

Buenas prácticas para la Construcción en Acero

EDIFICACIÓN COMERCIAL

La guía para Arquitectos, Diseñadores y Constructores



Research Fund
for Coal & Steel

Índice



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

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

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

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

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

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

ArcelorMittal

Bouwen met Staal

Centre Technique Industriel de la Construction Métallique (CTICM)

Forschungsvereinigung Stahlanwendung (FOSTA)

Labein - Tecnalia

SBI

The Steel Construction Institute (SCI)

Technische Universität Dortmund

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

ISBN 978-1-85942-158-1

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

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

Fotografía en portada: Tower Place, Londres. Arquitectos: Foster & Partners.

01 Introducción



02 Principales Criterios de Diseño



03 Tipologías de Forjado



04 Sistemas Especiales de Forjado



05 Uniones Estructurales



06 Casos Prácticos



01 Introducción

El diseño para edificación comercial está fuertemente influenciado por aspectos tales como, la necesidad de proporcionar grandes luces exentas de pilares, espacio suficiente para una circulación fluida, la integración de servicios en el edificio y la influencia de las condiciones de acceso local y en obra durante el proceso de construcción.

Para proyectos en zonas céntricas, la velocidad en la construcción y el mínimo almacenamiento de materiales en obra requieren un alto nivel de prefabricación que los sistemas de estructura de acero pueden proporcionar.

Un reciente estudio comparativo de costes muestran que la estructura del edificio solo es, generalmente, el 10% del coste total de la construcción y que la influencia en la elección de la cimentación, los servicios y revestimientos en la estructura del edificio implican a menudo un ahorro significativo en los costes

finales. Por lo tanto, el mejor diseño práctico es una síntesis de temas arquitectónicos, estructurales, de servicio, constructivos y logísticos. Cuando todos estos aspectos son tenidos en cuenta, son las soluciones de acero de grandes luces habilitadas para la integración de servicios las que dominan el diseño estructural en edificación comercial.

La Figura 1.1 ilustra una moderna edificación industrializada de acero que proporciona un ambiente de trabajo con alta calidad, flexible y eficiente.



Figura 1.1 Edificación moderna de estructura de acero, Londres

02 Principales Criterios de Diseño

El diseño en edificación comercial está directamente afectado por muchos factores. La siguiente guía se presenta con el fin de identificar los factores clave de diseño así como los beneficios que ofrecen la construcción de acero y construcción mixta, de acero y hormigón.

El mercado en edificación comercial

Normalmente, los proyectos realizados en centros urbanos son relativamente extensos en superficie (8.000-20.000 m²) y de 4 a 10 pisos de altura. La mayoría de los edificios requieren luces de forjado de más de 12 m. y con una tendencia definida de luces entre 15 y 18 m. libres de pilares. La altura máxima de los edificios es normalmente controlada por el planeamiento urbano. Esto conlleva la necesidad de minimizar el canto del forjado, por ejemplo, integrando estructura y servicios en la misma área horizontal.

Existe una gran demanda para la creación de oficinas con gran calidad, especialmente en el centro de la ciudad. Las sedes centrales de bancos y otras grandes compañías requieren que los edificios presenten altos niveles de calidad arquitectónica y medioambiental. El coste de inversión es el criterio principal en la decisión de la solución arquitectónica de un edificio, su implantación y la estrategia de integración de servicios. Asimismo, existen muchos edificios curvos o de formas arquitectónicas complejas con amplias fachadas acristaladas y grandes atrios.

Actualmente, existe una clara tendencia a la construcción con usos mixtos, la cual involucra en un mismo proyecto o edificio, un diseño tanto residencial como comercial. Por otro lado, la reciente

tendencia a construir en zonas de expansión de las ciudades, en las que no ha habido construcciones previas (zonas verdes) o en zonas no céntricas de la ciudad como parques tecnológicos y científicos, ha ido disminuyendo notablemente, ya que se ha incrementado la construcción en el centro de las ciudades.

Como puede observarse en la Figura 2.1, la construcción para usos mixtos ha empezado a convertirse en un referente en la edificación. Esta tecnología estructural proporciona también oportunidades en la integración de servicios para construcciones en base a grandes luces. La instalación y montaje de servicios, ascensores, cuartos húmedos y habitaciones es también un factor importante en los proyectos.

La flexibilidad que proporcione el edificio a largo plazo es un aspecto relevante para el cliente y para los promotores, mientras que la información tecnológica y los sistemas de gestión (Building Management Systems - BMS) representan un valor muy importante en la planificación, el diseño y funcionamiento.

Programa de construcción

El programa de construcción deberá ser considerado del mismo modo que la evaluación de los costes de la estructura, servicios, revestimientos y acabados. El proyecto estructural tiene una gran

El mercado en edificación comercial

Programa de construcción

Aspectos constructivos

Aspectos de diseño

Protección ante incendio

Aislamiento térmico

Cargas



Figura 2.1 Los forjados mixtos proporcionan una plataforma de trabajo segura durante su construcción

influencia tanto en el programa constructivo como en el coste final.

Las soluciones estructurales, que permitan fácil accesibilidad a posibles modificaciones futuras, son beneficiosas en el rendimiento de la inversión de los clientes. La rapidez de construcción es el punto fuerte a favor en el empleo del acero.

Aspectos constructivos

Condiciones del solar

Las estructuras se construyen cada vez más en terrenos de mala calidad o en suelos anteriormente edificados. Obras subterráneas y de infraestructuras como, por ejemplo, la construcción de túneles casi siempre es la solución adoptada en el centro de las ciudades.

La mala condición del terreno tiende a requerir soluciones ligeras con menor cimentación. Por tanto, frecuentemente se necesitan mayores luces para las estructuras. Una estructura de acero es un 50% más ligera que cualquier estructura de hormigón.

Una superficie reducida puede proporcionar restricciones a la hora de elegir el proyecto estructural, por ejemplo, referente al tamaño de los elementos que se transportan y construyen. La construcción mixta es preferible en este tipo de casos.

Grúas

Las estructuras de varios pisos son normalmente construidas utilizando grúas torre. El número de grúas a utilizar en obra está influenciado por:

- La superficie del solar. ¿Pueden las grúas cubrir la obra de forma práctica, incluyendo la descarga de materiales?
- El tamaño del proyecto. ¿Pueden utilizarse eficientemente varias grúas?
- Decisiones comerciales en cuanto al programa de gastos y beneficios.

La rapidez en montaje depende de la disponibilidad de tiempo de las grúas. Un menor número de componentes a montar y el uso de mayor cantidad de grúas reducen notablemente el programa de construcción. En terrenos reducidos en el centro de la ciudad, se utilizan únicamente una grúa torre debido a su gran envergadura.

Todas estas demandas contradictorias pueden reducir la competitividad en la construcción de estructura de acero. En proyectos grandes, un requisito importante es facilitar a los diversos gremios de la construcción el comienzo de sus tareas mientras avanza la instalación de la estructura principal de acero.

Rapidez de instalación

Como referencia, se puede decir que el montaje promedio de 20 a 30 componentes de acero por día es razonable en la mayoría de los proyectos de edificación comercial.

En cuanto al peso medio de los elementos, esto equivaldría a 10-12 toneladas de acero por día. Por lo tanto, es beneficioso el empleo de mayores luces, lo que reduciría el número de componentes hasta un 25%.

“Los beneficios principales de un proyecto construido en acero son una reducción en el tiempo de ejecución y un retorno más rápido de la inversión para el cliente.”

Forjados mixtos

Los forjados mixtos se basan en chapas perfiladas de acero, las cuales son izadas hasta la estructura de acero en paquetes y por lo general, instalados manualmente por los operarios.

Se instala inmediatamente un sistema anticáida después del montaje de la estructura principal y antes de que las chapas perfiladas sean colocadas. Habitualmente, las chapas se colocan justo después de que la estructura de acero haya sido levantada.

Cuando se colocan las chapas perfiladas, el forjado puede utilizarse como plataforma de trabajo segura para la instalación posterior de la estructura de acero, véase la Figura 2.1. Por esta razón, el forjado superior en cualquier grupo de forjados, montados simultáneamente, generalmente 3 plantas, es a menudo hormigonado en primer lugar.

Placas prefabricadas de hormigón

La colocación de las placas prefabricadas de hormigón resulta difícil si estas tienen que colocarse a través de la estructura metálica. Resulta mejor opción, posicionar directamente las placas prefabricadas de hormigón en el momento que se levanta la estructura principal de cada planta. En este caso, el suministro e instalación del hormigón pueden ser parte del servicio que nos ofrece el contratista de la construcción.

Aspectos de diseño

Vida útil

Cuando se analiza cualquier proyecto estructural, se admite que la estructura principal tiene una vida útil mayor que otros elementos constructivos. Por ejemplo, los servicios presentan una vida útil de aproximadamente 15 años frente a los 60 años que presenta la estructura. Los cerramientos exteriores para el caso de oficinas tienen habitualmente una vida útil de 30 a 60 años.

De igual modo, debe considerarse también la flexibilidad que proporciona la estructura en su interior, ya que los proyectos que permiten mayor flexibilidad en el diseño son preferibles. Para proporcionar flexibilidad y accesibilidad en futuras modificaciones, la estructura de acero puede ser diseñada con:

- Grandes luces para conseguir menor número de pilares.
- Techos de mayor altura.
- Mayor libertad en la distribución de servicios.

Integración de servicios

A pesar del gran progreso con respecto a la eficiencia energética en los edificios y también, cuando es posible, en la utilización de una ventilación natural, la mayoría de los grandes edificios comerciales continúan requiriendo servicios de ventilación forzada y aire acondicionado. La previsión de esos sistemas es de suma importancia ya que afecta en la implantación y al tipo de elementos que conforman la estructura.

La decisión de integrar los servicios en el forjado o de suspender éstos bajo la estructura afecta a la elección de la estructura principal, al sistema de protección de incendios, a los detalles de cerramiento y a la altura total del edificio.

Los sistemas comúnmente utilizados son el sistema de volumen de aire variable (VAV) y el sistema de ventilador Fan Coil (FCU). Los sistemas VAV son frecuentemente utilizados en edificios de propietario único por el menor gasto de funcionamiento. El sistema FCU se utiliza, en cambio, en la edificación



Figura 2.2 Vigas con aberturas alargadas y con rigidizadores horizontales



Figura 2.3 Distribución de servicios bajo el forjado de vigas integradas



Figura 2.4 Chapa de acero inoxidable utilizada en la Cámara de Comercio de Luxemburgo Vasconi Arquitectos

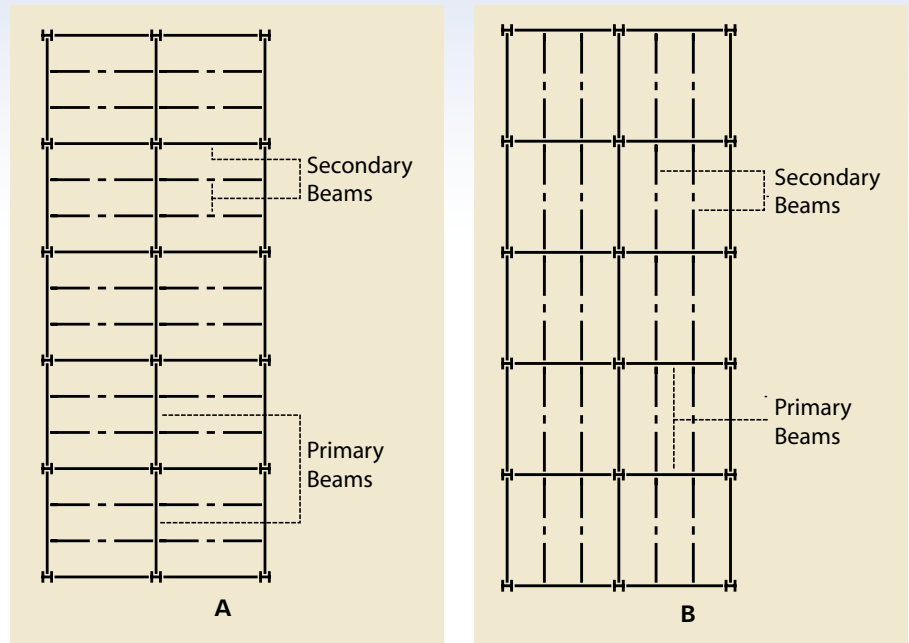


Figura 2.5 Implantación alternativa para las vigas en construcción mixta

comercial pensada para el alquiler de espacios, puesto que en este caso presenta un bajo coste económico.

Generalmente, un canto de forjado de 450 mm. permite colocar los servicios bajo la estructura del forjado. Normalmente, se permite un canto adicional de 150 – 200 mm. adicionales para los sistemas de protección contra incendios, el falso techo, la iluminación y flechas nominales entorno a los 25 mm. Los sistemas de ventilación (FCU y VAV) se situarán entre las vigas de acero cuando exista espacio disponible. Algunos sistemas proporcionan aire acondicionado a través de forjado con suelo técnico.

Ciertos servicios pueden integrarse a través de las aberturas en las vigas de acero, las cuales pueden ser aberturas individuales en vigas de acero laminado o aberturas múltiples distribuidas regularmente o de forma irregular en vigas armadas.

Las vigas alveolares que presentan aberturas circulares regulares en el alma se crean soldando dos partes de un perfil de acero laminado, ganando así canto en la viga respecto del perfil inicial. La parte superior e inferior del perfil de acero inicial pueden cortarse en diferentes tamaños, de diferentes tipos de vigas e incluso combinar diferentes calidades del acero, secciones híbridas. Esto permite una

solución eficiente para la integración de servicios a la vez que se incrementa la resistencia a flexión y la rigidez. También se pueden crear aberturas alargadas, como se muestra en la Figura 2.2.

Los sistemas de forjado integrado presentan un canto mínimo y dan flexibilidad en cuanto a la distribución de servicios, véase la Figura 2.3. Aún así, se siguen desarrollando formas innovadoras de forjados integrados como puede observarse en la Figura 2.4. En este caso, el acero inoxidable de la chapa está expuesto y actúa para regular la temperatura interna mediante la capacidad térmica de la losa. El sistema de aire acondicionado y de iluminación quedan a su vez, integrados y visibles.

Vibraciones del forjado

La respuesta del forjado estructural puede considerarse simplemente en términos de frecuencia natural. Si esta frecuencia es mayor que 4 Hz, el forjado generalmente se considera satisfactorio. Aunque este criterio básico es generalmente aceptable para las zonas concurridas del edificio, no es apropiado para aquellas zonas más silenciosas donde las vibraciones pueden ser razonablemente más perceptibles.

Un planteamiento más adecuado es el estudio basado en el nivel de la vibración medido en términos de aceleración. Aceleraciones elevadas indican una respuesta dinámica, que resulta más perceptible para los usuarios.

“La construcción con perfiles conformados en frío puede concebirse para minimizar los efectos de la vibración mediante el empleo de métodos de análisis. Las vigas de gran luz movilizan mayor masa eficaz reduciendo las vibraciones.”

En la práctica, la respuesta vibratoria es menos notoria debido al aumento de la masa que participa en el movimiento. En general, la utilización de vigas de gran luz crea menos problemas dinámico que luces menores debido a la mayor masa efectiva, cuya idea es contraria a la basada en la frecuencia natural.

La implantación de las vigas es a menudo importante, ya que el empleo de vigas mixtas continuas de gran luz, dan lugar a menores factores de respuesta, debido a que participa mayor cantidad de masa en el movimiento. Como puede observarse, la Figura 2.5 muestra dos posibles disposiciones de vigas. La respuesta dinámica para la disposición B de la figura será menos perceptible que la disposición A ya que la masa involucrada en B aumenta.

La amortiguación reduce la respuesta dinámica del forjado. La respuesta del mismo se reduce a través de particiones perpendiculares a los elementos principales de vibración, normalmente, las vigas secundarias, aunque realmente este factor puede resultar poco fiable en diseño, debido a que es difícil de conseguir un resultado exacto. Particularmente durante la construcción, cuando el edificio esta vacío, las vibraciones son más notorias; debido a que cuando se instalan equipos y el edificio está ocupado la amortiguación aumenta hasta 3 veces aproximadamente.

Protección ante incendio

Los diseñadores deberían considerar siempre la protección ante incendio cuando evalúan o eligen una configuración estructural determinada y deben abordar aspectos tales como:

- Sistemas de evacuación.
- Tamaños de los sectores de incendio.
- Accesos y servicios adecuados para el equipo de bomberos.
- Limitar la propagación del fuego.
- Control y evacuación de humos.
- Instalación de rociadores para prevenir y controlar el incendio.
- Estrategia de protección pasiva.

Resistencia al fuego

El comportamiento estructural ante incendio deberá cumplir los requisitos establecidos en las normas correspondientes, normalmente



Figura 2.6 Vigas alveolares de gran luz con la protección al fuego proporcionada en taller dan mayor libertad a la integración de servicios

entendido como un periodo mínimo de tiempo de resistencia al fuego. Como alternativa, puede emplearse la ingeniería de seguridad ante incendio, la cual garantiza la seguridad del edificio en su totalidad, considerando el desarrollo natural del fuego, el uso del edificio y las medidas de protección activas para reducir la severidad del incendio.

Normalmente la ingeniería estructural deberá considerar:

- Las oportunidades del acero sin protección ante el análisis de seguridad ante incendio, considerando el desarrollo de fuego natural y su severidad.
- Sistemas tales como pilares parcialmente embebidos y vigas integradas, que no requieran protección adicional ante incendio.
- La influencia de la integración de servicios en la elección del sistema de protección a fuego y soluciones de posible ejecución en taller, tales como el uso de pintura intumescente.
- La influencia de la protección aplicada en obra en el programa de construcción.
- La apariencia final de la estructura expuesta al fuego.
- Proyectos con menos vigas pero más pesadas pueden suponer un ahorro considerable en la protección ante incendio.

Aislamiento térmico

El diseño del aislamiento térmico en el edificio es normalmente responsabilidad del arquitecto, pero el ingeniero estructural tiene que participar en el desarrollo de los detalles apropiados para su correcto funcionamiento. Por ejemplo, los sistemas de apoyo para los cerramientos y los componentes de acero que rodean el aislamiento, tales como los balcones deberían estudiarse detalladamente para minimizar los efectos del puente térmico.

Cargas

El Eurocódigo 1, EN1991: Acciones en estructuras, recoge el conocimiento para el tratamiento de las cargas en la estructura. Los valores recomendados para las cargas impuestas se proporcionan en la parte 1-1 (EN1991-1-1: Acciones generales. Pesos específicos, pesos propios y sobrecargas) y acciones en caso de incendio en la parte 1-2 (EN1991-1-2: Acciones en estructuras expuestas al fuego). Las cargas de nieve se tratan en la parte 1-3 (EN1991-1-3), las acciones de viento en la parte 1-4 (EN1991-1-4) y las acciones durante la ejecución en la parte 1-6 (EN1991-1-6).

Las comprobaciones de diseño se hacen tanto en Estado Límite Último (ULS) como en Estado Límite de Servicio (SLS).

Generalmente, las cargas de viento se transfieren desde la fachada a través

Elementos constructivos	Pesos propios
Losas para 6 m. de luz y diseñadas para una sobrecarga de 5 kN/m ²	3 a 4.5 kN/m ²
Losa mixta de 130 mm. de canto y hormigón normal	2.6 a 3.2 kN/m ²
Losa mixta de 130 mm. de canto y hormigón ligero	2.1 a 2.5 kN/m ²
Servicios	0.25 kN/m ²
Techos	0.1 kN/m ²
Estructura de acero para 2-6 plantas	35 a 50 kg/m ² (0.5 kN/m ²)
Estructura de acero para 7-12 plantas	40 a 70 kg/m ² (0.7 kN/m ²)

Tabla 2.1 Pesos típicos en elementos constructivos

de la losa de forjado hasta el núcleo de hormigón, lo que incluye escaleras y ascensores.

Los sistemas de arriostramiento en fachada o planos rígidos pueden considerarse en edificios de hasta seis plantas.

Normalmente, las vigas mixtas de gran luz requieren de contraflecha con el fin de compensar la flecha en las vigas de acero bajo cargas de peso propio. Las sobrecargas de uso son resistidas por la sección rígida mixta. La flecha definitiva es una combinación entre la fase de construcción y la flecha en servicio.

Peso propio

El peso propio de las construcciones debería clasificarse como una acción

fija permanente. Tanto en el peso propio del forjado como de la estructura en sí, deberá considerarse una carga adicional de 0,7 kN/m² para suelos técnicos, falsos techos y equipamientos para los servicios del edificio.

La Tabla 2.1. presenta los pesos propios para diferentes elementos constructivos en edificios de varias plantas.

Sobrecargas de uso

Las sobrecargas de uso son acciones variables que se aplican a la estructura e incluye las cargas debidas a los ocupantes, equipos, mobiliario y tabiques móviles, también la carga de nieve de los tejados.

La magnitud de la sobrecarga varía directamente según el uso específico de la superficie, por ejemplo se aplican

diferentes valores para una habitación o una zona de almacenamiento.

El Eurocódigo EN-1991-1 señala las sobrecargas de uso mínimas para los diferentes usos de los edificios. Por ejemplo, la sobrecarga de uso en oficinas es normalmente de 3 kN/m². Se puede añadir hasta una carga de 1 kN/m² para particiones móviles. Para zonas de almacenamiento puede utilizarse un valor mayor de 5 kN/m².

