

# **STEEL BUILDINGS IN EUROPE**

## **Edificios de acero de varias plantas**

### **Parte 2: Diseño conceptual**



# **Edificios de acero de varias plantas**

## **Parte 2: Diseño conceptual**



## PRÓLOGO

Esta publicación es la parte 2 de la guía de diseño *Edificios de acero de varias plantas* (en inglés, *Multi-Storey Steel Buildings*).

Las 10 partes en que se divide la guía *Edificios de acero de varias plantas* son:

Parte 1: Guía del arquitecto

Parte 2: Diseño conceptual

Parte 3: Acciones

Parte 4: Diseño de detalle

Parte 5: Diseño de uniones

Parte 6: Ingeniería de fuego

Parte 7: Guía prescripciones técnicas del proyecto

Parte 8: Herramienta para el cálculo de la resistencia de elementos: descripción técnica

Parte 9: Herramienta para el cálculo de la resistencia de uniones: descripción técnica

Parte 10: Guía para el desarrollo de software para el diseño de vigas mixtas

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

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

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



## Tabla de contenidos

	<b>Página Nº</b>
PRÓLOGO	iii
RESUMEN	vi
1 INTRODUCCIÓN: DISEÑO ESTRUCTURAL Y DISEÑO GENERAL	1
1.1 Jerarquía de las decisiones del diseño	2
1.2 Requisitos del cliente	3
1.3 Aspectos económicos	6
1.4 Programa de construcción	8
1.5 Sostenibilidad	9
2 VENTAJAS DE LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO	12
2.1 Velocidad de construcción	12
2.2 Proceso de construcción	13
2.3 Grandes luces e integración de servicios	14
2.4 Estructuras ligeras y eficiencia de recursos	16
2.5 Ventajas de la adaptabilidad	16
3 EJEMPLOS DE EDIFICIOS DE ACERO DE VARIAS PLANTAS	18
3.1 Edificio de oficinas, Bishop's Square, Londres	18
3.2 Le Seguana, París	20
3.3 Cámara de Comercio de Luxemburgo	21
3.4 Kings Place, Kings Cross, Londres	22
3.5 Oficinas centrales de Kone, Helsinki	24
3.6 AM Steel Centre, Lieja	25
4 ANATOMÍA DEL DISEÑO DEL EDIFICIO	27
4.1 Entramado de los pilares	27
4.2 Coordinación dimensional	28
4.3 Opciones para la estabilidad estructural	30
4.4 Pilares	33
4.5 Opciones estructurales para sistemas de forjados	35
4.6 Factores que influyen en la solución estructural	39
4.7 Estructura – integración de instalaciones	41
5 SISTEMAS DE FORJADOS	44
5.1 Construcción mixta	44
5.2 Vigas mixtas y forjados colaborantes	44
5.3 Vigas mixtas de gran luz con alvéolos en el alma	49
5.4 Vigas mixtas alveolares con forjado colaborante	52
5.5 Vigas mixtas con placas de hormigón prefabricadas	56
5.6 Vigas no-mixtas con placas de hormigón prefabricadas	59
5.7 Vigas integradas con placas de hormigón prefabricado	62
5.8 Vigas asimétricas y chapa perfilada de gran canto	65
5.9 Unión de vigas	67
6 OTROS ELEMENTOS DE DISEÑO	69
6.1 Acciones accidentales	69
6.2 Dinámica del forjado	71
6.3 Protección contra la corrosión	73
6.4 Efectos de la temperatura	73
6.5 Seguridad ante incendio	74
6.6 Comportamiento acústico	75
6.7 Eficiencia energética	77
6.8 Fachada	77
REFERENCIAS	82

## **RESUMEN**

Esta publicación contiene la información necesaria para la selección y uso de estructuras de acero durante la etapa de diseño conceptual de edificios modernos de varias plantas. Las indicaciones de este documento se centran principalmente en los edificios comerciales; no obstante esta información puede ser también de aplicación en otros sectores. La información de este texto hace referencia a la estrategia de diseño, anatomía del edificio y sistemas estructurales relevantes para edificios de varias plantas. Este documento complementa otras partes del guía para edificios de varias plantas.

La construcción mixta con grandes luces es la tecnología clave que dará lugar a un mayor y mejor uso del acero en la construcción de edificios de varias plantas. Por ello, esta guía enfatiza el uso de dicha forma constructiva. Se incide en las vigas alveolares y perfiles de acero perforados como soluciones integrales que proporcionan grandes luces sin incrementar el canto del forjado. Las grandes luces proporcionan amplios espacios libres de pilares y con menos cimientos. Las vigas integradas son igualmente ventajosas en proyectos que el canto de la viga ha de ser reducida, como por ejemplo en proyectos de rehabilitación. El documento también aborda otras formas de construcción, tales como forjados a base de losas de hormigón prefabricado.

Se proporcionan tablas para el diseño preliminar de diversos sistemas estructurales, con disposiciones típicas, dimensiones y cierta orientación sobre los temas clave del diseño del edificio.



# 1 INTRODUCCIÓN: DISEÑO ESTRUCTURAL Y DISEÑO GENERAL

En edificios de varias plantas, el diseño de la estructura principal está fuertemente influenciado por muchos aspectos, tal y como se define a continuación:

- La necesidad de proporcionar forjados con grandes espacios sin pilares, para poder disponer de un mayor espacio útil
- La selección del sistema de cerramiento de fachada
- Condiciones de planificación urbanística, que podrían limitar la altura del edificio y la altura máxima entre forjados
- Las instalaciones y su integración con el resto del edificio
- Condiciones geotécnicas, que condicionarán el sistema de cimentación y la ubicación de los cimientos
- Limitaciones en el uso de grúas y espacio de almacenamiento para los materiales de construcción
- La rapidez de ejecución, que podría influir en el número de componentes que se utilizan y en el proceso de construcción seleccionado.

Según algunos estudios realizados, el coste de la estructura suele constituir solo alrededor del 10% del coste total del edificio – siendo más significativa la influencia de la estructura en los cimientos, las instalaciones y el cerramiento de fachada<sup>[1]</sup>. En realidad, el diseño del edificio es una síntesis de cuestiones arquitectónicas, estructurales, de instalaciones, logísticas y de capacidad de construcción. Las estructuras de acero son ideales para edificios comerciales de varios pisos, como el que se puede ver en la Figura 1.1.



Figura 1.1 Edificio comercial moderno en acero

## 1.1 Jerarquía de las decisiones del diseño

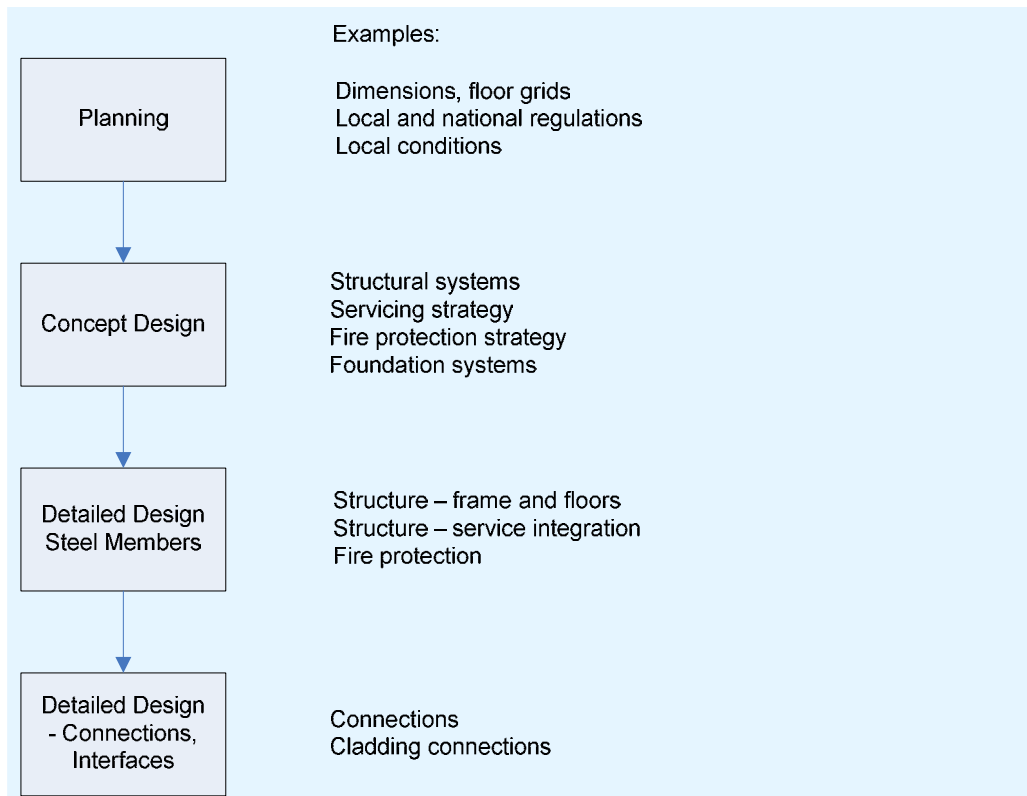
Los desarrollos de cualquier propuesta para un proyecto de construcción exigen una serie compleja de decisiones de diseño, todas ellas interrelacionadas entre sí. El proceso debería comenzar entendiendo claramente los requisitos del cliente y las condiciones y normativa locales. A pesar de la complejidad, es posible identificar una jerarquía de decisiones de diseño, tal y como se puede ver en la Figura 1.2.

En primer lugar, es probable que los planes urbanísticos definan la forma general del edificio, incluidos aspectos como la luz natural, la ventilación y las instalaciones. Las principales decisiones que hay que tomar, en estrecha colaboración con el cliente son:

- El canto del forjado y la estrategia de interacción entre la estructura y las instalaciones
- La necesidad de disposiciones estructurales especiales en espacios públicos o en zonas de circulación
- La prestación de cierta tolerancia entre la estructura y las instalaciones, con el objeto de permitir una futura adaptabilidad
- Las ventajas de utilizar una estructura de grandes luces, por un bajo sobrecoste, para mejorar la flexibilidad de la distribución.

En base a los requisitos del cliente, se prepara un diseño conceptual que será revisado por el equipo de diseño y por el cliente. Es en esta temprana fase en la que trabajando conjuntamente, se toman las decisiones importantes que

determinarán en gran medida el coste y el valor del proyecto final. Es vital mantener una comunicación estrecha con el cliente.



**Figura 1.2 Jerarquía de las decisiones del diseño**

Una vez acordado el diseño conceptual, se realiza el diseño detallado del edificio y sus componentes con una menor interacción directa con el cliente. Las uniones e interfaces entre los elementos a menudo se detallan en el taller o en la subcontrata especialista de construir la estructura de acero, pero el arquitecto debería tener una visión general de los sistemas empleados.

## 1.2 Requisitos del cliente

### 1.2.1 Requisitos espaciales

Los requisitos del cliente se pueden definir, en primer lugar, por medio de los aspectos físicos generales del edificio, es decir, el número de ocupantes y la serie de funciones que ocupan, los módulos de planificación o las alturas entre forjados. Las sobrecargas de uso mínimas y los períodos de resistencia al fuego se definen en los reglamentos nacionales, pero cabe la posibilidad de que el cliente quisiera especificar otros requisitos más estrictos.

Algunos ejemplos de requisitos generales del cliente son:

Densidad de ocupación	1 persona por cada 10 – 15 m <sup>2</sup>
Superficie útil de planta : Superficie total	80 – 90 % normalmente
Altura entre forjados	3.6 m a 4.2 m
Altura entre forjado y techo	2,7 – 3 m normalmente
Módulo de planificación	1,2 m a 1,5 m

Sobrecarga de uso	de 2,5 a 7,5 kN/m <sup>2</sup>
Resistencia al fuego	R60 a R120

La altura entre forjados es un parámetro clave, en el cual influyen los requisitos de planificación de la altura total del edificio, la luz natural, el coste del cerramiento de fachada y otros aspectos.

### 1.2.2 Requisitos de instalaciones

Podrían definirse otros requisitos del cliente bajo el título de “instalaciones”, entre las cuales cabe señalar la Tecnología de la Información y otros aspectos de, a parte de los requisitos de ventilación, iluminación u otros servicios. En la mayoría de los proyectos ubicados en ciudades, resulta vital el aire acondicionado o la climatización, ya que el ruido exterior limita el uso de la ventilación natural. En lugares suburbanos o rurales, quizá sea preferible una ventilación natural.

Los requisitos de diseño para servicios de edificios suelen determinarse en base a la normativa vigente en el país en el que ha de construirse la estructura, y se establecen en función de los ambientes externo e interno.

Unos ejemplos típicos de requisitos del cliente para el diseño básico de las instalaciones de un edificio son:

Suministro de aire puro	8-12 litros/seg./persona
Temperatura interna	22°C ± 2° C
Carga del climatizador	40-70 W/m <sup>2</sup>
Aislamiento térmico (muros)	$U < 0,35 \text{ W/m}^2\text{°K}$

Las instalaciones de comunicaciones de datos se suelen ubicar bajo un suelo técnico para facilitar el acceso del usuario o futuras modificaciones. El resto de instalaciones suelen sustentarse normalmente bajo el forjado, por encima del falso techo. La zona que alberga las instalaciones puede quedar muy congestionada. Una solución integrada, como la que se muestra en la Figura 1.3 puede resultar ventajosa a la hora de minimizar el canto total necesario para acomodar la estructura y las instalaciones.



**Figura 1.3** Instalaciones integradas en una viga alveolar

### 1.2.3 Carga del forjado

Las cargas de los forjados se indican en las normativas nacionales correspondientes o en la norma EN 1991-1-1, pudiendo incrementarse los valores mínimos según los requisitos del cliente. La carga del forjado tiene tres componentes básicos:

- Sobrecarga de uso, incluidas las particiones
- Falso techo e instalaciones, con un suelo técnico
- Peso propio de la estructura.

La sobrecarga de uso depende del uso del edificio, con lo que las cargas de cálculo oscilan entre 2,0 y 7,5 kN/m<sup>2</sup>, como se puede ver en la Tabla 1.1, que se ha extraído de la Tabla 6.2 de la norma EN 1991-1-1. Las sobrecargas de uso de los forjados se pueden obtener de las Tablas 6.1 y 6.2 de la norma EN 1991-1-1. En la cláusula §6.3.1.2(8) de la misma norma se indica una carga para particiones móviles, que oscila entre 0,5 kN/m<sup>2</sup> y 1,2 kN/m<sup>2</sup>. Se suele considerar una carga de aproximadamente 0,7 kN/m<sup>2</sup> para el techo, las instalaciones y el suelo técnico.

En el caso de vigas perimetrales, es necesario incluir el peso de las fachadas y los acabados internos, que pueden ser de 3 a 5 kN/m en el caso de cerramientos de fachada de poco peso, de 8 a 10 kN/m en el caso de estructuras de ladrillo, y de 10 a 15 kN/m en el caso de paneles de hormigón prefabricados.

El peso de un forjado mixto típico es de entre 2,8 y 3,5 kN/m<sup>2</sup>, que es el 50 % del peso de una losa de hormigón armado de 200 mm de canto. El peso propio de una losa alveolar de hormigón prefabricado más su capa de compresión suele oscilar entre los 3,5 y los 6,5 kN/m<sup>2</sup> para una luz similar.

Los pesos de otros elementos típicos vienen detallados en la Tabla 1.2.

**Tabla 1.1 Sobrecargas de uso típicas para oficinas (kN/m<sup>2</sup>)**

Categoría según la norma EN 1991-1-1	Aplicación	Sobrecarga de uso	Particiones	Techo, instalaciones, etc.
B	Oficinas - general	2,0 – 3,0	0,5 – 1,2	0,7
C1	Zonas con mesas	2,0 – 3,0	0,5 – 1,2	0,7
C2	Zonas con asientos fijos	3,0 – 4,0	0,5 – 1,2	0,7
C3	Zonas de acceso público sin obstáculos	3,0 – 5,0		
C5	Zonas de acceso público con aglomeración	5,0 – 7,5		

**Tabla 1.2 Pesos típicos para elementos de construcción**

Elemento	Peso típico
Unidades prefabricadas (6 m de luz, dimensionadas para sobrecargas de uso de 5 kN/m <sup>2</sup> )	3,5 – 4,5 kN/m <sup>2</sup>
Losas mixtas (hormigón de peso normal, 140 mm de espesor)	2,8 – 3,5 kN/m <sup>2</sup>
Losas mixtas (hormigón ligero, 130 mm de espesor)	2,1 – 2,5 kN/m <sup>2</sup>
Servicios (iluminación)	0,25 kN/m <sup>2</sup>
Cubiertas	0.1 kN/m <sup>2</sup>
Estructura de acero (edificios de baja altura – 2 a 6 plantas)	35 –50 kg/m <sup>2</sup>
Estructura de acero (edificios de altura media – 7 a 12 plantas)	40 – 70 kg/m <sup>2</sup>

### 1.2.4 Carga externa

Las cubiertas están sujetas a sobrecargas de uso, que se pueden obtener de la norma EN 1991-1-1 y que normalmente oscilan entre 0,4 y 0,6 kN/m<sup>2</sup>.

Las cubiertas también están sujetas a cargas de nieve, que se deberán determinar según la norma EN 1991-1-3.

Las cargas del viento deberán calcularse de acuerdo con la norma EN 1991-1-4.

El cálculo de estas cargas se describe en otros documentos de esta serie<sup>[2]</sup>.

## 1.3 Aspectos económicos

### 1.3.1 Coste de ejecución

Los costes de construcción de un edificio típico de oficinas<sup>[1]</sup> se pueden desglosar de la siguiente manera:

Cimientos	5-15%
Estructura y forjados	10-15%
Cerramientos	15-25%
Instalaciones (mecánicas y eléctricas)	15-25%
Instalaciones (saneamiento y otros servicios)	5-10%

Acabados, particiones y accesorios	10-20%
Preliminares (gestión de obra)	10-15%

Dentro del capítulo de Preliminares se incluyen los costes de la gestión de la obra y las instalaciones de control, incluidas las grúas, lugares de almacenamiento y equipamiento. El capítulo de Preliminares de la planta puede variar dependiendo de la escala del proyecto, haciendo una provisión del 15 % del coste total para la construcción con grandes cantidades de acero en obra, reduciéndose al 12 % en el caso de darse altos niveles de prefabricación fuera de planta. El coste de la estructura de acero en sí raramente supera el 10 % del total, pero tiene un efecto importante en el resto de los costes. Por ejemplo, una reducción de 100 mm en la distancia entre falso techo y suelo del piso superior puede suponer un ahorro del 2,5% en los costes de cerramiento de fachada (equivalente al 0,5 % de ahorro en el coste global del edificio).

### 1.3.2 Ventajas de la construcción en acero

La construcción en acero ofrece numerosas ventajas al cliente/usuario en su funcionamiento, como:

- Grandes espacios sin pilares, que permiten una flexibilidad de uso
- Facilidad de ampliación y adaptación para operaciones futuras, incluso en el caso de necesidad de añadir nuevas instalaciones o modificar las existentes
- Variedad de sistemas de cerramiento y cubierta
- Larga vida útil y sencillez de mantenimiento
- Diseño eficiente energéticamente.

En la Sección 2 se exploran estas ventajas de la construcción en acero.

### 1.3.3 Coste de la propiedad / ocupación

Se calcula que el coste total de utilización de un edificio durante una vida útil de 60 años es de entre 3 y 5 veces el coste de la construcción inicial. Los componentes principales dentro de los costes a largo plazo son:

- Costes directos de explotación por calefacción, iluminación, aire acondicionado
- Rehabilitación de interiores, redecoración de poco coste cada 3-5 años, restauración de mayor calado cada 10-20 años
- Renovación de las instalaciones, aproximadamente cada 15-20 años
- Posible instalación de nueva fachada una vez transcurridos 25-30 años.

La Directiva Europea de ahorro de energía en edificios exige en la actualidad que los edificios de oficinas dispongan de un “pasaporte energético” que defina las acciones en cuanto al consumo de energía y al ahorro de energía. Muchos edificios modernos han sido diseñados teniendo en cuenta unas medidas de ahorro de energía, que pueden incluir las fachadas de doble capa, la capacidad térmica y los conductos para una ventilación natural y las placas fotovoltaicas en las cubiertas.



## 1.4 Programa de construcción

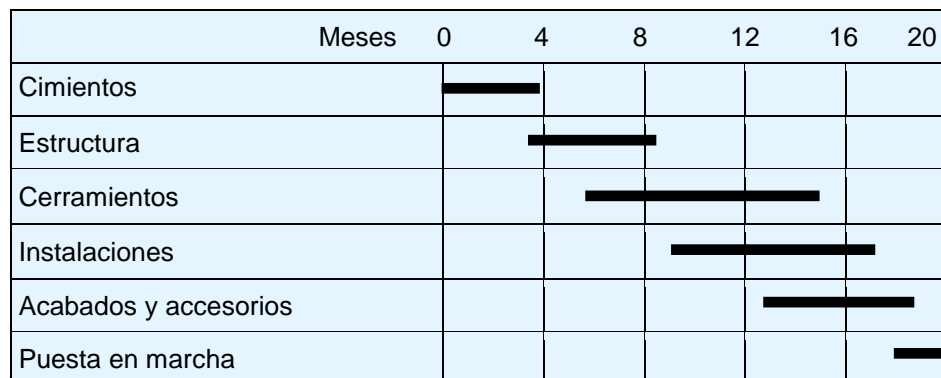
En la Figura 1.1 se muestra un programa de construcción típico para un edificio de oficinas de tamaño medio. Una de las ventajas de la construcción en acero es que el período inicial de la preparación del solar y de construcción de cimientos permite un tiempo suficiente para la fabricación en taller de la estructura de acero en forma de "kit de piezas". Esta forma de construcción se conoce como construcción "Fast track".

La instalación de la estructura primaria y de los forjados lleva aproximadamente el 20-25 % del período de construcción total, pero su finalización permite comenzar pronto con el cerramiento de fachada y las instalaciones. Esta forma de construcción prefabricada y, principalmente, "en seco" permite acelerar el proceso de construcción, lo cual supone una ventaja del acero respecto a otros materiales.

En un proyecto de construcción típico, el ahorro del período de construcción utilizando la construcción en acero, si se compara con otros materiales, puede oscilar entre el 5% y el 15%, dependiendo del nivel de prefabricación que se utilice. La principal ventaja del programa en comparación con la construcción con hormigón, es la creación de una envoltura de edificio impermeable en un corto período de tiempo. Las ventajas económicas de una construcción más rápida son:

- Ahorro en los preliminares en obra
- Mejoras de productividad en obra para el resto del proceso de construcción
- Reducción de pagos de intereses
- Ingresos más tempranos de la nueva construcción

El ahorro típico en costes debido al ahorro de tiempo oscila entre el 2% y el 4% de los costes totales, lo que representa una parte significativa del coste de la estructuras en sí. En proyectos de renovación o en grandes ampliaciones de edificios, la velocidad de construcción y la reducción de inconveniencias causadas a los usuarios o a los edificios adyacentes puede resultar incluso más importante.



**Figura 1.4 Programa de construcción para un edificio comercial en acero de 4 – 6 plantas**



## 1.5 Sostenibilidad

Una construcción sostenible debe considerar tres objetivos:

- Criterios medioambientales
- Criterios económicos
- Criterios sociales.

La construcción en acero cumple estos tres criterios:

### Criterios medioambientales

El acero es uno de los materiales que más se recupera y más se recicla. Alrededor del 84 % del acero se recicla sin pérdida de resistencia ni de calidad, y un 10 % se reutiliza. Antes de derribar una estructura, suele resultar más ventajoso prolongar la vida del edificio. La construcción en acero facilita esta opción, ya que los espacios amplios exentos de columnas aportan una flexibilidad para cambiar su uso. Los avances en el procesamiento o fabricación de materia prima se traducen en un menor consumo de agua y de energía en la producción, permitiendo una reducción significativa en la emisión de ruidos, partículas y CO<sub>2</sub>.

### Criterios económicos

La construcción en acero aúna los diferentes elementos de una estructura en un diseño integrado. Los materiales se producen, fabrican y construyen utilizando procesos eficientes de producción. El uso de material está altamente optimizado, eliminándose los residuos prácticamente por completo. Las estructuras se utilizan para todos los aspectos de la vida moderna, incluida la logística, la venta al por menor, actividades comerciales y la fabricación, aportando la infraestructura de la que depende la sociedad. La construcción en acero proporciona una solución de construcción con bajos costes de inversión, costes operativos óptimos y gran flexibilidad en el uso del edificio, con una calidad, funcionalidad estética excepcionales y con unos plazos de construcción muy cortos.

### Criterios sociales

La elevada proporción de fabricación en taller en edificios de acero significa que las condiciones laborales son más seguras, están más controladas y protegidas de la climatología. El contar con un lugar de trabajo fijo para los empleados ayuda a desarrollar las comunidades, a conciliar la vida familiar con la laboral y a mejorar las aptitudes laborales. El acero no desprende sustancias nocivas al entorno, y los edificios de acero proporcionan una solución segura y robusta.

