lo largo del edificio fabricados con perfiles de acero de sección tubular rectangular. Cada elemento de cubierta está compuesto por un par de celosías, frontal y trasera, estructura de cubierta, equipo de servicios en cubierta, circuito de seguridad ante incendio, etc., y el conjunto es elevado y colocado en la parte superior de los pilares una vez finalizado su montaje a nivel del suelo.

Los pilares han sido unidos rígidamente al suelo y tienen un cociente de esbeltez idéntico para cada dirección con el fin de evitar cualquier fenómeno de pandeo horizontal durante las operaciones de elevación.

El ensamblaje de las cerchas en el suelo tiene la ventaja de proporcionar una

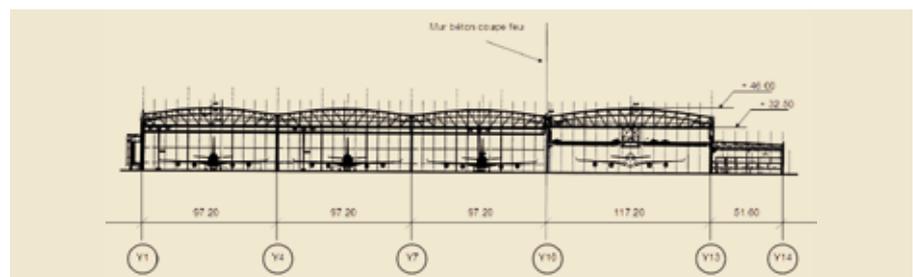
construcción segura, una limitación en la utilización de andamiaje, además de simplificar y agilizar el proceso constructivo. Las uniones entre las cerchas y los pilares son articuladas.

Este método sencillo proporciona las siguientes ventajas:

- Operaciones de conexión rápidas en la fase crítica de elevación de la estructura.
- No existen soldaduras durante la fase de montaje.
- El ala superior de la celosía descansa sobre una viga de pequeña luz sobre la parte superior del pilar.

La flecha de las cerchas se limitó a $L/2.000$ debido a los requisitos operacionales de las grúas.

Los elementos de la cercha principal distribuidos a lo largo del edificio presentan secciones armadas en I y atornilladas en las uniones. Cada pilar se realizó con dos perfiles separados unidos a un alma de celosía continua.

**La fuente de las figuras:**

Cabinet Jaillet-Rouby, France

Supermercado Cactus in Esch/Alzette

Este proyecto urbano en Esch/Alzette, Luxemburgo, presenta una moderna estructura curvada de acero y fachadas acristaladas soportadas por estructura de acero. Este supermercado fue evaluado utilizando el concepto de fuego natural, demostró que no se requería protección adicional ante incendio. La estructura aporticada consiste en vigas aligeradas.

Beneficios:

- Espacio libre entre pilares proporcionando mayor flexibilidad
- Aspecto atractivo debido las vigas alveolares curvas
- Acero sin protección utilizando ingeniería de seguridad ante incendios



Este supermercado de tamaño medio está situado en el centro de la ciudad de Esch/Alzette en Luxemburgo. El propietario quería crear un recinto atípico e impactante, y optó por un espacio abierto, con grandes superficies de vidrio en dos de las fachadas. La estructura de acero es aporticada y está compuesta por vigas aligeradas curvadas de gran luz. Un requisito principal era que la estructura quedase expuesta a la vista por efectos arquitectónicos.

De acuerdo con la normativa de Luxemburgo, para la localización establecida y para este tipo de edificio en el que la estructura de acero soporta una cubierta, se requiere una resistencia al fuego de 90 minutos (R90).

El concepto de seguridad frente a incendio basado en prestaciones fue aceptado por las autoridades. El diseño de seguridad ante incendio se basó en las prescripciones del Eurocódigo

Equipo de proyecto

Cliente:

Cactus S.A.

Arquitecto:

Paczowski Fritsch Associés

Ingeniero de estructura:

Schroeder & Associés S.A.

Contratista:

MABILUX S.A.