03 Tipologías de Forjado

Este capítulo describe las principales tipologías de forjados empleados en edificios de varias plantas. Se describen las características de cada forjado junto con los aspectos de diseño más relevantes en cada caso.

La estructura del forjado se compone de vigas y losas de hormigón. Las vigas están unidas a los pilares, los cuales se sitúan en lugares óptimos para conseguir un uso eficaz del espacio. El espacio libre entre pilares se considera un importante requisito en el diseño de edificación comercial moderna, logrando mayor flexibilidad en uso. Muchos sistemas de vigas de grandes luces proporcionan hasta 18 m, lo que implica que los pilares internos no son necesarios en la implantación del edificio.

Además de su función de transmitir las sobrecargas, los forjados suelen actuar como diafragmas horizontales, asegurándose que las fuerzas horizontales sean transferidas al arriostramiento vertical o núcleos. Por otro lado, los componentes constructivos del forjado, losas, chapas y vigas deben diseñarse de acuerdo con la resistencia al fuego requerida, que debe ser seleccionada teniendo en cuenta la altura del edificio y el uso del mismo.

Los servicios pueden ser integrados en la estructura o colocados bajo el forjado. Algunos forjados pueden contar con un suelo técnico para la distribución de los servicios de electricidad y comunicación.

Pueden presentarse diferentes sistemas de forjado:

- Forjado de chapa colaborante con vigas mixtas.
- Forjado con vigas asimétricas integradas.
- Forjado de chapa colaborante con vigas alveolares mixtas.
- Vigas aligeradas mixtas de grandes luces.

- Vigas mixtas con placas prefabricadas de hormigón.
- Vigas no mixtas con placas prefabricadas de hormigón.

Construcción mixta

La mayoría de los sistemas constructivos para el sector de la edificación comercial en acero están basados en los principios de una construcción mixta. Los conectadores normalmente presentan una cabeza circular y generalmente son soldados en obra a través de la chapa colaborante a las vigas.

La chapa colaborante del forjado puede tener un perfil en cola de milano o trapezoidal. La chapa de cola de milano requiere el empleo de más hormigón en relación con las chapas trapezoidales, pero aumentan la resistencia a fuego para un determinado canto de losa. La chapa trapezoidal normalmente cubre mayores luces que la chapa en cola de milano, pero la resistencia a cortante de los conectadores se reduce debido a la influencia del mayor canto del perfil.

Generalmente, se emplea hormigón normal (NWC) aunque en algunos países, el hormigón ligero (LWAC) es eficiente y está ampliamente disponible. Su densidad es de entre 1,700-1,950 kg/m³ en comparación con los 2,400 kg/m³ del hormigón normal.

Las placas alveolares prefabricadas pueden emplearse con vigas no mixtas o con vigas mixtas, mediante el uso de conectadores soldados a las vigas y de armaduras en las placas prefabricadas. Para las placas prefabricadas macizas, la armadura se coloca en la capa de compresión del hormigón.

Vigas mixtas

Vigas asimétricas integradas

Vigas alveolares mixtas

Vigas mixtas de grandes luces

Vigas mixtas con placas prefabricadas

Vigas no mixtas con placas prefabricadas

Forjado de chapa colaborante con vigas mixtas



Figura 3.1 Viga de borde en forjado mixto

Descripción

La construcción mixta consiste en vigas de acero de perfil en I o en H, con conectores soldados al ala superior de la viga para permitir que ésta actúe conjuntamente con la losa mixta (chapa colaborante y hormigón armado “*in situ*”), como puede observarse en la Figura 3.1. La losa mixta y la viga de acero actúan unidas para incrementar la resistencia a flexión y la rigidez del forjado.

Las losas mixtas se apoyan en las vigas secundarias, las cuales a su vez, son soportadas por las vigas principales. Las vigas principales y secundarias son diseñadas como vigas mixtas. Las vigas de borde pueden diseñarse como no mixtas, aunque los conectores se utilicen por razones de integridad estructural y para transferir las cargas de viento. Un ejemplo tipo en la implantación del forjado se muestra en la Figura 3.2.

La losa de forjado comprende la chapa colaborante de poco canto, con el hormigón armado y una capa de compresión, las cuales actúan conjuntamente en acción mixta. En la capa de compresión se coloca una mallazo para reforzar la resistencia al fuego de la losa, distribuir la carga localizada, actuar como armadura transversal alrededor del conector y reducir la fisuración del hormigón.

El forjado normalmente se diseña sin empleo de apuntalamiento y soporta el peso del hormigón fresco y la carga de construcción actuando como un elemento continuo sobre, al menos, dos luces. La losa mixta se diseña generalmente como simplemente apoyada entre las vigas.

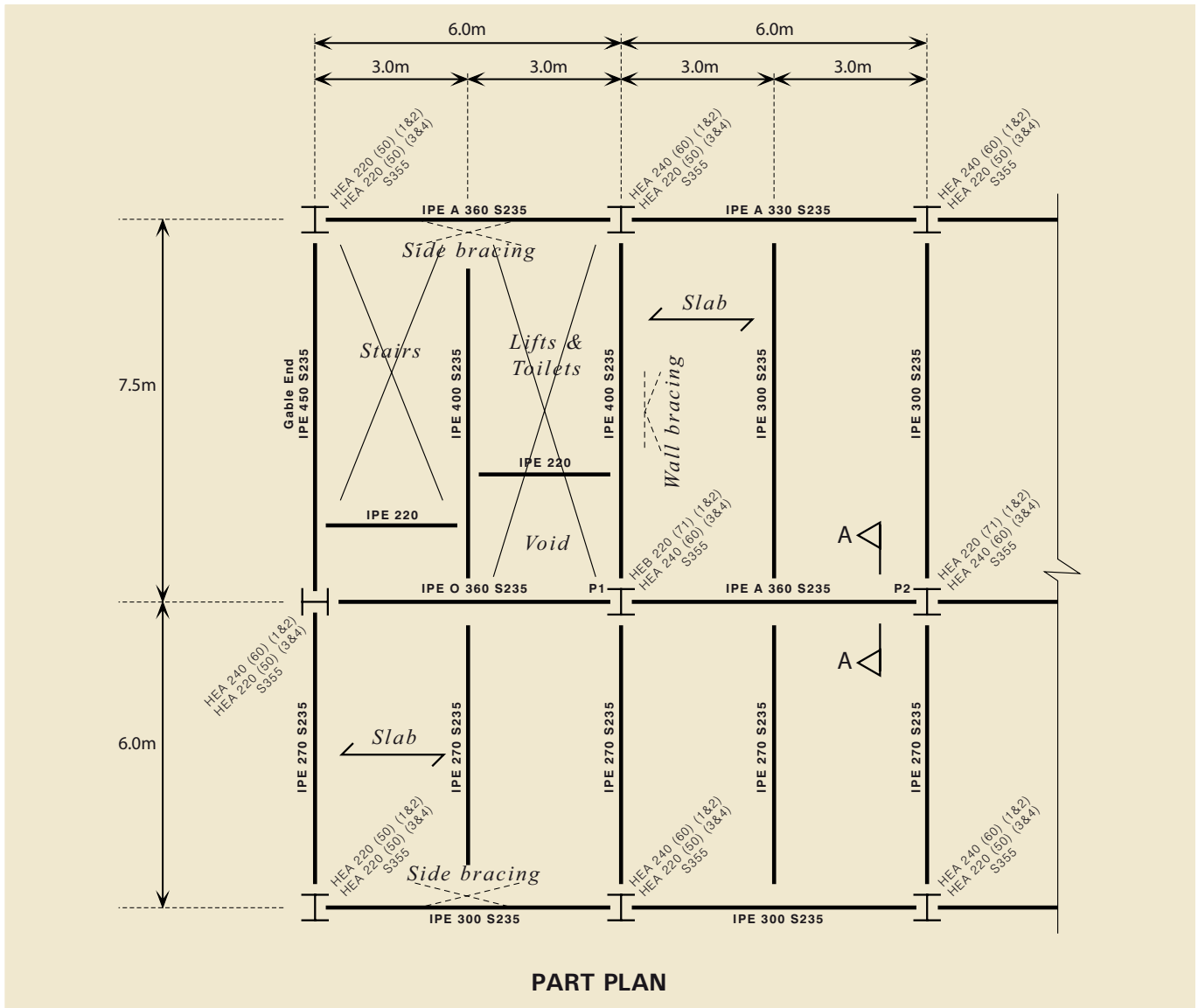
Las páginas web indicadas a continuación ofrecen softwares de prediseño disponibles gratuitamente: www.arcelormittal.com/sections, www.steel-sci.org y www.corusconstruction.com.

Rango de luces típicas en vigas

Vigas secundarias: 6 - 15 m. de luz y de 2,5 - 4 m. de modulación
 Vigas principales: Entre 6 y 12 m.

Principales consideraciones de diseño para la implantación del forjado	<p>Las vigas secundarias deben de colocarse a fin de evitar el apuntalamiento del forjado durante la construcción. Por lo general, se prefieren grandes luces para las vigas secundarias.</p> <p>En las vigas de poco canto, los servicios son instalados bajo las vigas, y por consiguiente, afectan a todo el forjado. Para vigas de mayor canto, se pueden realizar aberturas en el alma de la viga para la integración de los servicios.</p> <p>Las vigas de borde pueden requerir mayor canto que las vigas internas debido a los límites de flechas por el peso del cerramiento, en particular, por el acristalamiento.</p>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Las vigas son más ligeras y tienen menos canto que en la construcción no-mixta, como consecuencia son más económicas. • Amplia disponibilidad de perfiles de acero laminados en caliente.
Integración de servicios	<p>Las unidades principales de calefacción y ventilación pueden colocarse en la zona definida por el canto de la viga, como se muestra en la Figura 3.3, pero los conductos pasan bajo las vigas. Los servicios pueden ser introducidos a través de aberturas locales en el alma, de hasta un 60% de canto de perfil de la viga.</p>
Planteamiento de diseño	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las vigas secundarias tienen luces de 6 a 15 m. y 3 m. de modulación. Las vigas principales pueden tener 2 o 3 veces más luz que las vigas secundarias, por ejemplo de 6 a 9 m. 2. Elección del forjado y la losa, utilizando tablas de fabricantes o softwares. Se recomienda utilizar forjados que no requieran apuntalamiento durante la construcción. Debe asegurarse que el canto y la armadura de la losa empleada cubren los requisitos a fuego requeridos. 3. La orientación de las chapas perfiladas difiere entre las viga principal y secundaria. Los conectadores pueden estar separados 300 mm. en vigas secundarias, mientras que en las vigas principales, la separación sería de 150 mm.
Secciones	<p>El canto de la viga (perfil de acero) \approx normalmente L/24 (vigas secundarias) o L/18 (vigas principales).</p> <p>Vigas secundarias: IPE300 para 7,5 m. de luz y 3,75 m. de modulación. Vigas principales: IPE360 para 7,5 m. de luz y 7,5 m. de modulación.</p>
Calidad del acero	<p>Vigas secundarias y viga de borde: Generalmente acero S235 ^[1] o S275. Vigas principales: acero S355.</p>
Forjado	<p>Generalmente la zona de forjado total es de 1.000 - 1.200 mm. para una modulación de 9 m, asumiendo 150 mm. para el suelo técnico y, además, los conductos de aire acondicionado bajo las vigas.</p>
Hormigón	<p>Se puede utilizar hormigón normal (NWC) de densidad típica 2.400 kg/m³ u hormigón ligero (LWAC) de densidad 1.850 kg/m³. El NWC aísla mejor el sonido, por lo cual se utiliza en hospitales, edificios residenciales, etc. El LWAC favorece la relación peso de la estructura frente al diseño de la cimentación, es más competitivo para mayores luces y proporciona mejor aislamiento contra el fuego, permitiendo que se puedan emplear losas de forjado de menor canto (10 mm. menos que con el hormigón normal). En cambio, el hormigón ligero no está disponible en todas las zonas de Europa.</p>

^[1] En España, el uso de aceros estructurales de tipo S235 no es habitual, se recomienda adoptar en proyecto el S275, de empleo muy extendido a nivel nacional y de fácil disponibilidad.



PART PLAN

Zona funcional de forjado
 = 150 mm suelo técnico
 + 130 mm losa
 + 352 mm viga
 + 150 mm falso techo y alumbrado
 = 782 mm ≈ 800 mm

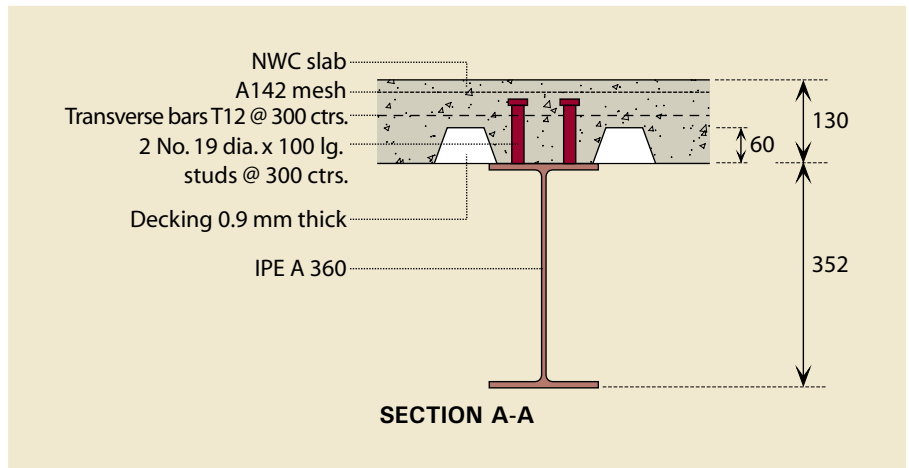


Figura 3.2 Viga mixta tipo y ejemplo del forjado en planta para un edificio de 4 pisos con distribución rectangular

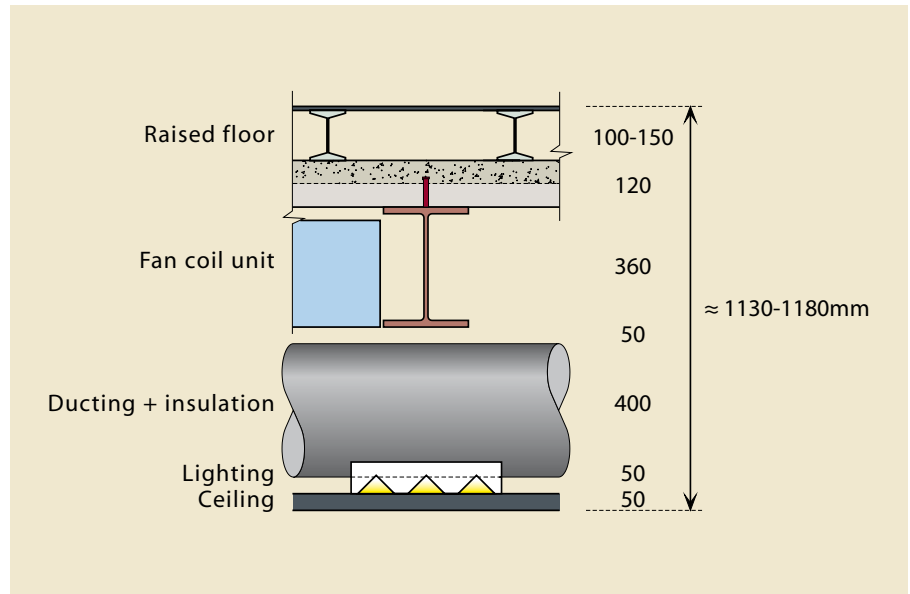


Figura 3.3 Forjado mixto con los servicios integrados bajo el mismo

Clase de hormigón	Utilizar hormigón C25/30 como mínimo. Utilizar C35/45 para superficies expuestas a abrasión.
Protección ante incendio	<p>Vigas: Pintura intumescente con 1,5 mm. de espesor para 90 minutos de resistencia al fuego (R90), o placas de 15 a 25 mm. de espesor para 90 minutos de resistencia al fuego (R90).</p> <p>Pilares: Placas de 15 mm. de espesor para resistencia al fuego de 60 minutos (R60) y 25 mm. de espesor para R90.</p>
Uniones	Uniones articuladas: casquillos de doble angular atornillados al alma, chapas de borde de canto total o chapas atornilladas al alma para uniones a vigas principales y secundarias.

Forjado con vigas asimétricas integradas

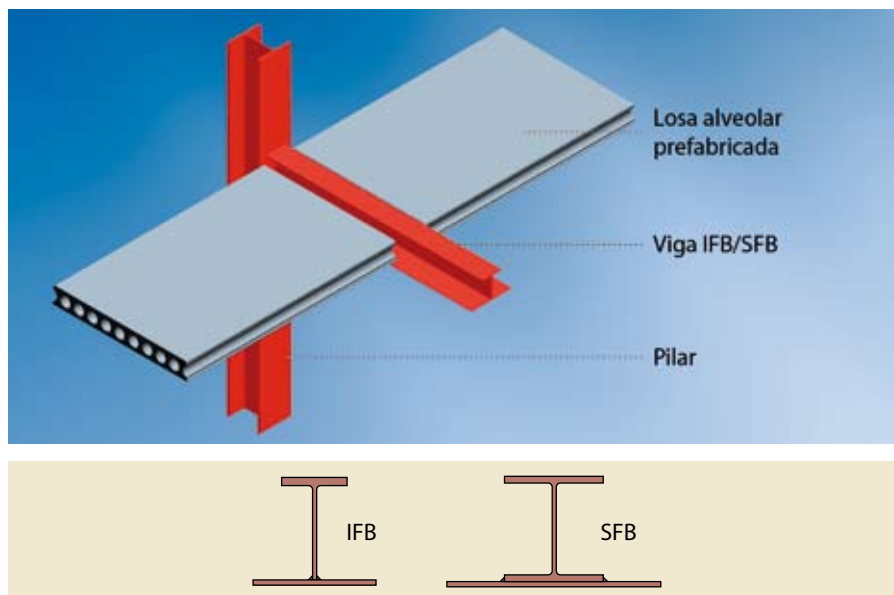


Figura 3.4 Forjado integrado con vigas asimétricas y placas de hormigón prefabricado

Descripción

Las vigas de forjado integradas proporcionan sistemas de forjado de poco canto que constan de vigas asimétricas en la que apoyan las prelosas de hormigón, tales como las alveolares. El sistema IFB está construido cortando un perfil IPE o HE en dos secciones en forma de T y soldándolos a una platabanda perpendicular al alma. En el sistema SBF, la platabanda se suelda debajo del ala inferior de un perfil IPE o HE, véase Figura 3.4. Esta placa se prolonga al menos 100 mm. a cada lado del ala de la viga para servir de apoyo de las unidades de hormigón prefabricado. Se recomienda una capa de compresión estructural de hormigón para unir las placas prefabricadas a fin de que actúen como un diafragma. Si no se prevé apuntalamiento, la armadura debe ser colocada a través del alma de la viga para unir el forjado a ambos lados, a fin de satisfacer la necesidad de solidez y acción del diafragma.

Hay dos opciones para el diseño de vigas:

- Secciones no mixtas.
- Secciones mixtas – Si la losa tiene el suficiente canto sobre las vigas para permitir la altura de los conectadores.

Las disposiciones de las vigas comprende luces comprendidas entre 5 - 7,5 m. con un canto de forjado entre 200 - 350 mm. (véase la Figura 3.5). Para las vigas de forjado integrado, la luz de la losa es generalmente más larga que la luz de la viga. Los perfiles de las vigas pueden tener entre 200 y 350 mm. de canto y sobre sus alas se construye la capa de compresión del forjado (el ala superior también puede a la misma cota que el acabado de la losa.)

Las vigas de borde pueden ser perfiles IFB/SBF con geometría modificada o bien perfiles alveolares rectangulares o vigas de sección rectangular (RHS), con una platabanda inferior soldada actuando como ala. Las vigas de borde son a menudo concebidas como no mixtas y los conectadores a cortante son empleados sólo para garantizar la acción diafragma del forjado.

Como alternativa a las placas alveolares prefabricadas se puede emplear la chapa colaborante de gran canto en el forjado.

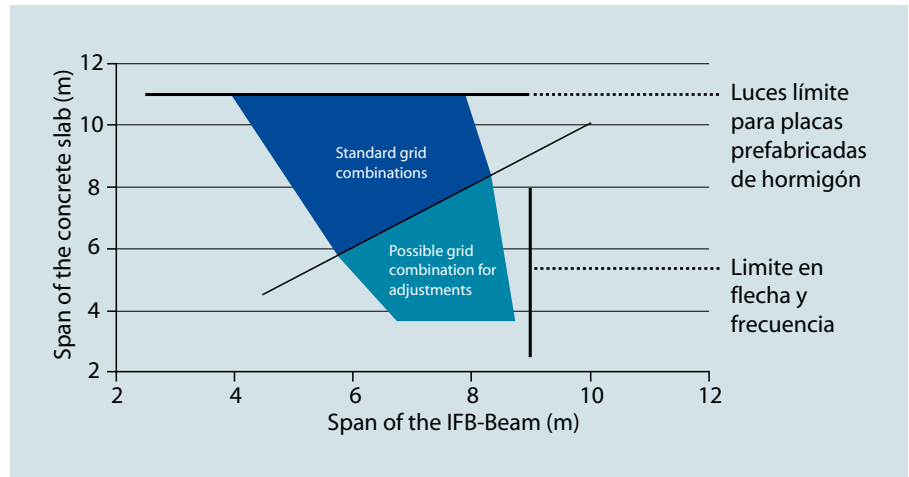


Figura 3.5 Rango de aplicación para vigas IFB integradas

Descripción (continuación)

Esta aplicación es denominada *Slimdek* y se presenta en el siguiente capítulo.