### Edificios de varias plantas

El diseño de edificios de varias plantas depende cada vez más de aspectos de sostenibilidad, definidos por criterios tales como:

- El uso eficiente de materiales y la obtención responsable de materiales
- La eliminación de residuos de fabricación y de construcción
- La eficiencia energética en el funcionamiento de los edificios, incluida una mejor estanqueidad

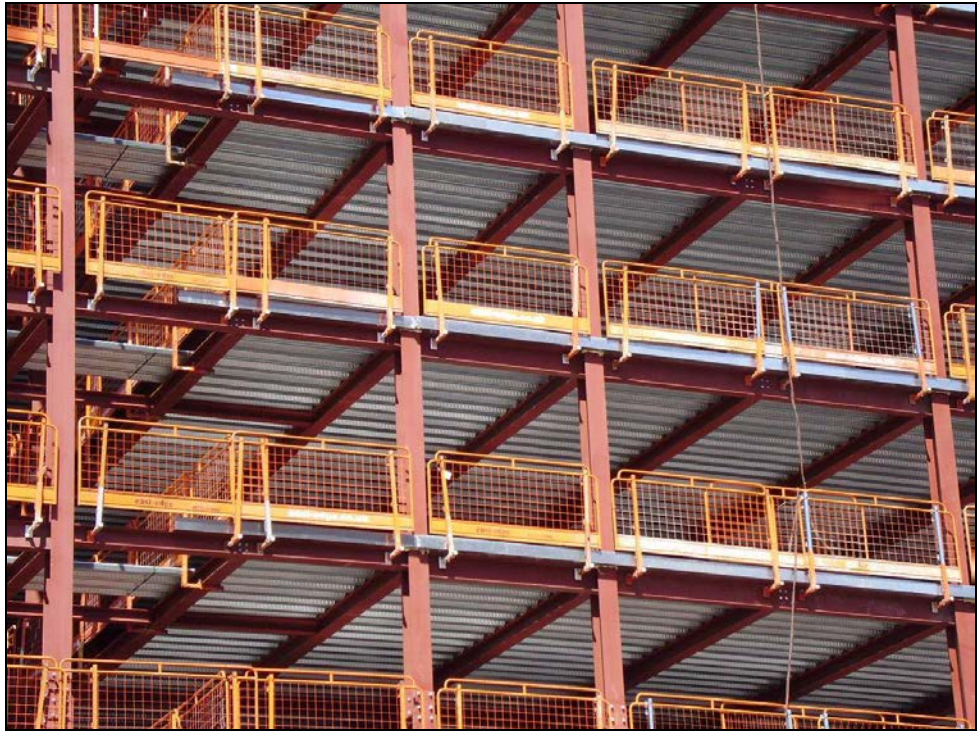
- Medidas para reducir el consumo de agua
- Mayor confort interior
- Criterios de gestión y planificación globales, como las conexiones de transporte público, la estética o los valores de la conservación del medio ambiente.

Los edificios con estructuras de acero pueden ser diseñados para que cumplan con estos criterios. Algunas de las ventajas reconocidas de la sostenibilidad del acero son las siguientes:

- Las estructuras del acero son robustas, con una larga vida. Las estructuras de acero, correctamente diseñadas y con un adecuado mantenimiento, se pueden utilizar indefinidamente.
- Se reutiliza aproximadamente el 10 % de las secciones de acero<sup>[3]</sup>
- Se recicla el 95 % de las secciones de acero estructural
- Potencialmente se pueden desmantelar y volver a utilizar los productos de acero, especialmente los componentes modulares
- Las estructuras de acero tienen un peso ligero, lo cual facilita su empleo sobre terrenos pobres o sobre túneles
- El acero se fabrica eficientemente en procesos controlados
- Todos los residuos se reciclan durante la fabricación, y no se producen residuos de acero en obra
- La construcción en acero maximiza la oportunidad y la facilidad para ampliar edificios y para cambiar el uso de los mismos
- Se pueden conseguir unos elevados niveles de aislamiento térmico en la envolvente del edificio
- Los sistemas de construcción prefabricados se instalan rápidamente y resultan muy seguros
- La construcción en acero resulta fácil de instalar, y se pueden introducir elementos de seguridad en el diseño del acero, tales como barreras de seguridad pre-montadas, como las que se pueden ver en la Figura 1.5.

Existen diferentes programas para establecer la sostenibilidad en diferentes países europeos<sup>[4]</sup>. La normativa de construcción nacional señala unos niveles mínimos de comportamiento energético global que se deben cumplir. Muchos edificios de varias plantas se diseñan con protectores solares y con tecnologías activas de creación de energía, como placas fotovoltaicas, como las que se muestran en la Figura 1.6.

Se puede conseguir emplear la capacidad térmica de la estructura utilizando forjados mixtos. Estudios de investigación nos señalan que sólo se necesita un canto de forjado de entre 50 mm y 75 mm para conseguir un almacenamiento de energía adecuado<sup>[5]</sup>.



**Figura 1.5 Barreras de seguridad pre-montadas en la zona perimetral de la estructura de acero**



**Figura 1.6 Cubierta “verde” y paneles fotovoltaicos en un edificio de oficinas en el centro de la ciudad**

## 2 VENTAJAS DE LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO

En el sector de edificios de varias plantas, las ventajas de la construcción en acero están ampliamente relacionadas con la naturaleza “fast track” del proceso de construcción, que ofrece gran cantidad de ventajas financieras y de proceso. Un gran número de innovaciones asociadas con el proceso de construcción han mejorado aún más estas ventajas inherentes, habiendo aumentado la eficiencia y la productividad. Resulta de gran importancia en proyectos en el interior de ciudades, en los que la falta de espacio para el almacenamiento de materiales y para otros edificios, las limitaciones en las entregas y en la logística, y las restricciones de planificación resultan en la necesidad de que una mayor parte de trabajo se lleve a cabo en fábrica, y menos in situ.

Las ventajas del acero en la construcción de edificios de varias plantas derivan principalmente de la facilidad de prefabricación, de su reducido peso y de la facilidad para llevar a cabo las diferentes actividades del proceso de construcción en serie en lugar de en paralelo. En las secciones siguientes se exploran dichas ventajas.

### 2.1 Velocidad de construcción

La velocidad de construcción es la ventaja más importante que ofrece la construcción en acero, lo que se traduce en ventajas financieras, de gestión y facilidades desde un punto de vista logístico. Éstas, a su vez, resultan en beneficios económicos y de sostenibilidad. En un edificio de oficinas de ocho plantas la construcción en acero puede ser hasta un 20% más rápida que la de hormigón armado, pero, lo que es más importante es que la construcción de la estructura primaria y los forjados es hasta un 40% más rápida, permitiendo adelantar el comienzo de ejecución de las instalaciones, del cerramiento de fachada y otras actividades. El proceso de construcción rápida se basa en un uso sinérgico de las estructuras de acero, forjados colaborantes y, en algunos casos, núcleos de hormigón o arriostramiento de acero, tal y como ilustra la Figura 2.1.

Las ventajas económicas que aporta la velocidad de construcción se pueden expresar de la siguiente manera:

- Una rápida finalización, lo que lleva a reducir los gastos por intereses del capital prestado, y a rentabilizar la inversión prontamente
- Menor *cash flow* (efectivo circulante)
- Costes reducidos de gestión in situ debido principalmente al menor período de construcción, pero también a la menor cantidad de personal empleado
- Bajos costes de alquiler de equipamiento in situ
- Mayor certidumbre y menor riesgo en el proceso de construcción.





**Figura 2.1** Instalación rápida de la estructura y forjado de acero acelera el proceso de construcción

## 2.2 Proceso de construcción

La velocidad de construcción se consigue mediante una entrega “justo a tiempo” de los componentes y mediante el montaje rápido de la estructura de acero. Se estima que una sola grúa pluma puede instalar hasta 20 elementos de acero al día, lo que corresponde a una superficie en planta de unos 300 m<sup>2</sup>.

Las ventajas secundarias de la construcción en acero radican en:

- Colocar la chapa colaborante del forjado en ‘lotes’ sobre las vigas y la instalación de las cubiertas a una velocidad de hasta 500 m<sup>2</sup> al día
- Evitar el apuntalamiento temporal utilizando de chapas de acero de entre 3 m y 4 m para perfiles de 50 mm a 80 mm de profundidad
- Aplicar la protección contra el fuego en forma de pintura intumescente en fábrica y, por lo tanto, eliminar el tiempo necesario para este proceso en obra
- Oportunidades de reducir la cantidad de protección contra el fuego mediante el uso de la ingeniería del fuego
- El empleo de plataformas móviles mejoran la seguridad en la construcción y aceleran el proceso de instalación, tal y como se puede ver en la Figura 2.2. Figura 2.2 La instalación rápida y segura de la estructura y el forjado de acero desde una plataforma de montaje móvil acelera el proceso de construcción
- Escaleras prefabricadas que se instalan como parte de la subcontratación de la estructura metálica

- Instalación de barreras de seguridad en las vigas de acero perimetrales, ver la Figura 1.5
- Hormigonado rápido de hasta 1000 m<sup>2</sup> al día para una losa de 130 mm de profundidad
- Uso de paneles y particiones ligeros que son prefabricados y se instalan rápidamente
- Las unidades modulares de instalaciones que se pueden montar a la vez que la estructura metálica.



**Figura 2.2** La instalación rápida y segura de la estructura y el forjado de acero desde una plataforma de montaje móvil acelera el proceso de construcción

### 2.3 Grandes luces e integración de servicios

Se pueden integrar las instalaciones del edificio dentro de la estructura primaria siguiendo dos métodos diferentes:

- Diseñando la estructura para que tenga un canto de forjado mínimo, de manera que los servicios pasen por debajo
- Diseñando la estructura con aperturas periódicas o zonas para la integración de servicios dentro del canto del forjado.

Una construcción con grandes luces resulta atractiva porque elimina la necesidad de pilares internos, haciendo que el espacio interno resulte más adaptable a una serie de usos actuales y futuros. Se pueden conseguir fácilmente luces de 12 m a 18 m gracias a una gran variedad de tecnologías con el acero estructural.

El canto estructural mínimo se consigue utilizando vigas " *slim floor*" o vigas integradas, con las que se pueden conseguir luces máximas de 9 m. Los sistemas estructurales que facilitan la integración de las instalaciones:

- Vigas alveolares, con agujeros circulares regulares, tal y como se muestra en la Figura 1.3
- Vigas de acero prefabricadas o laminadas, de forma a menudo rectangular, tal y como se puede ver en la Figura 2.3
- Cerchas y otros elementos abiertos.

En edificios comerciales, la zona de forjado y de instalaciones suele ser normalmente de entre 800 mm y 1200 mm. En proyectos de rehabilitación en los que se conserva la fachada original, se ha demostrado que las vigas "*slim floor*" o las vigas integradas son atractivas, y con ellas se pueden conseguir cantos de forjado de menos de 600 mm.

Los aspectos económicos de la construcción con grandes luces se pueden resumir de la siguiente manera:

- Ahorro en costes de fachada (hasta 300 mm por planta)
- Eliminación de los pilares internos y aumento de la zona útil (hasta un 3% de la superficie en planta)
- Menos elementos de acero para ensamblar (hasta un 25 % menos)
- Los pilares se pueden situar en el perímetro del edificio
- Facilidad de integración de instalaciones y de futura modificación de las mismas
- Flexibilidad del espacio y reutilización del edificio



**Figura 2.3** Aberturas rectangulares en vigas mixtas para distribución de instalaciones

## 2.4 Estructuras ligeras y eficiencia de recursos

Cualquier tipo de construcción en acero es de poco peso, incluso considerando el peso de los forjados de hormigón. El peso propio de un forjado mixto suele ser aproximadamente del 40 % del de una losa de hormigón armado. Si se considera el peso total de un edificio, un edificio con estructura de acero es hasta un 30 % más ligera que el edificio de hormigón equivalente, lo cual permite un ahorro en los costes de cimentación.

Es más, la construcción en acero es la solución preferida para edificios:

- En lugares que previamente han albergado algún tipo de industria u otro edificio, en los que habitualmente hay una cimentación existente
- Sobre servicios soterrados y túneles subterráneos
- Sobre líneas de ferrocarril y otras estructuras tipo podio.

La construcción en acero elimina virtualmente los residuos debido a la naturaleza de su proceso de fabricación, reciclándose todos los residuos de acero. También se pueden reciclar materiales sinérgicos tales como el cartón-yeso.

## 2.5 Ventajas de la adaptabilidad

Las expectativas generales de todos los edificios de varias plantas cambian sustancialmente durante sus vidas útiles. Es probable también que la ocupación



de un edificio cambie varias veces a lo largo de su vida. El sentido y naturaleza de la ocupación puede cambiar cada vez más, por ejemplo, en numerosas grandes ciudades europeas, hay una tendencia cada vez mayor a transformar edificios de oficinas en apartamentos.

En las décadas de los sesenta y los setenta, se construyeron numerosos edificios a un coste mínimo, sin dejar cabida alguna para una adaptación futura. Estas estructuras no han demostrado ser capaces de responder a las necesidades cambiantes del ocupante, ocasionando una temprana demolición de las mismas.

Aunque difíciles de cuantificar durante la fase de oferta, hay claras ventajas cualitativas en especificar una estructura inherentemente adaptable a los cambios en los requisitos durante su vida de diseño. Los elementos clave para la adaptabilidad son:

- Especificar grandes luces, que permitan una mayor flexibilidad de distribución
- Aportar espacio para instalaciones adicionales
- Diseñar para sobrecargas en los forjados que permitan el cambio de ocupación.

### 3 EJEMPLOS DE EDIFICIOS DE ACERO DE VARIAS PLANTAS

En los siguientes ejemplos se describe el uso del acero en edificios de varias plantas, principalmente en el sector de edificios comerciales, pero también en el sector residencial, en el que se utilizan las mismas tecnologías.

#### 3.1 Edificio de oficinas, Bishop's Square, Londres



**Figura 3.1** Edificio de oficinas, Bishop's Square, Londres

El proyecto de Bishop's Square, próximo a la zona londinense de Broadgate, está compuesto por una estructura mixta de acero con una luz de 18 m y sólo 650 mm de canto. Tiene una fachada casi totalmente acristalada y un espacio de cubierta 'verde' a tres niveles. Se puede el edificio terminado en la Figura 3.1, y durante la construcción en la Figura 3.2.

El edificio de 12 plantas, con una superficie aproximada de 80000 m<sup>2</sup>, está compuesto por una estructura de acero de 9500 toneladas, y se ha montado sólo en 30 semanas en un programa global de construcción de 20 meses. El contratista de la estructura de acero aplicó en taller una protección contra el fuego en forma de pinturas intumescentes en una única operación, lo cual sirvió para acelerar la intervención de las siguientes subcontratas.

La fachada acristalada fue diseñada para satisfacer los estrictos requisitos térmicos que condujeron al uso de un triple acristalamiento con respiraderos integrados. Se instalaron paneles fotovoltaicos en la cubierta para proporcionar una fuente de energía para la iluminación, reduciendo de esta forma los costes de funcionamiento y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

La altura entre forjados era sólo de 3,9 m, lo que resultó en un canto de viga limitado a 650 mm en una zona de forjado total de 1050 mm. Las vigas primarias, con grandes cargas y luces de 9 m, tenían unos grandes orificios rectangulares, con una reducción en el canto de viga en las proximidades de los núcleos de hormigón, permitiendo así el paso de amplios conductos para las instalaciones del edificio.

Las vigas secundarias fueron diseñadas como perfiles fabricados a partir de chapas soldadas, con una serie de agujeros circulares de 425 mm de diámetro para el paso de instalaciones, y dos agujeros rectangulares de 425 mm de profundidad  $\times$  750 mm de longitud, aproximadamente a la mitad del vano. En las especificaciones se recogía un requerimiento de flecha límite debida a la sobrecarga de uso de sólo 30 mm. Se cumplió dicho objetivo mediante vigas con un peso de 138 kg/m, sin rigidización alguna.



**Figura 3.2** Vista de las vigas alveolares de gran luz en el proyecto de Bishop's Square

### 3.2 Le Seguana, París

Le Seguana es una urbanización de edificios de oficinas de 25000 m<sup>2</sup>, situado en las márgenes del río Sena, en París, que se puede ver en la Figura 3.3. Consiste en espacios libres de pilares, de 18 m × 36 m, y dispone de aire acondicionado en su totalidad. La construcción fue finalizada en 22 meses, de acuerdo con el programa y presupuesto originales, incluido el montaje de una estructura de acero de 2000 toneladas en tan solo 12 semanas.



**Figura 3.3** Los edificios Le Seguana, en París, durante la fase de construcción

La estructura debe su estabilidad a la combinación de núcleos de acero arriostrados y núcleos de hormigón.

La estrategia pensada para el aire acondicionado consistía en poder controlar la temperatura de manera independiente en cada 12 m<sup>2</sup> de superficie. Por ello, era necesario un gran número de conductos, que se alojaron en los agujeros de las vigas alveolares, tal y como se muestra en la Figura 3.4.





**Figura 3.4** Conductos provenientes de la sala de máquinas principal, proporcionando un sistema ambiental controlado localmente

### 3.3 Cámara de Comercio de Luxemburgo



**Figura 3.5** Cámara de Comercio de Luxemburgo

Las oficinas centrales de la cámara de comercio del Gran Ducado de Luxemburgo fueron diseñadas por el estudio de arquitectura Vasconi Architects, y están formadas por un edificio existente al que se han añadido 20000 m<sup>2</sup> de nueva construcción para oficinas. El edificio se muestra en la Figura 3.5. Se creó un centro de conferencias de unos 8000 m<sup>2</sup> así como un aparcamiento con 650 plazas de aparcamiento distribuidas entre cuatro niveles. La superficie total del edificio es de 52000 m<sup>2</sup> incluida la zona de estacionamiento.

La estructura mixta de cuatro y cinco plantas está formada por perfiles de acero laminado en caliente y por losas de forjado de hormigón, con perfiles IFB integrados (una sección asimétrica laminada con el ala inferior más ancha que la superior).

Las vigas de acero integradas quedan rigidizadas gracias a una cercha ligera bajo las vigas, que permite un incremento del 40% en la luz. Las instalaciones se pasan por debajo de las vigas y a través de las aperturas de la cercha para minimizar el canto del forjado.

La estructura fue analizada mediante un análisis de ingeniería de fuego, que demostró que se podía conseguir una resistencia al fuego de 60 minutos sin protección adicional contra el fuego. Las vigas IFB están protegidas parcialmente por la losa de hormigón, y son capaces de soportar la carga reducida en condiciones de fuego, a pesar de la pérdida de resistencia de la cercha expuesta cuando ésta está sometida a un incendio.

### 3.4 Kings Place, Kings Cross, Londres



Figura 3.6 Kings Place durante la fase de construcción

Kings Place, en el norte de Londres, dispone de siete plantas de espacio para oficinas, una sala de conciertos con asientos para 420 personas, galerías de arte y restaurantes. Las plantas del sótano albergan el auditorio y otras instalaciones para recitales. En la Figura 3.6 se puede ver una fase del proceso de construcción.

Esta estructura de uso flexible ha sido diseñada como estructura mixta de acero formada por vigas prefabricadas de 12 m de luz, con agujeros circulares que sustentan una losa mixta de 130 mm de espesor. En algunas zonas, el forjado

mixto se apoya sobre un angular. Las formas de construcción se pueden ver en la Figura 3.7.

Una parte novedosa del diseño fue la estrategia de ingeniería de fuego, que demostró que se podía conseguir una resistencia al fuego de 90 minutos mediante pinturas intumescentes únicamente sobre las vigas que se encuentran en conexión directa con los pilares, mientras que el resto de las vigas quedaban sin protección. Los pilares estaban protegidos mediante doble panel. Las vigas fabricadas con gran luz tienen normalmente una profundidad de 600 mm y están formadas por unos vanos múltiples de 375 mm. La losa mixta de 130 mm de profundidad está armada de acuerdo con los principios de ingeniería de fuego, que permiten desarrollar efectos de membrana en el fuego.

Las vigas primarias y secundarias que se conectan con los pilares están protegidas por una pintura intumescente de 1,6 mm de espesor que se ha aplicado fuera del lugar de la obra para acelerar el proceso de construcción. La pintura se aplicó en una única capa, lo que se ha conseguido diseñando unos perfiles de acero ligeramente más pesados para reducir la tasa de carga en condiciones de fuego. El enfoque del diseño integrador se ha justificado utilizando un modelo de elementos finitos, en el que las propiedades del acero y del hormigón se han visto modificadas para la temperatura tanto en el concepto de fuego estándar, como en el de fuego o incendio natural, utilizando la carga de fuego y las condiciones de ventilación establecidas para su uso en el edificio.



**Figura 3.7** Diferentes tipos de vigas usadas en el Kings Place de Londres



### 3.5 Oficinas centrales de Kone, Helsinki



**Figura 3.8 El edificio Kone durante la fase de construcción y después de terminado**

El edificio de 18 plantas de las oficinas centrales de Kone en Espoo, en las proximidades de Helsinki, está constituido por un forjado de estructura mixta y tiene una fachada totalmente acristalada. La superficie total de forjado es de 9800 m<sup>2</sup>. El edificio está estabilizado mediante un gran núcleo central de hormigón situado en la cara sur del edificio, tal y como se muestra en la Figura 3.8.

La estructura fue innovadora en su construcción porque la estructura del forjado era prefabricada con grandes casetones y colocado en obra, tal y como se muestra en la Figura 3.9. La luz del entramado del forjado era de 12,1 m para las vigas primarias y de 8,1 m en las vigas secundarias. La cantidad de pilares internos se redujo lo máximo posible.

Las fachadas de las caras este y oeste son completamente acristaladas. El cerramiento se diseñó como doble fachada para proporcionar sombra en el interior y asimismo para actuar como barrera térmica. El núcleo de hormigón ubicado en el lado sur contribuye a reducir la acumulación de calor en esta fachada.





**Figura 3.9 Sistema de forjado compuesto por paneles (cassettes) prefabricadas**

### **3.6 AM Steel Centre, Lieja**



**Figura 3.10 El edificio de AM durante la fase de construcción donde se pueden ver las vigas alveolares**

El Steel Centre de cinco plantas de Lieja, Bélgica, es un innovador edificio de oficinas diseñado para conseguir un alto nivel de eficiencia energética. Tiene  $16\text{ m} \times 80\text{ m}$  en planta, y está formado por una fila de pilares internos creando luces de 9 m y de 7 m a uno y otro lado de los mismos. En el lado de mayor luz, las vigas secundarias tienen una profundidad de 500 mm, están colocadas cada 3 m y soportan un forjado mixto. Dichas vigas secundarias están formadas por secciones IPE330/ IPE 300 para crear vigas alveolares con agujeros regulares de 400 mm de diámetro. La forma de construcción se muestra en la Figura 3.10. Las vigas alveolares primarias de 9 m de luz tienen la misma profundidad y precisan secciones HEB 320 / HEA 320.

Se llevó a cabo un análisis de ingeniería de fuego para demostrar que las vigas mixtas podían quedar sin protección, con excepción de aquellas conectadas a los pilares. Los pilares son perfiles tubulares rellenos de hormigón, que no llevan protección alguna, y logran la resistencia al fuego requerida, consiguiendo una reducción considerable en los costes de protección contra incendios.

El edificio se sujeta sobre pilotes debido a las pobres condiciones del terreno de esta antigua zona industrial. La ligereza de la estructura ( $< 350\text{ kg/m}^2$ ) y de los muros cortina fue importante para minimizar las cargas sobre los pilotes.

## 4 ANATOMÍA DEL DISEÑO DEL EDIFICIO

El diseño del edificio depende de diferentes parámetros:

- Entramado de los pilares
- Altura del edificio
- Espacios de circulación y de acceso
- Requisitos de instalaciones e integración de las mismas.

Estos aspectos se tratan en los apartados que se presentan a continuación.

### 4.1 Entramado de los pilares

El entramado de los pilares define el espaciamiento de los mismos en las dos direcciones ortogonales, que depende de:

- El entramado de planificación (se suele basar normalmente en unidades de 300 mm, pero, lo más típico es que sean múltiplos de 0,6, 1,2 ó 1,5 m)
- La distancia entre pilares a lo largo de la fachada, dependiendo del material de la fachada (normalmente de 5,4 m a 7,5 m)
- La utilización de los espacios internos (para oficinas o espacios abiertos)
- Los requisitos para la distribución de las instalaciones en el edificio (desde el núcleo del edificio).

A lo largo de la fachada, la distancia entre pilares se define normalmente por la necesidad de sujetar el cerramiento de fachada (suele ser necesario un espaciamiento de 6 m en la estructura de ladrillos). Este hecho influye en el espaciamiento entre pilares internamente, a menos que se utilicen pilares adicionales en la línea de la fachada.

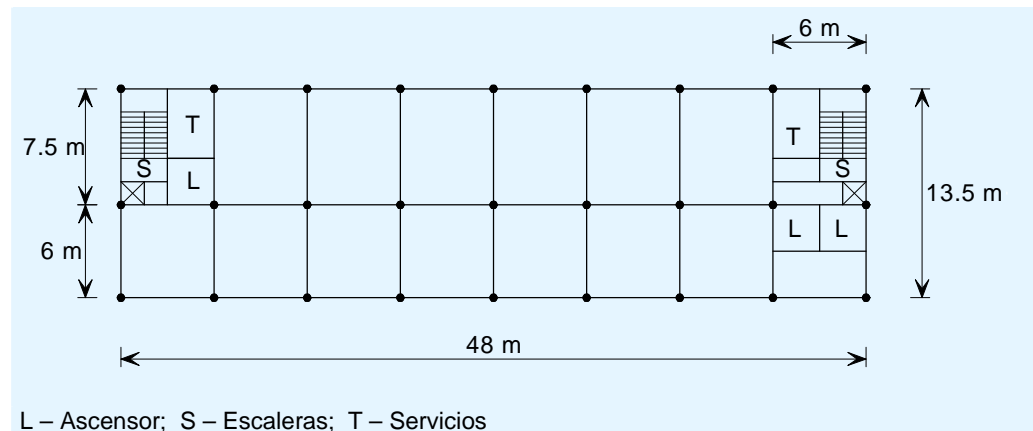
La luz de las vigas en todo el edificio se suele adaptar normalmente a una de las siguientes disposiciones del entramado de pilares:

- Una línea interna de pilares, colocada desviada de la línea de un pasillo central, véase la Figura 4.1
- Pares de líneas de pilares a un lado de un pasillo
- Zonas centrales exentas de pilares, con pilares a lo largo de la fachada.