Ingeniería al fuego:

Arcelor Profil Luxembourg R&D**Información general**Periodo de construcción: **2003**Altura total: **9,13 m**Superficie en planta: **28,5 m. x 48,0 m.**

EN1991-1-2 y en las medidas activas de lucha contra el fuego. No se necesitaron rociadores debido al pequeño tamaño del edificio.

Detalles constructivos**Estructura**

La estructura es un gran pabellón hecho a base de pórticos compuestos por pilares de acero y vigas aligeradas curvadas. Los pórticos están interconectados por medio de correas y un sistema de arriostramiento. El pórtico tiene un vano de 20 m. de luz, que se repite a lo largo del pabellón. La altura de los pilares es de 7,5 m. en los extremos y la altura máxima en el medio de la viga curvada es de 9,1 m.

La distancia entre pórticos principales adyacentes es de 7,5 m. Los pórticos están conectados mediante correas continuas (utilizando secciones IPE200). La cubierta consta de chapas de acero (HOESCH TR44A) impermeabilización y aislamiento.

Las vigas son Arcelor Cellular Beams® fabricadas a partir de un perfil HEB450 en acero tipo S235. El canto de las vigas es de 590 mm., el diámetro de las aberturas tiene 400 mm. y la distancia entre las mismas es de 600 mm.

Concepto de fuego natural para la seguridad ante incendios

El desarrollo de la ingeniería de seguridad ante incendio de la estructura se llevó a cabo con Arcelor Profil Luxembourg Research. El concepto de

seguridad frente a incendio basado en prestaciones fue aceptado por las autoridades. El diseño de seguridad ante incendio se basó en las prescripciones del Eurocódigo EN1991-1-2 (con una carga de fuego característica de 730 MJ/m²) y en las medidas activas de lucha contra el fuego (alarmas automáticas y aviso a la brigada contra incendios, sistemas de evacuación de humos, etc.). No se necesitaron rociadores debido al pequeño tamaño del edificio.

La temperatura del gas fue calculada usando el programa Ozone, que utiliza el modelo de 2 zonas y se calcularon temperaturas localizadas mediante la metodología Hasemi. Se consideró un conjunto de simulaciones teniendo en cuenta la rotura de vidrios (las fachadas frontal y posterior son totalmente acristaladas). Como las máximas temperaturas del acero en los pilares alcanzaron los 880 °C se hizo un análisis de elementos finitos en 3-D, teniendo en cuenta la estructura total del edificio. Se analizó un modelo completo del edificio en tres dimensiones.

Todas las simulaciones se realizaron utilizando el programa de elementos finitos SAFIR. Se aplicaron cargas estáticas bajo condiciones de fuego de acuerdo con el Eurocódigo EN 1990. Los resultados de este análisis de ingeniería de seguridad ante incendio concluyeron indicando que ninguna viga ni pilar necesitaba de protección pasiva ante fuego.



Supermercado Netto, Suecia

Ejemplo de edificación industrial ligera típica de Suecia consistente en pilares, celosías y chapas de cubierta diseñadas para aprovechar la acción de diafragma.

Beneficios:

- Rápida construcción
- Alto nivel de prefabricación
- Tamaño mínimo de estructura principal
- Sin pilares intermedios se consiguen amplios espacios abiertos que facilitan otras actividades



Las edificaciones ligeras de acero de una sola planta son las más populares en la construcción de los edificios industriales o almacenes.

En Suecia todos los supermercados de la compañía Netto están diseñados de manera similar, lo que convierte el proceso de construcción excepcionalmente rápido y muy económico. El nuevo supermercado en Smålandsstenar es una solución de construcción simple y eficaz en coste.

Las pequeñas diferencias entre las estructuras dependen de la localización geográfica, que implica variaciones en las cargas de nieve y viento.

Generalmente, la carga de nieve varía entre 1 y 3 kN/m² y la velocidad del viento entre 21 y 26 m/s.

La estructura consiste de pilares articulados, vigas y paneles nervados de chapa en cubierta junto con sistemas de arriostramiento laterales para la acción del viento. El panel de cubierta está diseñado funcionando como un diafragma, transfiriendo las cargas horizontales al arriostramiento lateral.