El software de esta solución está disponible gratuitamente en: www.arcelormittal.com/sections. El software del forjado de acero de canto reducido, '*Slimdek*', está disponible en: www.corusconstruction.com.

Rango de luces típicas en vigas

Entre 5 m. y 7,5 m. aunque se puede lograr una luz más grande utilizando vigas de gran canto y losas prefabricadas de hormigón. Las diferentes disposiciones de aplicación son las presentadas anteriormente.

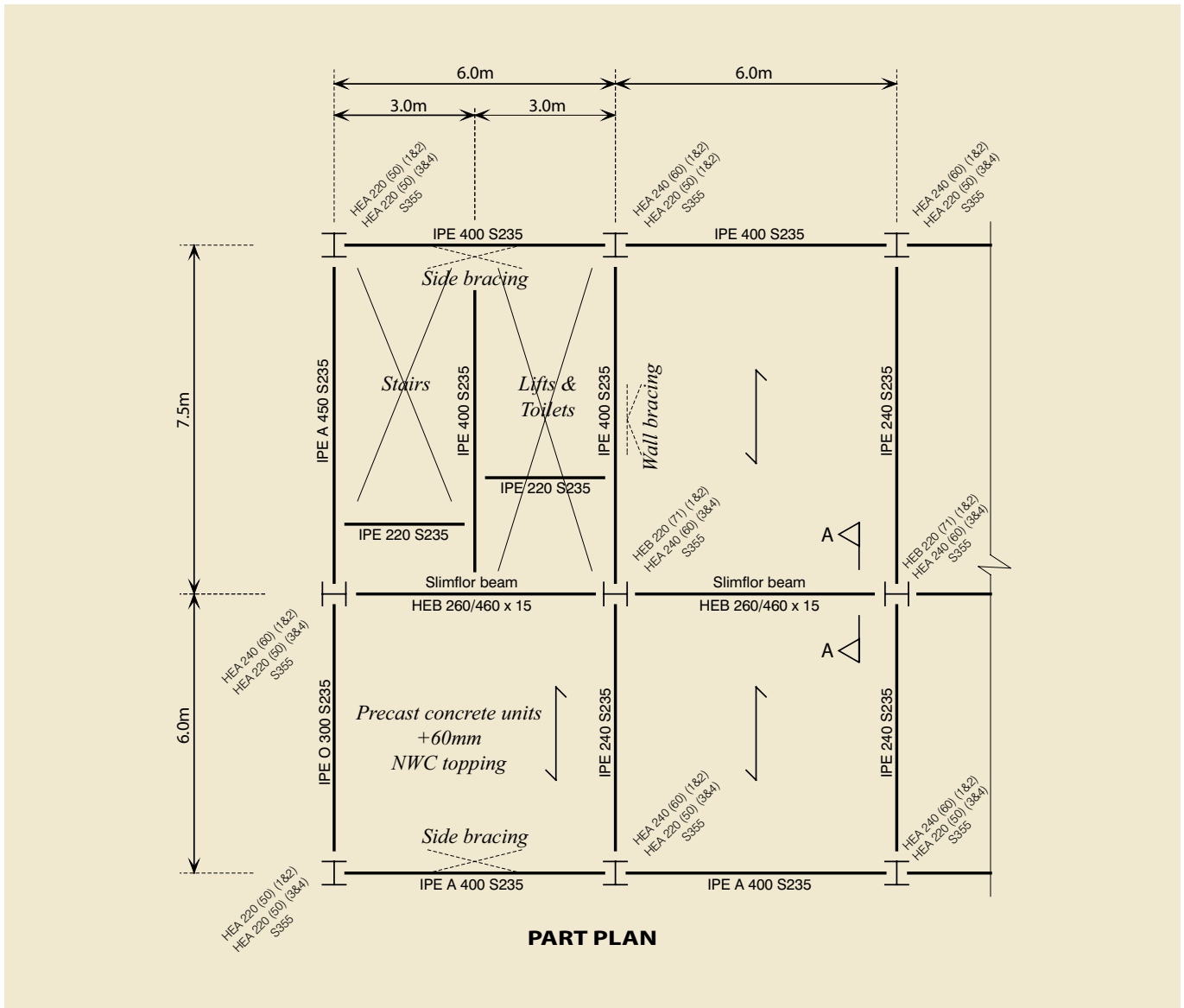
Principales consideraciones de diseño para la implantación del forjado

Los efectos de torsión deberían estar considerados en las vigas integradas que soportan las placas prefabricadas de hormigón. Estos efectos también se dan durante la fase de construcción. Las vigas cargadas en un solo lado son relativamente pesadas porque se combinan las solicitaciones de flexión y de torsión, que deberían ser consideradas en el diseño de la viga. Una viga central que soporte placas prefabricadas apoyadas, en el extremo opuesto, en vigas de borde descolgadas, normalmente es la solución más económica, aunque las vigas de borde RHS o IFB/SFB también puedan ser utilizadas para conseguir un canto de forjado más reducido y estético en caso de grandes fachadas acristaladas.

El canto del forjado está influenciado por el recubrimiento de hormigón para las placas prefabricadas (principalmente para proporcionar la resistencia al fuego requerida), cubre las vigas IFB/SFB y las vigas de borde. Se coloca un mallazo en la capa de hormigón sobre el perfil de acero, o si el ala superior del IFB/SFB está nivelado con la superficie del hormigón, las losas de cada lado de IFB/SFB deberían unirse para cumplir el requisito de robustez. Generalmente, esto se logra con una armadura (normalmente barras de diámetro 12 cada 600 mm.) que atraviesan el alma del perfil IFB/SFB. Generalmente, las vigas IFB/SFB son no mixtas, aunque las mixtas pueden lograrse mediante el uso de conectores soldados.

Para el diseño mixto de las vigas de borde, deben emplearse armaduras con extremos en U alrededor de los conectores, para así garantizar la unión de las placas prefabricadas y la capa de comprensión del forjado.

Deben estudiarse las uniones al pilar debido a que las alas de las vigas IFB/SFB son más anchas que el pilar y deben ajustarse adecuadamente.



Zona funcional de forjado
 = 150mm suelo técnico
 + 260mm losa y capa de compresión
 + 150mm falso techo y alumbrado
 = 560mm ≈ 600mm

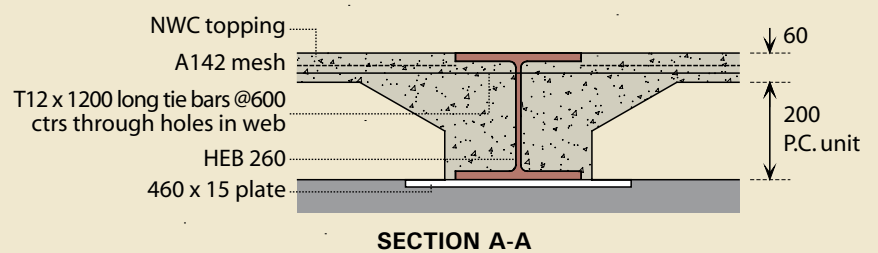


Figura 3.6 Disposición en planta de vigas integradas y placas prefabricadas para un edificio de 4 plantas de distribución rectangular

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Normalmente las vigas no requieren protección contra el fuego mayor de 60 minutos de resistencia al fuego. • La zona del forjado de canto reducido obtenida proporciona a su vez una reducción en la altura total del edificio y del coste de la envolvente. • El forjado permite una instalación de servicios sencilla y ofrece flexibilidad en las particiones interiores. La cara inferior puede quedar vista. • Las vigas de forjado integradas pueden ser empleadas como un sistema seco de construcción, con un alto nivel de prefabricado y rapidez de montaje.
-----------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Integración de servicios	Distribución libre de servicios bajo el forjado.
---------------------------------	--------------------------------------------------

Planteamientos de diseño	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utilización de modulaciones de 6 m., 7,50 m ó 9 m. Las placas prefabricadas de hormigón normalmente se orientan según la mayor distancia en la modulación del forjado. 2. Elección de las placas prefabricadas de hormigón en función de los datos proporcionados por el fabricante. La relación máxima recomendada entre luz y canto es de 35 para lograr suficiente resistencia a cortante en las losas prefabricadas. Se recomiendan apoyos mínimos en los extremos de 75 mm. para acción no mixta y 60 mm. para acción mixta. Los extremos de las placas prefabricadas suelen estar biselados para conseguir espacio suficiente alrededor del perfil de acero al verter el hormigón. 3. Diseño de las vigas IFB/SFB utilizando software. Las vigas pueden ser diseñadas como no mixtas o mixtas. Para las vigas no mixtas se debe proporcionar algún anclaje del forjado al alma de la viga. Para las mixtas se requiere al menos 15 mm. de recubrimiento sobre el conector. 4. Diseño de las vigas de borde como RHS, IFB/SFB cargadas en un lado, o utilizar alternativamente las vigas descolgadas. Las vigas de borde mixtas requieren armaduras con extremos en U para actuar como armadura transversal.
---------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Secciones

Luz viga	Luz forjado (m)	
	6 m.	8 m.
5 m.	HEA 240	HEB 260
6 m.	HEB 260	HEB 280
8 m.	HEB 300	HEB 320

Tabla 3.1 Secciones de vigas SFB (añadiendo los 15 mm. de espesor de la platabanda inferior)

Luz viga	Luz forjado (m)	
	6 m.	8 m.
5 m.	1/2 IPE 500	1/2 HEB 450
6 m.	1/2 HEA 450	1/2 HEA 500
8 m.	1/2 HEA 600	1/2 HEB 600

Tabla 3.2 Secciones de vigas IFB (añadiendo los 20 mm. de espesor del platabanda inferior)

Figura 3.7 Vigas integradas de grandes luces utilizadas en la Cámara de Comercio de Luxemburgo



Secciones (continuación)	<p>Las placas alveolares prefabricadas más comunes son de 150 mm. de canto por 6 m. de luz; 200 mm. por 7,5 m. y 260 - 300 mm. por 9 m. Este diseño proporciona una adecuada rigidez, así como una resistencia a flexión y a cortante.</p> <p>Existen varias alternativas en la elección de vigas integradas de gran luz, tal como puede observarse en la Figura 3.7, empleando barras macizas o perfiles SHS que actúan como tirantes bajo la viga. Con este tipo de construcción pueden lograrse luces de 9 m. a 12 m.</p>
Calidad del acero	<p>Las vigas IFB/SFB están disponibles en cualquier grado de acero desde S235 ^[2] a S460.</p>
Forjado	<p>600 mm. con servicios básicos bajo las vigas, incluyendo suelo técnico. 1,000 mm. con la instalación de aire acondicionado bajo las vigas, incluyendo suelo técnico.</p>
Protección ante incendio	<p>El revestimiento de hormigón alrededor de la viga normalmente es suficiente para proporcionar 60 minutos de resistencia al fuego. Para 90 minutos de resistencia al fuego, se puede escoger una pintura intumescente o placa de protección para el ala inferior. Es necesario, a fin de satisfacer los requisitos de la integridad estructural hacia el fuego, seleccionar con precaución la armadura transversal en las placas alveolares y en el relleno de hormigón que recubre a la viga.</p>
Uniones	<p>Las vigas integradas requieren uniones de placa frontal, típicamente, 6 a 8 tornillos, para resistir las cargas de torsión que actúan en la viga. Las vigas de borde RHS generalmente utilizan uniones de placa frontal extendidas para proveerse de resistencia de torsión.</p>

^[2] En España, el uso de aceros estructurales de tipo S235 no es habitual, se recomienda adoptar en proyecto el S275, de empleo muy extendido a nivel nacional y de fácil disponibilidad.

Forjado de chapa colaborante con vigas alveolares mixtas



Figura 3.8 Vigas alveolares secundarias de grandes luces con aberturas circulares

Descripción

Las vigas alveolares son vigas con aberturas circulares distribuidas regularmente a lo largo de la longitud del alma. Las vigas son armadas a partir de 3 platabandas, o cortando y soldando secciones en forma de T obtenidas de perfiles de acero laminados en caliente. Las aberturas, o alvéolos, son generalmente circulares pero pueden ser alargadas, rectangulares o hexagonales. Las zonas con altas solicitaciones de cortante pueden ser fácilmente rellenas o rígidas. Las vigas alveolares pueden ser colocadas para salvar luces mediante vigas secundarias que soportan la losa de forjado directamente, o para salvar grandes luces a modo de vigas principales, soportando otras vigas alveolares o perfiles I de vigas secundarias.

El software de prediseño está disponible en www.westok.co.uk y en www.arcelormittal.com/sections.

Rango de luces típicas en vigas

10 - 18 m. para vigas alveolares secundarias.
9 - 12 m. para vigas alveolares principales.

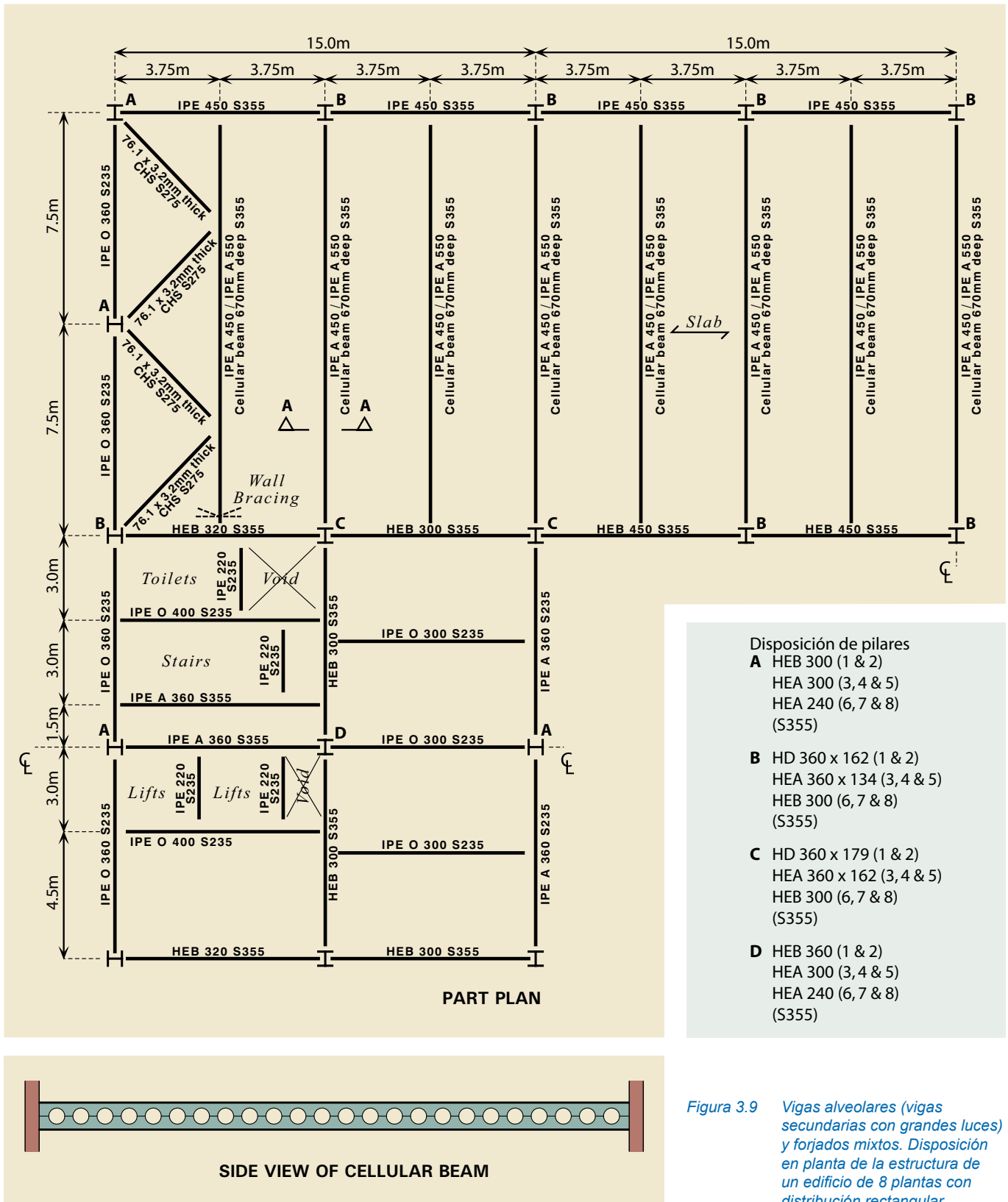
Principales consideraciones de diseño para la implantación del forjado

Las vigas secundarias deberían separarse entre 2,5 m. a 4 m. a fin de evitar el apuntalamiento del forjado durante el hormigonado. Grandes luces de vigas principales son menos usadas porque soportan altas solicitaciones de cortante y su diseño es por lo tanto ineficiente, a no ser que el espesor del alma sea incrementada o el tamaño de las aberturas sea reducido.

Grandes, alargadas o rectangulares aberturas se deberían localizar en áreas de cortante reducido, por ejemplo, en el tercio medio de la luz para vigas uniformemente cargadas.

Ventajas

- Largas luces con uso eficiente del acero.
- Vigas relativamente ligeras, comparadas con otros sistemas de grandes luces.
- Los servicios pueden integrarse en las vigas del forjado, reduciéndose la altura total del edificio.
- La contraflecha puede ser introducida durante la fabricación para reducir flechas apreciables.



- Disposición de pilares
- A** HEB 300 (1 & 2)
HEA 300 (3, 4 & 5)
HEA 240 (6, 7 & 8)
(S355)
 - B** HD 360 x 162 (1 & 2)
HEA 360 x 134 (3, 4 & 5)
HEB 300 (6, 7 & 8)
(S355)
 - C** HD 360 x 179 (1 & 2)
HEA 360 x 162 (3, 4 & 5)
HEB 300 (6, 7 & 8)
(S355)
 - D** HEB 360 (1 & 2)
HEA 300 (3, 4 & 5)
HEA 240 (6, 7 & 8)
(S355)

Figura 3.9 Vigas alveolares (vigas secundarias con grandes luces) y forjados mixtos. Disposición en planta de la estructura de un edificio de 8 plantas con distribución rectangular

Integración de servicios	Las aberturas regulares en el alma dejan pasar conducciones circulares a través de las vigas, como se muestra la Figura 3.10. Se puede escoger diámetros varios, dependen de los requerimientos de los servicios. Las aberturas en el alma deben estar alineadas para todas las vigas empleadas en el edificio, a fin de permitir la libertad a la integración de servicios.
Planteamientos de diseño	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las vigas alveolares son utilizadas como vigas secundarias de grandes luces con entre 3 y 4 m. de separación. Las vigas principales en una modulación de pilares rectangular, con una separación de 2 ó 3 veces mayor que la de las vigas secundarias. El forjado y la losa son elegidos utilizando el diseño recomendado por el fabricante o software específico. El canto de la losa y la armadura suelen quedar determinados para una resistencia al fuego requerida. 2. Diseño de las vigas alveolares con el software del fabricante. 3. El diámetro de las aberturas debería estar entre un 60% y un 80% del canto de la viga. Las aberturas alargadas pueden requerir rigidizadores horizontales. Los tamaños adecuados y posiciones deberían ser contrastados con la ingeniería de servicios.
Secciones	Canto de la viga alveolar, aproximadamente $L/22$, por ejemplo, un canto de 700 mm. para una luz de 15 m.
Calidad del acero	El acero S355 es preferible en las vigas alveolares debido a las altas tensiones locales alrededor de las aberturas.
Forjado	De 1,000 a 2,000 mm. Por ejemplo, 1,050 mm. para 15 m. de luz, con vigas alveolares con aberturas regulares de 400 mm., como se muestra en la Figura 3.10.
Protección ante incendio	Pintura intumescente con espesores de 1,5 a 2 mm. puede aplicarse en la obra pero la aplicación en taller también pueden ser económica. Puede requerirse una protección adicional ante el fuego ya que el factor de forma del perfil alveolar es mayor que el perfil laminado de acero equivalente.