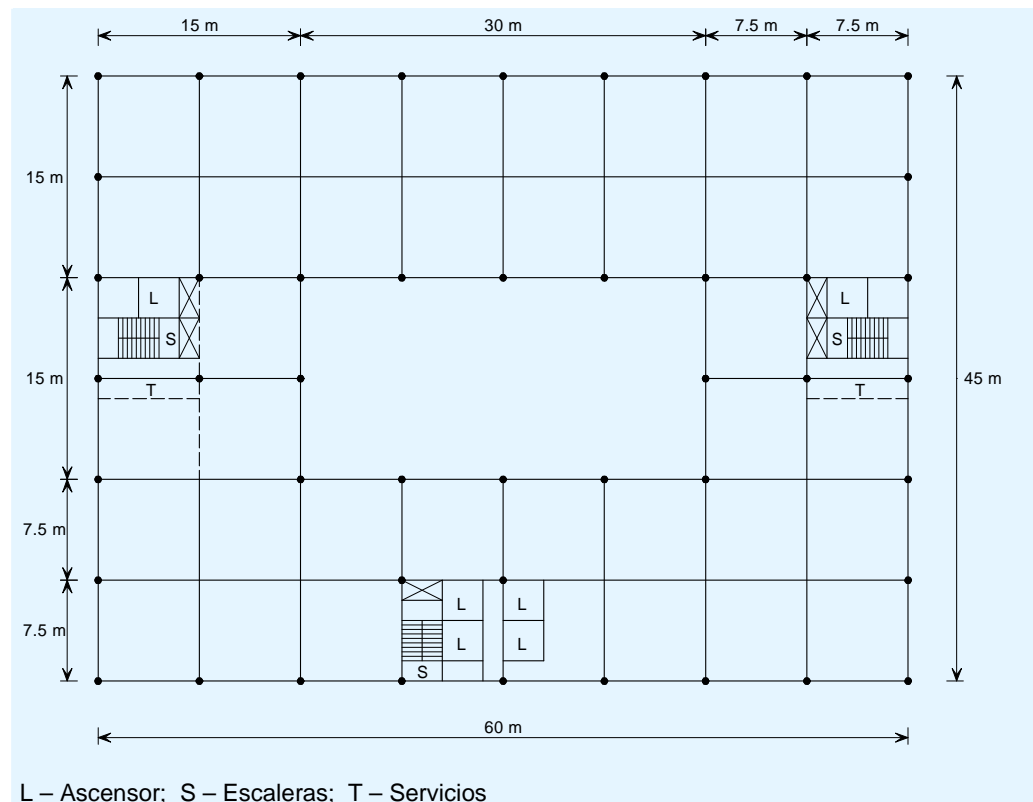
En oficinas con ventilación natural, se suele utilizar un edificio de entre 12 m y 15 m de ancho, que se puede conseguir mediante dos vanos de entre 6 m y 7,5 m. Se puede conseguir un único vano mediante forjados de placas alveolares prefabricadas de gran canto (400 mm o más), que se vayan de un lado al otro del edificio. La iluminación natural también desempeña un papel importante a la hora de elegir la anchura de la placa de forjado.

Sin embargo, en los edificios modernos, una solución de luz mayor proporciona una mayor flexibilidad en la distribución de los espacios. En las

oficinas con aire acondicionado, se suelen utilizar luces de entre 15 m y 18 m. La Figura 4.2 muestra un ejemplo del entramado de pilares para un edificio de gran luz en un edificio con un gran atrio.



**Figura 4.1 Entramado de pilares para una ventilación natural en oficinas**



**Figura 4.2 Entramado de pilares para un sistema de grandes luces en unas oficinas de prestigio con aire acondicionado**

## 4.2 Coordinación dimensional

La selección de la forma básica del edificio suele ser responsabilidad del arquitecto, condicionada por aspectos tales como la ubicación de la obra, los accesos, la orientación del edificio, las posibilidades de estacionamiento de vehículos, la urbanización y los requisitos locales de planificación. Los siguientes aspectos influyen en la selección de estructura.

- Entre las fuentes de luz natural debería haber entre 13,5 m y 20 m.

- Las zonas que requieren iluminación y ventilación naturales se extienden dos veces la altura forjado-techo desde las paredes exteriores – en otras zonas la luz y la ventilación artificiales son necesarias.
- Los atrios mejoran el uso eficiente del edificio y reducen los costes de mantenimiento.

#### 4.2.1 Influencia de la altura del edificio

La altura del edificio tiene una gran influencia en:

- El sistema estructural que se adopta
- El sistema de cimentación
- Los requisitos de resistencia al fuego y vías de evacuación
- El acceso (en ascensores) y el espacio de circulación
- La selección del sistema de cerramiento de fachada
- Velocidad de construcción y productividad de la obra.

En edificios de cierta altura, se suelen adoptar núcleos de hormigón o arriostramientos de acero colocados estratégicamente. Los edificios muy altos están altamente influenciados por el sistema de estabilización, pero se encuentran fuera del alcance de la presente guía.

Las dimensiones de los ascensores y su velocidad de desplazamiento también son consideraciones de importancia para edificios altos.

Dependiendo de la normativa de seguridad con respecto al fuego en un país concreto, puede que sea necesario el uso de rociadores para edificios de más de ocho plantas (aproximadamente 30 m de altura).

#### 4.2.2 Coordinación horizontal

La coordinación horizontal se ve dominada por la necesidad de zonas definidas de acceso vertical en planta, zonas de evacuación segura en caso de incendio y distribución vertical de las instalaciones. Los siguientes aspectos influyen en la posición de los núcleos de instalaciones y de acceso:

- Los sistemas de distribución horizontal para los servicios mecánicos
- Los requisitos de resistencia al fuego, que pueden ser determinantes en el diseño de las vías de evacuación y de la compartimentación
- La necesidad de distribuir los sistemas de estabilización (arriostramiento y núcleos de hormigón) de una forma efectiva en la planta del edificio.

Las disposiciones de la Figura 4.1 y Figura 4.2 satisfacen estos criterios.

Se puede incorporar un atrio para aumentar la iluminación del espacio ocupado y para crear zonas de circulación en la planta baja y en niveles intermedios. Los requisitos de diseño de los atrios son:

- La sujeción de la cubierta de gran luz del atrio
- Vías de acceso para circulación general

- Medidas de seguridad ante incendio mediante rutas de extracción de humo y vías de evacuación
- Niveles ligeros e instalaciones en oficinas internas.

### 4.2.3 Coordinación vertical

La altura objetivo entre forjados se basa en una altura forjado-techo de 2,5 m a 2,7 m para oficinas corrientes, o de 3 m para aplicaciones de mayor prestigio, más la profundidad de forjado, incluido el paso de las instalaciones. Habrá que considerar las siguientes alturas entre forjados en la fase de diseño conceptual:

Oficina de prestigio	4 – 4,2 m
Oficina corriente	3,6 – 4,0 m
Proyecto de renovación	3,5 – 3,9 m

Estos objetivos posibilitan una serie de soluciones estructurales. Si, por motivos de planificación, fuera preciso limitar la altura global del edificio, se podrían utilizar sistemas de forjados *Slim floor* o vigas integradas. Los sistemas de vigas integradas se suelen utilizar en proyectos de renovación en los que la altura entre forjados está limitada por la compatibilidad con el edificio o fachada existentes.

En una viga mixta de 12 m de luz, el canto del forjado es de unos 600 mm. También deben incluirse el espesor de la protección contra fuego (si fuera necesaria) y una tolerancia para las flechas (30 mm nominales).

Cuando la zona estructural y la zona de instalaciones se encuentran separadas, habría que añadir las siguientes dimensiones a la profundidad del forjado:

Suelo técnico	150 mm a 200 mm
Unidades de aire acondicionado	400 mm a 500 mm
Falso techo e iluminación	120 mm a 250 mm

No obstante, se pueden conseguir reducciones significativas en el canto total mediante la integración vertical de las zonas estructural y de instalaciones. Esto resulta especialmente efectivo para la construcción con grandes luces.

Para el diseño conceptual de estructuras de acero comerciales de varias plantas, se pueden utilizar las siguientes profundidades objetivo:

Construcción de vigas mixtas	800 mm – 1,200 mm
Vigas alveolares (con integración de instalaciones)	800 mm – 1,100 mm
Forjados de hormigón prefabricados (luz de 7,5 m)	1200 mm – 1200 mm
Forjados de hormigón prefabricados (luz de 14 m)	1450 mm – 1450 mm
<i>Slim floor</i> o vigas integradas	600 mm – 800 mm

## 4.3 Opciones para la estabilidad estructural

El sistema estructural necesario para garantizar la estabilidad se ve influenciado principalmente por la altura del edificio. En edificios de hasta

ocho plantas de altura, la propia estructura de acero puede aportar la estabilidad necesaria, pero en edificios de mayor altura, los núcleos de hormigón y los núcleos arriostrados de acero son más eficientes. Los sistemas estructurales que aportan estabilidad a un edificio se tratan a continuación.

#### 4.3.1 Estructuras rígidas

En edificios de hasta cuatro alturas, se pueden utilizar estructuras rígidas de manera que las uniones viga – pilar aporten una resistencia a flexión y una rigidez que resista las cargas horizontales. Por regla general esto sólo es posible con vigas de canto relativamente grande (de 400 mm a 500 mm) y aumentando el tamaño del pilar para resistir los momentos aplicados. Las uniones con chapa de extremo (soldada a las alas superior e inferior) aportan la rigidez necesaria.

#### 4.3.2 Estructuras arriostradas

En edificios de hasta 12 plantas, se suelen utilizar estructuras de acero arriostradas con arriostramiento en forma de cruz de San Andrés, en K o en V, que normalmente se ubica en una cavidad de la fachada o alrededor de las escaleras o en zonas de paso de instalaciones. El arriostramiento en cruz de San Andrés se diseña sólo a tracción (ignorando la resistencia a compresión del otro elemento) y suele ser una simple chapa de acero, aunque también se pueden utilizar angulares y perfiles en U.

Cuando no se desea ignorar la resistencia a compresión, se suelen utilizar perfiles tubulares, pudiendo también utilizarse angulares y perfiles en U.

Una estructura arriostrada de acero tiene las dos ventajas clave:

- La responsabilidad de la estabilidad durante la construcción recae sobre un único subcontratista
- La estructura es estable tan pronto como los elementos de arriostramiento se atornillan.

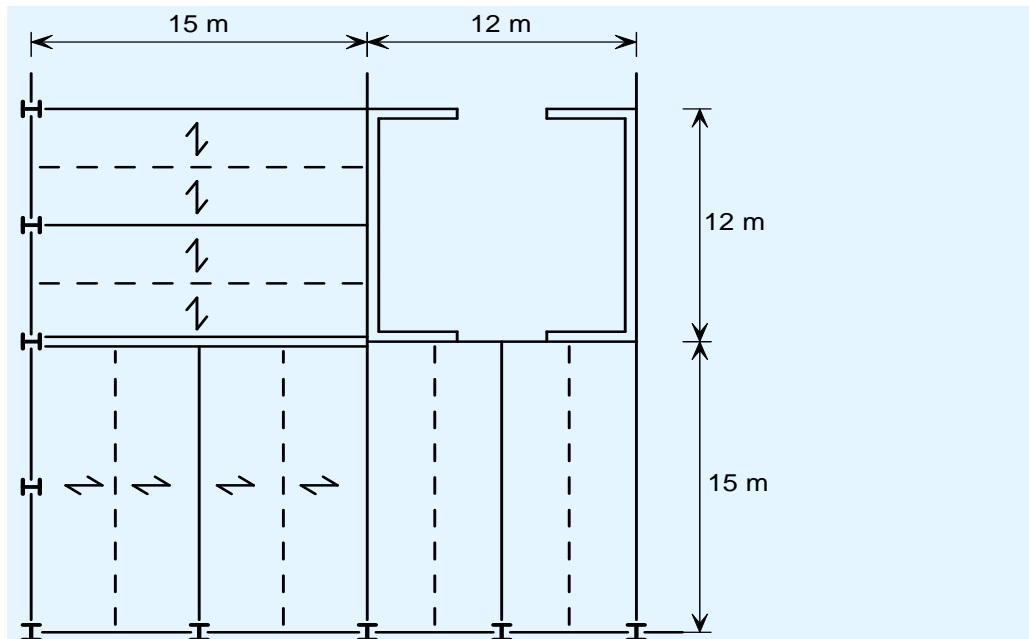
#### 4.3.3 Núcleos de hormigón o de acero

Los núcleos de hormigón son el sistema más práctico para edificios de hasta 40 plantas de altura, pero el núcleo de hormigón suele construirse normalmente antes que la estructura de acero. En este formato de construcción, las vigas a menudo se conectan los pilares en el perímetro del edificio y el núcleo de hormigón. Es necesario prestar especial atención a:

- La unión entre las vigas y el núcleo de hormigón
- El diseño de las vigas primarias más pesadas conectadas a la esquina del núcleo
- La seguridad ante incendio y la robustez edificios de grandes luces.

Requieren especial consideración las uniones entre las vigas de acero y los núcleos de hormigón, para permitir su ajuste, anticipando que el núcleo pudiera estar desplazado de su posición teórica. La unión en sí no puede finalizarse hasta que el hormigón in situ haya curado o hasta que se hayan soldado los elementos, con lo que es importante prestar atención a la estabilidad temporal.





**Figura 4.3 Configuración típica alrededor de un núcleo de hormigón**

La Figura 4.3 muestra una configuración típica de vigas alrededor de un núcleo de hormigón, donde se ilustra el empleo de vigas más pesadas en la esquina del núcleo. Podría ser necesaria una viga doble para minimizar la profundidad del forjado en la esquina del núcleo.



**Figura 4.4 Los núcleos mixtos de acero-hormigón aceleran la construcción**



Se pueden utilizar núcleos reforzados con acero como alternativa económica, en aquellos casos en los que la velocidad de construcción sea crítica. Se pueden instalar núcleos de doble piel junto con el resto de la subcontrata de estructura metálica realizándose el hormigonado posteriormente. Esta forma de construcción se muestra en la Figura 4.4.

## 4.4 Pilares

Los pilares de las estructuras de acero de varias plantas suelen ser secciones en H, que portan principalmente una carga axial. Cuando la estabilidad de la estructura se consigue mediante núcleos o mediante un discreto arriostramiento vertical, las vigas suelen diseñarse, como articuladas. El modelo de diseño que generalmente se acepta es que las uniones nominalmente articuladas generan momentos nominales en el pilar, que se calculan asumiendo que la reacción de la viga se produce a 100 mm desde la cara de la columna. Si las reacciones al otro lado del pilar son iguales, los momentos se anulan. Los pilares perimetrales tendrán un momento debido a que solo están unidos a vigas por un lado. El diseño de los pilares se contempla en detalle en la guía *Edificios de varias plantas, Parte 4: Diseño de detalle*<sup>[6]</sup>.

En el diseño preliminar, es apropiado basar la elección de la sección del pilar en la carga axial únicamente, pero asegurándose de que el pilar sólo trabaja al 90 % de su capacidad, para permitir una posterior inclusión de los momentos nominales.

Las dimensiones típicas de los pilares se indican en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1 Dimensiones típicas de pilares (para forjados mixtos de luces medianas)**

Número de forjados soportados por el pilar	Dimensión típica de perfil (h)
1	150
2 – 4	200
3 – 8	250
5 – 12	300
10 – 40	350

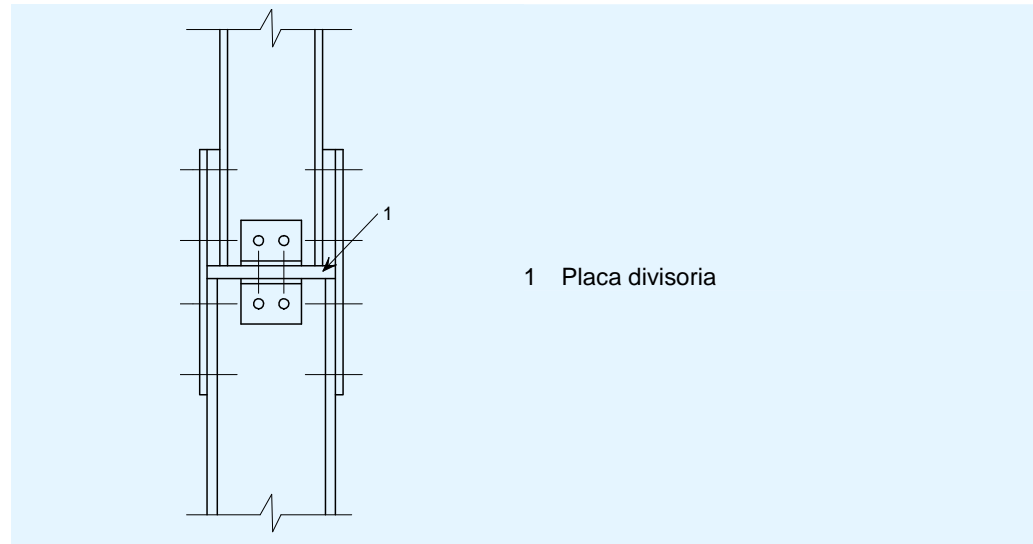
Aunque por razones arquitectónicas pudieran preferirse perfiles pequeños para los pilares, se deben considerar los problemas prácticos a la hora de unir las vigas del forjado a los pilares. La unión de una viga al eje menor de un perfil muy pequeño puede resultar difícil y costosa.

En pro de facilitar la construcción, los pilares suelen erigirse en longitudes de dos o tres plantas (es decir, aproximadamente de 8 m a 12 m de longitud). Los perfiles se unen mediante empalmes, normalmente a una distancia de 300 mm a 600 mm sobre el nivel del forjado.

Es habitual variar las dimensiones del pilar con la altura del edificio, para conseguir un mayor rendimiento de la estructura. Aunque pudiera resultar conveniente alinear los ejes de las secciones de los pilares, suele ser mejor alinear la cara externa de los mismos, de manera que todos los detalles en los

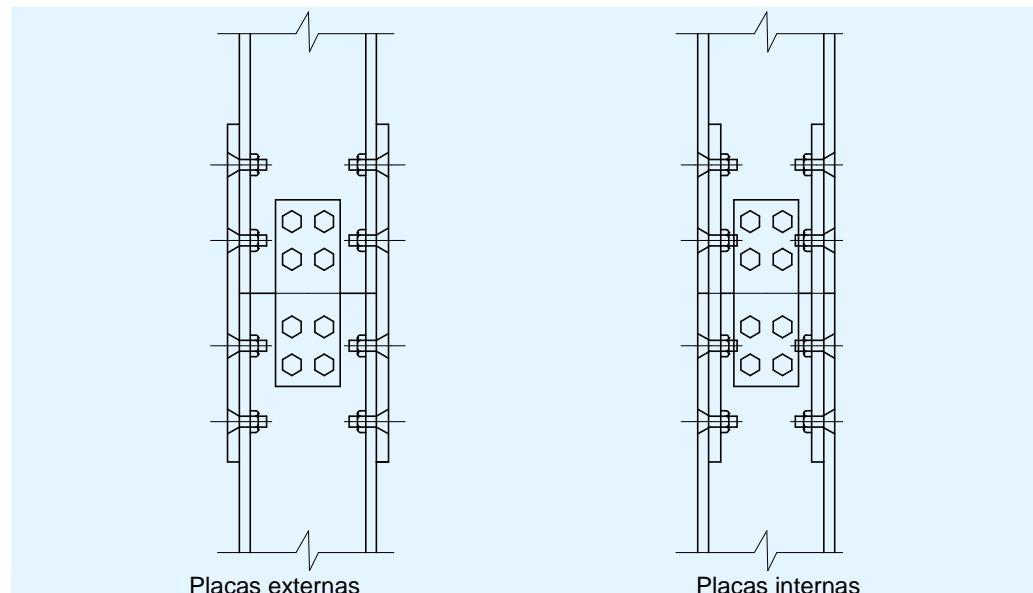
extremos y las sujeciones del cerramiento de fachada sean similares. Las vigas del forjado tendrán unas longitudes ligeramente diferentes, y en el cálculo ha de considerarse el momento inducido por el desplazamiento del pilar superior.

La Figura 4.5 muestra un detalle típico de un empalme de pilares, en el que dos perfiles de diferentes tamaños se han unido mediante una placa divisoria.



**Figura 4.5** Diseño típico de un empalme con contacto

Si hay limitaciones de espacio, es posible utilizar tornillos avellanados en las placas. Otra alternativa para empalmes en los que los pilares superior e inferior tienen el mismo perfil interno, es utilizar placas internas con tornillos avellanados. Estas dos opciones se muestran en la Figura 4.6.



**Figura 4.6** Empalme de pilares con tornillos avellanados

## 4.5 Opciones estructurales para sistemas de forjados

### 4.5.1 Disposición general de forjados

Hay disponible una amplia variedad de soluciones de forjados. La Tabla 4.2 muestra soluciones comúnmente utilizadas, que se describen con mayor detalle en las siguientes secciones. Aunque las soluciones de acero son adecuadas para pequeñas luces (6 m a 9 m), el acero tiene una gran ventaja sobre el resto de los materiales cuando se quiere proporcionar grandes luces (entre 12 m y 18 m). Las grandes luces son capaces de generar espacios exentos de pilares, con menor cantidad de cimientos, facilitando la adaptación si un cambio de uso en el futuro así lo requiere.

Los forjados que acompañan a una estructura metálica son generalmente de hormigón prefabricado o bien forjados mixtos. Las vigas pueden disponerse debajo del forjado (vigas colgadas), apoyando el mismo sobre el ala superior o pueden estar integradas en el canto del forjado, reduciendo así el canto global. El canto disponible es, a menudo, el factor determinante a la hora de elegir la solución.

Las vigas que se integran en la zona del forjado se conocen como vigas *slim floor* o vigas integradas y pueden ser mixtas o no. En los sistemas mixtos, los conectores van soldados al ala superior de la viga, transfiriendo la carga al forjado de hormigón. Los conectores a menudo se sueldan in situ al ala superior de la viga que se ha dejado sin pintar, a través de la chapa de acero. A pesar de los numerosos ensayos y estudios de investigación que demuestran que la soldadura a través de la chapa es adecuada, algunos organismos reguladores exigen que los conectores se suelden en taller, por lo que las chapas deberán ser de un único vano o deberán estar perforadas para que pueda encajar sobre los conectores. Otra opción es fijar los conectores a la viga mecánicamente (clavándolos con una pistola de disparo) a través de la cubierta.

Los forjados de hormigón prefabricados se utilizan en estructuras de poca altura, mientras que los forjados mixtos son comunes tanto en estructuras de baja como de gran en altura.

**Tabla 4.2 Soluciones de forjado comunes**

Forma de construcción	Solución
Edificios de baja altura, luces moderadas, sin restricciones en el canto del forjado	vigas colgadas forjados prefabricados o forjados mixtos
Luces moderadas (menos de 9 m), canto del forjado limitado	soluciones integradas – forjados prefabricados o mixtos
Edificios de baja altura, grandes luces (15 m)	vigas colgadas en la fachada elementos de hormigón prefabricado (15 m), forjados mixtos con vigas secundarias de acero de 15 m de luz
Edificios de media y de gran altura, luces moderadas, sin restricciones en el canto del forjado	viga colgada, construcción mixta
Edificios de media y de gran altura, grandes luces (hasta 18 m), canto del forjado limitado	forjados mixtos con vigas secundarias de acero alveolares de grandes luces

#### 4.5.2 Disposición de vigas mixtas

Las vigas mixtas funcionan con losas mixtas. Para el diseño de estructuras ortogonales, se consideran dos disposiciones:

- Vigas secundarias de gran luz, sustentadas por vigas primarias de luz menor (Figura 4.7). En este caso, se pueden seleccionar las vigas primaria y secundaria para que tengan aproximadamente el mismo canto.
- Vigas primarias de gran luz, que sustentan vigas secundarias de menor luz (Figura 4.8). En este caso, las vigas primarias tienen un canto mayor.

Las vigas alveolares son más eficientes cuando se utilizan como vigas secundarias de gran luz, mientras que las vigas armadas son más eficientes para las vigas primarias de gran luz, en las que los esfuerzos cortantes son superiores. También es posible eliminar las vigas secundarias utilizando losas mixtas de gran luz y uniendo las vigas primarias directamente a las columnas.