Project Team

Cliente:

Netto Marknad AB

Arquitecto:

GL Consult

Ingeniería:

EAB AB

Estructurista:

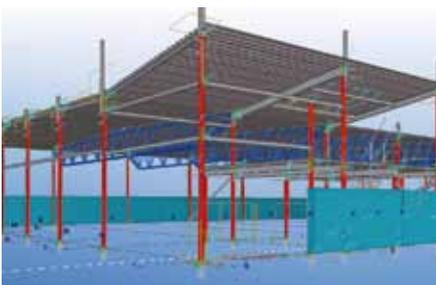
EAB AB**Aspectos generales**Área: **750 m²**Cantidad de acero: **20 toneladas**Panel de cubierta: **1.000 m²**Tiempo total de montaje: **5 semanas**Tiempo total de proyecto: **17 semanas****Detalles constructivos**

El panel de chapa trapezoidal presenta espesores entre 0,65 mm. y 1,2 mm., las chapas transfieren tanto las acciones verticales como las horizontales, tales como el peso propio, carga de viento y nieve así como, las cargas a cimentación a través de los pilares y los arriostramientos, principalmente, con perfiles HEA. Los perfiles HEA también son utilizados como vigas hastiales, y los perfiles IPE son los utilizados en las vigas de cubierta con una luz máxima de 10 m.

Cuando mantener la altura del edificio en un mínimo es un factor importante o

cuando no es posible utilizar los arriostramientos laterales contra el viento, las estructuras aperticadas pueden ser una solución debido a la utilización de secciones menores de acero con el consiguiente ahorro en material.

El montaje de los pilares, cerchas y paneles de chapa de cubierta tuvo lugar en aproximadamente una semana, justo después de realizar la cimentación. El paso siguiente consistió en el montaje e instalación de fachada y cubierta. Finalmente, se completaron los servicios y las obras interiores en el edificio totalmente impermeabilizado.



(Arriba) Modelo 3D para los cálculos estructurales



(Derecha) Cubierta y forjados intermedios en obra durante su colocación.

Centro de distribución en Waghäusel, Alemania

El tercer centro de distribución de droguería con un área de almacenaje de 20.000 m² comenzó su actividad en el suroeste de Alemania en el año 2004. El sistema de construcción de almacenaje en estanterías consiguió un considerable ahorro en costes y tiempo con respecto a soluciones tradicionales.

Beneficios:

- Máximo densidad de almacenamiento
- La estructura no interfiere en el uso del edificio
- La construcción más barata para almacenes de gran luz
- Tiempo de construcción reducido
- Rápido retorno del capital invertido



Dm-drogerie markt es una de las principales cadenas de droguerías en Europa que opera sobre 1.500 puntos de venta al por menor dando empleo a unas 20.000 personas. Con una facturación de casi 3 billones de Euros, la droguería ofrece un total de 12.000 líneas de producto. En el año 2003, se decidió construir un centro con mayores facilidades en logística, ubicada en el sur de Alemania entre Karlsruhe y Mannheim.

El centro de distribución está dividido en cuatro zonas centrales. Mientras que el edificio de entrada y salida de artículos, cuartos de servicio, así como oficinas, salas de descanso y comedor fueron construidos en hormigón armado, el corazón del complejo, el almacén de servicios, está realizado con estructura de acero. El almacén de servicios presenta 90 m. de largo, 125 m. de ancho y 20 m. de alto y proporciona

espacio para 24.024 puestas en servicio y recipientes de almacenaje.

El almacén de servicios fue construido mediante un sistema de almacenaje en base a estanterías, llamado así, por la construcción de las estanterías de acero, las cuales también actúan de estructura principal de la fachada y cubierta. Las estanterías se levantaron sobre la losa de hormigón. El cerramiento de cubierta y fachada se fijaron directamente al sistema de estanterías durante el montaje. En comparación con soluciones tradicionales que cuentan con una estructura principal y estanterías autoportantes, el período de construcción fue sensiblemente inferior, logrando un beneficio de la inversión en este sistema.