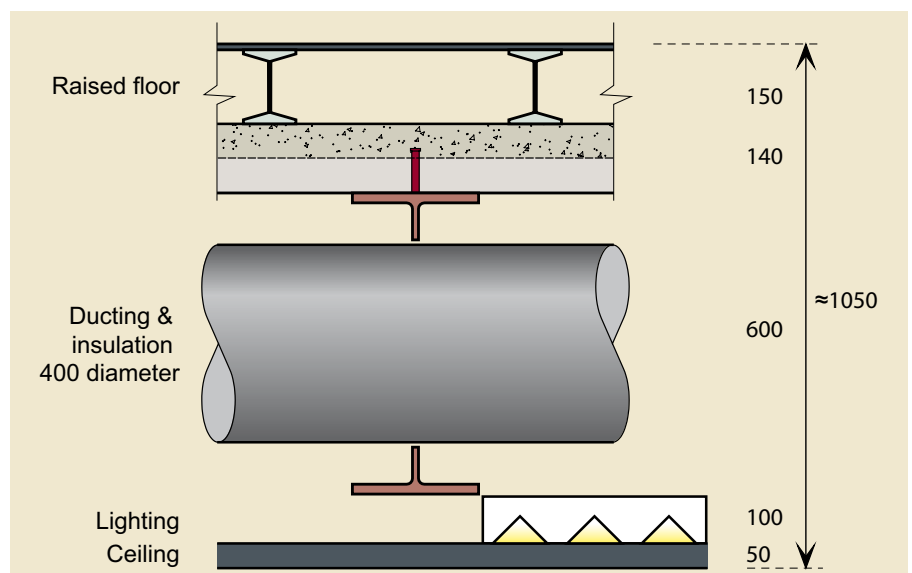


Figura 3.10 Sección transversal de viga alveolar con la integración de servicios

Vigas aligeradas mixtas de grandes luces



Figura 3.11 Vigas laminadas en caliente con la protección a fuego aplicada en taller

Descripción	<p>Este sistema consiste en vigas mixtas, utilizando bien perfiles laminados o perfiles armados en los que apoya una losa mixta, en modulaciones típicas de grandes luces de edificación, de 12 m. a 18 m. útiles. Existen 2 posibles disposiciones en el forjado: vigas secundarias de gran luz apoyadas en vigas principales de poca luz, o vigas secundarias de poca luz sobre vigas principales con gran luz.</p> <p>El canto de las vigas de gran luz requiere de aberturas para que los servicios puedan ser integrados en el alma de la viga. Las aberturas pueden ser de forma circular, alargada o rectangular y presentan diámetros del 60 al 80% del canto de la viga. Pueden ser requeridos rigidizadores para el alma a lo largo de las aberturas.</p>
Rango de luces típicas en vigas	<p>Las vigas secundarias de grandes luces presentan luces de entre 9 - 15 m. y modulaciones de 3 - 4 m.</p> <p>Las vigas principales podrán salvar luces de entre 9 -12 m. con modulaciones de 6 - 9 m.</p>
Principales consideraciones de diseño para la implantación del forjado	<p>Las vigas secundarias deberían colocarse cada 3 - 4 m. para evitar el apuntalamiento del forjado durante la construcción. Aberturas grandes, alargadas o rectangulares, deberían estar situadas en áreas de baja sollicitación de cortante, por ejemplo, en el tercio medio de la luz para vigas cargadas uniformemente.</p>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Grandes áreas exentas de pilares maximizando la luz de las vigas. • La sección de los perfiles puede elegirse respecto a la carga aplicada y a los requerimientos de integración de servicios. • Reducción del canto total del forjado debido a la integración de servicios y consecuentemente, reducción de la altura total del edificio.
Integración de servicios	<p>Los conductos de los servicios pasan a través de los alveolos de las vigas. Pueden instalarse importantes servicios y conductos entre las vigas.</p>

Planteamientos de diseño	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utilizar vigas secundarias de grandes luces, entre 3 y 4 m. de separación, y vigas principales entre 6 - 9 m. O, como alternativa, vigas principales de gran luz y vigas secundarias de luz 6 - 7,5 m. 2. El forjado y las placas prefabricadas son diseñadas utilizando ábacos o softwares de diseño del propio fabricante, teniendo en cuenta la resistencia al fuego. 3. Diseño de las vigas utilizando el software disponible. Selección de los tamaños y posiciones de las aberturas del alma, permitiendo aislamiento alrededor de los servicios.
Secciones	Canto de la viga desde L/15 a L/22 utilizando perfiles asimétricos.
Calidad del acero	S275 para vigas, cuyo diseño quede gobernado por flecha, ó S355 para vigas con gran densidad de aberturas.
Forjado	<p>1.000 mm. para 13,5 m de luz, con alveolos de 350 mm. de diámetro.</p> <p>1.100 mm. para 15 m. de luz, con alveolos de 400 mm. de diámetro.</p>
Protección ante incendio	Placas o pinturas intumescentes. Las pinturas intumescentes pueden aplicarse en taller; con una única capa de 1,8 mm. de espesor se puede conseguir una resistencia al fuego de hasta 90 minutos (R90). ^[3]

^[3] Las prestaciones de la pintura intumescente deben confirmarse con el fabricante, así como el procedimiento de aplicación necesario para garantizar la protección requerida del sistema.

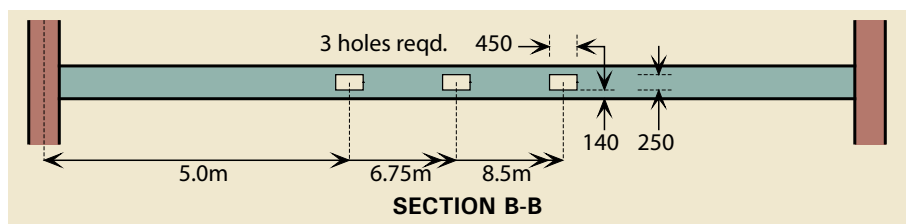
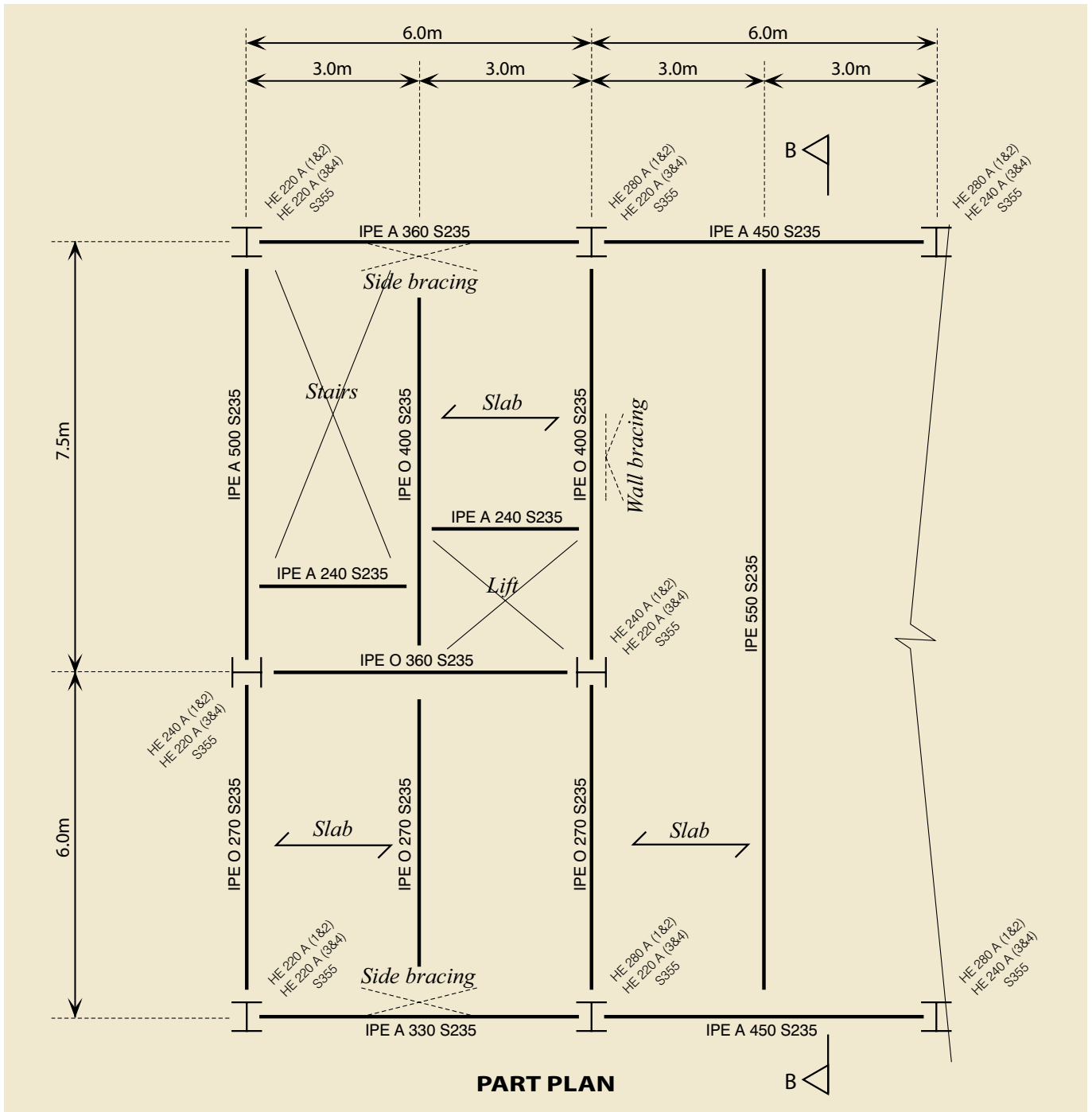


Figura 3.12 Vigas mixtas de grandes luces con aberturas rectangulares en el alma

Vigas mixtas con placas prefabricadas de hormigón



Figura 3.13 Construcción de forjado mixto con placas alveolares y vigas aligeradas

Descripción

Este sistema consta de vigas con conectores soldados al ala superior. Las vigas soportan las placas prefabricadas incluyendo el relleno de hormigón en las losas y la capa de compresión sobre las mismas. Las placas prefabricadas pueden ser macizas con 40 - 100 mm. de canto, o alveolares con cantos de 150 a 260 mm. normalmente.

Se requiere suficiente ancho en el ala para proporcionar una longitud de apoyo segura para las placas y suficiente canto para una acción eficaz de los conectores.

Las placas de más espesor son, o bien, achaflanadas o dentadas en la cara superior de sus extremos, para permitir un recubrimiento para alojar los conectores. Las placas prefabricadas están dotadas de unas acanaladuras para permitir la correcta colocación de la armadura transversal a través de las vigas y de forma que quede empotrada en la losa. Por esta razón el mínimo ancho del ala superior es de 180 a 210 mm.

Están disponibles gratuitamente softwares de prediseño en la web www.arcelormittal.com/sections.

Rango de luces típicas en vigas

Vigas con luces de 10 - 18 m. y 3 - 9 m. de luz para las placas prefabricadas de hormigón, dependiendo del canto y la forma. Las placas prefabricadas alveolares presentan mayores luces que las placas prefabricadas macizas.

Principales consideraciones de diseño para la implantación del forjado

Las placas prefabricadas alveolares cubren normalmente luces de 6 a 9 m., también pueden emplearse prelosas para 3 - 4 m. de luz. Las vigas deben disponer de suficiente ancho mínimo para apoyar las placas prefabricadas de hormigón (200 mm. es un ancho práctico mínimo para la viga).

Las vigas de borde son normalmente diseñadas como no mixtas y se unen al forjado para cumplir el requerimiento de robustez. Para el diseño mixto, los conectadores requieren armaduras con extremos en U para mejora la adherencia en el interior del canto de la losa.

Las vigas son diseñadas para soportar cargas de torsión durante la construcción, cuándo las placas sólo están colocadas a un lado de la viga. Esto dictará el tamaño mínimo de la viga.

Un apuntalamiento temporal es requerido, para proporcionar un soporte lateral y reducir la longitud efectiva para el pandeo lateral torsional de la viga durante la etapa de construcción, particularmente cuándo la carga está a un solo lado.

Ventajas

- Menor requerimiento de vigas secundarias cuando se utilizan placas prefabricadas de gran luz.
- Los conectadores pueden ser soldados en taller, permitiendo mayores diámetros de pernos y menos operaciones en obra.

Integración de servicios

Los conductos principales se posicionan debajo de la viga y los equipos de mayor tamaño, tales como las unidades de Fan Coil, se colocan en la zona definida por el canto de la viga.

Planteamientos de diseño

1. Utilización de modulaciones de 6, 7,5 ó 9 m. para este sistema de forjado y vigas con luces de hasta 18 m.
2. Las placas prefabricadas de hormigón según recomendación del fabricante, incluyendo adecuación para la resistencia al fuego.
3. Seleccionar el canto de la viga basado en los requerimientos del apoyo en los extremos y el diseño mixto.

Mínimo ancho de ala en apoyo	Mínimo ancho de viga
40 a 100 mm. canto de placa maciza	Viga interna - 180 mm. Viga de borde - 210 mm.
150 a 250 mm. canto de placa alveolar	Viga interna - 180 mm. Viga de borde - 210 mm.
Viga no mixta	Viga de borde - 120 mm. (mínimo)

4. Diseño de las vigas mixtas considerando el grado de conexión de los conectadores. Los detalles de la armadura pueden verse en la Figura 3.14.
5. Diseño de las vigas de borde como no mixtas.

Secciones	<p>Vigas: La sección del perfil varía entre IPE 450 e IPE 800, utilizándose con placas prefabricadas de extremos achaflanados y conectadores soldados. También pueden utilizarse perfiles de sección HE.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Canto placa alveolar (mm)</th> <th>Luz (m)</th> <th>Sobrecarga (kN/m²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>150 mm.</td> <td>6</td> <td>3,5</td> </tr> <tr> <td>200 mm.</td> <td>7,5</td> <td>3,5</td> </tr> <tr> <td>250 mm.</td> <td>9</td> <td>5,0</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Tabla 3.3 Luces típicas para placas alveolares prefabricadas</i></p>	Canto placa alveolar (mm)	Luz (m)	Sobrecarga (kN/m ²)	150 mm.	6	3,5	200 mm.	7,5	3,5	250 mm.	9	5,0
Canto placa alveolar (mm)	Luz (m)	Sobrecarga (kN/m ²)											
150 mm.	6	3,5											
200 mm.	7,5	3,5											
250 mm.	9	5,0											
Calidad del acero	Acero S235 a S460 dependiendo de la luz. ^[4]												
Forjado	900 mm., incluyendo la viga y el canto de las placas prefabricadas, para 9 m. de luz; más la zona requerida para los servicios a través o bajo la viga.												
Protección ante incendio	<p>Mortero proyectado, paneles o pintura intumescente para las vigas, incluyendo las vigas parcialmente embebidas.</p> <p>Para garantizar la integridad frente al fuego, las armaduras transversales deben ser detalladas y embebidas en las placas prefabricadas alvedares y extenderse al menos 600 mm, en cada placa (véase la Figura 3.14.). Para 90 ó 120 minutos de resistencia al fuego se requiere una capa de compresión de hormigón con un mínimo de 50 mm.</p>												
Uniones	Uniones con chapa frontal de canto total (soldadas a las alas de la viga) para que resistan la torsión.												

^[4] En España, el uso de aceros estructurales de tipo S235 no es habitual, se recomienda adoptar en proyecto el S275, de empleo muy extendido a nivel nacional y de fácil disponibilidad.

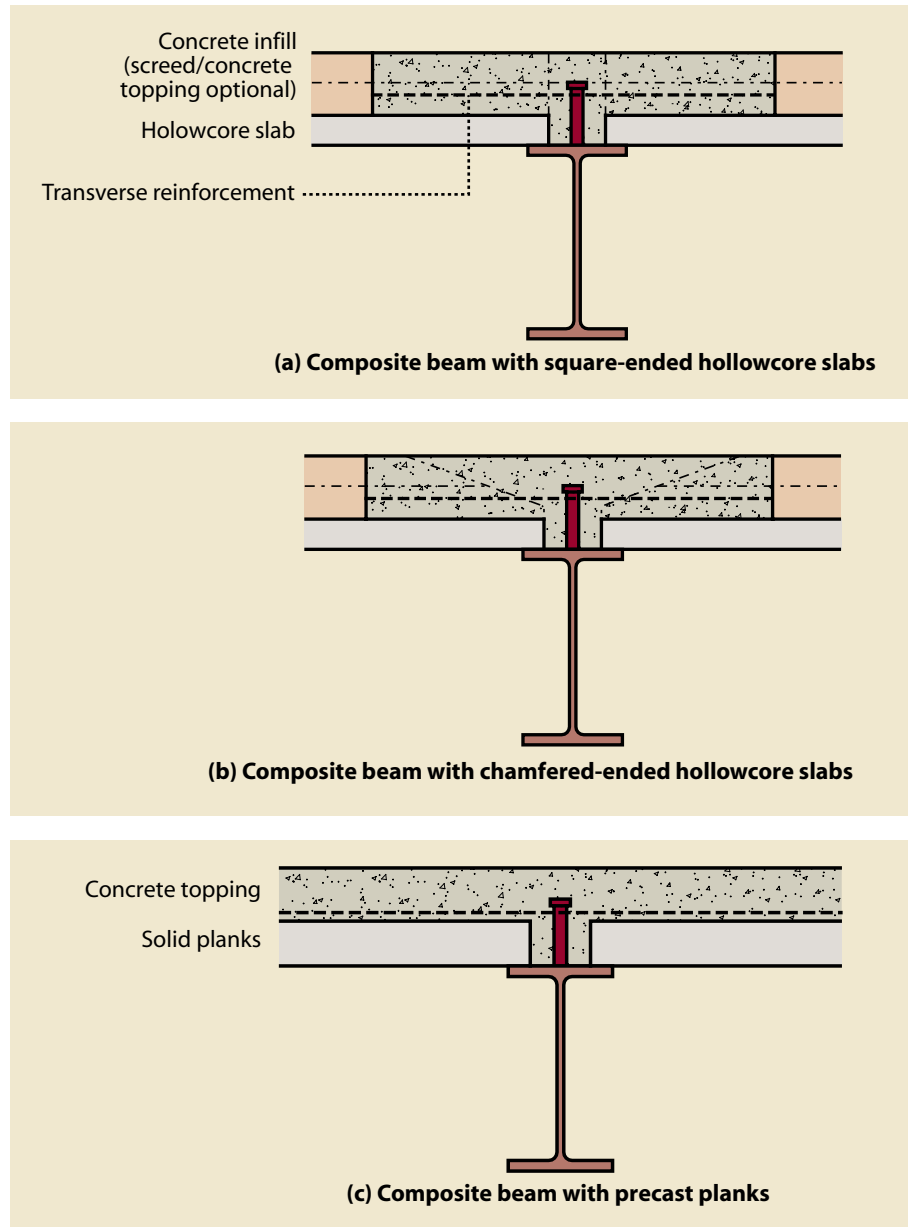


Figura 3.14 Detalles de vigas mixtas con placas prefabricadas

Vigas no mixtas con placas prefabricadas de hormigón



Figura 3.15 Distancias requeridas para las placas prefabricadas en el forjado

<p>Descripción</p>	<p>Las placas pueden apoyarse en el ala superior de las vigas de acero o sobre angulares. Los angulares se atornillan o sueldan al alma de la viga, con un lado suficientemente largo para facilitar el adecuado apoyo a la placa prefabricada y garantizar la posición de las piezas. Las placas pueden tener una capa de compresión (puede ser estructural) o puede tener un suelo técnico. A su vez, pueden ser losas aligeradas, con núcleo alveolar, o macizas de 75 mm. a 100 mm. de canto.</p> <p>El software de prediseño está disponible gratuitamente en la web www.arcelormittal.com/sections.</p>
<p>Rango de luces típicas en vigas</p>	<p>Luces entre 6 m. y 7,5 m. son comunes para ambas, las vigas y las placas. No obstante, la luz de la placa será mas corta.</p>
<p>Principales consideraciones de diseño para la implantación del forjado</p>	<p>Las acciones durante la fase de construcción, especialmente para placas prefabricadas colocadas a un solo lado, deben ser consideradas.</p> <p>Los arriostramientos laterales temporales son normalmente requeridos para limitar la longitud eficaz de pandeo de la viga durante la etapa de construcción cuando está cargada en un solo lado.</p> <p>Las vigas cargadas a un solo lado en condiciones permanentes deben evitarse o ser diseñadas para resistir adecuadamente el momento torsor.</p>
<p>Ventajas</p>	<p>Esencialmente un sistema de construcción seco donde el canto de la viga no sea crítico.</p>
<p>Integración de servicios</p>	<p>Los conductos principales son situados bajo las vigas consiguiendo una importante integración de servicios entre las mismas.</p>

Planteamientos de diseño	<ol style="list-style-type: none"> 1. Modulación entre 6 y 7 m. utilizando placas de 150 mm. de canto para luces de 6 m. y un canto de 200 mm. para luces de 7,5 m. 2. Elección de las placas prefabricadas de hormigón por catálogo del fabricante para conseguir la resistencia a fuego requerida. 3. Diseño de las vigas de acero utilizando software o manualmente mediante cálculos simples. Es recomendable un seguimiento de las solicitaciones de torsión durante el montaje. 4. Comprobación de las acciones durante la construcción y consideración del arriostramiento temporal.
Secciones	<p>Canto de viga $\approx L/15$.</p> <p>Cuando las placas se apoyen en el ala superior, el ancho mínimo del ala requerido es de 180 mm. para permitir un apoyo mínimo y 30 mm. de separación entre las placas para colocar el hormigón armado. La mínima sección de viga será IPE 400 con las placas prefabricadas apoyadas en el ala superior.</p> <p>Cuando se emplean apoyos en angulares, es requerido un espacio de 25 mm. entre el extremo de la placa y el ala de la viga, como se muestra en la Figura 3.17. Los angulares se deberían proyectar al menos 50 mm. bajo el ala superior de la viga.</p>
Calidad del acero	Acero S235 a S460 dependiendo de la luz. ^[5]

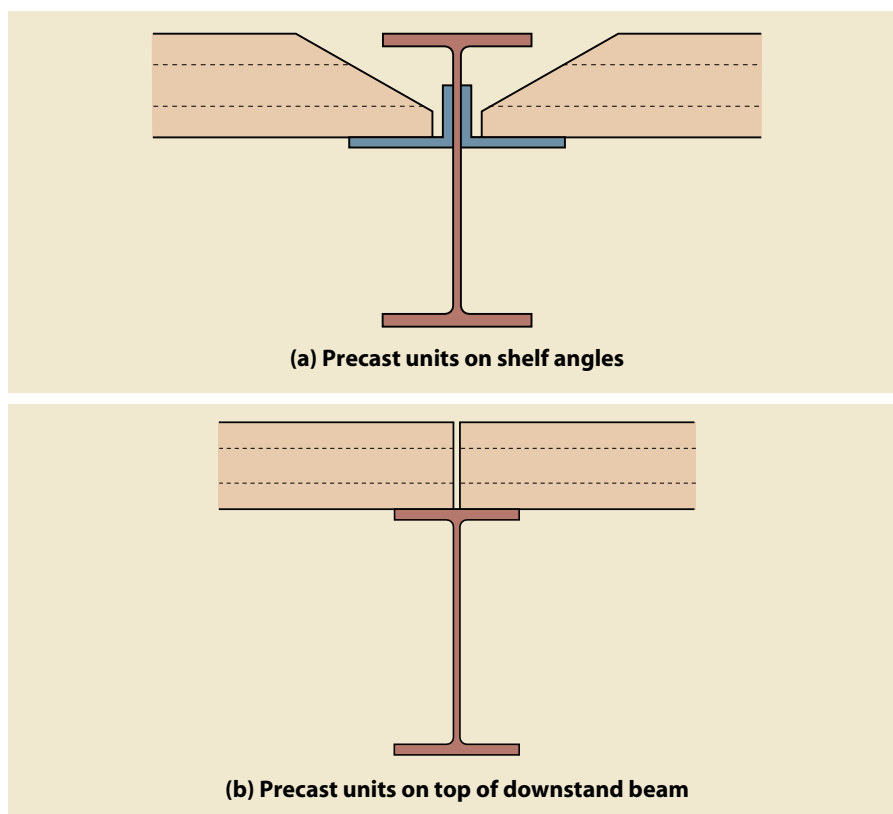


Figura 3.16 Detalles de forjados con placas prefabricadas de hormigón con acción no mixta

^[5] En España, el uso de aceros estructurales de tipo S235 no es habitual, se recomienda adoptar en proyecto el S275, de empleo muy extendido a nivel nacional y de fácil disponibilidad.