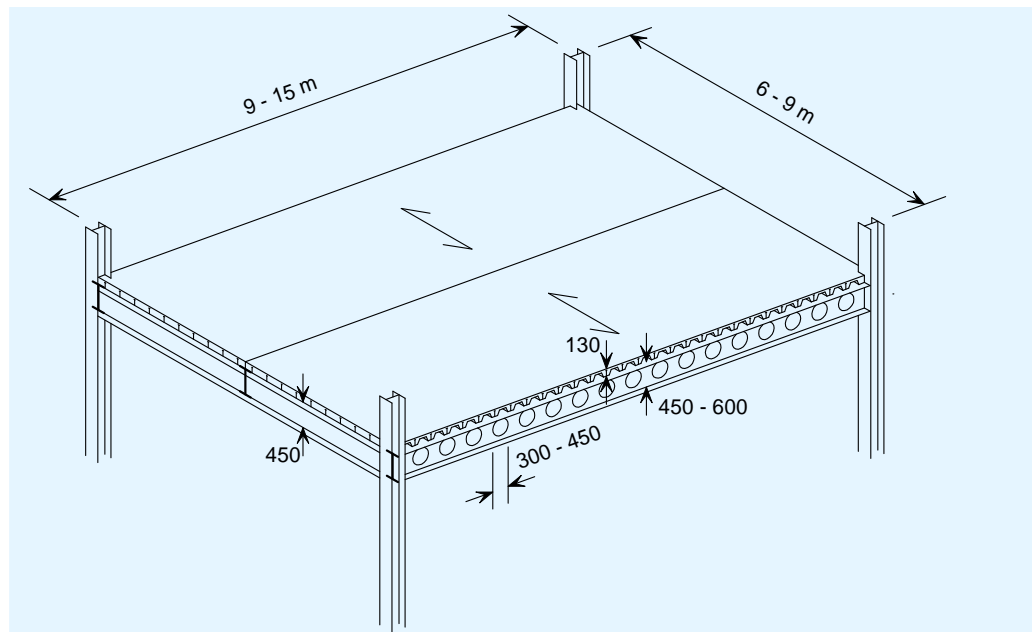
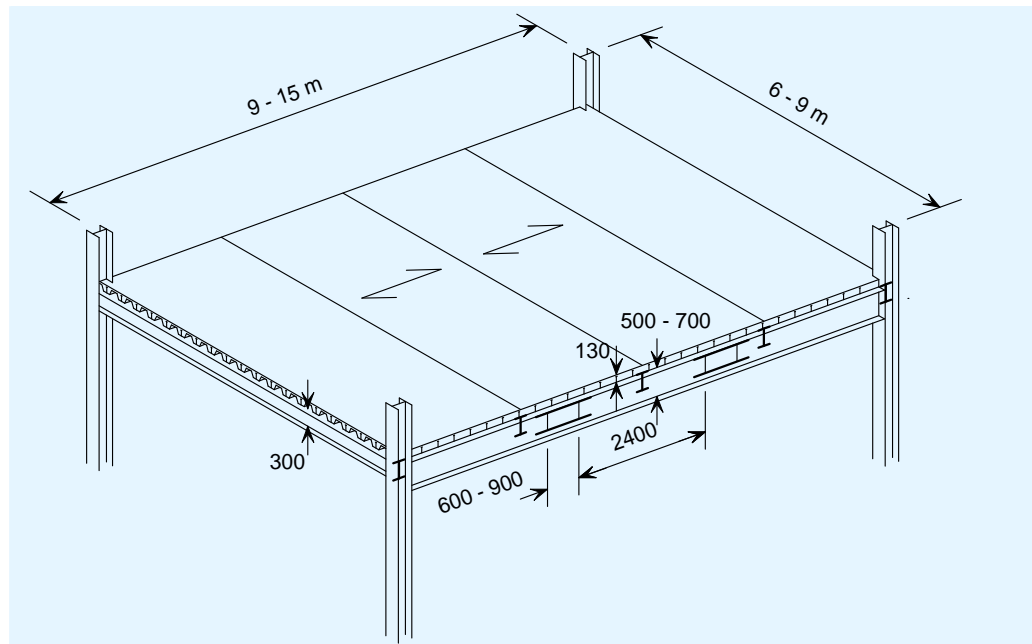
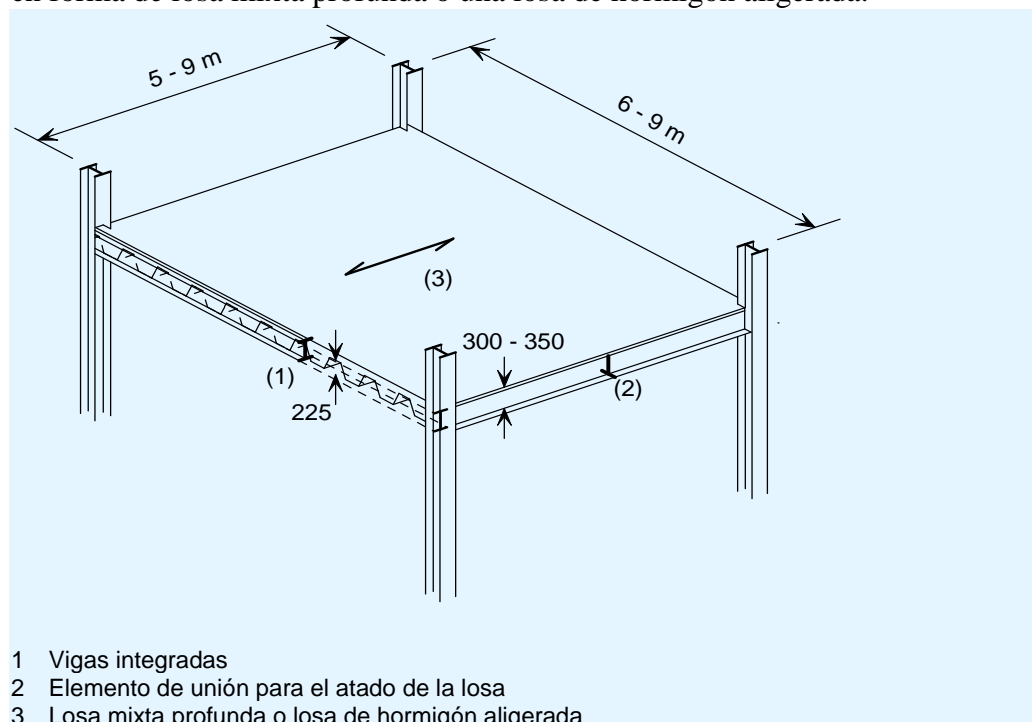


Figura 4.7 Vigas secundarias de grandes luces



**Figura 4.8 Vigas primarias de gran luz y vigas secundarias de luz menor**

Las vigas integradas son un caso especial en el que las vigas van de pilar a pilar y se eliminan las vigas secundarias. Estas vigas se disponen por regla general en entramados cuadrados, tal y como se ilustra en la Figura 4.9. La losa se sustenta sobre el ala inferior o la placa inferior saliente de la viga, pudiendo ser en forma de losa mixta profunda o una losa de hormigón aligerada.



- 1 Vigas integradas
- 2 Elemento de unión para el atado de la losa
- 3 Losa mixta profunda o losa de hormigón aligerada

**Figura 4.9 Vigas integradas o Slim Floor**

La Figura 4.10 muestra el rango de aplicación de varias soluciones estructurales tanto en acero como en hormigón. Las soluciones de acero de gran luz ( $> 12$  m) permiten la integración de instalaciones. Las vigas alveolares y las cerchas mixtas resultan más eficientes para vigas secundarias de gran luz,

mientras que las vigas armadas suelen utilizarse para vigas primarias de gran luz.

	Luz (m)					
	6	8	10	13	16	20
Losa plana de hormigón armado	■					
Vigas integradas y losa mixta profunda	■	■				
Vigas integradas con losas prefabricadas	■	■	■			
Vigas y losa mixtas		■	■	■		
Vigas alveolares			■	■	■	■
Vigas alveolares mixtas			■	■	■	■
Cerchas mixtas					■	■

**Figura 4.10 Rango de aplicación de varias soluciones estructurales**

### 4.5.3 Características de la construcción con grandes luces

Las vigas de gran luz han ganado popularidad en el sector de la construcción comercial porque ofrecen las siguientes ventajas de cálculo y construcción.

- Se eliminan los pilares internos, proporcionando mayor flexibilidad y eficiencia del espacio interior
- Las instalaciones se pueden integrar en el canto del forjado, con lo que se reduce la altura entre forjados
- Se necesitan menos componentes (alrededor de un 30% menos de vigas), lo que reduce el tiempo de construcción y de montaje
- Se pueden reducir los costes de protección contra el fuego debido a la masividad de los elementos de grandes luces (peso : perfil expuesto).
- En el caso de las vigas alveolares, los agujeros circulares múltiples para el paso de instalaciones son más baratos que los agujeros rectangulares
- Los costes de la estructura de acero no se ven incrementados de forma significativa, a pesar de contar con luces mayores
- Los costes globales de construcción se ven incrementados en una cantidad despreciable (menor al 1 %).

### 4.5.4 Cantidades aproximadas de acero

En el cálculo de edificios de oficinas con forma rectangular en planta, de modo orientativo, se pueden utilizar pesos representativos de acero. Estas cantidades aumentarán significativamente para edificios no-rectangulares, edificios altos o edificios con atrios o fachadas complejas.

Los valores aproximados se presentan en la Tabla 4.3 expresados según la superficie total del edificio, sin incluir la estructura de la fachada, el atrio o la cubierta.



**Tabla 4.3** Peso aproximado de estructuras de acero

Forma del edificio	Cantidades aproximadas de acero (kg/m <sup>2</sup> de forjado)			
	Vigas	Pilares	Arriostro amiento	Total
Edificio de 3 o 4 plantas de forma rectangular	25–30	8–10	2–3	35–40
Edificio de 6 – 8 plantas de forma rectangular	25–30	12–15	3–5	40–50
Edificio de 8 – 10 plantas con grandes luces	35–40	12–15	3–5	50–60
Edificio de 20 plantas con núcleo de hormigón	25–30	10–13	1–2	40–50
Edificio de 20 plantas con núcleo arriostrado de acero	25–30	20–25	8–10	55–70

## 4.6 Factores que influyen en la solución estructural

El programa de construcción es uno de los elementos clave de cualquier proyecto, debiendo considerarse a la vez que el coste, las instalaciones, la fachada y los acabados. La solución estructural tiene un papel clave en el programa y en el coste. Las soluciones estructurales que se pueden instalar de forma rápida y segura, permiten un pronto acceso al resto de los gremios.

### 4.6.1 Condiciones en obra

Cada vez más, las estructuras se construyen en solares y terrenos en los que una construcción anterior ha dejado un legado permanente. En los centros de ciudad, se suele preferir una solución con menos cimientos, aunque con una carga mayor, lo que resulta en vanos o luces mayores en la estructura.

Un solar confinado puede presentar unas restricciones particulares a la solución estructural, como, por ejemplo, las dimensiones de los elementos que se pueden suministrar e instalar. La limitación de espacio puede resultar en la necesidad de que el acero se instale directamente desde el camión en la carretera. Puede haber restricciones para trabajar a determinadas horas del día, haciendo que los programas de montaje resulten relativamente inflexibles. Una plataforma móvil puede proporcionar un lugar de almacenamiento temporal, acelerando el proceso de montaje, tal y como se muestra en la Figura 2.2.

### 4.6.2 Grúas

El número de grúas de un proyecto dependerá de:

- Dimensión y forma del solar – posibilidad de abarcar la obra entera, incluida la descarga de materiales.
- Las dimensiones del proyecto – que condiciona la viabilidad económica de utilizar más de una grúa. En proyectos en el centro de ciudades, las grúas torre se suelen colocar en la ubicación del ascensor o del atrio.
- Empleo de grúas móviles adicionales – las estructuras de varias plantas suelen construirse con una grúa torre, que puede complementarse con grúas móviles para ciertas operaciones de elevación de gran peso.

A modo orientativo, una velocidad de montaje de entre 20 y 30 unidades al día es una velocidad razonable. Considerando pesos medios de los elementos, se alcanzan unas 10-12 toneladas de acero al día. Por lo tanto, existe una ventaja

en utilizar menos vigas de gran luz. En aquellos casos en los que sea posible, la fabricación previa reduce el número de elementos que van a elevar, aumentando las velocidades de montaje.

#### 4.6.3 Instalación de forjados colaborantes

Los forjados mixtos están constituidos por chapa perfilada, que se eleva en paquetes y se coloca manualmente sobre la estructura de acero. Tan pronto como la estructura de acero está montada, antes de colocar la chapa perfilada, se colocan redes de seguridad para prevenir accidentes en caso de caída de los operarios. Se puede continuar con el montaje de los niveles superiores de la estructura de acero, ya que ello no impide la colocación de las chapas perfiladas, pero normalmente, las chapas se van colocando a medida que se va levantando la estructura de acero. Los forjados terminados sirven de plataforma segura de trabajo para el montaje de la estructura de acero subsiguiente, y permiten la ejecución de otras actividades en los pisos bajos, tal y como se puede ver en la Figura 4.11. Por este motivo, se suele hormigonar el forjado superior de grupos de forjados que normalmente incluyen tres pisos.



**Figura 4.11 Los forjados colaborantes ofrecen una plataforma de trabajo segura durante la fase de construcción**

#### 4.6.4 Instalación de losas de hormigón prefabricadas

Es difícil colocar las losas de hormigón prefabricadas una vez que la estructura metálica está montada. Lo más fácil es colocar las losas a medida que se va montando la estructura de cada forjado y que el suministro e instalación formen parte de la subcontratación del estructurista. Por regla general, se instalan los pilares y las vigas que soportan el forjado así como los elementos estrictamente necesarios para asegurar la estabilidad los pilares. Después se colocan las losas prefabricadas y se continúa con los elementos de los forjados superiores.

## 4.7 Estructura – integración de instalaciones

En la mayoría de edificios de oficinas es necesaria la instalación de aire acondicionado o climatización. Dichos sistemas requieren sistemas horizontales y verticales de distribución. La provisión de estas instalaciones es de vital importancia para el diseño de la estructura y elementos estructurales.

La decisión básica de integrar los conductos en el canto del forjado o de simplemente suspenderlos a un nivel inferior afecta a la selección de los perfiles, al sistema de protección contra incendios, al cerramiento de fachada (coste y programa) y a la altura global del edificio. Otros sistemas hacen posible la instalación del aire acondicionado mediante una tarima elevada.

Los sistemas más utilizados son el sistema de volumen de aire variable (VAV) y el sistema Fan Coil. Los sistemas VAV se suelen utilizar en edificios con un solo propietario, debido a sus costes menores de ejecución. Los sistemas Fan Coil se suelen utilizar en edificios para alquilar, por su menor coste capital.

Por regla general, una zona de 400 mm permite la suspensión de instalaciones bajo el forjado. Se suelen prever 150–200 mm adicionales para protección contra incendio, falso techo, luminarias y una flecha nominal de 25 mm. Los terminales de climatización se colocan entre las vigas, donde hay más espacio.

La integración de instalaciones se consigue haciendo pasar las mismas por los agujeros de la estructura de acero. Dichos agujeros pueden ser individuales o varias aperturas regulares a lo largo de la viga.

Las vigas alveolares permiten la distribución de varios conductos circulares alrededor del edificio, tal y como se puede ver en la Figura 4.12, especialmente cuando se pasa por el núcleo del edificio. También se pueden crear orificios alargados en las vigas alveolares, tal y como se muestra en la Figura 4.13.

Si no hay restricciones de altura global, las instalaciones se pueden colocar bajo la estructura del forjado. La penalización es una mayor altura en cada forjado y una mayor superficie de cerramiento de fachada.





**Figura 4.12** Viga alveolar con múltiples conductos para el paso de instalaciones



**Figura 4.13** Aperturas alargadas con rigidizadores horizontales

La Figura 4.14 muestra un ejemplo de la distribución de instalaciones bajo el forjado de una viga integrada. La solución de forjado integrado de menor canto se consigue con una cubierta profunda y vigas de acero asimétricas. Las instalaciones se ubican en los nervios de la chapa de forjado, y pasan a través de las vigas. Esta disposición limita las dimensiones de los conductos y componentes de las instalaciones.



**Figura 4.14** Distribución de instalaciones por debajo de un forjado de vigas integradas

## 5 SISTEMAS DE FORJADOS

Además de su función primaria de resistencia a la carga vertical, los forjados también transfieren cargas horizontales al arriostramiento vertical. Además, el forjado, las vigas y los pilares tienen que cumplir la resistencia al fuego aplicable en cada caso (normalmente de 60 a 120 minutos).

Las instalaciones se pueden integrar con el forjado o bien ubicarse suspendidas bajo el forjado (tal y como se describe en la sección 4.6). En los edificios comerciales, los suelos técnicos permiten distribuir fácilmente las instalaciones (en particular, las eléctricas y de comunicación).

En esta sección se describen algunos sistemas de forjado que se utilizan en edificios de varias plantas. Se describen las características principales de cada sistema de forjado, con indicaciones sobre importantes aspectos de diseño. En esta sección no se incluyen procedimientos detallados de cálculo, sino que se remite al lector a las fuentes en las que se puede encontrar dicha información.

Se tratan los siguientes sistemas de forjados:

- Vigas mixtas y forjados colaborantes
- Vigas mixtas de gran luz, con agujeros para el paso de instalaciones
- Vigas mixtas alveolares con losas mixtas y cubierta de acero
- Vigas integradas con unidades de hormigón prefabricadas
- Vigas mixtas y no-mixtas con unidades de hormigón prefabricadas.

### 5.1 Construcción mixta

En las siguientes secciones, se presentan los enfoques de diseño para la construcción mixta. Las chapas pueden tener perfil entrante o perfil trapezoidal. Un perfil entrante necesita más hormigón que uno trapezoidal, pero posee mayor resistencia al fuego que el perfil trapezoidal para una profundidad de losa determinada. Con una chapa trapezoidal se pueden alcanzar luces mayores que con una entrante, pero se ve reducida la resistencia a cortante de los conectores por la influencia de la forma.

Por regla general, se utiliza hormigón de peso normal (NWC, del inglés *normal weight concrete*), aunque el hormigón ligero (LWC, del inglés *lightweight concrete*) es estructuralmente eficiente, y en algunos países se puede disponer de él fácilmente.

### 5.2 Vigas mixtas y forjados colaborantes

#### 5.2.1 Descripción

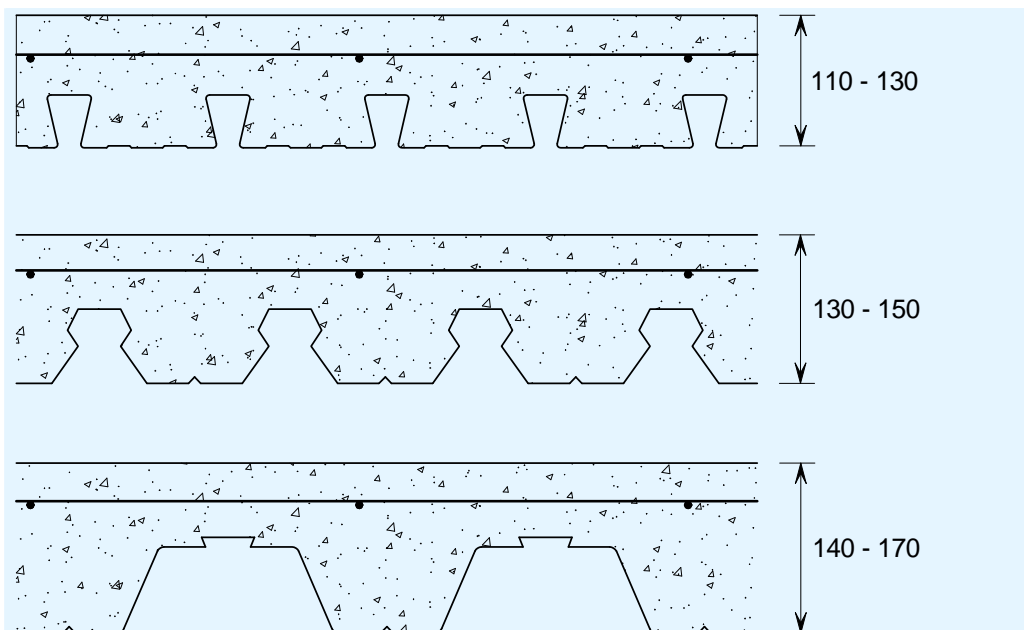
La construcción mixta se compone de vigas de acero colgadas con conectores soldados al ala superior que permitan a la viga actuar de forma conjunta con un forjado colaborante hecho *in situ*.



El forjado colaborante está formado por una chapa de acero perfilada, que puede tener diferentes formas, soportada por las vigas secundarias con luces de entre 3 m y 4 m. En la Figura 5.1 se ilustran los perfiles típicos junto con sus espesores típicos de losa. A menudo se utiliza una profundidad de losa 'objetivo' de 130 mm para perfiles de 50 ó 60 mm de profundidad, aumentando a 150 mm para perfiles de 80 mm de profundidad. El espesor de la chapa es de entre 0,8 y 1,2 mm, dependiendo de las luces.

Generalmente la chapa se diseña para soportar el peso del hormigón húmedo y las cargas existentes durante el proceso de construcción a modo de elemento continuo sobre dos o tres vanos. Por el contrario, la losa mixta se suele diseñar como simplemente apoyada. La acción mixta que se produce una vez que el hormigón ha fraguado hace que el diseño esté condicionado por las cargas que se generan durante el proceso de construcción, dictando así la luz máxima del forjado. La luz del forjado podría aumentarse mediante apuntalamiento de la chapa en la fase de construcción, pero esto limita la velocidad de construcción, por lo que normalmente se tiende a no apuntalar.

Las vigas secundarias van apoyadas sobre las vigas primarias. Se suelen diseñar como vigas mixtas, a excepción de las vigas de extremo, que normalmente no lo son. Sin embargo, se suelen utilizar conectores para proporcionar integridad estructural y resistencia a las cargas de viento. La Figura 5.2 muestra un ejemplo de una viga mixta de extremo.



**Figura 5.1 Cubierta de perfiles utilizada en la construcción mixta**

Los conectores normalmente se sueldan in situ a través de la chapa para garantizar una fijación segura a la viga, y conseguir que la chapa estabilice el ala comprimida de la viga durante la fase de construcción.

Para mejorar su resistencia al fuego, se coloca una armadura de unos 140 mm a 200 mm<sup>2</sup>/m en la losa, para ayudar a distribuir las cargas localizadas, para que actúe como armadura transversal en torno a los conectores y para reducir el agrietamiento de la losa sobre las vigas.

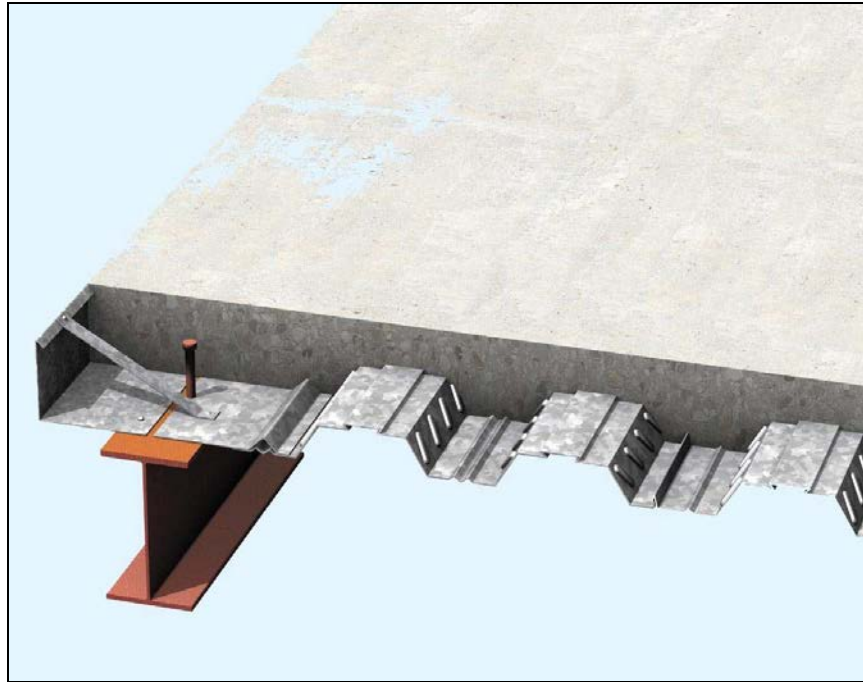


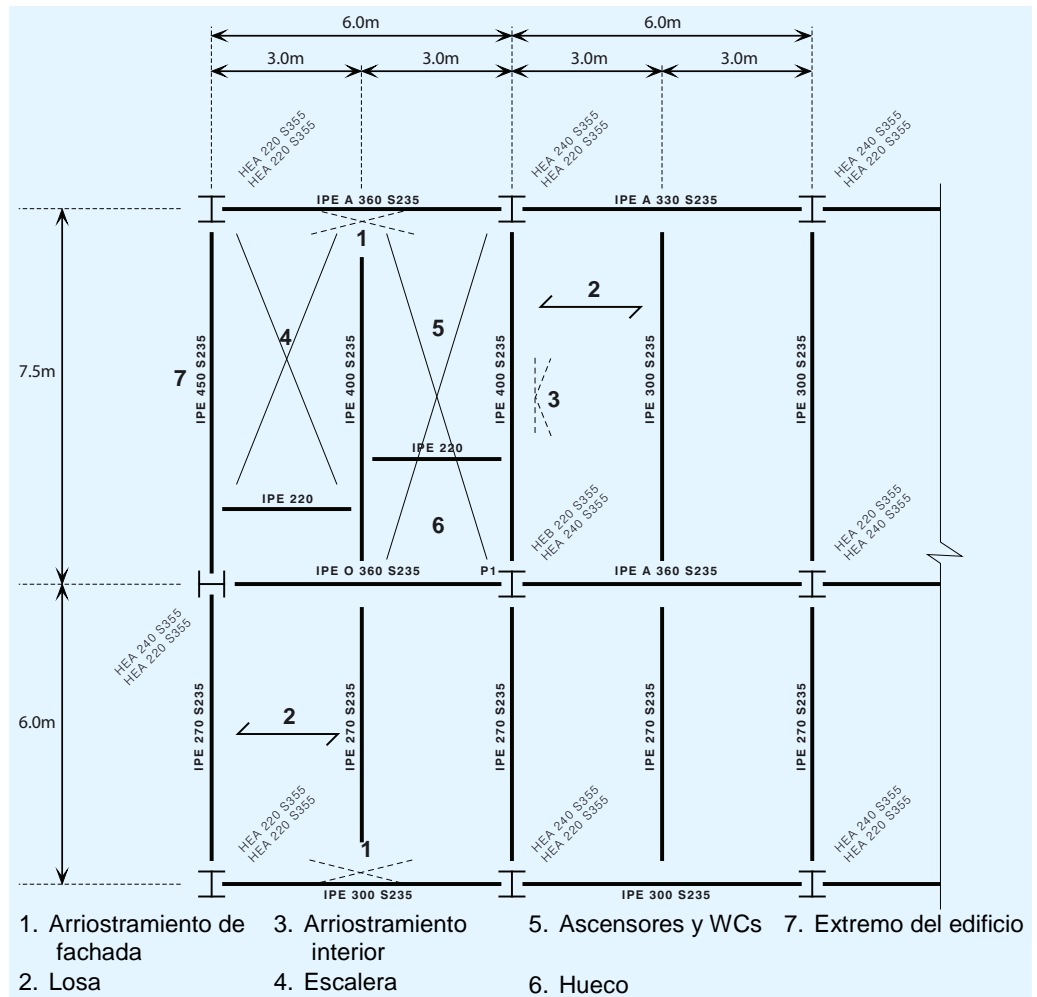
Figura 5.2 Viga de extremo en la construcción mixta

### 5.2.2 Luces típicas de viga y criterios de cálculo

Las vigas secundarias suelen tener una luz de 6 m a 15 m, espaciadas entre 3 m y 4 m (preferiblemente 3,75 m como máximo). Las vigas primarias se diseñan con luces de 6 m a 12 m, con perfiles IPE. Se suele utilizar un entramado de vigas rectangular, en el que las vigas secundarias son las de mayor luz, para que las vigas primarias y secundarias sean de dimensiones parecidas. En la Figura 5.3 se muestra una disposición estructural típica.