Además del corto periodo de construcción y el bajo coste, el periodo de amortización significativamente más corto, fue una ventaja adicional.

Equipo de proyecto

Cliente:

Dm- drogerie markt GmbH & Co. KG

Arquitectos:

**BFK + Partner Freie Architekten
BDA, Stuttgart**

Contratista general:

Swisslog AG, Buchs, Switzerland

Estructurista:

**Nedcon Magazijnrichting B.V,
Doetinchem, Netherlands**

Ingeniería de seguridad ante incendio:

Brandschutz Hoffmann, Worms

Servicios:

AXIMA GmbH, Karlsruhe

Información general

Periodo de construcción:

2003-2004

Área:

70.000 m²

Almacén de puesta en servicio:

200.000 m³

Almacén de entrada-salida artículos:

4.500 m²

Sin embargo, el sistema en base estanterías debe diseñarse teniendo en consideración los casos de cargas adicionales debidas al peso propio de la envolvente del edificio y las sobrecargas de viento y nieve.

Detalles constructivos

La construcción de acero de la estructura del almacén de servicios en base a estanterías se levantó sobre losa de hormigón armado.

El cerramiento de fachada se diseñó utilizando paneles con aislamiento. Los paneles interiores se unieron a los pilares hastiales y a los pilares de la fachada longitudinal. Las vigas de la cubierta fueron dispuestas de acuerdo con la división de los estantes en dirección longitudinal cubriendo una luz de 3,14 m. Se logró implantar una cubierta vegetal sobre el panel de chapa superior, con aislamiento térmico de espesor 100 mm., una capa de sellado y una capa de tierra.

Hay un total de cinco torres de escaleras realizadas en hormigón armado logrando

una resistencia al fuego de 90 minutos (R90). En el panel de fachada, unas pasarelas de servicio de evacuación realizadas en acero actúan como puentes uniendo éstas a las torres que incorporan las escaleras.

Protección ante incendio

El almacén de servicios, la entrada de carga y descarga de los productos y los cuartos de servicios están separados por muros cortafuegos. Estos muros alcanzan hasta 0,5 m. sobre la cubierta del almacén de entrada/salida. Además, se instaló una cubierta resistente al impacto de hormigón armado con el fin de prevenir la propagación del fuego entre el almacén de servicios y el almacén de entrada/salida de artículos.

Ambos almacenes están equipados con sistemas de rociadores, con rociadores adicionales en las estanterías del almacén de distribución. Asimismo, se instaló un sistema automático de alarma contra incendios.



Vista interior del almacén de distribución



Sección transversal del almacén



Vista general

**ArcelorMittal**

Long Carbon, Research and Development,
66, rue de Luxembourg, L - 4009 Esch/Alzette, Luxembourg
www.arcelormittal.com

**Bouwen met Staal**

Boerhaavelaan 40, NL - 2713 HX Zoetermeer,
Postbus 190, NL - 2700 AD Zoetermeer, The Netherlands
www.bouwenmetstaal.nl

**Centre Technique Industriel de la Construction Métallique (CTICM)**

Espace Technologique, L'orme Des Merisiers - Immeuble Apollo
F - 91193 Saint-Aubin, France
www.cticm.com

**Forschungsvereinigung Stahlanwendung (FOSTA)**

Sohnstraße 65, D - 40237 Düsseldorf,
Germany
www.stahlforschung.de

**Labein - Tecnalia**

C/Geldo - Parque Tecnológico de Bizkaia - Edificio 700,
48160 Derio, Bizkaia, Spain
www.labein.es

**SBI**

Vasagatan 52, SE - 111 20 Stockholm,
Sweden
www.sbi.se

**The Steel Construction Institute (SCI)**

Silwood Park, Ascot, Berkshire,
SL5 7QN, United Kingdom
www.steel-sci.org

**Technische Universität Dortmund**

Fakultät Bauwesen - Lehrstuhl für Stahlbau
August-Schmidt-Strasse 6, D - 44227 Dortmund, Germany
www.uni-dortmund.de