Forjado	Para una modulación de 7,5 m., el forjado presenta un canto de 800 mm., incluyendo el falso techo.
Protección ante incendio	La protección de las vigas contra el fuego puede ser proporcionada con mortero proyectado, placas o pintura intumescente. Las vigas con angulares pueden alcanzar una resistencia a fuego de 30 minutos, R30, posicionando el angular de manera que sus alas de los mismos queden acomodadas en las placas.
Uniones	Se requieren chapas frontales de canto total, soldadas al ala de las vigas, debido a que las vigas resisten cargas de torsión en la fase de construcción.

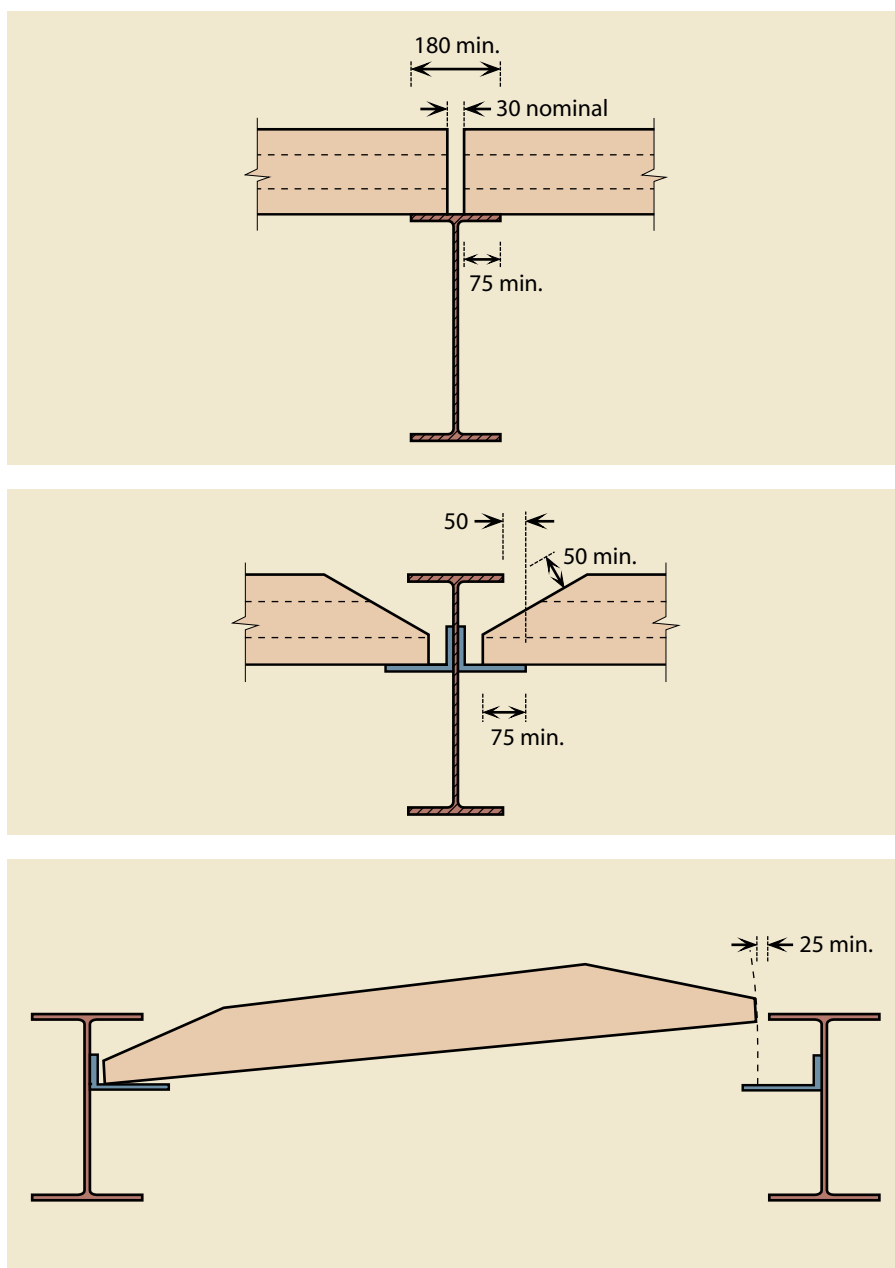


Figura 3.17 Distancias requeridas para las placas prefabricadas en el forjado

04 Sistemas especiales de forjado

Este capítulo estudia el uso sistemas de forjados especiales, que son exclusivos de un proveedor concreto, los cuales se han establecido en diversos países europeos, logrando una importante implantación en el mercado en varios sectores.

La denominación comercial por la que se conocen estas tipologías de forjados se indica a continuación:

- *Cofradal* (propiedad de ArcelorMittal).
- *Hoesch Additive Floor*[®] (propiedad de ThyssenKrupp).
- *Slimline* (propiedad de Slimline Buildings).
- *Slimdek* (propiedad de Corus).

En el capítulo 3 de esta guía de diseño se ha desarrollado un breve manual

para diferentes tipologías de forjado en construcción mixta, así como para vigas integradas en el forjado (*Slim Floor*).

Son esencialmente productos genéricos disponibles a través de varios fabricantes.

Para las tipologías de forjado que se presentan en este capítulo, el proveedor propietario del sistema puede proporcionar más información detallada del diseño y del software específico de diseño para sus productos.

Cofradal 200

Hoesch Additive Floor[®]

Sistema Slimline

Slimdek

Cofradal 200

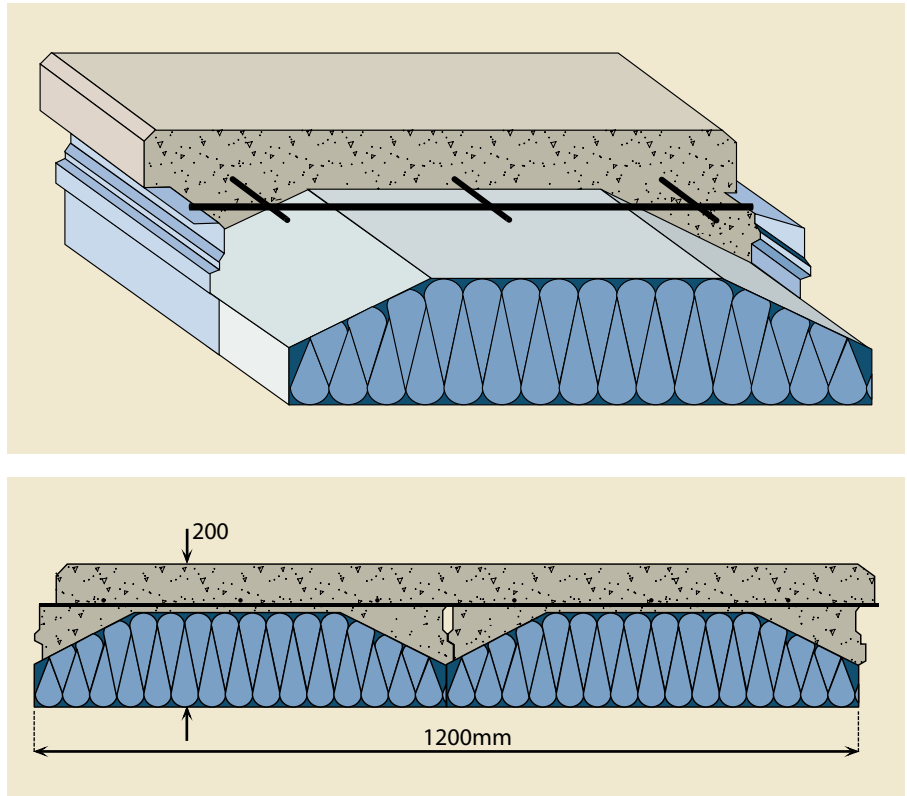


Figura 4.1 Vista isométrica y sección transversal del forjado Cofradal

Descripción

Cofradal 200 es un sistema innovador de losas prefabricadas de forjado adecuado para edificios de oficinas, industria ligera y edificios residenciales. Las placas son de 600 mm. de ancho y el forjado es el típico de 200 mm. de canto. El sistema se compone de placas mixtas de acero y hormigón prefabricadas en taller. La cara inferior está compuesta por chapas de acero y una capa de compresión. Sólo es necesaria una pequeña cantidad de hormigón para ajustar el área de la unión perimetral de apoyo y así colocar adicionalmente una capa de compresión de hormigón ligero en el forjado. No se necesita apuntalamiento temporal en la obra durante la etapa de construcción.

Cofradal 200 se compone de chapa de acero perfilado galvanizado relleno de lana mineral. La lana mineral proporciona aislamiento térmico entre las plantas, si es necesario, aislamiento acústico, y una resistencia al fuego hasta 120 minutos.

La chapa de acero perfilado absorbe la sollicitación de tracción, como parte del sistema de forjado mixto. Un perfil conformado especial es proporcionado en ambos bordes longitudinales para así permitir el ajuste y la unión a cortante entre dos placas adyacentes de forjado. La lana mineral de alta densidad proporciona un encofrado eficaz para la capa de hormigón superior. El mallazo está situado en la capa de compresión de hormigón como se muestra en la Figura 4.1.



Figura 4.2 Entrega de Cofradal 200 en obra

Principales consideraciones de diseño

Una capa de compresión común de hormigón C25/30 se refuerza con armaduras soldadas a la chapa de acero. Esto proporciona la unión entre el acero y el hormigón para una correcta acción mixta.

El canto del forjado es de 200 mm. y el peso es de 2 kN/m². El ancho de la placa es de 600 mm., aunque anchos de 1,200 m también puede ser proporcionados. La placa tiene un peso que se sitúa entre la mitad y 1/3 del peso equivalente de una placa maciza de hormigón.

También se pueden utilizar como solución de exterior, ya que la circulación del aire es eficiente y evita la humedad bajo la losa. El rendimiento de la placa es el adecuado para una sobrecarga de 3 kN/m² con una luz de 7,5 m. El factor dominante de diseño es la resistencia al fuego de la misma.

El aislamiento acústico del forjado es de:

R_w (C, Ctr) = 58 dB, L_n, w = 78 dB por losa Cofradal y,

R_w (C, Ctr) = 64 dB, L_n, w = 66 dB por losa con falso techo.

Ventajas

- Esencialmente tecnología prefabricada para construcción en seco.
- Sistemas de grandes luces, lo que compite con las placas alveolares.
- Excelente aislamiento acústico.
- Sistema de construcción ligera en comparación con el hormigón armado.



Figura 4.3 Vista de placa Cofradal antes de ser hormigonada



Figura 4.4 Vista inferior de la placa Cofradal terminada. Instalación de falso techo para la integración de servicios

Hoesch Additive Floor®

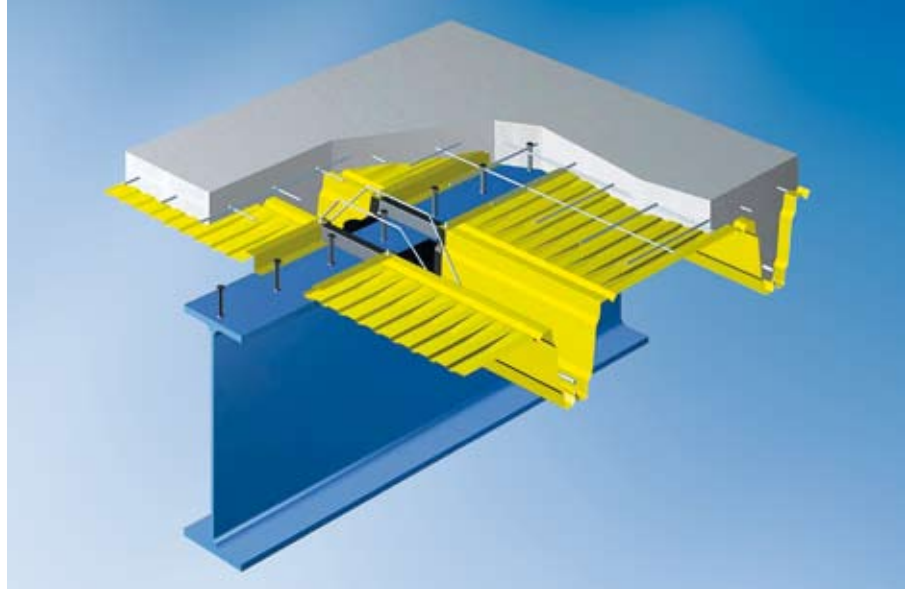


Figura 4.5 Vista detallada de Hoesch Additive Floor®

Descripción

El *Hoesch Additive Floor*® es un sistema muy común que se utiliza en los aparcamientos y recientemente en edificios residenciales. El forjado consta de una chapa de acero de 200 mm. de canto con hormigón armado.

La chapa se coloca entre las alas de las vigas, por lo que el canto del forjado queda significativamente reducido y se apoya mediante un sistema especial de perfiles soldados al ala superior de la viga. La chapa se une a la viga mediante remaches ejecutados in situ.

Cualquier tipo de construcción de vigas mixtas puede ser elegida, perfiles con sección en I laminados en caliente, vigas alveolares, etc., utilizando vigas principales y secundarias, o sólo vigas principales. La capa de compresión del forjado es elegida en función del canto requerido para la acción mixta de las placas.

La chapa de acero y el hormigón no están diseñados para actuar como una losa mixta. En cambio, la viga puede diseñarse como mixta, en ese caso es necesario soldar conectadores al ala superior de la viga, como se muestra en la Figura 4.5. El forjado cubre la luz entre las vigas que proporciona la suficiente flexibilidad para la colocación de los conectadores en el ala de la viga.

Principales consideraciones de diseño para la implantación del forjado

El forjado tiene que apuntalarse para luces mayores de 5,5 m. que logran un máximo de 5,8 m. de modulación.

El canto del forjado está influenciado por la capa de hormigón, mínimo 80 mm., dependiendo del canto requerido para una acción mixta con las vigas. La modulación es calculada en base a unos 750 mm., que es la luz entre los nervios del forjado. Para mayores luces la losa debería hormigonarse en dos fases en vez de en una única vez, lo cual requeriría apuntalamiento, incrementando la luz hasta 7 m.

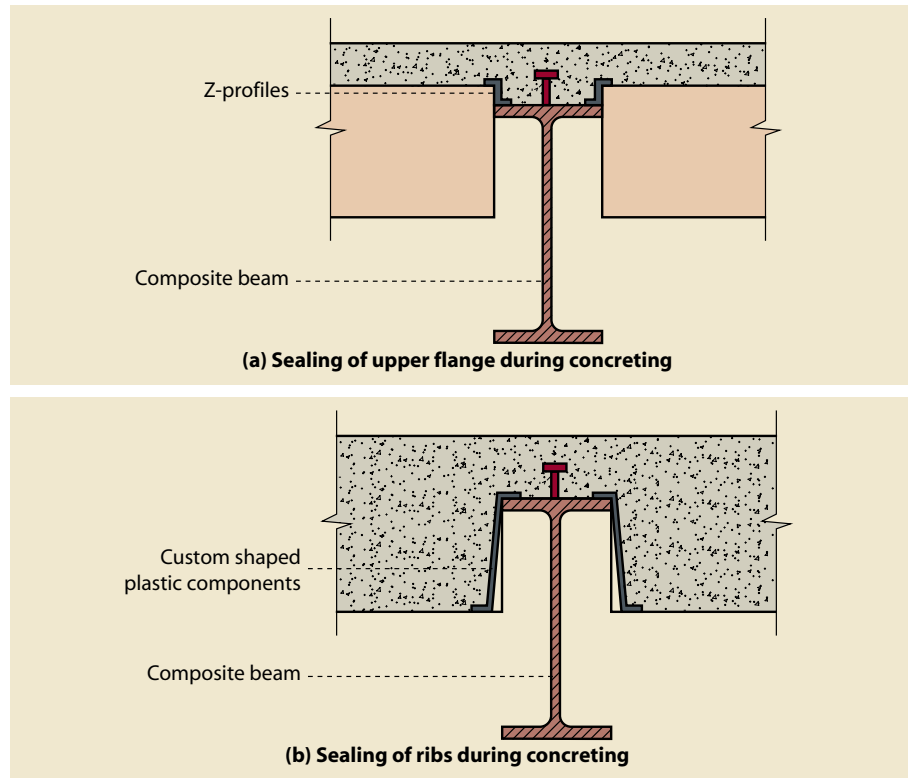


Figura 4.6 Detalles de Hoesch Additive Floor®

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Se consiguen luces de hasta 5,5 m. sin apuntalamiento en la fase de construcción. • Comparativamente menor peso propio del forjado. • La placa no afecta a la acción mixta de las vigas, los conectadores pueden disponerse cuando sea preciso. • Reducido canto del forjado al colocar la chapa entre las vigas. • La chapa proporciona arriostramiento para prevenir el pandeo lateral torsional durante la etapa de construcción.
Integración de servicios	Ilimitada distribución de servicios situados bajo el suelo. Servicios menores pueden ser pasados por los nervios del forjado y posteriormente, a través del alma de las vigas.
Secciones	Diseñar como una viga mixta, véase el capítulo 3.
Calidad del acero	El acero S235 o el S275 es preferible para las vigas. El S275 GD en la chapa colaborante. ^[6]
Forjado	El canto del forjado de 205 mm. más la capa de hormigón en la viga, 80 mm. mínimo, dependiendo del canto requerido para garantizar una acción mixta de las vigas. El total de la zona del forjado depende de los perfiles utilizados para las vigas y servicios integrados, funcional véanse los esquemas de las secciones anteriores.
Protección ante incendio	90 minutos de resistencia al fuego para la losa con una armadura adicional. Se requiere protección adicional para las vigas de acero.

^[6] En España, el uso de aceros estructurales de tipo S235 no es habitual, se recomienda adoptar en proyecto el S275, de empleo muy extendido a nivel nacional y de fácil disponibilidad.

