

Buenas prácticas para la Construcción en Acero

EDIFICACIÓN RESIDENCIAL

La guía para Arquitectos, Diseñadores y Constructores



Índice



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

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

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

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

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

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 978-1-85942-029-4

© 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: Liljeholmstorget (Estocolmo, Suecia). Fotografado por JM AB.

01 Introducción



1

02 Principales Criterios de Diseño



2

03 Tipologías de Forjado



6

04 Tipologías de Panel de Fachada



14

05 Estructura Principal de Acero



22

06 Sistemas Modulares



30

07 Sistemas de Fachada y Cubierta



36

08 Prácticas Nacionales



43

09 Casos Prácticos



55

01 Introducción

El diseño en edificación residencial está influenciado por numerosos factores, incluyendo los nuevos requerimientos de sostenibilidad, así como las prestaciones térmicas y acústicas. La necesidad medioambiental de preservar el terreno, mientras se mejoran las características sociales del entorno construido, presenta también un efecto directo sobre la selección del sistema constructivo. Los desafíos para conseguir procesos constructivos más sostenibles y eficientes energéticamente ha llevado a mayores demandas del nivel de prefabricación y de la calidad requerida en el comportamiento de la tecnología constructiva elegida.

Las tecnologías utilizadas en el sector de la construcción en base acero han logrado una alta cuota de mercado en otros sectores de la construcción. En la construcción de edificios residenciales, pueden utilizarse las mismas tecnologías constructivas que en otros sectores, con ventajas como: rapidez de construcción, altos niveles de calidad, fiabilidad, buena durabilidad y capacidad de proporcionar flexibilidad del espacio.

Esta publicación recoge las buenas prácticas para la construcción en acero dentro del sector residencial, incluyendo también la edificación mixta residencial - comercial.

Las tecnologías en base acero pueden utilizarse separadamente o en conjunto para así proporcionar sistemas completos de construcción. Estas formas híbridas de tecnología en construcción conducen a una amplia variedad de soluciones para el diseño.

La presente guía recoge aspectos estructurales y físicos de estas tecnologías para la construcción en acero dentro del sector residencial. Asimismo, se identifican y describen diferentes prácticas nacionales y tecnologías constructivas actuales para el sector residencial en cuatro países de Europa.

Figura 1.1 Viviendas adosadas de 3 plantas con estructura de acero ligero (Basingstoke, UK)
HTA Arquitectos



02 Principales Criterios de Diseño

El diseño en la edificación residencial está influenciado por diversos factores. Por consiguiente, esta guía se presenta con el fin de identificar los principales criterios de diseño, así como los beneficios que ofrece la construcción en acero en este sector.

El Mercado de la Edificación Residencial

En el sector residencial, la construcción de nuevas viviendas representa menos de un 1% del mercado global existente dentro de la Unión Europea. No obstante, este sector de la construcción es foco para las mejoras en prestaciones y desarrollo sostenible, en sus tres pilares básicos: social, económico y medioambiental. La edificación residencial es responsable del 27% de emisiones de CO₂ en Europa y por ello, la eficiencia energética es objetivo de mejora. La rehabilitación, tanto la restauración como ampliación de edificios ya existentes, representa un mercado adicional significativo.

Actualmente, existen importantes tendencias similares en toda Europa que afectan al sector de la edificación residencial, siendo estas las más significativas:

- Mejoras en los niveles de aislamiento térmico e incorporación de tecnologías basadas en energías renovables para reducir el consumo de energía convencional en este sector.
- Construcción de mayor altura, particularmente en ubicaciones urbanas o en áreas industriales, con el fin de aprovechar y conservar el terreno.
- Rapidez en la construcción con menores molestias y mayor calidad, utilizando técnicas constructivas prefabricadas.
- Reducción de costes de construcción y de mantenimiento a largo plazo.
- Creciente importancia del alojamiento de personas solteras o de tercera edad, reflejando cambios en los patrones sociales.

- Disposición de edificios adaptables a un rango de usos y con flexibilidad de uso a largo plazo.

Los sistemas constructivos en base acero presentan buena respuesta ante estas tendencias, particularmente, frente a la prefabricación y el sector residencial de media y gran altura, donde la rapidez de construcción es más relevante.

Cada vez más, hay una tendencia clara que deriva hacia una construcción de uso mixto, la cual involucra en un mismo edificio zonas comerciales, sociales y de uso residencial. Generalmente, la flexibilidad en el uso a largo plazo y una futura adaptabilidad resulta importante en muchas tipologías de edificios.