Las vigas de extremo pueden ser de más canto que las vigas internas debido a los requisitos de servicio del cerramiento de fachada. Asimismo, en las vigas de extremo mixtas, se deben colocar barras en U alrededor de los conectores.

En vigas secundarias en grado S355 la comprobación crítica suele ser la flecha total. Asimismo, en vigas primarias en grado S235 o S275 la comprobación crítica suele ser la resistencia a la flexión.



**Figura 5.3** Viga mixta – ejemplo de la disposición de forjado con estructura de acero en un edificio de 4 plantas de planta rectangular

### 5.2.3 Integración de instalaciones

Las unidades de calefacción y ventilación se pueden situar entre las vigas, pero los conductos se pasan generalmente por debajo de las vigas de poco canto. Para un entramado 7,5 m x 6 m como el de la Figura 5.3, el canto total del forjado es de 1100 mm a 1200 mm, que incluye 150 mm del suelo técnico y 400 mm bajo las vigas para los conductos de aire acondicionado, tal y como se ilustra en la Figura 5.4. Esta profundidad de forjado puede reducirse hasta 700 mm si no hay instalación de aire acondicionado.

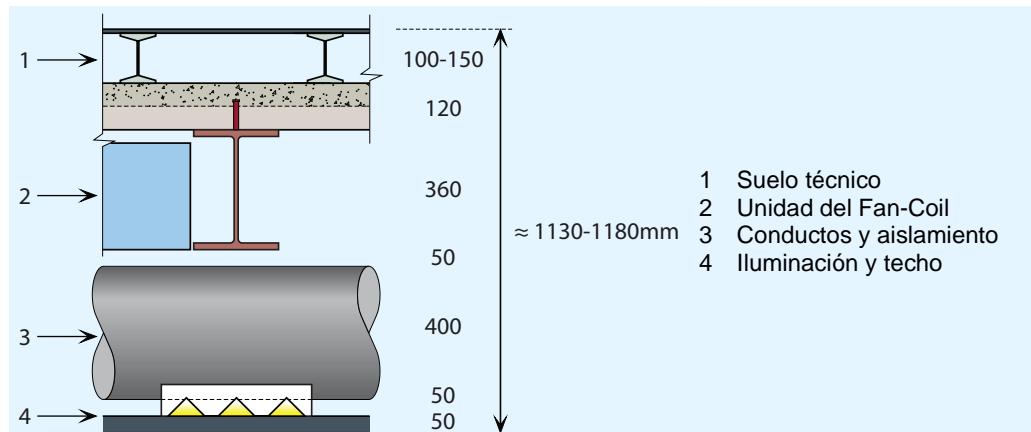


Figura 5.4 Canto total del forjado – construcción mixta típica de luces cortas

### 5.2.4 Protección contra el fuego

Vigas (valores típicos):

Recubrimiento intumescente de 1,5 mm de espesor para una resistencia al fuego de hasta 90 minutos

Protección con paneles de 15-25 mm de espesor para una resistencia al fuego de hasta 90 minutos

Pilares (valores típicos):

Protección con paneles de 15 mm de espesor para una resistencia al fuego de hasta 60 minutos

Protección con paneles de 25 mm de espesor para una resistencia al fuego de hasta 90 minutos

Tabla 5.1 Dimensiones de vigas secundarias mixtas usando perfiles IPE o HE (acero S235) en un entramado de forjado

Viga de acero laminada	Vano máximo de una viga secundaria				
	6 m	7,5 m	9 m	10,5 m	12 m
Peso mínimo	IPE 270A	IPE 300	IPE 360	IPE 400	IPE 500
Profundidad mínima	HE 220A	HE 240A	HE 280A	HE 320A	HE340B
Acción variable	= 3 kN/m <sup>2</sup> + 1 kN/m <sup>2</sup> de particiones				
Profundidad de losa	= 130 mm; Distancia entre vigas = 3 m				

**Tabla 5.2 Luz máxima de vigas secundarias para una carga típica de oficina**

IPE	Luz (m)	HEA	Luz (m)	HEB	Luz (m)
200	5,0	200	5,8	200	6,7
220	5,6	220	6,5	220	7,7
240	6,2	240	7,3	240	8,6
-	-	260	8,0	260	9,3
270	7,0	280	8,7	280	9,9
300	7,9	300	9,6	300	10,9
330	8,4	320	10,3	320	11,6
-	-	340	11,3	340	12,3
360	9,4	360	11,9	360	12,9
400	10,4	400	13,1	400	13,8
450	12,2	450	14,2	450	14,7
500	13,6	500	15,1	500	15,6
550	14,7	550	15,9	550	16,4
600	15,7	600	16,6	600	17,1

Acción variable = 3 kN/m<sup>2</sup> + 1 kN/m<sup>2</sup> de particiones  
 Profundidad de losa = 130 mm; Distancia entre vigas = 3 m

**Tabla 5.3 Dimensiones de vigas primarias mixtas (acero S235) en un entramado de forjado**

Vano de vigas secundarias	Vano máximo de una viga primaria				
	6 m	7,5 m	9 m	10,5 m	12 m
6 m	IPE 360	IPE 400	IPE 450	IPE 550	IPE 600R
7,5 m	IPE 400	IPE 450	IPE 550	IPE 600R	IPE 750 × 137
9 m	IPE 450	IPE 500	IPE 600	IPE 750 × 137	IPE 750 × 173

Acción variable = 3 kN/m<sup>2</sup> + 1 kN/m<sup>2</sup> de particiones  
 Profundidad de losa = 130 mm; Distancia entre vigas = 3 m

## 5.3 Vigas mixtas de gran luz con alvéolos en el alma

### 5.3.1 Descripción

Las vigas mixtas de gran luz a menudo se diseñan con grandes alvéolos en el alma para facilitar la integración de las instalaciones, como se puede ver en la Figura 5.5. Los entramados van dispuestos de manera que las vigas secundarias de gran luz están colocadas a una distancia de entre 3 m y 3,75 m, y se sustentan mediante vigas primarias de luz menor. Otra alternativa es que las vigas secundarias de poca luz (6 a 9 m) sean sustentadas por vigas primarias de gran luz. Los orificios para servicios pueden ser circulares, alargados o rectangulares, y pueden tener hasta el 70 % del canto de la viga. Su relación longitud/altura puede ser de hasta 3,5. Pueden hacer falta rigidizadores de alma alrededor de los orificios grandes.



**Figura 5.5 Vigas con diferentes tamaños de orificio, y con protección ante incendio aplicada en taller**

### **5.3.2 Luces de viga y criterios de cálculo**

Vigas secundarias de gran luz: Luz de 9 m a 15 m con un espaciamiento de 3 m a 3,75 m.

Vigas primarias de gran luz: Luz de 9 m a 12 m con un espaciamiento de 6 m a 9 m.

En la Figura 5.6 se ilustra una disposición estructural típica que permite eliminar los pilares internos. Los orificios ovalados o rectangulares deberán encontrarse en zonas de bajo cortante, como, por ejemplo, en el tercio central de la viga, para vigas con carga uniforme. En la Figura 5.7 se pueden ver otras recomendaciones sobre las dimensiones de los orificios. Las comprobaciones críticas suelen ser la flecha y la respuesta dinámica, así como la resistencia a cortante en los grandes orificios cerca de los soportes o cargas localizadas.



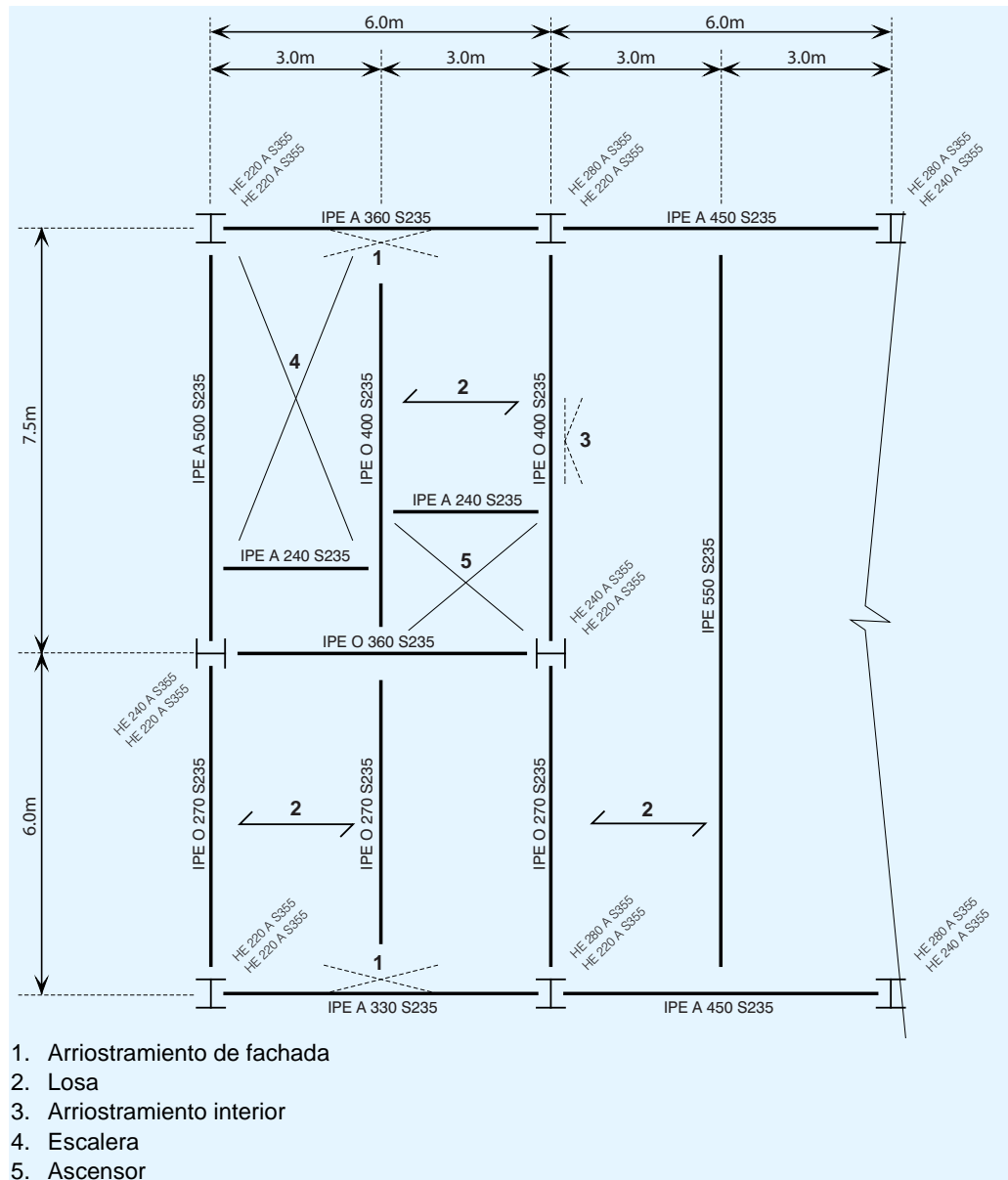
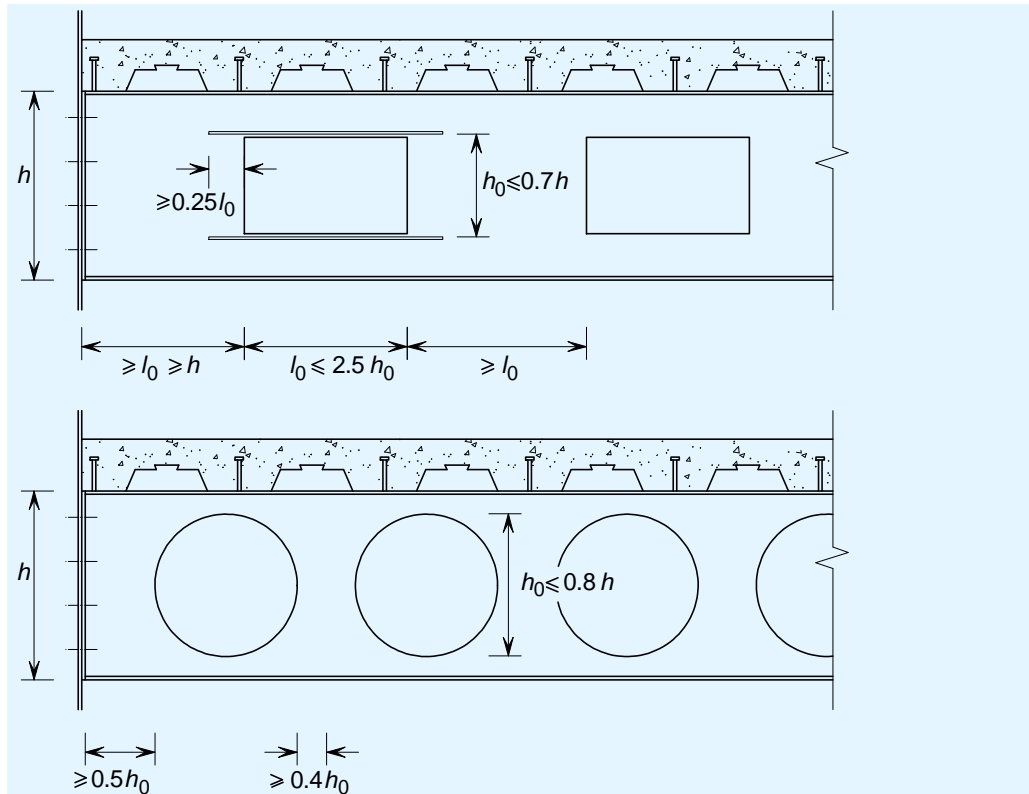


Figura 5.6 Vigas mixtas de gran luz (con orificios en el alma)



**Figura 5.7** Límites de dimensión y espaciamiento de alvéolos circulares y rectangulares

### 5.3.3 Integración de instalaciones

Los conductos para los servicios pueden ser colocados a través de los orificios en el alma de las vigas. Los conductos de aire acondicionado tienen un diámetro aproximado de 400 mm, pero puede variar en función del fabricante. Los de mayor tamaño pueden oscilar entre 450 mm y 750 mm si se trata de sistemas de volumen de aire variable, y pueden situarse entre vigas. El canto total de la zona de forjado será de:

1000 mm para vigas de 13,5 m de luz (con orificios de 300 mm de diámetro)

1200 mm para vigas de 15 m de luz (con orificios de 400 mm de diámetro)

### 5.3.4 Protección contra el fuego

La protección contra el fuego puede ser mediante paneles o pintura intumescente (la pintura intumescente se puede aplicar en taller en una sola mano con un espesor de hasta 1,8 mm para conseguir una resistencia al fuego de 90 minutos), tal y como se puede ver en la Figura 5.5.

## 5.4 Vigas mixtas alveolares con forjado colaborante

### 5.4.1 Descripción

Las vigas alveolares son vigas con orificios circulares distribuidos uniformemente a lo largo de la misma, tal y como se puede ver en la Figura 5.8. Las vigas se fabrican cortando y volviendo a soldar secciones de acero laminadas en caliente. Los orificios, o "alvéolos" suelen ser circulares, lo que resulta ideal para los conductos circulares, pero pueden ser ovalados, rectangulares o hexagonales. Los alvéolos pueden rellenarse para crear un alma

sólida en posiciones de elevado esfuerzo cortante, como en los soportes o al lado de cargas puntuales.

El tamaño y la distancia entre orificios pueden estar limitados por el método de fabricación. No obstante, se pueden seleccionar los cordones superior e inferior entre todas las secciones disponibles en el mercado. Para el diseño de vigas mixtas el cordón superior suele ser más ligero que el cordón inferior.

Las vigas alveolares pueden funcionar como vigas secundarias de gran luz, soportando directamente el forjado o como vigas primarias de gran luz, soportando otras vigas alveolares o vigas secundarias de sección en I.



**Figura 5.8 Vigas secundarias alveolares de grandes luces y con alvéolos circulares regulares**

#### **5.4.2 Luces de viga y criterios de cálculo**

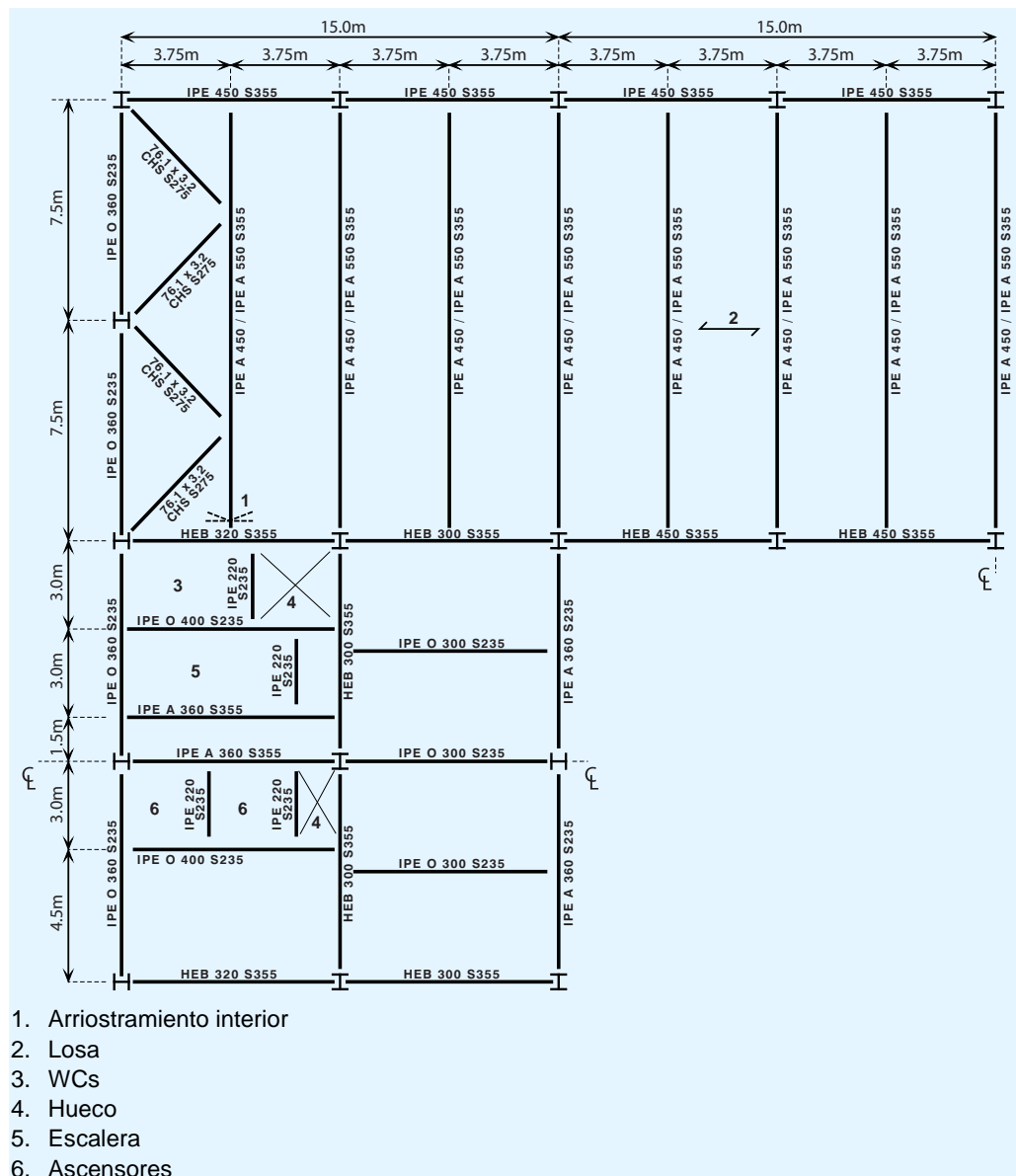
El espaciamiento entre las vigas secundarias deberá ser de 3 m a 3,75 m para evitar el apuntalamiento temporal de la chapa durante la construcción. Los tamaños de los orificios suelen ser del 60 al 80% del canto de la viga. Puede ser necesario colocar rigidizadores alrededor de los orificios grandes. Los orificios grandes (ovalados o rectangulares) deben encontrarse en zonas de poco esfuerzo cortante, como, por ejemplo, en el tercio central de la luz en vigas con carga uniformemente distribuida.

En la Figura 5.9 se puede ver una disposición estructural de una esquina de forjado alrededor de un atrio. En este caso, el entramado del forjado es de 15 m × 7,5 m, en el cual, las vigas alveolares tienen una luz de 15 m y una profundidad de 670 mm. Se eliminan las vigas internas salvo en torno a los núcleos de servicios.

Puede producirse el corte o el pandeo de los postes del alma entre los orificios, concretamente junto a puntos de carga elevada o en lugares adyacentes a los orificios estirados. En este caso, se deberá incrementar el espaciamiento de los orificios o utilizar secciones de mayor peso. Los tamaños de cuerdas típicos para vigas secundarias alveolares con una luz de 12 m a 18 m con un espaciamiento de 3 m se pueden ver en la Tabla 5.4.

**Tabla 5.4 Dimensiones de vigas celulares mixtas como vigas secundarias (secciones IPE/HE en acero S355)**

Parámetros de la viga celular	Luz máximz de la viga celular (m)				
	12 m	13,5 m	15 m	16,5 m	18 m
Diámetro del orificio (mm)	300	350	400	450	500
Canto de viga (mm)	460	525	570	630	675
Cordón superior	IPE 360	IPE 400	IPE 400	IPE 450	IPE 500
Cordón inferior	HE 260A	HE 300A	HE 340B	HE 360B	HE 400M
Acción variable	= 3 kN/m <sup>2</sup> + 1 kN/m <sup>2</sup> de particiones				
Profundidad de losa	= 130 mm; Distancia entre vigas = 3 m				



**Figura 5.9 Vigas alveolares (vigas secundarias de gran luz) – ejemplo de disposición estructural en la esquina de un edificio de 8 plantas con atrio**

### 5.4.3 Integración de instalaciones

Los orificios normales del entramado permiten el paso de los conductos a través de las vigas, tal y como se observa en la Figura 5.10. El equipamiento de instalaciones de mayor tamaño se puede ubicar entre las vigas. Los tamaños de los orificios deben ser lo suficientemente grandes como para que se pueda colocar el aislamiento necesario para las instalaciones. La fabricación de las vigas deberá garantizar la alineación de los alvéolos en todas las vigas a lo largo del edificio.

La altura total del forjado puede reducirse hasta 1000 mm para vigas de 15 m de luz con orificios de 400 mm, que es menos que la altura necesaria cuando los conductos se pasan por debajo de las vigas.

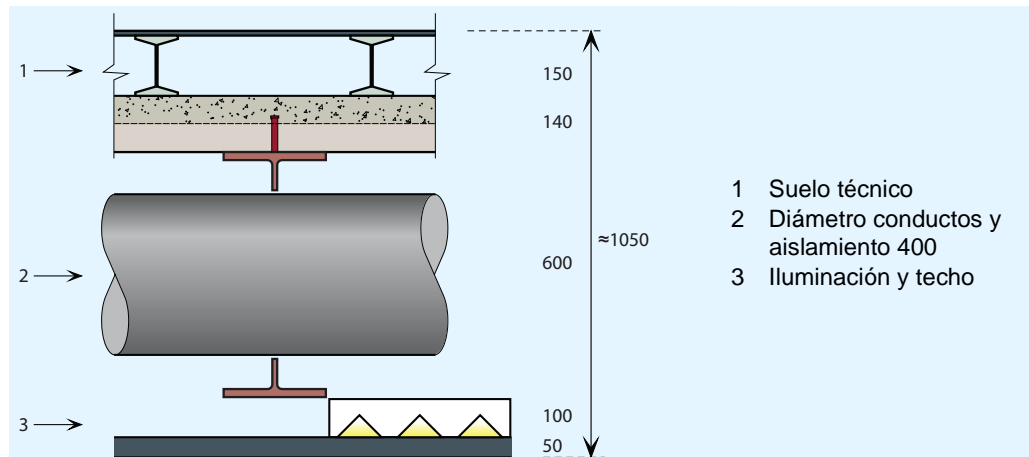


Figura 5.10 Viga celular – sección transversal con integración de instalaciones

#### 5.4.4 Protección contra el fuego

Las pinturas intumescentes son el sistema de protección contra el fuego preferido para las vigas alveolares, y se puede aplicar en taller. La referencia bibliográfica 7 proporciona información sobre la protección de vigas con alvéolos en el alma.