Sistema *Slimline*

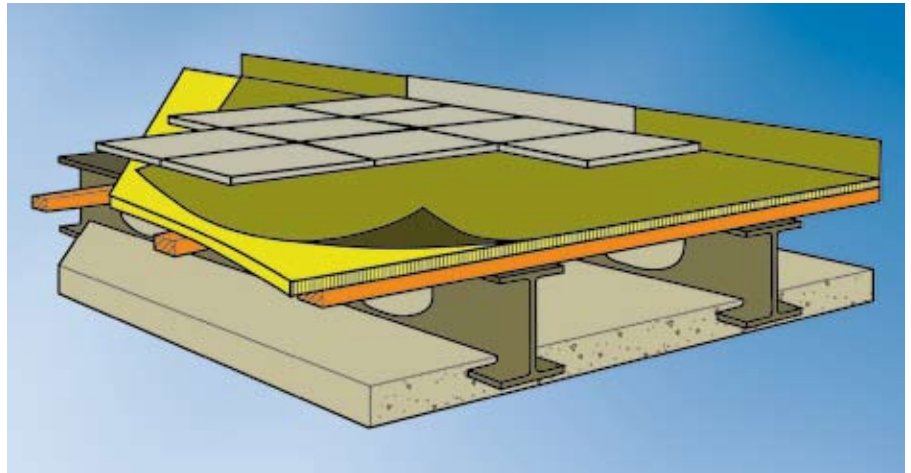


Figura 4.7 Detalles del sistema *Slimline*

Descripción

La compañía holandesa *Slimline Buildings* ha desarrollado un sistema de placa prefabricada mixta conocido como *Slimline* que consta de una serie de vigas o viguetas de acero dispuestas de forma paralela, cuyas alas inferiores se hayan embebidas en una losa de hormigón y una placa superior de cierre, practicable. La placa queda vista en su lado inferior. El objetivo consiste en separar los elementos estructurales de los servicios para ofrecer mayor flexibilidad en el diseño y funcionamiento del edificio con una reducción en los costes de construcción. La compañía actúa de intermediaria con los fabricantes de las placas prefabricadas de hormigón y proporciona las licencias de construcción para proyectos 'llave en mano'.

Este sistema proporciona una distribución de servicios sencilla y notable que, en comparación a los métodos tradicionales de construcción, es más competitiva. (Conforme a un estudio realizado por la Asociación Alemana de Ingeniería).

El software de predimensionamiento estará disponible a finales de este año en www.slimlinebuildings.com.

Rango de luces típicas en vigas

- Sistema *Slimline* prefabricado, actuando como vigas secundarias: 4,5 a 9,6 m.
- Luz vigas principales: Entre 6 y 12 m., las cuales soportan las placas *Slimline*.
- Canto típico con respecto a una luz máxima: 275 mm. para 4,50 m., 295 mm. para 5,40 m., 355 mm. para 7,20 m. y 445 mm. para 9,60 m. de luz respectivamente.
- Placa prefabricada tipo, de 2.400 mm. de ancho máximo, debido al transporte.

Principales consideraciones de diseño para la implantación del forjado	<p>Cada viga de acero es unida por una losa de hormigón en su parte inferior.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peso propio típico de 1,60 kN/m² (Excluyendo la parte superior que cubre la losa). • Vibraciones. Las mediciones de edificios ya construidos dicen que el mínimo de frecuencia natural asciende a 7 Hz. • Propiedades acústicas. El forjado <i>Slimline</i> y los materiales del forjado forman una construcción de dos piezas que satisfacen los requisitos legales para la edificación residencial y de oficinas. • Capacidad térmica. El hormigón proporciona la capacidad térmica para regular la temperatura interior, caso de carecer de un falso techo. • Se puede usar como losa de forjado con aislamiento colocado en el interior, generalmente 80 mm de espesor de poliestireno expandido (EPS), $R_c = 2,52 \text{ m}^2\text{K/W}$. Este valor incluye la resistencia térmica combinada de ambos elementos.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de construcción seca en obra. • Reducción de altura entre plantas al no requerirse falso techo. • Fácil mantenimiento e integración de servicios. • Posibilidad de lograr luces mayores que las posibles únicamente con forjados de hormigón. • La capacidad térmica puede variarse para regular las temperaturas interiores.
Integración de servicios	Las principales ventajas en este tipo de forjado es su flexibilidad para el fácil acceso a los servicios desde el forjado superior.
Secciones	Desde IPE 240 a IPE 360 para luces entre 5 - 8 m.
Calidad del acero	Generalmente acero S235 ^[7] , ya que el diseño está limitado por las flechas.
Hormigón	Hormigón normal C25/30.
Forjado	Generalmente cantos de 300 - 500 mm., excluyendo las vigas principales en las que apoya el forjado <i>Slimline</i> .
Protección ante incendio	El forjado <i>Slimline</i> logra una resistencia al fuego de 90 minutos (R90) de acuerdo con Bouwbesluit (normativa holandesa de construcción).
Uniones	Las placas de <i>Slimline</i> son colocadas directamente encima o sujetas al alma de las vigas principales. En el último caso, la losa se hormigona parcialmente ' <i>in situ</i> ', en la zona adyacente de la viga de apoyo, para que la conexión se haga con el ala de la viga.

^[7] En España, el uso de aceros estructurales de tipo S235 no es habitual, se recomienda adoptar en proyecto el S275, de empleo muy extendido a nivel nacional y de fácil disponibilidad.

Slimdek



Figura 4.8 Distribución de servicios bajo el forjado Slimdek

Descripción

Slimdek es un sistema de forjado compuesto de vigas asimétricas (ASB), en las que apoyan losas mixtas de chapa colaborante de gran canto que fabrica Corus. Las ASBs son vigas laminadas en caliente con el ala inferior más ancha que la superior. Además, el perfil tiene 'corrugas' en el ala superior para facilitar la acción mixta con el hormigón sin necesidad de conectadores adicionales. La chapa colaborante tiene su canto integrado entre las alas superior e inferior de las vigas y soporta el peso de la losa y otras cargas durante la fase de construcción.

Los rangos de la luz están calculados generalmente para una modulación de 6 a 9 m. con un canto de losa de 280 a 350 mm. La chapa de gran canto necesita apuntalamiento durante la fase de construcción para luces mayores de 6 m.

La gama de perfiles de ASB está disponible en dos series, de 280 y 300 mm de canto. Hay cinco perfiles ASB con almas relativamente delgadas y cinco ASB (FE) (para la seguridad ante incendios), con almas relativamente gruesas (igual a o más gruesas que las alas). Los perfiles ASB tienen una resistencia al fuego de 60 minutos (R60) sin protección adicional en esta forma de construcción, para una sobrecarga típica en edificio de oficinas.

Los servicios pueden ser integrados formando unas aberturas alargadas en el alma de las vigas y colocando los conductos entre los nervios de forjado como se muestra en la Figura 4.9.

Las vigas de borde pueden ser RHS (Rectangular Hollow Section) Slimfloor para forjado de canto reducido, que constan de un perfil tubular de sección rectangular (RHS) con una platabanda soldada al ala inferior, ASBs o vigas descolgadas. Para el arriostrado en el plano del forjado de los pilares, perpendicularmente a las vigas, generalmente se emplean unos perfiles de sección en T embebidos en las losas.

Rango de luces típicas en vigas

Modulación de 6 a 7,5 m. normalmente, aunque 9x9 m también puede ser posible.

Principales consideraciones de diseño para la implantación del forjado

- Para los edificios de planta rectangular la solución más económica, generalmente, consiste en emplear una única alineación central de ASBs con el forjado apoyado, por el otro lado, en vigas de borde; más que en series de alineaciones de ASB. La torsión puede gobernar el diseño de las vigas al cambiar la dirección del forjado y de la viga de borde. Las vigas RHS Slimfloor resisten la sollicitación de torsión eficazmente.

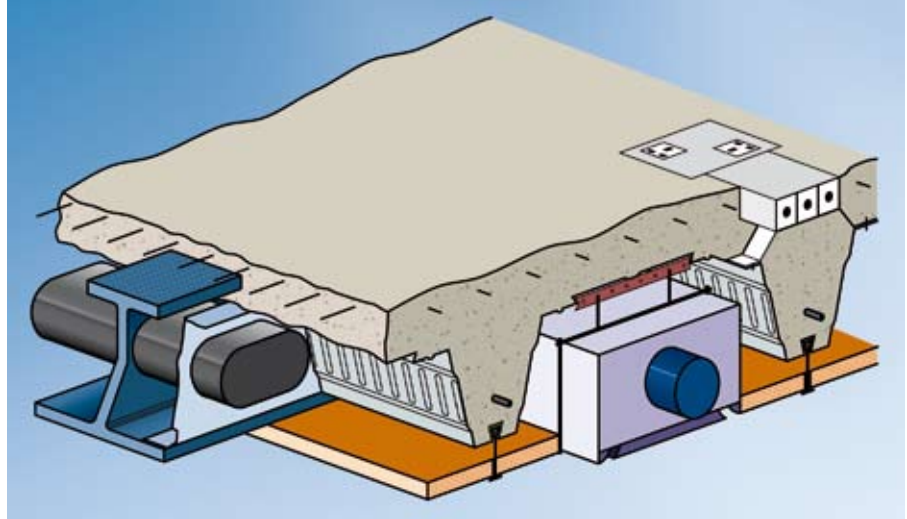


Figura 4.9 Integración de servicios dentro del forjado Slimdek

Principales consideraciones de diseño para la implantación del forjado (continuado)

- El forjado requiere de apuntalamiento para una luz mayor de 6 m. (apuntalar doblemente para una luz de 9 m.).
- El canto de la losa está influenciado por la capa de compresión de hormigón, (principalmente para resistencia al fuego), por el recubrimiento de la viga ASB (se requiere 30 mm como mínimo) y el de la viga de borde. Las vigas ASB se diseñan como no mixtas, si el recubrimiento es menor de 30 mm.
- Los detalles de las uniones alrededor de los pilares deben considerarse. El ala ASB es más ancha que el pilar y podría necesitar recortarse.

El forjado Slimdek puede diseñarse mediante softwares.

Más información disponible en www.steel-sci.org.

Ventajas

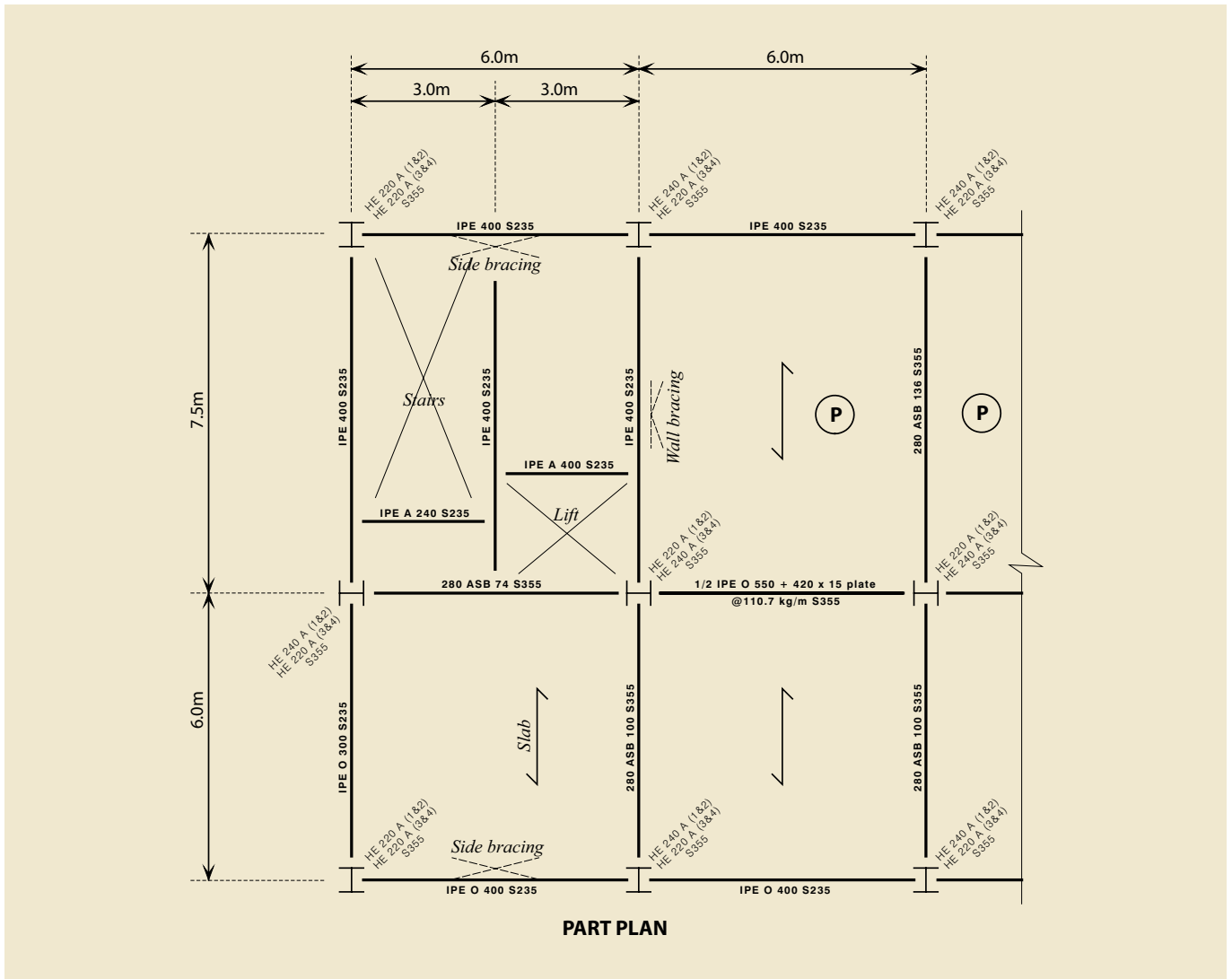
- El canto reducido del forjado lleva a una reducción de la altura total del edificio y del coste de la envolvente. La ejecución del techo plano facilita la colocación de instalaciones y ofrece flexibilidad en la colocación de tabiques interiores.
- Resistencia inherente al fuego de 60 minutos sin protección adicional.
- Pueden disponerse aberturas alargadas entre los nervios de la chapa perfilada para la integración de servicios.

Integración de servicios

Distribución ilimitada de los servicios bajo el forjado. Los servicios menores y conductos (hasta 160 mm de diámetro) pueden pasarse a través de orificios en el alma de la viga y entre los nervios del forjado.

Planteamientos de diseño

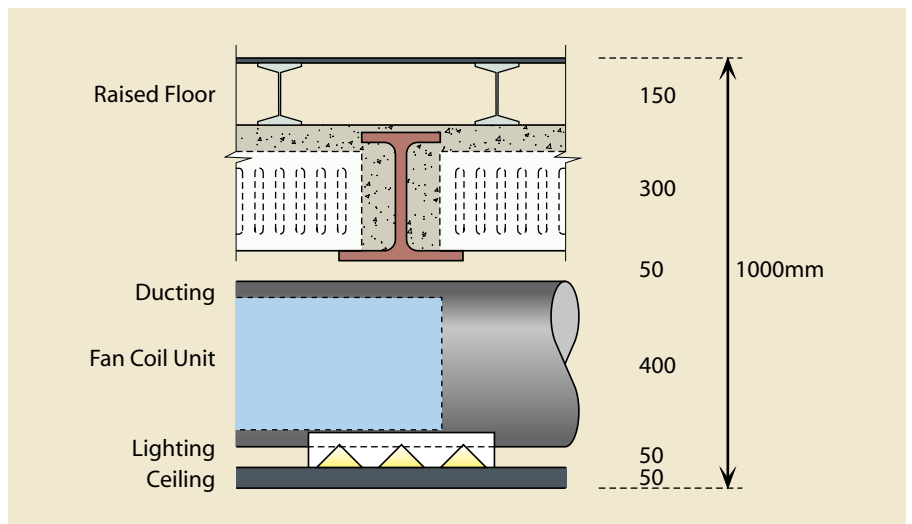
1. Las vigas tienen una modulación típica de 6 m, 7,5 m ó 9 m (la luz del forjado por encima de 6 m. requiere apuntalamiento durante la construcción, que podría afectar al programa de la obra).
2. Elegida la chapa colaborante, tiene que ser diseñada la losa. Asegúrese que el canto de la losa y el armado cumplan la resistencia al fuego requerida.
3. Diseño de la viga ASB utilizando el software específico. Si no se desea utilizar la protección adicional, escoja secciones ASB (FE) (diseñados contra el fuego). Asegúrese de que el canto de la losa cubre la viga ASB al menos 30 mm. o elija un canto de losa que esté nivelado con el ala de ASB, empleando armaduras pasantes a través del alma de la viga.



P = se requiere apuntalamiento durante la construcción en este vano

Figura 4.10 (Arriba) Distribución del forjado Slimdek para un edificio de planta rectangular de 4 alturas con vigas ASB principales y vigas de borde descolgadas

Figura 4.11 (Derecha) Típica sección transversal de Slimdek con la instalación del aire acondicionado bajo el forjado



Planteamientos de diseño (continuación)	4. Diseñe las vigas de borde utilizando vigas RHS <i>Slimfloor</i> o vigas descolgadas, donde los detalles de la envolvente lo permitan. Asegúrese de que el canto de la viga de borde sea compatible con el canto de la losa.																			
Secciones	<p><i>Tabla 4.1 Dimensiones comunes en vigas ASB</i> ^[8]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Luz de la viga</th> <th colspan="3">Luz del forjado</th> </tr> <tr> <th>6</th> <th>7,5*</th> <th>9*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6 m.</td> <td>280 ASB100</td> <td>280 ASB136</td> <td>300 ASB153</td> </tr> <tr> <td>7,5 m.</td> <td>280 ASB136</td> <td>300 ASB153</td> <td>300 ASB185</td> </tr> <tr> <td>9 m.</td> <td>300 ASB153</td> <td>300 ASB185</td> <td>300 ASB249</td> </tr> </tbody> </table> <p>*requiere apuntalamiento de la chapa colaborante</p>	Luz de la viga	Luz del forjado			6	7,5*	9*	6 m.	280 ASB100	280 ASB136	300 ASB153	7,5 m.	280 ASB136	300 ASB153	300 ASB185	9 m.	300 ASB153	300 ASB185	300 ASB249
Luz de la viga	Luz del forjado																			
	6	7,5*	9*																	
6 m.	280 ASB100	280 ASB136	300 ASB153																	
7,5 m.	280 ASB136	300 ASB153	300 ASB185																	
9 m.	300 ASB153	300 ASB185	300 ASB249																	
Calidad del acero	Las vigas ASB solo están disponibles en acero S355. Las vigas RHS <i>Slimfloor</i> están disponibles en acero S275 y S355.																			
Forjado	1.000 - 1.200 mm. con instalación de aire acondicionado y suelo técnico. 700 - 900 mm. con servicios ligeros incluyendo suelo técnico. Véase la Figura 4.12.																			
Protección ante incendio	Las vigas ASB, diseñadas contra el fuego, con el alma y el ala superior embebidas en hormigón, requieren protección al fuego adicional para requerimientos de más de 60 minutos (R90). Las vigas ASB de almas finas requieren protección para requerimientos de resistencia mayor de 30 minutos (R30), generalmente mediante un panel en el ala inferior. Las vigas de borde de forjado RHS <i>Slimfloor</i> generalmente requieren protección al fuego para requerimientos mayores de 60 minutos (R60), generalmente mediante paneles en las caras expuestas.																			
Uniones	Las vigas ASB requieren uniones de chapa frontal (6 - 8 tornillos) para resistir la torsión. Las vigas de forjado RHS <i>Slimfloor</i> usan a menudo uniones frontales para minimizar el ancho de la unión.																			

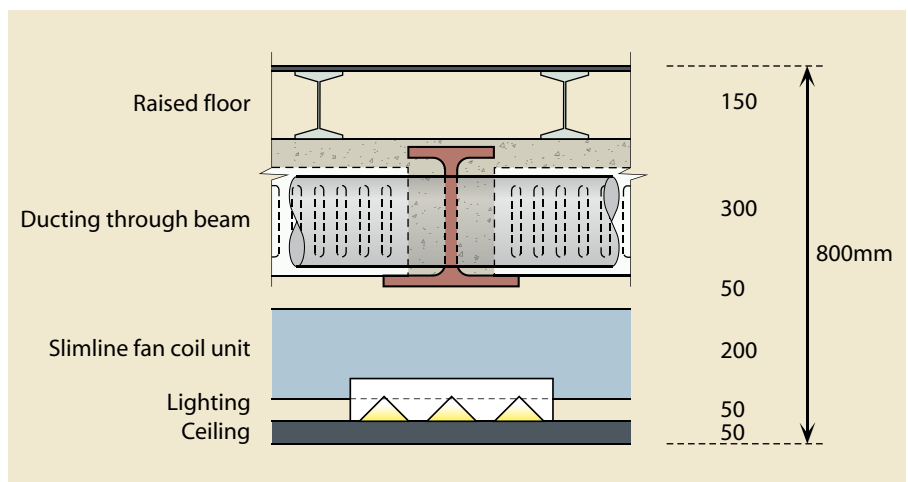


Figura 4.12 Típica sección transversal de Slimdek con el sistema de aire acondicionado integrado en el forjado

^[8] La denominación de los perfiles en la tabla son característicos del fabricante Corus. Perfiles semejantes pueden ser proporcionados por otros fabricantes con otra nomenclatura propia, por ejemplo ArcelorMittal las denomina IFB (estos perfiles no se laminan directamente, sino que se fabrican a partir de una sección en I o H a la que se le suelda una platabanda).

05 Uniones estructurales

Todos los sistemas de forjado brevemente presentados en los capítulos anteriores utilizan uniones articuladas, las cuales no soportan momentos significativos. Sin embargo, algunas uniones estructurales están diseñadas para resistir efectos de torsión.

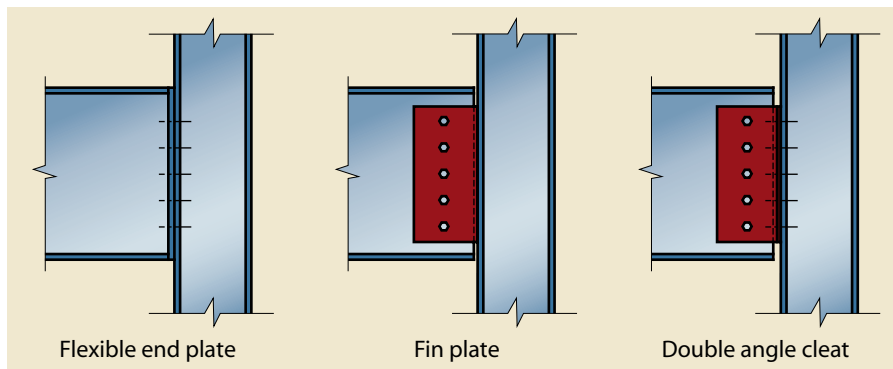


Figura 5.1 Uniones articuladas viga-pilar

Las uniones con chapa frontal de canto total, es decir, soldada a las alas y al alma de la viga, normalmente se utilizan en los elementos del forjado que están sometidos a torsión tales como las vigas de sección asimétrica en sistemas de forjado integrado.

Uniones articuladas

La estabilidad total de la estructura generalmente es proporcionada por arriostramientos o por núcleos de hormigón, en los cuales, las uniones entre elementos no transmiten momentos flectores significativos.

Estas uniones no están sujetas a torsión, generalmente, se emplean uniones articuladas (sólo con cortante vertical). Se emplean uniones estándar y la elección del detalle depende del contratista de la estructura de acero. Como puede observarse en la Figura 5.1, estas uniones estándar son general-

mente las uniones con placas frontales flexibles, chapas atornilladas al alma de la viga, o uniones con doble angular.

En general, las chapas frontales se emplean en las uniones viga-pilar, las cuales tienen espesores pequeños ya que no soportan momentos significativos, por lo que se conocen como chapas frontales flexibles. Las uniones a pilares tubulares de sección cuadrada también resultan sencillas, empleándose chapas

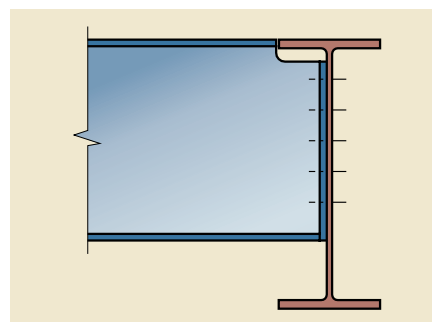


Figura 5.2 Unión viga-viga con rebaje en viga secundaria

Uniones articuladas

Chapa frontal de canto total

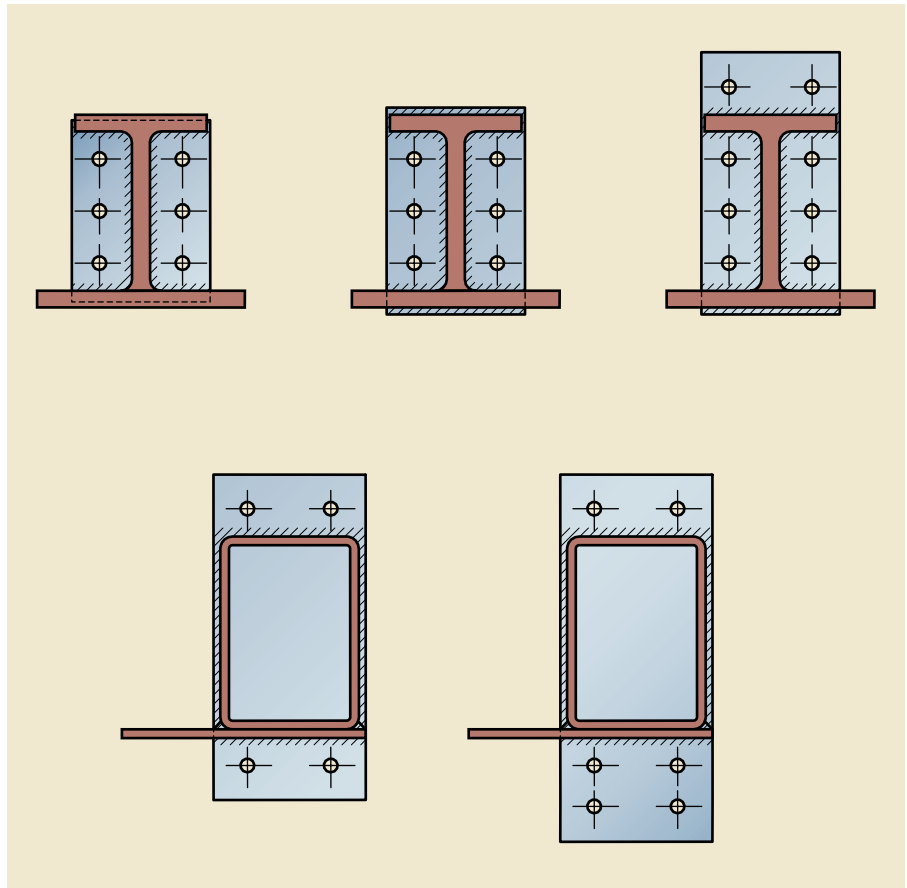


Figura 5.3 Placas frontales de canto total para forjados integrados y vigas de borde

frontales flexibles o casquillos con doble angular; con sistemas de unión patentados, como remaches, tornillos autorroscantes o expansivos.

Las uniones viga-viga también presentan generalmente uniones sencillas, utilizando chapa frontal flexible, aunque la viga secundaria puede necesitar ser recortada o rebajada, como se muestra en la Figura 5.2.

Chapa frontal de canto total

Cuando las uniones están sujetas a torsión, o son requeridas para resistir

momentos, la unión se lleva a cabo generalmente con chapa frontal de canto total, como se observa en la Figura 5.3. En estas uniones, la placa frontal es soldada alrededor de la sección total de la viga.

Una práctica habitual del contratista de la estructura de acero es diseñar las uniones. En cambio, el diseñador debería proporcionar las fuerzas y los momentos, solicitaciones, existentes en la unión en las fases más relevantes de la construcción, por ejemplo, durante la misma y en la etapa final. Esto es debido a que en elementos como las vigas

integradas, la torsión aparece sólo durante la etapa de construcción, cuando las cargas se aplican en un solo lado del elemento. Sin embargo, las vigas de borde estarán sujetas a torsión en todas las fases. En este caso, tanto las soldaduras como las uniones atornilladas deben comprobarse frente a la solicitación combinada de torsión y cortante vertical.

Además de su resistencia a flexión, este tipo de uniones añaden rigidez a las vigas, reduciendo flechas. Esto resulta adecuado en los sistemas estructurales con grandes luces.

06 Casos prácticos

En este capítulo se presentan una serie de proyectos recientes para ilustrar el diseño y los principios constructivos presentados en secciones anteriores. Estos casos prácticos cubren diversas tipologías edificatorias y localizaciones a lo largo de Europa.

- *Mjärvedi Centre*, Suecia. Vigas de acero integradas y pilares tubulares rellenos de hormigón.
- *Sede principal del Banco ING*, Ámsterdam. Construcción Slimdek sobre pilares inclinados.
- *Cámara de Comercio* en Luxemburgo. Forjado mixto con chapa de acero inoxidable expuesta apoyada en vigas integradas de grandes luces.
- *Torres HighLight*, Munich. Estructura mixta sobre pilares tubulares rellenos de hormigón.
- *Palestra*, Londres. Vigas armadas de gran luz, pareadas, sobre pilares tubulares.
- *Rehabilitación de La Alhóndiga*, Bilbao. Reforma de un edificio ya existente, respetando la fachada y utilizando vigas en celosía de gran luz para crear espacios diáfanos para exposiciones.

*Mjärvedi Centre,
Suecia*

*Sede principal del
Banco ING, Ámsterdam*

*Cámara de Comercio,
Luxemburgo*

*Torres HighLight,
Munich*

*Palestra,
Londres*

*Rehabilitación de La
Alhóndiga, Bilbao*

Centro Mjärdevi, Suecia

Es un ejemplo de cómo la técnica tradicional en la edificación combinada con la prefabricación de estructura de acero puede inspirar nuevas ideas en la industria de la construcción.

Beneficios de la solución empleada:

- Pilares rellenos de hormigón armado resistentes al fuego, por lo que pueden quedar expuestos sin protección adicional
- El sistema de forjado de acero de reducido canto se prolonga al exterior a través de la fachada acristalada y curva
- Ligeros perfiles de acero dan soporte a la fachada acristalada
- Galardonado con un premio de arquitectura



La primera sensación que se tiene al ver el Parque de la Ciencias Mjärdevi es el de *“un entorno ideal para el establecimiento y el crecimiento de empresas basadas en el conocimiento”*. El Centro Mjärdevi es el símbolo del Parque de las Ciencias y por ello, el edificio debe expresar audazmente una fuerte creencia en el futuro.

El edificio consta de dos partes, una parte de 12 plantas y otra parte más baja formando la base principal del edificio de mayor altura, la cual presenta una fachada inclinada dividida en dos semicírculos. El arquitecto se inspiró en figuras geométricas clásicas buscando una figura esbelta y curvada a modo de escultura o jarrón. Una espectacular y

simple forma del edificio, a la vez que novedosa debido a su inclinación. Como citó el arquitecto: *“se puede decir que el edificio es como un jarrón gigante del arquitecto finlandés Alvar Aalto”*.

El revestimiento exterior del edificio es de zinc, donde el color oscuro forma una estructura externa para el edificio transparente. El edificio presenta una silueta destacablemente alta como contraste con la edificación más baja de los alrededores. En la parte más alta, la estructura vertical queda con los pilares expuestos hacia el interior del edificio; mientras que en la parte más inferior, la estructura de acero esta totalmente expuesta y de esta manera, el exterior del edificio refleja el interior.

Equipo de proyecto

Cliente:

Sankt Kors Fastighets AB

Arquitecto:

Lund & Valentin arkitekter

Dirección del proyecto:

Hifab Byggprojektledaren AB

Contratista de la estructura:

Strångbetong

Estructurista:

PPTH-Norden Oy

Ingeniería:

CSE projekt AB,**PPTH Engineering****Detalles de la construcción**

Los pilares de acero (perfil tubular de sección circular) se combinan con vigas de acero y placas alveolares prefabricadas.

Las pilares de acero (normalmente de 200 mm. diámetro) son continuos en 3 alturas y están rellenos de hormigón armado, proporcionando una acción mixta y resistencia al fuego. El arquitecto quería la superficie de acero expuesta y por ello se adoptó esta solución. Todos los pilares están expuestos salvo los pilares inclinados en la fachada.

Las vigas de fachada son perfiles HEA (típicamente 240 mm.) y las vigas de interior son perfiles omega. Los pilares inclinados son perfiles VKR (tubular circular), los cuales se unen soldándolos e instalándolos como una gran escalera. Las vigas horizontales sujetan horizontalmente a los pilares.

El forjado está compuesto de placas alveolares de hormigón con un canto de 270 mm. La luz varía entre 4 m. y 11 m., dependiendo de la geometría del edificio.

El edificio está arriostrado por tres escaleras de hormigón prefabricado, postensadas hacia la mitad de la altura del edificio. Una de las escaleras está colocada en la parte central y las otras dos en los pórticos extremos del edificio.

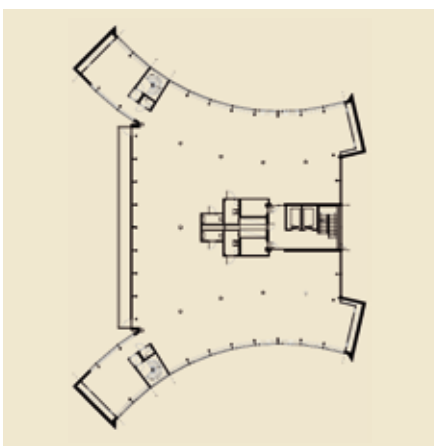


Centro Mjärdevi bajo construcción. Estructura principal y fachada de acero ligero.
Foto cortesía de PPTH

La escalera central es de hormigón ligero coloreado con las superficies vistas.

Los muros exteriores presentan perfiles ligeros de acero en C combinados con la fachada acristalada. Las pequeñas tolerancias de la fachada prefabricada y de los elementos acristalados representaron un aspecto crucial en el edificio.

El Centro Mjärdevi es un excelente ejemplo de cómo la tecnología en la construcción prefabricada puede utilizarse para crear una expresión arquitectónica avanzada. La esbeltez de la estructura de acero se aprecia en la fachada curva, inclinada y ligera.



Implantación del edificio, Planta 7

Sede Central del Banco ING, Ámsterdam

El equipo de diseño para la prestigiosa sede del Banco ING en Zuiderhof, Ámsterdam, eligió el forjado Slimdek debido a su canto reducido que produce mínimo impacto visual, por su rapidez de instalación y su menor peso.

Beneficios de la solución empleada:

- Rapidez de construcción en la estructura de acero
- Mínimo canto estructural para un menor impacto visual
- Oportunidades en la integración de servicios
- Peso propio reducido adaptado a las condiciones del terreno
- Reducción en el uso de grúas
- Requisitos mínimos de accesibilidad a obra en comparación con la construcción en hormigón



Alezaado posterior del Banco ING.
Foto cortesía de G. Fessy, París



La prestigiosa sede del Banco Central ING de Ámsterdam es uno de los ejemplos más destacados de la construcción con acero utilizando *Slimdek*. Las nueve plantas de construcción en acero tienen 20,000 m² de área construida, estando el edificio apoyado sobre pilares mixtos inclinados. En la "nariz" del edificio se ubica un auditorium con un voladizo de 26 m., medidos desde la estructura adyacente resuelta con *Slimdek*.

Los arquitectos Meyer y Van Schooten estaban muy interesados en utilizar *Slimdek* debido a su experiencia en otros proyectos, ya que ofrece un reducido canto estructural, lo que representa un requisito importante para edificar en Holanda. La doble fachada acristalada también requería el menor canto posible para conseguir un menor impacto visual.

La modulación estructural era aproximadamente de 7x7 m², siendo el ideal para *Slimdek* utilizando perfiles de acero ASB y un forjado de canto reducido de 300 mm. Los pilares inclinados soportan

el peso del edificio y proporcionan la estabilidad necesaria a todo el edificio.

El edificio está ubicado próximo a la carretera de circunvalación A10, normalmente bastante concurrida, y, por lo tanto, el aislamiento acústico y las vibraciones fueron consideraciones relevantes en su diseño. El espacio entre sus pilares inclinados proporciona el acceso al edificio y al aparcamiento subterráneo.

El arquitecto adoptó una estrategia sofisticada en la que la doble piel en fachada controla el aprovechamiento solar para mantener la temperatura interior. Se colocaron los servicios bajo la losa con la integración de las conducciones entre los nervios del canto del forjado.

Todos los proyectos realizados en Holanda están afectados directamente por el alto nivel freático, así que fue ventajoso minimizar el movimiento de tierras que se logró con cargas concentradas en puntos discretos de posicionamiento de los pilares.

Equipo de proyecto

Cliente:

ING Bank

Arquitectos:

Meyer & Van Schooten,**Ellerman,****Lucas,****Van Vugt Architects**

Ingeniería estructural:

Aronsohn

Estructurista:

HGO Group

Forjado:

Dutch Engineering**Detalles de la construcción**

La estructura consta de pilares inclinados de 10 m. de altura que soportan una superestructura que varía de 4 a 9 plantas. Las vigas 280 ASB136 salvan 7 m. de luz en aproximadamente cuatro vanos iguales a través del edificio. La superestructura se extiende entre los pilares inclinados y está soportada por una cercha superior, que a su vez, también resiste las fuerzas horizontales de los pilares. Estos pilares son perfiles en I en forma cruciforme, rellenos de hormigón para lograr una acción mixta y para mejorar la resistencia frente a posibles impactos.

permitió un ambiente interno controlado, lo cual minimizó la instalación de servicios. El forjado Slimdek también minimizó el impacto visual de la estructura, lo cual era importante para el diseño arquitectónico.

El auditorio fue concebido como una estructura en voladizo de 26 m. de luz y 3 plantas de altura que está soportada por elementos inclinados en cada planta. La chapa de acero en este voladizo fue la CF100 de canto reducido, llegando a luces de 3,6 m sin apuntalamiento (ya que no era conveniente en esta zona). La estructura de acero fue suministrada por un consorcio formado por 3 estructuristas, empleando vigas ASB y chapas de acero suministradas por Dutch Engineering.

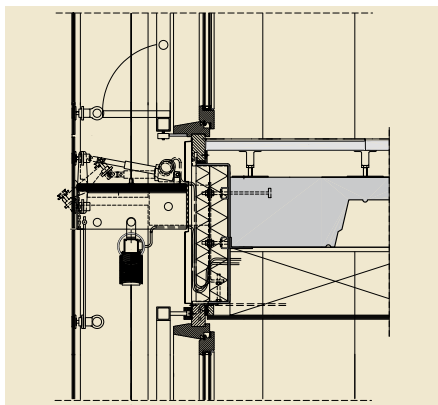
El montaje de las 1.000 toneladas de estructura de acero duró únicamente 28 semanas, a pesar de la complejidad de la estructura y su accesibilidad. Un área tan congestionada implicaba la reducción del número de vehículos y de entregas en obra. Además, la elección de una estructura más ligera también redujo considerablemente el coste en el movimiento de tierras.



Losa mixta empleada en el auditorio

En los pisos superiores se utilizaron chapas de acero de gran canto que se apoyan en las alas inferiores en las vigas ASB. Se utilizó una doble fila de apeos temporales para controlar la flecha en los 7,2 m. de luz. El canto total de la losa fue de 310 mm., lo mínimo aceptado para cumplir los requisitos exigidos por los criterios de flecha y vibración. En la planta baja se utilizaron losas prefabricadas de hormigón sobre las áreas de acceso abierto y el aparcamiento.

La fachada ligera y acristalada se adosó al perímetro de la estructura de acero y



Detalle de forjado.
Foto cortesía de Meyer & Van Schooten, Amsterdam

Cámara de Comercio, Luxemburgo

La nueva sede de La Cámara de Comercio de Luxemburgo muestra el uso del acero en su arquitectura y logra ahorros energéticos a través de losa mixta, con chapa colaborante inoxidable, de forma sinusoidal, refrigerada por agua.

Beneficios de la solución empleada:

- Sistema de vigas integradas con una luz de 12 m.
- Chapa colaborante de forma sinusoidal con la cara exterior vista
- Amplia fachada acristalada
- Diseño basado en ingeniería de seguridad ante incendio
- Eficiencia energética utilizando refrigeración por agua integrada en el forjado



La nueva sede de la Cámara de Comercio del Gran Ducado de Luxemburgo situada en Kirchberg, es un edificio totalmente restaurado de 5,000 m² y 20,000 m² de nuevas oficinas. Un centro de conferencias de aproximadamente de 8.000 m² completa este edificio junto con 650 plazas de aparcamiento subterráneo situadas en 4 niveles. El área total de la construcción es de 52,000 m², incluyendo el aparcamiento. Costó 70,4 millones de € y fue finalizado en el año 2003.

Los nuevos edificios forman una sucesión de cuatro volúmenes diferentes unidos entre sí por unas pasarelas de cristal, así como otro edificio a lo largo de la calle adyacente. Este conjunto de edificios proporciona flexibilidad en el diseño de oficinas. Las estructuras son completamente independientes desde la planta baja y los edificios están acristalados con protecciones solares serigrafadas. Los forjados están compuestos de placas prefabricadas mixtas de acero inoxidable cuya cara inferior proporciona un acabado ondulado en el techo.

Las 4-5 alturas de estructura mixta constan de perfiles laminados en caliente de acero, losas de hormigón con perfiles IFB integrados y vigas principales en celosía, las cuales resuelven una luz de 12,5 m., mucho mayor que la aplicación convencional de las vigas IFB.

Los chapas de forjado sinusoidales de acero inoxidable tienen un canto de aproximadamente 180 mm. y ofrecen una solución mixta con la losa de hormigón vertida "in-situ". Se apoyan en el ala inferior de las vigas de acero integradas. Las tuberías de plástico colocadas en la losa proporcionan calefacción y refrigeración en verano e invierno. El calor también consigue reducirse por el apantallamiento de la fachada acristalada. Los ascensores de cristal contribuyen a la sensación de ligereza de esta nueva sede. Las particiones interiores de las oficinas consisten en tabiques modulares de acero y cristal.

La acción de diafragma de las losas del forjado, la escalera vertical de hormigón

Equipo de proyecto

Arquitecto:

Vasconi Architects

Ingeniería estructural:

Schroeder, N Green, A Hunt

Ingeniería de servicios:

RMC Consulting

y el núcleo de ascensores proporcionan estabilidad horizontal al edificio. El edificio C está arriostrado con un plano de arriostramiento en K.