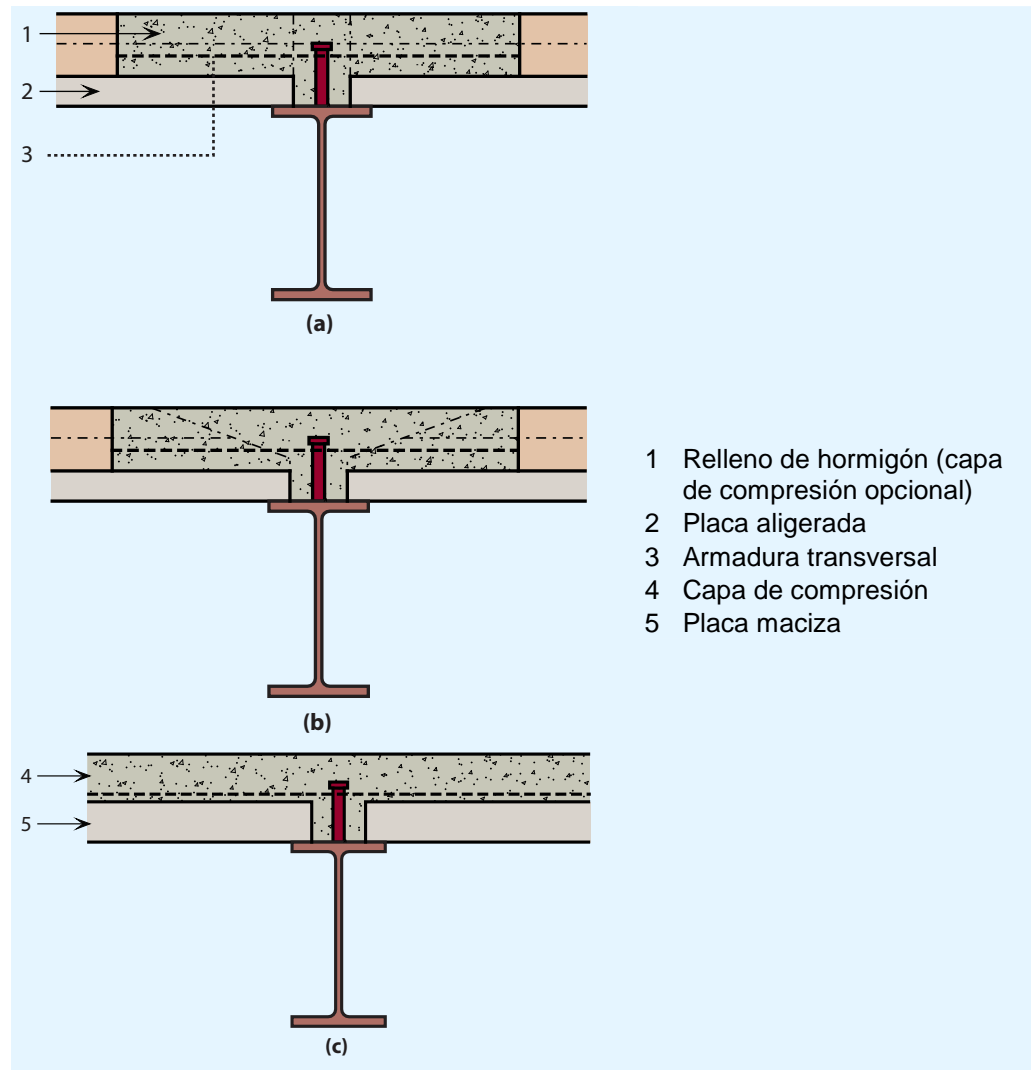
### 5.5 Vigas mixtas con placas de hormigón prefabricadas

#### 5.5.1 Descripción

Ese sistema está formado por vigas de acero con conectores, que suelen soldarse al ala superior durante el proceso de fabricación. Las vigas soportan unas placas de hormigón prefabricadas, con un relleno de hormigón sobre la viga entre los extremos de las unidades, y normalmente, con una capa de compresión recubriendo las placas prefabricadas. Éstas pueden ser aligeradas con alvéolos huecos, de 150 - 260 mm de profundidad, o bien macizas de 75 mm a 100 mm.

En los soportes, las placas prefabricadas de mayor canto están achaflanadas en la parte superior para garantizar el recubrimiento de los conectores con el hormigón in situ. En el proceso de fabricación se practican orificios pequeños y alargados en las placas de hormigón para permitir la colocación de la armadura transversal, que atraviesa las vigas y se alarga unos 600 mm en las placas a ambos lados, tal y como muestra la Figura 5.11.





**Figura 5.11 Vigas mixtas con placas de hormigón prefabricadas**  
**(a) Viga mixta con placas aligeradas de bordes cuadrados**  
**(b) Viga mixta con placas aligeradas de bordes achaflanados**  
**(c) Viga mixta con placas prefabricadas**

Los conectores y la armadura transversal garantizan la transferencia del esfuerzo cortante longitudinal desde la viga de acero a la placa de hormigón prefabricada y el relleno de hormigón. Para permitir un comportamiento mixto es necesario que los conectores vayan situados en un hueco (entre las unidades de hormigón) de 50 mm como mínimo. Por motivos prácticos, para soldar los conectores en obra es necesario un hueco de 65 mm como mínimo. La resistencia del conector depende del grado de confinamiento, utilizándose a menudo hormigón in situ con tamaño máximo de árido de 10 mm. Los alvéolos aligerados de las placas deben rellenarse de hormigón desde el borde hasta una distancia igual al diámetro del alvéolo, para garantizar la acción mixta y una resistencia al fuego adecuada.

Es necesaria una anchura mínima de ala para asegurar una longitud de apoyo para las placas prefabricadas, y un hueco suficiente para el funcionamiento efectivo de los conectores. Los valores mínimos recomendados se indican en la Tabla 5.5.

**Tabla 5.5 Anchos mínimos para el apoyo de placas de hormigón prefabricadas**

	Anchura mínima de viga	
Placa prefabricada de 75 – 100 mm de profundidad	Viga interior	180 mm
	Viga de extremo	210 mm
Placa prefabricada aligerada	Viga interna	180 mm
	Viga de extremo	210 mm
Viga de extremo no-mixta		120 mm

Las vigas de extremo se suelen diseñar como no-mixtas, con conexión nominal, para satisfacer los requisitos de robustez y estabilidad. Dichos conectores se suelen soldar en obra, a través de orificios practicados en las placas prefabricadas. Las vigas perimetrales mixtas requieren un cuidadoso diseño del detalle de la armadura con barras en U que bordean los conectores y se extienden hasta las placas prefabricadas, donde se colocan en unas ranuras hechas a tal efecto en las propias placas. Asimismo, la anchura mínima de ala del perfil, también requiere especial atención.

A veces, es necesario un arriostramiento temporal para reducir la longitud efectiva de pandeo lateral torsional de la viga durante la fase de construcción, cuando sólo se carga un lado. Puede resultar difícil restringir completamente la torsión de la viga en esta situación temporal a menos que se utilicen grandes elementos de arriostramiento con uniones rígidas, o bien consiguiendo un comportamiento tipo “U-frame action” que recoja el efecto las vigas trabajando con los elementos de arriostramiento mediante uniones rígidas.

### 5.5.2 Luz de viga y criterios de cálculo

Las vigas secundarias de gran luz deben disponer como mínimo de la anchura de ala que se indica en la Tabla 5.5 para soportar las placas de hormigón prefabricado. Por lo tanto, una IPE 400 es la viga de menor tamaño que se puede utilizar. Las vigas que se colocan en paralelo a las placas prefabricadas no se pueden diseñar como elemento mixto.

Las vigas de extremo se diseñan por regla general como elementos no mixtos, pero se anclan al forjado para satisfacer los requisitos de robustez.

Se deben instalar armaduras transversales siempre que se haga un diseño mixto, tal y como se muestra en la Figura 5.11 y en la Figura 5.12.

La comprobación crítica suele ser la comprobación de la resistencia a la torsión o una combinación de torsión y resistencia al pandeo lateral torsional en la fase de construcción (con cargas únicamente a un lado).



**Figura 5.12 Construcción de forjado mixto con placas aligeradas de hormigón prefabricado, donde se puede observar la armadura transversal en las ranuras de las placas**

### **5.5.3 Integración de instalaciones**

Los conductos principales de las instalaciones se sitúan bajo las vigas con el equipamiento de mayor tamaño situado entre las vigas. Se requiere una profundidad total de 1200 mm, incluidos el falso techo y las instalaciones. Se pueden practicar orificios en las vigas, pero éstas deben diseñarse como no-mixtas.

### **5.5.4 Protección contra el fuego**

En las vigas que soporten elementos de hormigón prefabricados se puede aplicar la protección contra incendio mediante spray, paneles o pintura intumescente.

Deben diseñarse cuidadosamente los detalles de la armadura transversal que se solapan con las placas prefabricadas 600 mm en cada placa. Para conseguir una resistencia al fuego de 90 a 120 minutos, es necesaria una capa de hormigón de 50 mm como mínimo.

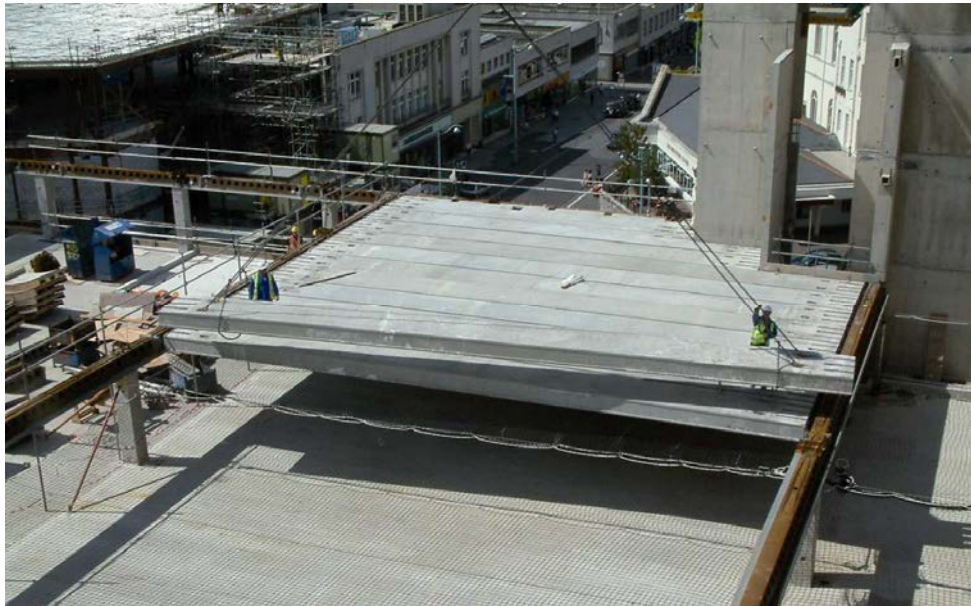
## **5.6 Vigas no-mixtas con placas de hormigón prefabricadas**

### **5.6.1 Descripción**

Las placas prefabricadas pueden apoyar sobre el ala superior de las vigas de acero, o bien sobre unos angulares soldados a las vigas a modo de “estante”. Las placas de hormigón prefabricadas pueden ser elementos aligerados, con

alvéolos huecos en su interior, con un canto de 150 – 400 mm, o placas sólidas de 75 a 100 mm de canto y hasta 15 m de luz (con un canto de 400 mm o más). La Figura 5.13 muestra un ejemplo de placas prefabricadas de hormigón de gran luz colocadas sobre vigas de acero.

Los ángulos a modo de estante van atornillados o soldados al alma de la viga. El lado sobre el que se apoya el forjado ha de ser suficientemente largo como para proporcionar el soporte adecuado a la placa prefabricada y permitir la instalación de la misma bajo el ala superior de la viga. Las placas se fijan en la posición correcta mediante cemento y pueden llevar una capa de hormigón (que puede o no ser estructural) o llevar un suelo técnico.



**Figura 5.13 Placas de hormigón prefabricadas de gran luz colocados sobre estructura de acero**

A menudo es necesario un arriostramiento lateral temporal para limitar la longitud efectiva de pandeo torsional lateral de la viga durante la fase de construcción, cuando sólo se carga un lado.

Para satisfacer los requisitos de robustez, puede que sean necesarios un mallazo y una capa de compresión o bien barras de armadura hormigonadas en el interior de los núcleos huecos, introduciéndolos a través de orificios en el alma de las vigas de acero. También puede ser necesario realizar una unión entre las placas de hormigón y las vigas de extremo que garantice la robustez e integridad de la estructura.

### **5.6.2 Luces de viga y criterios de cálculo**

Se debe considerar la carga en la fase de construcción (con placas sólo a un lado de la viga). Puede que sea necesario arriostrar temporalmente las vigas. Cuando en la situación permanente, una viga vaya a estar cargada sólo por uno de sus lados, ésta se debe diseñar para resistir la torsión resultante.

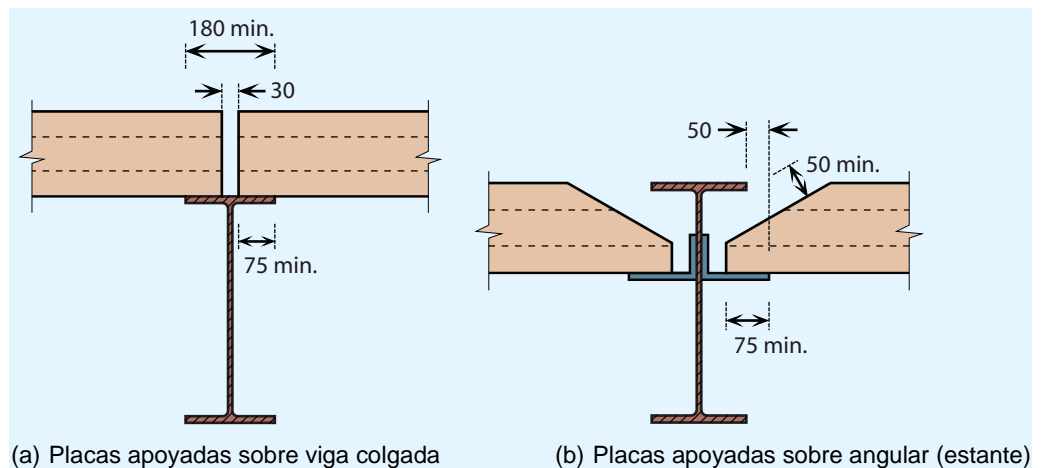
Cuando las placas prefabricadas se apoyan sobre el ala superior de la viga, el ancho de ala debe ser de 180 mm como mínimo, para garantizar el apoyo necesario y un hueco entre placas de al menos 30 mm, véase la Figura 5.14.

Los angulares a modo de estante deben sobresalir al menos 50 mm del ala de la viga y debe quedar un hueco de 25 mm entre el extremo de la placa y el ala de la viga, como se puede ver en la Figura 5.15.

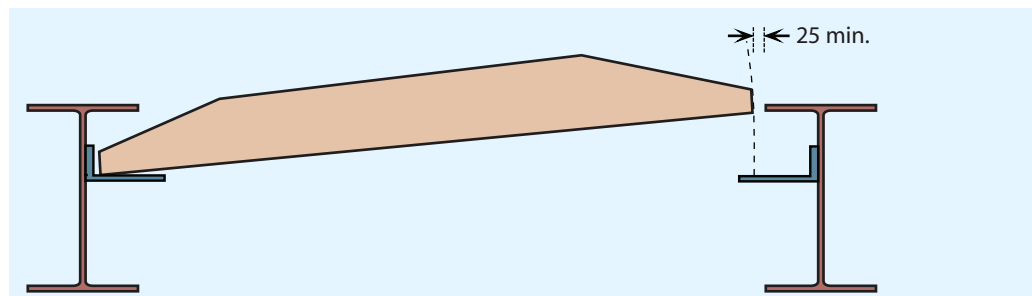
La comprobación crítica de la viga suele ser la resistencia a la torsión, o la interacción de torsión y pandeo lateral torsional en la fase de construcción (con carga sólo a un lado).

### 5.6.3 Integración de instalaciones

Los conductos principales de instalaciones se sitúan bajo las vigas, colocando aquellos de mayor tamaño entre las vigas.



**Figura 5.14** Construcción de un forjado con placas de hormigón prefabricado en construcción no-mixta



**Figura 5.15** Requisitos de apoyo y dimensiones para placas prefabricadas apoyadas sobre angulares a modo de estante

### 5.6.4 Protección contra el fuego

La protección contra el fuego puede ser mediante spray, con paneles o con pintura intumescente en la viga. Las vigas con angulares a modo de estante pueden conseguir una resistencia al fuego de 30 minutos si los angulares se colocan con el lado atornillado hacia arriba (el lado vertical *por encima* del lado sobresaliente, Figura 5.15) de forma que no esté expuesto al fuego.



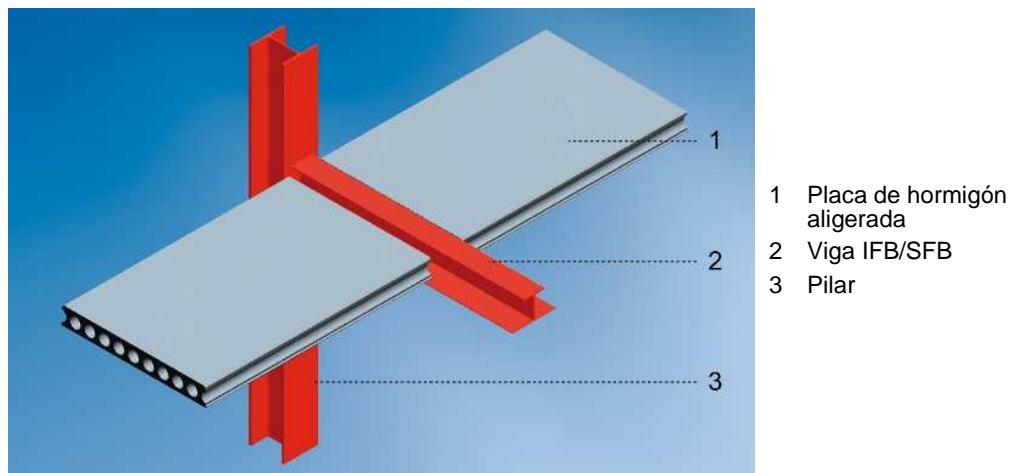
## 5.7 Vigas integradas con placas de hormigón prefabricado

### 5.7.1 Descripción

Las placas de hormigón prefabricados pueden utilizarse como parte de un sistema *slim floor* o de vigas integradas, en el que las vigas van integradas en el canto del forjado, como se muestra en la Figura 5.16. Existen dos tipos de vigas de acero:

- Placa de acero (normalmente de 15 mm de espesor) soldada a la parte inferior de una sección en H, que sobresale al menos 100 mm más allá del ala inferior a cada lado para soportar las placas prefabricadas.
- Placa de 20 mm de espesor soldada a media sección en I cortada a lo largo del alma.

Se recomienda incluir una capa de compresión con la armadura correspondiente, para unir las placas prefabricadas. El espesor de la capa debe ser de al menos 50 mm. Si se omite la capa de compresión, habrá que colocar barras de armadura que atraviesen el alma de la viga, para unir el forjado a cada lado de la viga para satisfacer los requisitos de robustez.

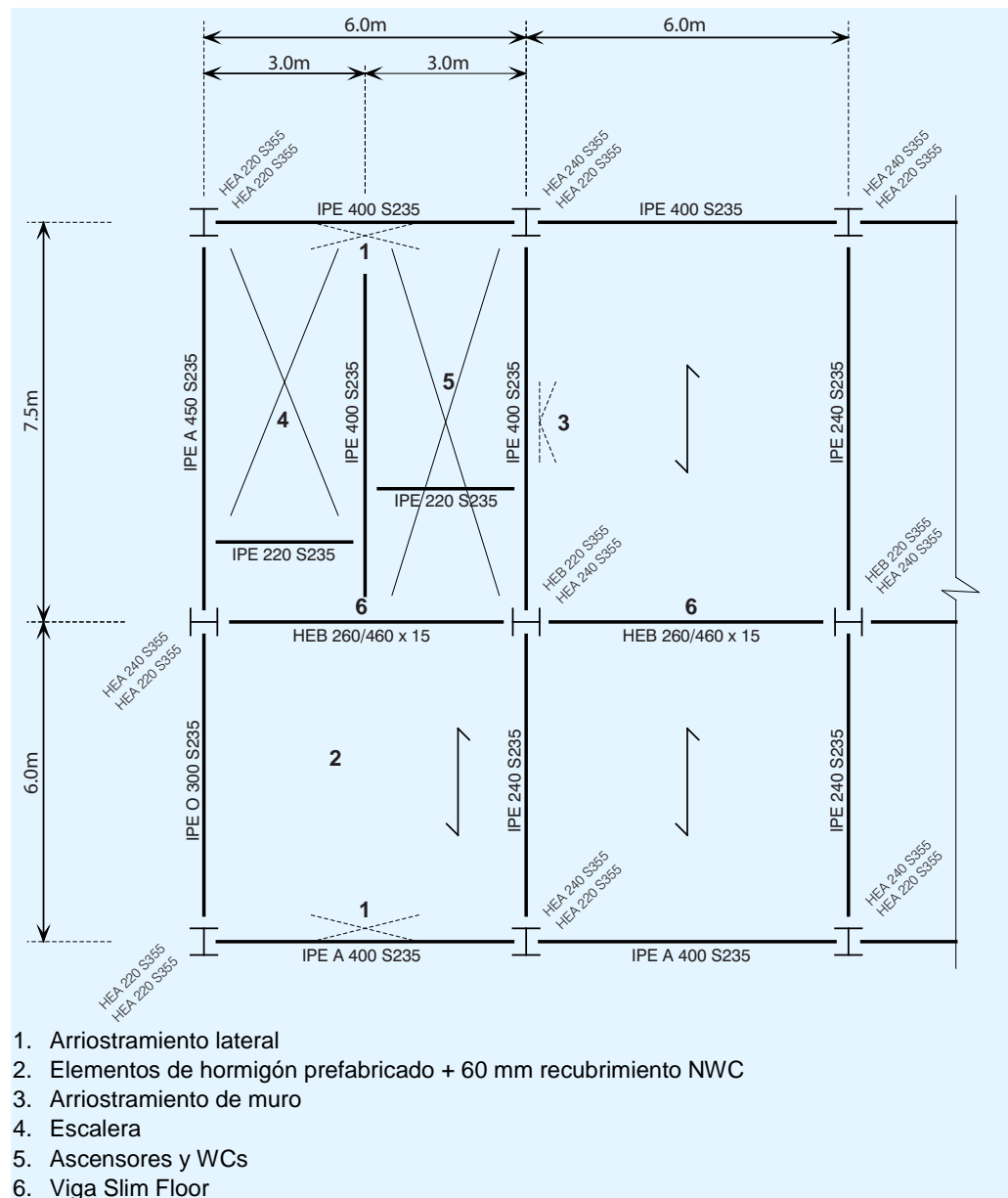


**Figura 5.16 Viga integrada (viga Slim Floor) y placas de hormigón prefabricadas**

Se puede conseguir una viga integrada mixta soldando los conectores (normalmente 19 mm de diámetro  $\times$  70 mm de largo) al ala superior de las vigas de acero. En este caso, la armadura se coloca atravesando el ala, introduciéndose en las ranuras existentes en las placas prefabricadas o sobre las propias placas si éstas fueran de poco canto. Si las vigas se diseñan como mixtas, la capa de compresión deberá tener una altura de al menos 15 mm sobre los conectores y 60 mm sobre las placas prefabricadas.

La Figura 5.17 muestra una disposición estructural típica en la que las vigas integradas son de 6 m de luz y las placas prefabricadas de 7,5 m. En este caso, las placas tienen un canto de 200 mm, y se utiliza una capa de compresión de 60 mm. Las vigas de extremo son IPE, diseñadas como no mixtas, y son colgadas en vez de integradas. Se instala una cantidad nominal de conectores para satisfacer los requisitos de robustez. En este caso, la placa puede estar a ras con el ala superior de la viga, tal y como se muestra en la Figura 5.18.





**Figura 5.17 Disposición de la estructura de acero Slim Floor en un edificio rectangular de cuatro plantas (viga central Slim Floor y vigas de extremo colgadas)**

### 5.7.2 Luces de viga y criterios de cálculo

Lo ideal es que la luz de las placas de hormigón prefabricado y la de la viga se optimicen para producir un canto de forjado compatible con el canto de la viga. Las vigas cargadas sólo a un lado son relativamente pesadas por la torsión a la que están sometidas. Asimismo se deben comprobar los efectos de la torsión durante la fase de construcción. Una viga central con placas prefabricadas que se apoyen en el otro extremo sobre vigas colgadas es una solución, por regla general, más económica que colocando las placas prefabricadas a lo largo del edificio, apoyadas sobre una serie de vigas colocadas en sentido transversal.

Las vigas de extremo mixtas exigen la colocación de barras en U en torno a los conectores, ancladas en los alvéolos de las placas prefabricadas o en la capa de compresión. Por lo tanto, son preferibles las vigas de extremo no-mixtas.

Las comprobaciones críticas suelen ser la resistencia a la torsión, la interacción de torsión pandeo lateral torsional en la fase de construcción (con un único lado cargado), o el pandeo lateral torsional en situación de uso (con cargas a ambos lados). La flecha puede resultar crítica para todo tipo de vigas integradas.

Las dimensiones típicas de vigas *slim floor* y de vigas integradas para luces de 5 m a 8 m se presentan en la Tabla 5.6 y la Tabla 5.7 respectivamente.