Detalles de la construcción

Las vigas de acero con luz de 12,5 m. y están atirantadas con perfiles tubulares situados bajo las vigas integradas, lo que incrementa su capacidad de salvar luces en un 30%. Los tirantes están visibles y expuestos bajo el forjado. Los servicios se integran bajo las vigas y sobre los tirantes para minimizar el canto del forjado.

La chapa de acero inoxidable sinusoidal está en la misma dirección que las vigas principales y apoyada en las vigas secundarias de 4 m. de luz. La chapa soporta el peso del hormigón fresco y no se necesita apuntalamiento durante la construcción.

La resistencia al fuego de las vigas integradas y pilares de acero se estudió con un análisis de ingeniería de seguridad ante incendio, que demostró que se podía conseguir una resistencia a fuego de 60 minutos sin protección adicional. Las vigas IFB están parcialmente protegidas por el recubrimiento de la losa de hormigón y soportan las acciones en situación de incendio a pesar de la pérdida de capacidad portante de los tirantes expuestos.

En cuanto a la estrategia ante la eficiencia energética, las condiciones de operación de la losa refrigerada por agua son, en 3 ciclos, como sigue:

Verano - Durante la noche

En verano, se circula agua fría durante la noche por las tuberías de plástico embebidas en la losa. El circuito del agua se invierte desde 28/33° C a 14/18° C a las 8 p.m.

Verano - Durante el día

Si por la noche no se enfría a tiempo la losa y no alcanza los parámetros fijados previamente a la mañana (por ejemplo, una temperatura máxima de 21° C), el circuito refrigerador sigue en funcionamiento y el agua se enfría por el circuito de la máquina de absorción (a una temperatura de 9/18° C).

El equilibrio entre frío y calor se consigue mediante vigas refrigeradas en el techo, alimentadas por unas redes de calefacción y refrigeración. El aire pretratado se impulsa al interior mediante un intercambiador y mezclador, por efecto 'Venturi', con el aire existente.

Invierno

La losa del forjado se calienta en los meses de invierno a través circulando agua caliente por las tuberías integradas en el forjado. El calentamiento del agua se realiza a través de un intercambiador de calor que utiliza energía solar.



Sistema de climatización por agua localizado en la losa del forjado



Chapa colaborante perfilada de acero inoxidable y unidades de alumbrado y ventilación

Torres HighLight, Munich

Al norte de Munich, se ha construido un nuevo grupo de edificios de oficinas de gran calidad, proporcionando un máximo de transparencia y flexibilidad, al utilizar una innovadora estructura de acero.

Beneficios de la solución empleada:

- Máxima flexibilidad interna por la ausencia de muros y núcleos de hormigón
- Innovador sistema de arriostramiento en celosía
- Máxima transparencia de las fachadas
- Fachada de paneles prefabricados
- Alta calidad en el entorno de trabajo



Las Highlight Towers es un grupo de altos edificios en el norte de Munich, en Parkstadt Schwabing, un nuevo enclave residencial y comercial. La ubicación es importante, tanto dentro del área cercana, como para la ciudad e su conjunto. Las torres ven pasar el cruce principal de autopistas de la ruta del norte hacia la carretera de circunvalación en torno al centro de la ciudad.

El objetivo del concepto del diseño era ofrecer una máxima transparencia y flexibilidad con una mínima utilización de materiales. Todas las zonas gozan de comodidad, ventilación natural y un agradable ambiente de trabajo.

Su esbelta silueta y transparencia son el resultado de un innovador diseño y concepto de ingeniería que sólo puede realizarse en acero y construcción mixta.

Los rascacielos carecen de sistemas de arriostramiento o núcleo de hormigón,

tampoco tienen muros de carga internos, todos los tabiques son de estructura ligera o acristalada, como lo son también las paredes de las escaleras.

El proyecto consta de la construcción de cuatro edificios: Highlight Tower 1 y Highlight Tower 2 (de 33 y 28 plantas), flanqueados por un bloque bajo, que es un hotel de 7 plantas y el Highlight Forum, de 5 plantas, siendo las dos últimas las que dan lugar a una ligera transición al desarrollo comercial.

Los esbeltos edificios tienen forma de rombos con una altura aproximadamente de 80 m. y una profundidad de 13,5 m. cada uno.

El área total del forjado es aproximadamente de 68,000 m², que comprende 61 plantas, con más de 1,000 m² cada una. La altura libre de la planta baja es de 7,5 m. y la de las plantas superiores de 3.5 m.

Equipo de proyecto

Cliente:

KanAm-Gruppe, München**Aareal Bank AG, Wiesbaden**

Arquitectos:

Murphy/Jahn Inc. Architects

Ingeniería estructural:

Werner Sobek**Ing. GmbH & Co. KG**

Estructurista:

Stahl + Verbundbau GmbH

Contratista:

Strabag AG

Fachadas:

Schmidlin AG

Los puentes de conexión y los núcleos de los ascensores acristalados no tienen ninguna función estructural, pero desempeñan un papel importante en la imagen visual del conjunto.

Detalles de la construcción

La estructura principal de las dos torres es una innovadora construcción mixta de acero y hormigón. Sus principales elementos son pilares metálicos tubulares rellenos de hormigón con un núcleo de acero macizo y losas de hormigón armado con vigas colgadas alrededor del perímetro. Las torres son estabilizadas por dos cerchas a ambos extremos del edificio. Estas estructuras constan de tres cerchas interconectadas: una horizontal, de 12 m. de canto, a lo largo del ancho del edificio, y otras dos, verticales, de 8 m. y 6,75 m. de canto, paralelas en toda la altura de la fachada. En alzado, las tres cerchas forman una U.

Cada módulo de arriostramiento abarca verticalmente dos forjados lo que implica que los pilares y los diagonales atraviesen los forjados intermedios entre dos nudos principales en de la estructura.

Los pilares del exterior del arriostramiento están diseñados como mixtos, generalmente, perfiles tubulares con núcleos de acero y rellenos de hormigón. En ambos rascacielos se han utilizado, más de 1.100 pilares mixtos, de una sola

planta de altura, que se conectan entre sí como un mecano.

Por lo general, se ha utilizado acero de tipo S355. En las uniones se empleó acero de mayor límite elástico, S460 y S690, teniendo en cuenta la soldabilidad y la reducción de las tensiones residuales.

Los forjados son losas macizas de hormigón armado de 280 mm. de canto con un sistema integrado de calefacción y refrigeración. Cada una de las torres está cubierta con una estructura espacial totalmente acristalada. La estructura de acero y cristal resuelve la fachada de dos en dos plantas, así como la mayor parte de la galería.

El grupo de cuatro edificios está situado sobre un parking subterráneo de tres plantas.

Todos los elementos portantes y arriostramientos están diseñados para una resistencia al fuego de 120 minutos (R120) y otros para 90 minutos (R90).

Fachadas

Cada torre es consta de una envolvente de tipo muro de cortina de una sola capa, hecho de paneles prefabricados de altura igual a la distancia entre forjados y usando perfiles de metal con aislamiento térmico. Los paneles están divididos en dos secciones acristaladas, de 400 mm. y 950 mm. de ancho, con protección solar mediante sombreado siendo la más pequeña practicable para poder abrirse para una ventilación natural.



Durante el proceso constructivo del sistema de arriostramiento.

Foto cortesía de stahl+verbundbau GmbH, Dreieich

Palestra, Londres

Un nuevo concepto de diseño en la carretera Blackfriars de Londres muestra una serie de nuevas tecnologías de construcción en acero, incluyendo columnas rellenas de hormigón y vigas continuas pareadas para minimizar el canto estructural.

Beneficios de la solución empleada:

- Forjados de poco canto con grandes luces
- Forjado rígido debido a la continuidad de las vigas
- Pilares tubulares inclinados
- Solución basada en ingeniería de seguridad ante incendio
- Fachada totalmente acristalada
- Ágil programa de construcción



El edificio del arquitecto Alsop Palestra utiliza múltiples innovadores conceptos de diseño para crear 28.000 m² de desarrollo comercial en Southwark, Londres. La estructura mixta de 12 plantas consta de pilares tubulares que soportan vigas continuas alveolares pareadas, unidas mediante cartelas a los pilares.

En la novena planta, el edificio se proyecta hacia fuera hasta 9 m. en la fachada principal y 1,5 m. en las fachadas laterales; además, en la planta baja y en la séptima, los pilares se inclinan para lograr un mayor efecto visual. Todo este inusual sistema estructural fue elegido por el ingeniero estructural, Buro Happold.

El edificio varía entre 31,5 m. y 36 m. de ancho y tiene, aproximadamente, 90 m. de altura, además, cuenta con tres

núcleos de servicios y ascensores. La distancia entre forjados es de tan solo 3,65 m. Las 3.500 toneladas de acero fueron montadas en tan solo 32 semanas y la estructura completada en 10 meses del total de 30 meses previstos en el programa de construcción total.

La climatización se realiza con unidades de ventilación Fan Coil ubicadas entre las vigas. Las conducciones y los tubos pasan por una zona de 400 mm. de canto bajo la viga secundaria, a través de las aberturas circulares de las vigas principales, previstas para futuras modificaciones de los servicios.

Los pilares tubulares rellenos de mortero de cemento incorporan otro perfil tubular de sección circular, CHS (Circular Hollow Section), interior, en lugar de tubos de

Equipo de proyecto

Cliente:

**Blackfriars Investments and
Royal London Asset Management
joint venture**

Arquitecto:

Alsop and Partners

Ingeniería estructural:

Buro Happold

Contratista:

Skanska

Estructurista:

William Hare

Forjado de acero:

Richard Lees Steel Decking Ltd

acero rellenos de hormigón armado. Esto mejoró la resistencia de compresión y la resistencia al fuego de los 508 mm. de diámetro de los pilares circulares, que logran 120 minutos de resistencia al fuego sin ninguna protección adicional, como pintura intumescente o paneles.

Los pilares fueron rellenos con mortero de cemento a lo largo de 9 plantas desde la parte superior. Esto incrementó la rapidez de la instalación y simplificó el programa de construcción. Unos orificios superiores e inferiores en los pilares entre planta y planta facilita la evacuación de vapor en el interior del pilar en caso de incendio.

La fachada es totalmente acristalada mediante paneles de altura igual a la distancia entre forjados, distribuidos por Permasteelisa. El principio de funcionamiento se basa en un sistema de silicona estructural y cristal.

Detalles de la construcción

Las vigas alveolares pareadas armadas, son de 600 mm. de canto, dentro la zona total de forjado de 900 mm. de canto.

Las vigas se fabrican a partir de chapas 25 mm. de espesor para las alas y 15 mm. para el alma y están diseñadas para transferir el cortante través de aberturas de 400 mm. de diámetro sin necesidad de rigidizadores. La continuidad de la viga principal mejora la rigidez y el comportamiento frente a vibraciones del forjado con el empalme articulado situado en el punto de inflexión.

Las vigas secundarias están diseñadas como mixtas con 200 mm. de canto y

una luz de 6,65 m. entre vigas principales. Estas vigas están unidas al alma de las vigas principales para que la parte superior del canto de la losa mixta, de 140 mm., se nivele con la parte superior de las vigas principales.

Se logra una resistencia al fuego de 90 minutos (R90) aplicando tan solo una capa de pintura intumescente a las vigas armadas. Las vigas principales están también diseñadas para que con la losa actúen como mixtas. En vez de emplear los típicos conectadores, la acción mixta se logra pasando la armadura a través de unos orificios practicados en el alma de la viga dentro de la losa.

La inclinación de los pilares en dos plantas, combinados con el importante voladizo de la novena planta, crean unas fuerzas horizontales permanentes en la estructura cuya magnitud es del orden de 20 veces la fuerza experimentada por el edificio debida a la acción del viento. La estructura de acero y hormigón transfieren las elevadas fuerzas al sistema de estabilidad de arriostramiento de acero, de arriostrados en forma de K.

La losa mixta utiliza chapas colaborantes tipo Ribdek 60 o Ribdek 80, dependiendo de la luz. Se requirieron detalles especiales en las vigas principales donde el forjado no era soportado directamente por el ala de la viga. Para ello, fue necesario soldar cartelas a intervalos definidos al alma de la viga y fijar angulares conformados en frío a las cartelas para prevenir deformaciones locales y pérdida de hormigón.



Pares de vigas alveolares



Unión en pilar tubular

Rehabilitación de la Alhóndiga, Bilbao

La antigua Alhóndiga de Bilbao es un edificio histórico ubicado en el centro de la ciudad que ésta siendo rehabilitado para convertirse en un espacio multidisciplinar abierto a todos los residentes y turistas, y orientado hacia el conocimiento, bienestar y diversión. **Alhóndiga** Bilbao contará con una superficie útil de más de 40.000 m² generando cuatro diferentes espacios con 4.000 toneladas de estructura de acero.

Beneficios de la solución empleada:

- Alto nivel de industrialización en el proceso constructivo
- Máxima flexibilidad en soluciones arquitectónicas
- Ahorro sustancial de tiempo
- Compatibilidad con otras unidades de obra
- Posibilidad de salvar luces excepcionales
- Pilares esbeltas con secciones reducidas
- Oportunidades en la integración de servicios
- Avanzada ingeniería de protección contra el fuego



Tras casi una década de obras, la Alhóndiga Bilbao verá definitivamente la luz en Junio del 2009. El antiguo almacén de vinos inaugurado en 1909, obra del arquitecto Ricardo Bastida, ha sido completamente vaciado manteniendo su fachada exterior con el fin de reconstruir en su interior un innovador centro cultural y de ocio diseñado por el reconocido arquitecto francés Philippe Starck.

Alhóndiga Bilbao ocupará un emblemático edificio de arquitectura industrial, declarada bien-cultural con categoría de monumento por el Gobierno Vasco en 1998, adaptándose a las nuevas necesidades urbanas y seguir prestando un servicio de calidad a los ciudadanos y visitantes de Bilbao.

Alhóndiga Bilbao, además de suponer la revitalización de un edificio histórico, es un paso más dentro de la transformación de la ciudad. Aspira a convertirse en un



(Encima) Voladizo perimetral de las vigas en celosía del atrio

(Arriba) Vista lateral de la Alhóndiga en construcción (Febrero 2008)

centro de referencia para el desarrollo y difusión de la cultura urbana, actualidad, nuevas tendencias y la salud, ya que integrará espacios que permitirán desarrollar actividades relacionadas con las mismas. El atrio punto de encuentro y distribuidor de la vida de la **Alhóndiga** Bilbao, será el portal desde el que acceder a los sótanos y a los tres edificios cúbicos que agruparán básicamente las actividades por temas: conocimiento, bienestar y diversión.

Equipo de proyecto

Cliente:

**Ayuntamiento de Bilbao
(La Alhóndiga, centro de ocio y cultura), S.A.U.**

Gestión de obra:

Bilbao Ría 2000

Arquitectura y diseño:

Philippe Starck, Starck Networks

Asistencia técnica

y dirección de obras:

UTE MECSA-ARUP

Estructuristas:

**Temporary Company Merger for
Structures Alhondiga (URSA S.
Coop, DRAGADOS S.A., FONORTE
Empresa Constructora, S.A.)****Tiempo de ejecución**

Comienzo:

Diciembre 2005

Finalización:

2009

*Vista aérea de la obra en construcción
(Mayo 2006)*

Detalles de la construcción**Fases**

Se pueden dividir en cuatro las fases para la transformación de la Alhóndiga:

Fase 1 (2000 - 2001): Apuntalamiento y demolición interior. Principalmente el traslado de los materiales que aún permanecían en el edificio, el derribo de la estructura interior y excavación del terreno.

Fase 2 (2002 - 2004): Excavación y ejecución del parking subterráneo. Construcción de un parking subterráneo de 5 plantas con una capacidad total de 985 plazas alcanzando una profundidad máxima de 18 m.

Fase 3 (2004 - 2006): Cimientos y estructura. En esta etapa se procedió al refuerzo de la cruja perimetral, sótanos y

semisótanos. Se restauró la fachada y torreones del inmueble original.

Fase 4 (2006 - 2009): Estructura interior. Estas obras se centran en la construcción del centro de ocio y cultura, en el interior del edificio histórico creando un espacio multidisciplinar de más de 40.000 m² con dos plantas de entre sótano y tres alturas a partir del atrio, una plaza cubierta de 6.195 m², además de una gran terraza superior de aproximadamente 6.000 m² donde se ubicarán las piscinas. En junio del 2008 abrirán sus puertas los primeros equipamientos, pero será durante el 2009 cuando se inaugurará la **Alhóndiga Bilbao** en su totalidad. El presupuesto total del proyecto alcanzará los 65 millones de euros, de los cuales 45 millones corresponden a la ejecución de la cuarta fase.



*Estructura principal para el atrio
y los cubos interiores*

Diseño estructural

El innovador proyecto abarcará aspectos tales como el diseño arquitectónico y estética interior del edificio, así como conceptos tan fundamentales como la sostenibilidad y accesibilidad.

En el interior de la fachada aproximadamente 4.000 toneladas de acero y 14.000 m² de hormigón armado pretensado para el forjado de losas alveolares prefabricadas han sido utilizadas para albergar un gran atrio



Unión articulada en columna esquinera entre dos cubos



Vigas de forjado para la estructura principal de piscina

central y tres edificios independientes, comúnmente denominados cubos. Estos edificios estarán sustentados por 43 pilares singulares y conectados mediante un espectacular atrio central que se convertirá en la puerta de bienvenida al complejo.

Los edificios centrales respiran y se intercomunican en varios niveles definiendo grandes espacios multi-disciplinares en tres grandes bloques: conocimiento, bienestar y diversión.

Conocimiento

- Sala de exposiciones (1.684m²);
- Mediateca (3.933 m²);
- Auditorio (1.080 m²);
- Cines (2.122 m²).



Entrada principal a la Alhóndiga

Bienestar

- Piscina (2.500 m²);
- Solarium (3.028 m²);
- Gimnasio (2.676 m²);
- Balneario urbano (831 m²).

Diversión

- Centro Superior de Artes Escénicas de Euskadi (Aproximadamente 2.000 m²);
- Pequeños locales comerciales (600 m²);
- Cafés y restaurantes (1.000 m²).

Desde el punto de vista estructural, el atrio se constituye de pilares de acero S355JR, HEA 550 con sección cruciforme de 16 m. de largo.

Por otro lado, las vigas superiores en celosía del atrio presentan sección HEB

140 en las diagonales y HEA 220 en los cordones superior e inferior para luces de 8 m. y un canto de 0,9 m.

Con la misma disposición constructiva, las vigas perimetrales en voladizo cubren luces de 9 m. con un canto de 1,5 m.

Los tres cubos que conforman el interior presentan idéntica estructura a base de pilares tubulares de sección circular de 700 mm. de diámetro y con una altura de 3 m. entre forjados. No obstante, las secciones de las vigas varían en función del uso de la zona debido al diseño de cargas. Es por ello que el espacio destinado a la mediateca comprende vigas dobles en celosía de 0,9 m. de canto y 17 m. de luz mientras que el cubo dedicado a actividades deportivas está constituido por vigas armadas de



Visión final 3D del atrio y cubos con sus esbeltos pilares

alma llena con 1,6 m. de canto cubriendo luces de 35 m. Las uniones en la estructura principal de acero han sido atornilladas debido a aspectos tales como la rapidez de ejecución y la no dependencia ante condiciones climatológicas.

Seguridad ante incendio

Para el diseño estructural ante incendios, se ha aplicado el cumplimiento del código técnico de la edificación, CTE DB-SI.

Debido a que parte de la estructura queda expuesta directamente al fuego, es imprescindible una protección especial a base de pintura intumescente que proporcione una resistencia al fuego mínima de 60 minutos, R60.

Inicialmente y de acorde a los requerimientos de la CTE DB-SI era

necesaria una protección R120, pero esto pudo ser cuidadosamente reducido hasta R60 gracias a los estudios de ingeniería de seguridad ante incendio (ISAI). De esta manera, se llevaron a cabo análisis específicos en diferentes escenarios de la **Alhóndiga Bilbao** para cuantificar la seguridad ante el fuego:

- Evacuación de humos en el atrio.
- Análisis de resistencia a fuego para la estructura completa.
- Simulaciones avanzadas en escenarios de incendio teniendo en cuenta la posibilidad de propagación por radiación.

*Se presta especial agradecimiento por su colaboración en el artículo a Agustín Arizti de **MECSA** y a Pedro Marcos de **Bilbao Ría 2000**.*



Estructura de acero para forjado acristalado



Estructura principal que soporta la piscina



Pasarelas de conexión entre crujía perimetral y cubos



Vista inferior de la piscina a través del forjado acristalado

**ArcelorMittal**

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

**Bouwen met Staal**

Boerhaavelaan 40, NL - 2713 HX Zoetermeer,
Postbus 190, NL - 2700 AD Zoetermeer, Los Países Bajos
www.bouwenmetstaal.nl

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

Espace Technologique, L'orme des merisiers - Immeuble Apollo,
F - 91193 Saint-Aubin, Francia
www.cticm.com

**Forschungsvereinigung Stahlanwendung (FOSTA)**

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

**Labein - Tecnalia**

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

**SBI**

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

**The Steel Construction Institute (SCI)**

Silwood Park, Ascot, Berkshire,
SL5 7QN, Reino Unido
www.steel-sci.org

**Technische Universität Dortmund**

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