**Tabla 5.6 Luz de vigas Slim floor compuestas por perfiles HE y placa inferior soldada**

Luz de la placa (m)	Dimensiones típicas de viga slim floor para luces indicadas			
	5 m	6 m	7 m	8 m
5	HE 200A	HE 240A	HE 280A	HE 300A
6	HE 240A	HE 280A	HE 300A	HE 280A
7	HE 280A	HE 300A	HE 280B	HE 300B
8	HE 280A	HE 280B	HE 300B	HE 320B

Canto de losa igual al canto de viga + 50 mm

La placa soldada deberá ser 150 mm más ancha que el perfil HE

**Tabla 5.7 Luz de vigas integradas recortadas de perfiles IPE con una placa de ala inferior soldada**

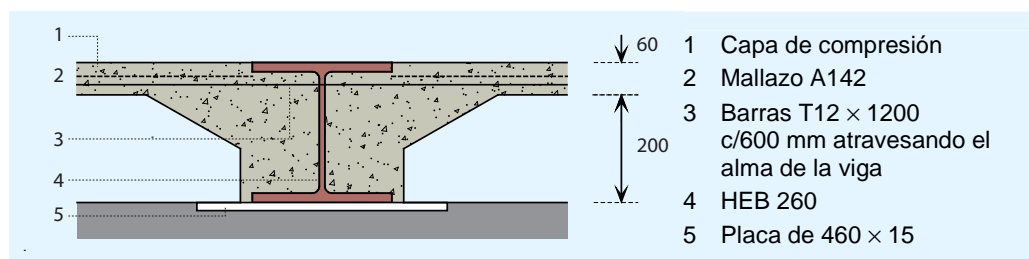
Luz de la placa (m)	Dimensiones típicas de vigas integradas para luces indicadas			
	5 m	6 m	7 m	8 m
5	IPE 400	IPE 500	IPE 550	IPE 600
6	IPE 500	IPE 550	IPE 600	HE 500A
7	IPE 550	IPE 600	HE 500A	HE 600A
8	IPE 600	HE 500A	HE 600A	HE 600B

Los perfiles IPE indicados se cortarán por la mitad

Utilizando siempre una placa de 20 mm de espesor soldada en la parte inferior

### 5.7.3 Integración de instalaciones

Con la viga integrada en el forjado, es posible ubicar todas las instalaciones bajo el forjado sin ninguna restricción, a diferencia de la situación que se presenta cuando las vigas son colgadas, véase la Figura 5.18.



**Figura 5.18 Construcción Slim Floor – sección transversal típica usando placas prefabricadas**

### 5.7.4 Protección contra el fuego

La protección proporcionada por el hormigón en el que están encajonadas las vigas integradas, suele ser suficiente para conseguir una resistencia al fuego de hasta 60 minutos, sin necesidad de protección adicional.

Para conseguir una resistencia al fuego de 90 minutos, es necesario aplicar una pintura intumescente o una protección mediante paneles al ala inferior de la viga. Es necesario detallar correctamente la armadura transversal, especialmente cuando se utilizan placas alveolares, en las que la parte adyacente a la viga de los alvéolos debe rellenarse de hormigón.

## 5.8 Vigas asimétricas y chapa perfilada de gran canto

### 5.8.1 Descripción

Se pueden utilizar vigas asimétricas (ASBs) para soportar losas colaborantes utilizando chapas de acero. ASBs son vigas de acero laminadas en caliente, con el ala inferior más ancha que la superior. El perfil puede tener relieves laminados en el ala superior y actuar de forma mixta (colaborante) con el hormigón en el que se integra, sin necesidad de conectores. La chapa se apoya sobre las alas inferiores de las vigas, y es capaz de soportar las cargas durante la fase de construcción.

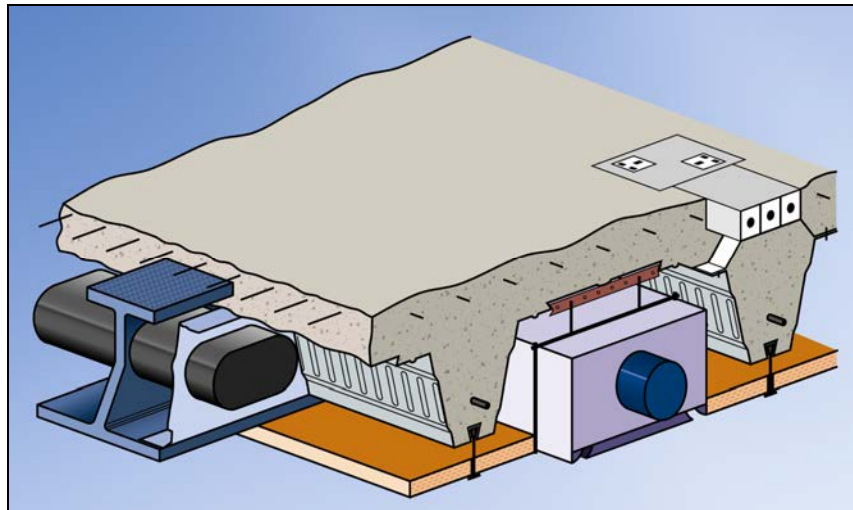
La disposición de las vigas se basa normalmente en un entramado de luces de 6 m a 9 m, con un canto de losa de 280 - 350 mm. Para luces superiores a 6 m la chapa ha de ser apuntalada durante la fase de construcción. Las armaduras colocadas en los nervios de la losa (16 – 25 mm de diámetro) proporcionan una resistencia al fuego suficiente.

Los perfiles ASB tienen por regla general unos 300 mm de canto y pueden tener almas relativamente gruesas (iguales o más que las alas), ofreciendo una resistencia al fuego de 60 minutos sin protección adicional (para cargas normales de oficina).

Las instalaciones pueden integrarse haciendo orificios ovalados en las almas de las vigas, y ubicando los conductos entre los nervios de la chapa, tal y como se muestra en la Figura 5.19.

Las vigas perimetrales pueden ser vigas *slim floor* utilizando un perfil tubular de sección rectangular, o vigas colgadas. Los pilares se pueden restringir mediante una sección en T, con el alma incrustada en la losa, que impiden el movimiento del pilar en la dirección perpendicular a las vigas principales.

Se coloca el mallazo (A142 para una resistencia al fuego de 60 minutos y A193 para una resistencia de 90 minutos) en la losa. Si el ala superior de la ASB se encuentra a ras con la superficie de la losa, habría que fijar las losas a la ASB para satisfacer los requisitos de robustez. Normalmente esto se hace mediante armadura de refuerzo (barras T12 c/600 mm) atravesando el alma de la ASB. Las ASBs suelen diseñarse como no-mixtas si la capa de hormigón sobre el ala superior no sobrepasa los 30 mm.



**Figura 5.19 Integración de instalaciones usando vigas asimétricas**

### 5.8.2 Luces de viga y criterios de cálculo

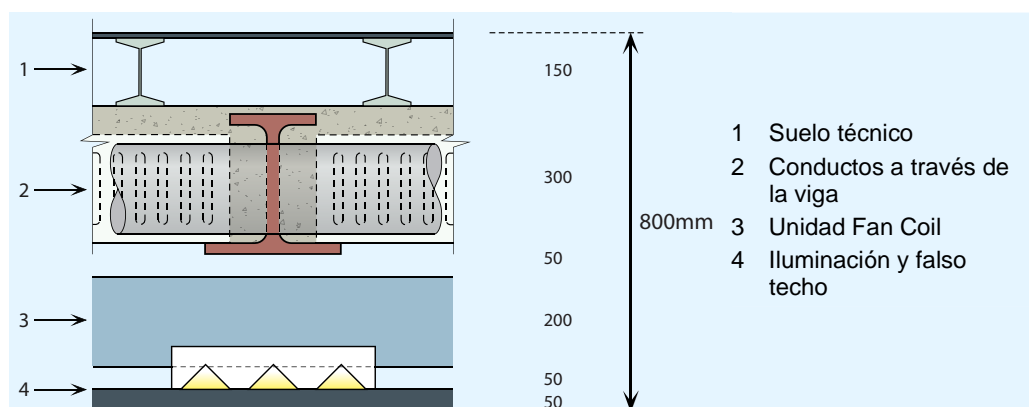
En este formato de construcción con chapa profunda, la luz máxima es de aproximadamente 6 m para una losa de 300 mm de profundidad, si se quiere evitar el apuntalamiento en la fase de construcción. La luz máxima de las vigas ASB es de 6 m a 10 m, dependiendo de su tamaño y de la distancia entre vigas.

### 5.8.3 Integración de instalaciones

Este sistema posibilita una distribución de instalaciones sin obstáculos bajo el forjado. Las instalaciones y los conductos de menor tamaño (con un diámetro máximo de 160 mm) pueden pasarse a través de orificios en el alma de las vigas y entre los nervios de la chapa colaborante, como se puede ver en la Figura 5.20. Para un diseño preliminar de un forjado con vigas asimétricas, se pueden utilizar los siguientes valores:

600 – 800 mm con instalaciones ligeras (y un suelo técnico)

800 – 1.000 mm con aire acondicionado (y un suelo técnico)



**Figura 5.20 Construcción típica de forjado usando vigas asimétricas y chapas colaborantes**

### 5.8.4 Protección contra el fuego

Los perfiles ASB diseñados para una situación de incendio tienen almas relativamente gruesas. Con el alma y el ala superior embebida en el hormigón no es necesaria protección adicional para conseguir 60 minutos de resistencia.

Otros perfiles ASB requieren protección para conseguir una resistencia superior a 30 minutos. Normalmente se utilizan paneles sobre el ala inferior.

## 5.9 Unión de vigas

Todos los sistemas de forjados que se han visto en esta sección emplean uniones simples (nominalmente articuladas), que no desarrollan una rigidez significativa. Para reflejar este comportamiento en la práctica, los detalles de unión deben ser dúctiles para absorber la rotación que se genera en la unión.

En los elementos del forjado sometidos a torsión, como las vigas integradas o las vigas *slim floor*, se utilizan uniones de canto total, en las que la placa de extremo va soldada al alma y a las alas. Para toda solución de forjado, habría que comprobar la posibilidad de una carga de torsión en la fase de construcción ya que podrían ser necesarias uniones con resistencia a la torsión o restricciones temporales.

El empleo de placas de extremo de canto total podría implicar que la unión no se comporta como articulada. En muchos casos se considera que la unión es articulada si el espesor de la placa de extremo no es superior a la mitad del diámetro de tornillo, en acero S275. Algunas autoridades reguladoras pueden exigir que se demuestre la clasificación de las uniones mediante cálculos.

### 5.9.1 Uniones viga-pilar

Cuando las uniones no están sometidos a torsiones, se utilizan uniones articuladas (con esfuerzos cortantes únicamente). Se utilizan uniones estándar, dejando al contratista el cálculo detallado de las mismas. Las uniones más utilizadas son las uniones de chapa de extremo, las uniones acarteladas y las uniones con angulares dobles, que se muestran en la Figura 5.21. Se considera que las uniones de la Figura 5.21 son nominalmente articuladas, siempre que las chapas y los angulares que se utilicen sean relativamente finos (10 mm en acero S275). La parte *Edificios de varias plantas Parte 5: Cálculo de uniones*<sup>[8]</sup> trata el cálculo detallado de uniones articuladas.

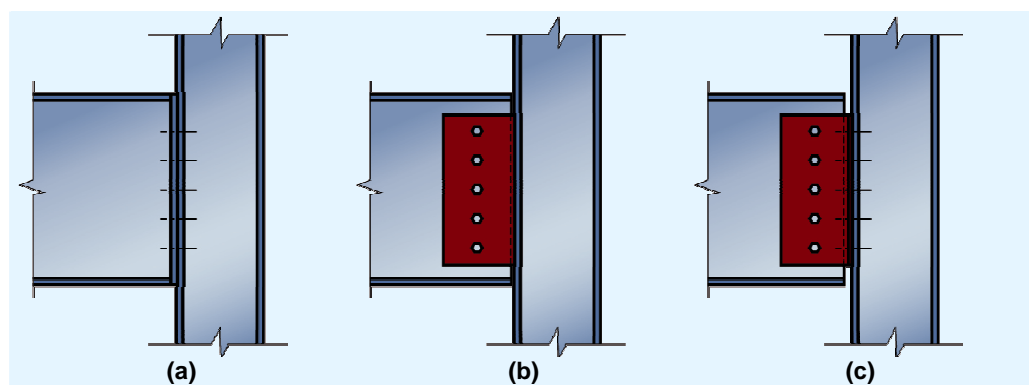


Figura 5.21 Uniones estándar viga – pilar. (a) Chapa de extremo (b) Acartelada (c) Con angulares dobles

Normalmente se utilizar chapas de extremo para uniones viga-pilar. Las uniones acarteladas se suelen utilizar para las uniones viga-viga.

### 5.9.2 Uniones viga-viga

Para las uniones viga-viga también se utilizan los detalles estándar, aunque se practica un despalmillado en la viga secundaria, como se ve en la Figura 5.22.

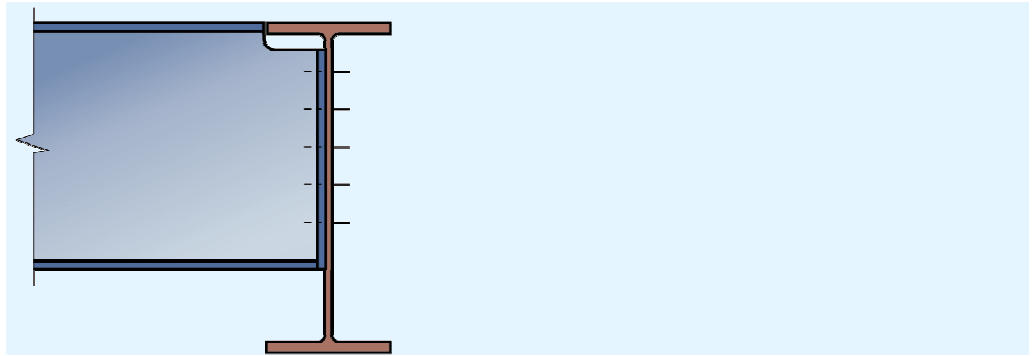


Figura 5.22 Unión viga-viga

### 5.9.3 Placas de extremo de canto total

Cuando las uniones estén sometidas a torsión, se suele utilizar una chapa de extremo de canto total, como se puede ver en la Figura 5.23. En estas uniones, la chapa de extremo va soldada alrededor del perfil completo de la viga.

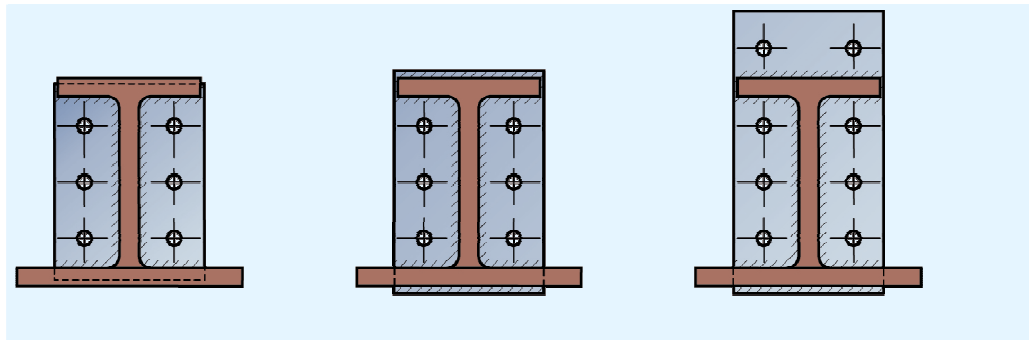


Figura 5.23 Chapa de extremo de canto total para vigas integradas

Es habitual que el estructurista rediseñe las uniones. El proyectista de la estructura debe indicar los esfuerzos cortantes y los momentos aplicados en las fases relevantes, es decir, durante la fase de construcción y en el estado final. Esto es así porque en muchos elementos, la torsión puede ser el estado de carga crítico en la fase de construcción, cuando las cargas sólo se aplican a un lado del elemento. En este caso, debe comprobarse que tanto las soldaduras como los grupos de tornillos son capaces de resistir la interacción del momento torsor y el esfuerzo cortante.



## 6 OTROS ELEMENTOS DE DISEÑO

Los siguientes elementos de diseño afectan al concepto general del edificio, incluidos los aspectos de diseño estructural.

### 6.1 Acciones accidentales

La norma EN 1990 exige que las estructuras sean diseñadas para situaciones de proyecto accidentales. Las situaciones que deben considerarse se estipulan en la norma EN 1991-1-7, y están relacionadas tanto con acciones accidentales identificadas como con acciones accidentales no identificadas. La estrategia que se debe adoptar en cualquiera de los casos depende de tres categorías de clases de consecuencias que se establecen en la norma EN 1990. Para edificios, una de esas clases se ha subdividido. Todas las categorías de edificios pueden consultarse en la norma EN 1991-1-7, Tabla A.1.

Para las acciones accidentales identificadas, se puede utilizar la estrategia de diseño de proteger la estructura frente a la acción. Sin embargo, de una forma más general, y en cualquier caso para las acciones accidentales no identificadas, la estructura debe diseñarse para que cuente con un nivel de robustez adecuado, entendiendo por robustez lo siguiente:

*"La capacidad de una estructura de soportar sucesos como incendio, explosiones, impactos o consecuencias de errores humanos sin sufrir daños desproporcionados en relación a la causa original".*

Para acciones no identificadas, la norma EN 1991-1-7, § 3.3 determina el modo de garantizar la robustez del edificio:

*"El fallo potencial de la estructura originado por una causa no especificada debe mitigarse en el proyecto. ...adoptando uno o más de los siguientes enfoques:*

- a) Proyectando los elementos clave, de los cuales depende la estabilidad de la estructura, para soportar los efectos de un modelo de acción accidental  $A_d$ ;*
- b) Proyectando la estructura de tal manera que en el caso de un fallo localizado (por ejemplo, fallo de un solo elemento) la estabilidad de la estructura en conjunto o de una parte significativa de ella no estuviera en peligro;*
- c) Aplicando reglas de cálculo o de detalles constructivos prescriptivas que provean a la estructura de una robustez aceptable (por ejemplo, el atado tridimensional para reforzar la integridad o un nivel mínimo de ductilidad de los elementos estructurales sometidos a impacto)."*

#### 6.1.1 Clases de consecuencias

La norma EN 1990 define tres clases de consecuencias:

- CC1 Consecuencias de fallo leves
- CC2 Consecuencias de fallo moderadas
- CC3 Consecuencias de fallo graves

La clase CC2 se subdivide en CC2a (grupo de riesgo bajo) y CC2b (grupo de riesgo alto). Los edificios de mediana altura recaen principalmente dentro del grupo CC2b. Entre los ejemplos de categorías indicadas en la Tabla A.1 de la norma EN 1991-1-7 cabe señalar los siguientes:

**Tabla 6.1 Ejemplos de categorización de edificios (extracto de la Tabla A.1 de la norma EN 1991-1-7)**

Clase de consecuencia	Ejemplo de categorización de tipo de edificio y ocupación
2B Grupo de riesgo alto	Hoteles, pisos, apartamentos y otros edificios residenciales de más de 4 plantas, pero que no excedan de 15.  Edificios de uso educativo de más de una altura pero que no excedan de 15.  Edificios de venta al por menor de más de 3 alturas, pero que no excedan de 15.  Oficinas de más de 4 alturas, pero que no excedan de 15.  Todos los edificios de acceso público con áreas de suelo mayores que 2000 m <sup>2</sup> pero menores que 5000 m <sup>2</sup> en cada altura

La estrategia recomendada para la Clase de consecuencia 2b implica bien el cálculo para el caso de fallo localizado (véase la sección 6.1.2) o el cálculo de pilares a modo de elementos clave (véase la sección 6.1.6).

### 6.1.2 Cálculo de las consecuencias del fallo localizado en edificios de varios pisos

En edificios de varias plantas, el requisito de robustez suele conducir a una estrategia de proyecto en la que los pilares están atados al resto de la estructura. Por lo tanto no se debería poder eliminar fácilmente ningún tramo de pilar. No obstante, si se eliminara un parte de un pilar debido a una acción accidental, los forjados deberían poder desarrollar una acción catenaria para limitar el alcance del fallo.

Hay que señalar que los requisitos de robustez no pretenden garantizar que la estructura siga estando en servicio tras un evento extremo, sino limitar los daños y evitar un colapso progresivo.

### 6.1.3 Atado horizontal

La norma EN 1991-1-7, A.5 contiene información sobre las uniones de atado de las estructuras. Propone expresiones para determinar la fuerza de atado (a tracción) de las uniones de atado internas y perimetrales. Dicha fuerza de atado suele ser igual al cortante.

Las fuerzas de atado no tienen por qué ser soportadas por uniones de atado. Se puede utilizar, por ejemplo, un forjado mixto para atar los pilares, siempre y cuando se calcule para realizar dicha función. Se puede precisar un refuerzo adicional, y los pilares (especialmente los perimetrales) deben detallarse cuidadosamente para garantizar que la fuerza se transfiere del pilar a la losa.

Si las fuerzas de atado van a ser soportadas únicamente por la estructura de acero, hay que señalar que la comprobación de la resistencia de atado es totalmente independiente de la comprobación para las fuerzas debidas a las

fuerzas verticales, es decir, el esfuerzo cortante y las fuerzas de atado nunca se aplican al mismo tiempo. Es más, en la comprobación de atado, se ignora el requisito mantener la capacidad de servicio de los elementos y uniones bajo la carga de proyecto, ya que en circunstancias accidentales, una deformación permanente sustancial de los elementos y sus uniones es aceptable. La publicación *Edificios de acero de varias plantas. Parte 2: Diseño de uniones*<sup>[8]</sup> ofrece información sobre el cálculo de uniones para resistir fuerzas de atado.

#### 6.1.4 Atado de forjados de hormigón prefabricados

La norma EN 1991-1-7, §A.5.1 (2) exige que cuando se utilizan forjados de hormigón u otros forjados pesados, éstos deben atarse en la dirección del vano, para evitar que las losas se caigan entre la estructura de acero, en caso de que se desplace o retire alguna viga debido a un accidente. Las losas deben ir unidas entre sí y colocadas sobre las vigas, y atadas a las vigas perimetrales. Las fuerzas de atado pueden determinarse según el artículo §9.10.2 de la norma EN 1992-1-1.

#### 6.1.5 Atado vertical

La norma EN 1991-1-7, A.6 proporciona información sobre el atado vertical de las estructuras. Dicho artículo indica que los empalmes de pilares deben ser capaces de soportar una tracción igual a la mayor reacción debida a las cargas verticales permanentes y variables aplicada al pilar de cualquier planta. En la práctica, no se trata de una obligación onerosa, y la mayoría de empalmes de pilares calculados para tener una rigidez y resistencia adecuadas durante el montaje son capaces de soportar la tracción de atado. En la publicación de esta serie *Edificios de acero de varias plantas. Parte 2: Diseño de uniones*<sup>[8]</sup> se ofrece información sobre el diseño de uniones para resistir fuerzas de atado.

#### 6.1.6 Elementos clave

La norma EN 1991-1-7, A.8 proporciona información sobre el cálculo de los elementos clave. La norma recomienda que un elemento clave deber ser capaz de soportar el valor de cálculo de una acción accidental,  $A_d$ , aplicada en horizontal y en vertical (cada dirección por separado) al elemento clave en cuestión y a cualquier componente unido al mismo. El valor recomendado de  $A_d$  para estructuras de edificios es de 34 kN/m<sup>2</sup>. Cualquier componente estructural que proporcione una restricción lateral vital para garantizar la estabilidad de un elemento clave, también debe ser calculado como elemento clave.

#### 6.1.7 Evaluación de riesgos

Los edificios que recaigan en la clase de consecuencia 3 tienen que evaluarse utilizando las técnicas de evaluación de riesgos. En el Anexo B de la norma EN 1991-1-7 se puede encontrar información sobre la evaluación de riesgos, mientras que el artículo B.9 ofrece información específica para edificios.

### 6.2 Dinámica del forjado

La respuesta del forjado se evalúa calculando la frecuencia natural del forjado, y verificándola con respecto a un límite. Los límites se dan en las normativas nacionales o en guías técnicas, y pueden tener diferentes valores en cada país.

Por regla general, la frecuencia natural del forjado debe ser al menos el doble que la frecuencia fundamental de la acción dinámica generada al andar, que suele variar entre 1,2 Hz y 2,2 Hz. Por lo tanto, si la frecuencia natural del forjado es superior a 4 Hz, el forjado se suele considerar satisfactorio. Sin embargo, este valor puede no ser suficiente en edificios de baja ocupación, en los que las vibraciones resultan más perceptibles.

Un enfoque más adecuado sería una comprobación basada en un “factor de respuesta” que tiene en cuenta la amplitud de la vibración, que normalmente se mide en términos de aceleración. Los factores de respuesta admisibles también están recogidos en las normativas nacionales o en guías técnicas y pueden variar dependiendo de los países. Un factor de respuesta alto indica un forjado dinámico que resulta más perceptible para los ocupantes. Un factor de respuesta de 8 con respecto a una aceleración base de  $5 \text{ mm/s}^2$  representa un comportamiento aceptable de una oficina. Sin embargo puede que sea necesario reducir el factor de respuesta a un valor de 1 ó 2 para un hospital u otras salas especializadas.

En la práctica, el factor de respuesta se reduce (es decir, la vibración resulta menos perceptible) al aumentar la masa que participa en el movimiento. Las vigas de gran luz suelen plantear un menor problema dinámico que las luces más cortas, a pesar de que la frecuencia natural pudiera indicar lo contrario.

La disposición de las vigas suele ser importante. Una serie de vigas mixtas secundarias de gran luz dispuestas unas seguidas de otras, resultan en factores de respuesta menores que vigas de longitudes menores, ya que en el primer caso hay mayor cantidad de masa participando en el movimiento dinámico. En la Figura 6.1 se observan dos disposiciones posibles. El factor de respuesta para la disposición (b) será menor (menos perceptible para los ocupantes) que la disposición (a), ya que la masa participante es mayor en la disposición (b).

La respuesta dinámica de los forjados durante la construcción tiene más probabilidad de ser percibida que una vez el edificio esté amueblado o en uso.

Se puede obtener información adicional sobre la vibración inducida por el ser humano en estructuras de acero en la página web de HIVOSS <sup>[9]</sup>.

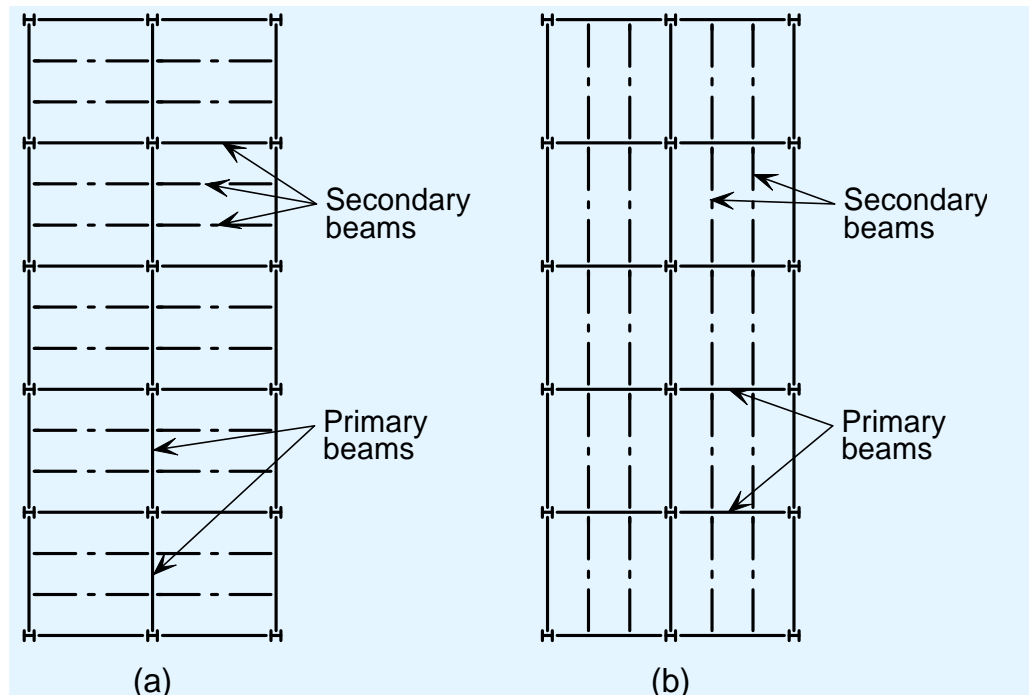


Figura 6.1 Posibles disposiciones de vigas

### 6.3 Protección contra la corrosión

La corrosión del acero es un proceso electroquímico que requiere la presencia simultánea de agua y oxígeno. Sin la presencia de alguna de las dos, no se produce corrosión. Por lo tanto, un acero sin protección en entornos secos (por ejemplo, estructura de acero interna), va a sufrir una corrosión mínima. Los factores principales que determinan la velocidad de corrosión del acero en el aire son la proporción de tiempo total durante el cual la superficie se encuentre húmeda (por precipitaciones, condensación, etc.) y el tipo y la cantidad de contaminación atmosférica (sulfatos, cloruros, etc.).

La estructura de acero exterior necesita protección contra la corrosión. El entorno local es importante, y puede clasificarse según la norma EN ISO 12944-2, que describe las categorías de C1 (interiores con calefacción) a C5 (entorno marino o industrial agresivo). Hay disponible gran cantidad de sistemas de protección contra la corrosión, incluidos los sistemas de recubrimiento metálico (como el galvanizado) y las pinturas, que deben elegirse en base a la clasificación del entorno.

Ocasionalmente, la legislación local exige que incluso las estructuras de acero interior o los elementos embebidos estén protegidos contra la corrosión, pero en general, las estructuras de acero no expuestas en un interior seco, en edificios con calefacción, no necesitan protección alguna.

### 6.4 Efectos de la temperatura

En teoría, las estructuras de acero se dilatan y contraen con los cambios de temperatura. Sin embargo, al estar protegido, el cambio de temperatura del

acero estructural en sí, suele ser mucho menor que el cambio de temperatura externo.

Se recomienda evitar las juntas de dilatación en medida de lo posible, ya que son caras y difíciles de diseñar correctamente manteniendo un cerramiento impermeable. Es preferible diseñar la estructura para que sea capaz de soportar las solicitudes debido a los cambios térmicos, antes que recurrir a las juntas de dilatación. Dichas acciones se determinan según la norma EN 1991-1-5, y las combinaciones de acciones se verifican según la norma EN 1990. En la mayoría de los casos, no se requiere una modificación del diseño.

La práctica común en edificios de varias plantas del Norte de Europa, para evitar la necesidad de cálculos, es no instalar juntas de dilatación a menos que la longitud del edificio supere los 100 m en estructuras arriostradas o los 50 m en estructuras rígidas. En climas más templados, se suele limitar la longitud a unos 80 m. Estas recomendaciones sólo son válidas para la estructura de acero. En cerramientos externos rígidos, como las fachadas de ladrillo, se deben proporcionar juntas de dilatación. Cuando se colocan juntas de dilatación en edificios de varias plantas, suelen disponerse de forma que coincidan con cambios significativos en planta o en altura, o entre partes de la estructura apoyadas sobre diferentes cimientos.

## 6.5 Seguridad ante incendio

Los proyectistas siempre deben considerar la resistencia al fuego a la hora de elegir la configuración estructural, y considerar cuestiones como:

- Vías de escape
- Tamaño del compartimento
- Acceso e instalaciones para los servicios de extinción de incendios
- Limitación de la propagación del fuego
- Control y evacuación del humo
- Uso de rociadores.

Por lo general los elementos anteriores son considerados por el arquitecto.

Además de lo anterior, el comportamiento estructural en caso de incendio debe cumplir la normativa prescrita, expresándose como un período de resistencia al fuego de los componentes estructurales. Como alternativa, se puede adoptar un enfoque de ingeniería del fuego, que tiene en cuenta la resistencia al fuego de todo el edificio teniendo en cuenta el uso del edificio, los peligros, los riesgos y la forma en la que éstos se gestionan.

En términos generales, el ingeniero y el arquitecto deben considerar:

- Proyectos que tengan menos vigas que necesiten protección
- La posibilidad de utilizar estructura de acero sin protección



- La influencia de la integración de servicios en el sistema de protección contra incendios y las soluciones adecuadas, como la pintura intumescente en las vigas alveolares
- La influencia que puede tener la protección aplicada in situ en el programa de construcción, especialmente si la protección es un spray
- Los requisitos del aspecto final de los elementos expuesto de la estructura a la hora de elegir un sistema de protección contra incendios.

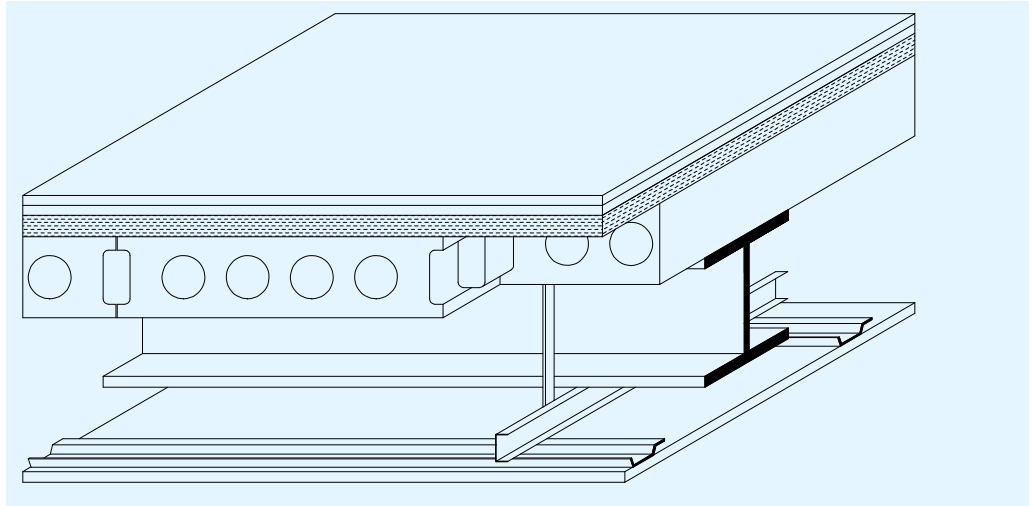
En *Edificios de acero de varias plantas. Parte 6: Ingeniería del fuego* [10] se dan recomendaciones para la ingeniería del fuego en estructuras de acero de varias plantas.

## 6.6 Comportamiento acústico

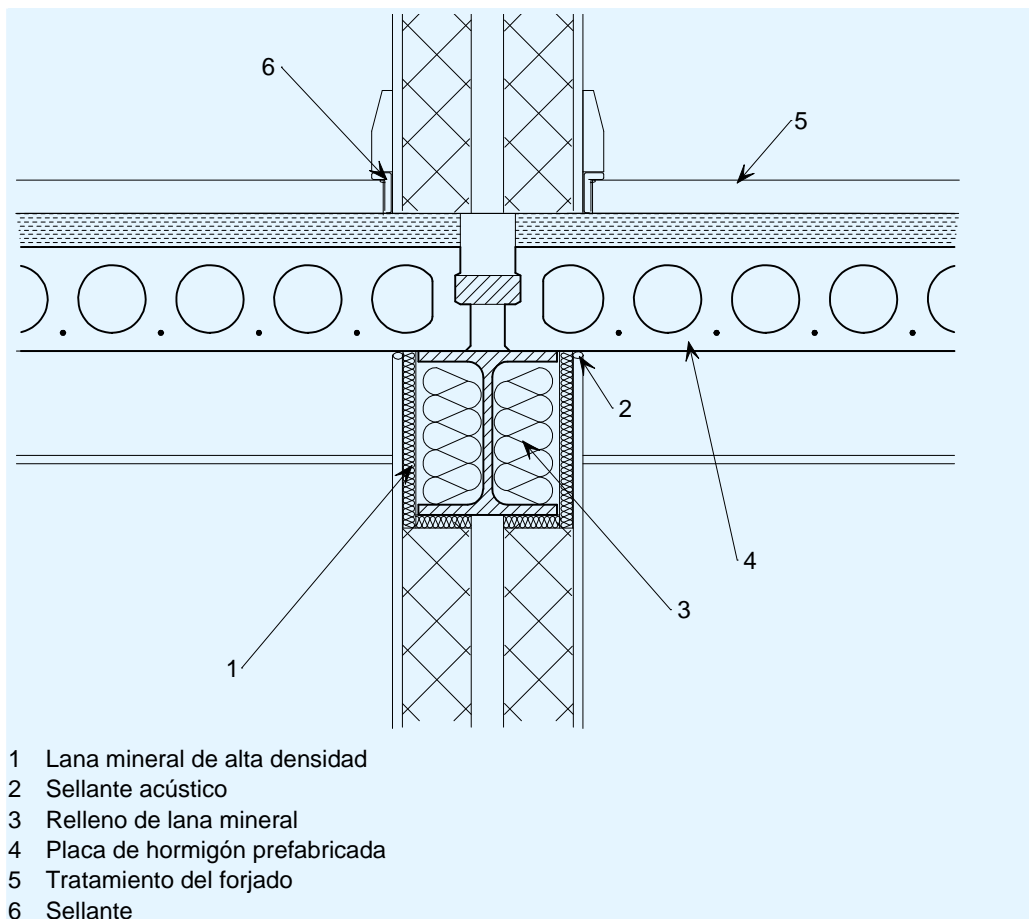
Para oficinas abiertas y salas de conferencias los límites de los ruidos residuales (tras la atenuación por la fachada del edificio) vienen especificados en los reglamentos nacionales. También se suelen indicar los criterios de ruidos aceptables procedentes de los servicios del edificio.

Por regla general se definen los niveles máximo y mínimo de ruido ambiental para cada zona del edificio. Dichos límites se consideran apropiados para garantizar la comodidad tanto en edificios comerciales como en edificios residenciales.

Para cumplir los requisitos de comportamiento acústico, hay que prestar especial atención a los detalles constructivos. En la Figura 6.2 los elementos de hormigón prefabricados tienen un revestimiento, separado de la propia placa prefabricada mediante una capa resiliente comercial, o mediante una membrana hidrófuga y lana mineral de gran densidad. Además, el techo no está en contacto directo con la viga de acero, y tiene, como mínimo, una densidad de  $8 \text{ kg/m}^2$ . Hay que prestar especial atención a la unión entre particiones y forjados o techos. Un ejemplo de estos detalles se puede ver en la Figura 6.3, en la que se ha dispuesto lana mineral de alta densidad alrededor de la viga de acero y un material sellante en las juntas entre partición y techo y entre partición y suelo.



**Figura 6.2 Tratamiento de forjado para un buen comportamiento acústico**



**Figura 6.3 Diseño típico de junta entre pared y forjado**

Es probable que las particiones sean de doble revestimiento para reducir la transmisión de ruidos, facilitando el uso del arriostramiento en la anchura de la propia partición.

## 6.7 Eficiencia energética

El aislamiento térmico instalado en la cubierta del edificio es, tradicionalmente, responsabilidad del arquitecto. No obstante, el ingeniero estructural debe implicarse en el desarrollo de los detalles y el diseño adecuados. Los soportes del cerramiento de fachada pueden ser complicados para cumplir con los requisitos de comportamiento térmico, ya que requieren una unión excéntrica respecto a la estructura de acero secundaria, donde se soporta la fachada. Los elementos de acero que penetran en el aislamiento, como los soportes de balcones, requieren una consideración especial, incluyendo detalles para evitar los puentes térmicos. Los puentes térmicos no sólo conllevan una pérdida de calor, sino que también pueden inducir una condensación en el interior del edificio.

## 6.8 Fachada

Los sistemas de fachada que se pueden utilizar en edificios de varias plantas dependen de la altura del edificio y del grado de ventanaje. Las fachadas totalmente acristaladas son ampliamente utilizadas, aunque hay que considerar algún sistema de sombreado. En la Figura 6.4 se puede ver un ejemplo de un cerramiento de fachada totalmente acristalado. Los principales sistemas de cerramiento de fachadas son:

- Ladrillo  
Hasta 3 plantas soportadas sobre la losa. Soportados por angulares de acero inoxidable unidos a las vigas perimetrales en edificios de mayor altura
- Sistemas acristalados  
Fachadas acristaladas de triple o de doble cara, soportadas, por regla general, sobre postes de aluminio o elementos de vidrio
- Muros cortina  
Fachada de aluminio o de otro material ligero que va unida a la estructura de acero perimetral
- Enlucido o embaldosado aislado  
Sistema de fachada soportado sobre muros de relleno de acero ligero, utilizados principalmente en edificios del sector público y edificios residenciales.



Figura 6.4 Muro acristalado triple en un edificio comercial de varias plantas

### 6.8.1 Cerramiento de fachada con ladrillo

El cerramiento de fachada con ladrillo suele apoyarse sobre la estructura mediante angulares continuos, fijaciones en escuadra o individuales de acero inoxidable para evitar manchas. Por regla general, las escuadras permiten cierto ajuste vertical, utilizando dos placas encajadas con dentado en las superficies de contacto. En la Figura 6.5 se muestran fijaciones típicas en las vigas de acero, donde la disposición de la escuadra está conectada a una placa soldada entre las alas de la viga.

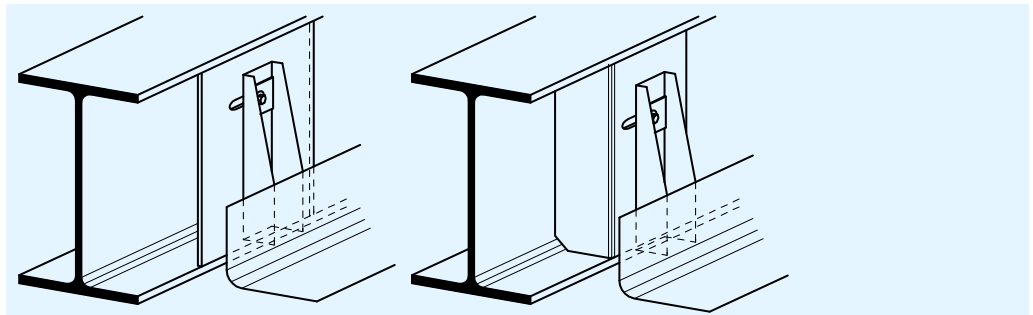


Figura 6.5 Detalles típicos de fijación en elementos de acero

La Figura 6.6 muestra dos detalles de fijación en el borde de la losa de hormigón. La escuadra puede ir fijada al borde de la losa o a un perfil en cola de milano en el borde de la losa.

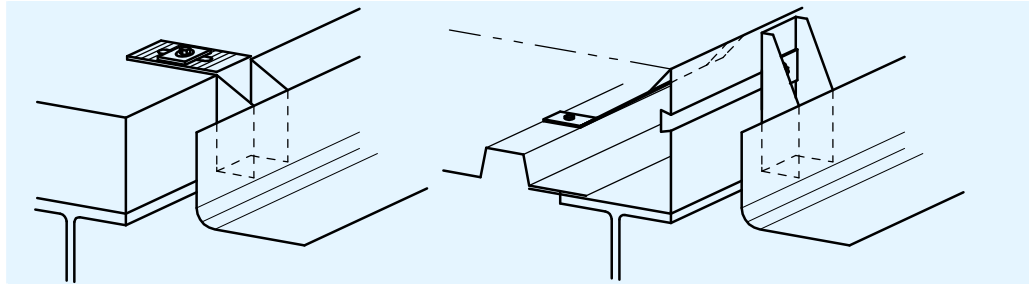


Figura 6.6 Detalles de fijación a las losas de hormigón

### 6.8.2 Sistemas acristalados

Muchas estructuras de acero disponen de fachadas acristaladas. Hay un gran número de sistemas disponibles, y se debería consultar con el fabricante del sistema antes de especificar el sistema de fachada, y, especialmente, la fijación a la estructura de acero. En muchos casos las fijaciones van en las esquinas de los paneles de cristal, y los propios paneles llevan algún tipo de junta en las uniones entre los mismos.

Hay que considerar la necesidad de disponer un ajuste en las uniones, porque las tolerancias de la estructura de acero y los paneles de acristalamiento suelen ser diferentes. El movimiento debido a los efectos térmicos puede ser significativo, y el sistema de soporte debe ser capaz de absorberlo.

### 6.8.3 Muros cortina

Los muros cortina incluyen:

- Paneles metálicos (normalmente de acero o aluminio)
- Paneles prefabricados de hormigón
- Cerramientos en piedra

Los muros cortina tienen la capacidad de soportar su propio peso y las cargas aplicadas sin sistemas estructurales adicionales. Este tipo de panel suele ir suspendido (colgado de la parte superior del panel) o sujeto por su base sobre el forjado. Por regla general, cada sistema de paneles tendrá un detalle de fijación propio que permite el movimiento y el ajuste en tres direcciones para absorber la diferencia de tolerancias entre la estructura y los paneles de cerramiento. Las uniones pueden ser de una envergadura considerable, y puede que se requiera ocultar las uniones con un suelo técnico o un falso techo. Puede que hiciera falta revisar el diseño de la losa para poder soportar las fuerzas locales de la unión. También suele ser común que hagan falta fijaciones para el borde exterior de un forjado, que normalmente se consigue mediante un canal en cola de milano en el extremo de la losa.

El cerramiento de fachada puede precisar un soporte estructural adicional, por regla general en forma de parteluces, que puede alcanzar verticalmente una serie de plantas, posiblemente con elementos horizontales intermedios (largueros). Las chapas metálicas horizontales o verticales se suelen sujetar de esta forma. Las uniones deben ser consideradas meticulosamente para permitir el ajuste en tres direcciones, y permitir el movimiento a la vez que se transmiten las cargas laterales a los forjados.

#### 6.8.4 Cerramientos de fachada por enlucido y embaldosado

El cerramiento de fachada por enlucido es un revestimiento de poco peso y de alta eficiencia energética para edificios multiplanta. Consta de aislamiento y enlucido, y va soportado sobre una estructura secundaria, como se puede ver en la Figura 6.7. Con un detallado adecuado, este tipo de fachada puede ser una solución rápida, robusta y con un alto grado de aislamiento. Se pueden utilizar baldosas como sustituto del enlucido, y dichas baldosas pueden ser baldosas individuales o paneles de baldosas prefabricados. De forma similar, se puede utilizar ladrillo como capa externa, como se puede ver en la Figura 6.8.

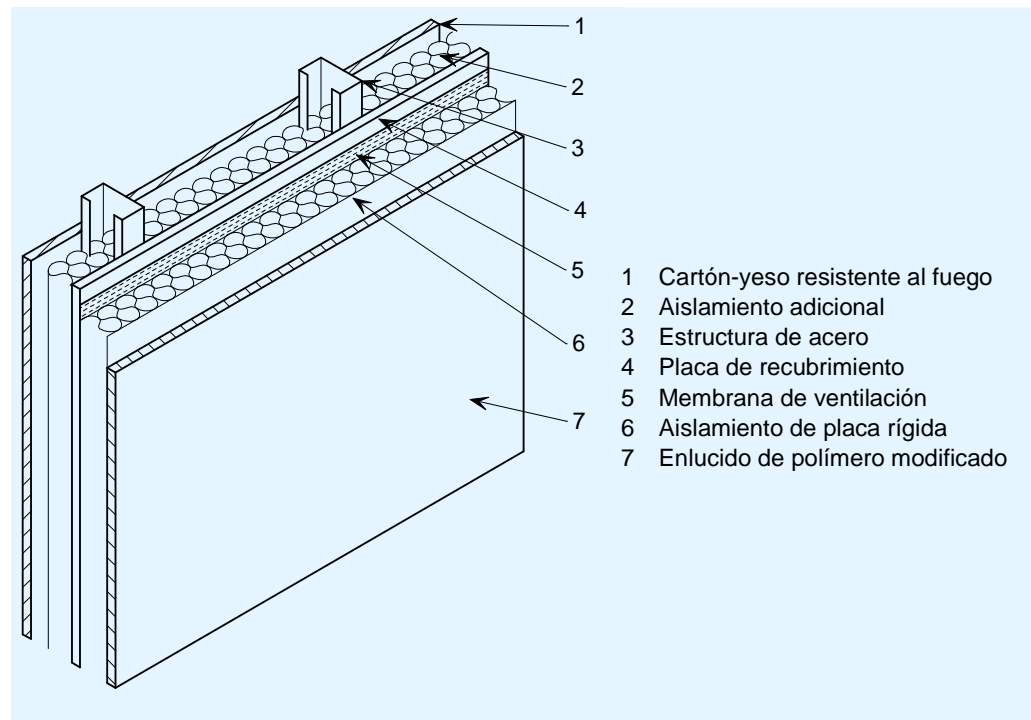
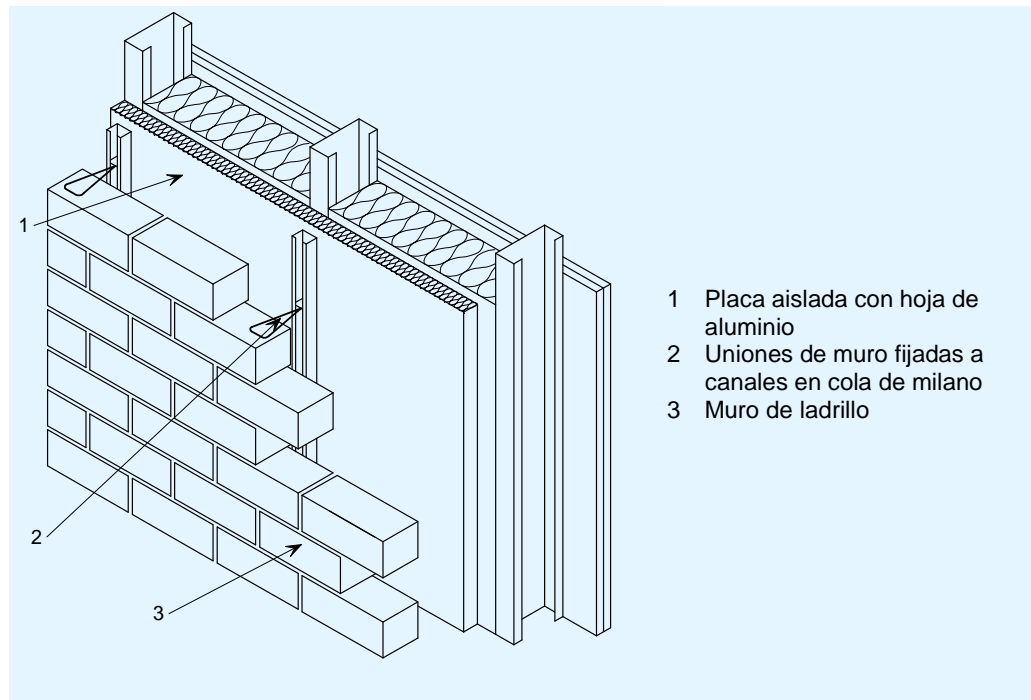


Figura 6.7 Cerramiento de fachada por enlucido típico soportado sobre una estructura de acero ligero





**Figura 6.8 Panel de relleno aislante con cerramiento de ladrillo**

## REFERENCIAS

- 1 HICKS, S. J., LAWSON, R. M., RACKHAM, J. W. and FORDHAM, P.  
Comparative structure cost of modern commercial buildings (second edition)  
The Steel Construction Institute, 2004
- 2 Edificios de acero en Europa  
Edificios de acero de varias plantas. 3ª Parte: Acciones
- 3 SANSOM, M & MEIJER, J  
Life-cycle assessment (LCA) for steel construction  
European commission, 2002
- 4 Se utilizan varios métodos de evaluación. Por ejemplo:
  - BREEAM en Reino Unido
  - HQE en Francia
  - DNGB en Alemania
  - BREEAM-NL, Greencalc+ y BPR Gebouw en Holanda
  - Valideo en Bélgica
  - Casa Clima en Trento Alto Adige, Italia (cada región cuenta con su propio sistema)
  - LEED, que se utiliza en varios países
- 5 GORGOLEWSKI, M.  
The role of steel in environmentally responsible buildings  
The Steel Construction Institute, 1999
- 6 Edificios de acero en Europa  
Edificios de acero de varias plantas. 4ª Parte: Diseño detallado
- 7 SIMMS, W.I.  
RT 983: Interim guidance on the use of intumescent coatings for the fire protection of beams  
The Steel Construction Institute, 2004
- 8 Steel buildings in Europe  
Edificios de acero de varias plantas. 5ª Parte: Diseño de uniones
- 9 <http://www.stb.rwth-aachen.de/projekte/2007/HIVOSS/download.php>
- 10 Steel buildings in Europe  
Edificios de acero de varias plantas. 6ª Parte: Ingeniería del fuego