Se prefiere la construcción de viviendas de tres plantas, en vez de dos alturas, en zonas urbanas con el objeto de minimizar el impacto y el consumo de suelo. Se puede incluir un forjado adicional para conseguir un uso eficiente del espacio en cubierta, lo que puede lograrse más fácilmente con sistemas de cubierta en acero sin particiones. La cocina y los baños pueden realizarse mediante componentes modulares para una mayor optimización en la rapidez de construcción y en el coste final.

Sostenibilidad

Los criterios medioambientales y de sostenibilidad dominan el diseño del sector de la construcción residencial de nuevas viviendas. Existen varios requerimientos nacionales para la sostenibilidad y el comportamiento térmico

El Mercado de la Edificación Residencial

Sostenibilidad

Rapidez de Construcción

Vida Útil

Aislamiento Acústico

Seguridad ante Incendio

Eficiencia Energética

Acciones

Figura 2.1 Edificio de apartamentos en Helsinki con balcones integrados en la estructura
Kahri Arquitectos



plasmados en la normativa nacional pertinente. Estos aspectos generales de sostenibilidad pueden caracterizarse por unos requisitos específicos tales como:

- Reducción del uso de energía convencional y por lo tanto, de las emisiones de CO₂.
- Minimización del uso de materiales y de los residuos y aumento del reciclaje de residuos.
- Uso eficiente del agua y reciclaje de las aguas residuales domésticas.
- Eliminación de la polución y protección del medioambiente local.
- Diseño de espacios públicos atractivos y del entorno construido para una mejora bienestar y la salud.

La construcción en base acero presenta buenos resultados en términos de sostenibilidad. Por ejemplo, el acero es 100% reciclable y las pequeñas cantidades de residuos y escoria procedentes de la fabricación y construcción son también reciclados. Todos los sistemas constructivos de acero pueden reutilizarse o reciclarse al final de su vida útil.

La prefabricación de los elementos de acero aumenta la productividad en obra y la rapidez de construcción hasta un 70%, con menos alteraciones en la zona de obra durante el proceso de la construcción. Por otra parte, la construcción en base acero puede crear espacios más adaptables y flexibles, ofreciendo edificios de mayor vida

útil, pudiendo cumplir diferentes funciones y adaptarse usos futuros.

Rapidez de Construcción

Una característica común en todas las tecnologías en base acero es la rapidez de construcción en obra y una mejora de la productividad a través de una construcción eficiente utilizando sistemas prefabricados. Ciertos estudios han demostrado que los elementos constructivos de dos dimensiones presentan una rapidez de construcción de un 30% a un 40% mayor que en la construcción de muros de fábrica, y que los sistemas modulares completos (tres dimensiones) se construyen un 60% - 70% más rápido que otros métodos más tradicionales.

Los beneficios económicos derivados de la rapidez de construcción son:

- Costes reducidos de dirección e instalaciones en obra.
- Rápido retomo de la inversión del cliente.
- Reducción de los costes financieros durante el periodo de construcción.

Estos beneficios conducen a movimientos menores de efectivo (cash flow) y a un mayor retorno de capital.

La rapidez de construcción es particularmente importante en las grandes edificaciones residenciales y en las residencias de estudiantes, las cuales deben finalizarse al comienzo del año académico.

Vida Útil

Generalmente, la vida útil para edificación residencial viene a ser de 60 años para a la estructura principal y la envolvente del edificio. No obstante, los edificios deben ser flexibles en uso y adaptables a futuras demandas, lo cual puede lograrse con tecnologías basadas en acero a través del uso de particiones interiores móviles, mayores luces de forjados y a la utilización de sistemas de cubierta sin particiones.

Se ha demostrado, ante diversas condiciones climáticas, que los componentes constructivos de acero galvanizado logran una gran durabilidad y resistencia a la corrosión. Asimismo, se puede predecir una vida útil de hasta 100 años para los elementos de acero embebidos en la envolvente del edificio.

Aislamiento Acústico

Un aislamiento acústico eficiente entre los muros divisorios y forjados para los espacios destinados a vivienda resulta muy importante para la salud y el bienestar de los ocupantes del edificio. Para la transmisión de ruido aéreo, el comportamiento acústico se caracteriza por un índice de reducción del sonido (DnT,w es la diferencia global de niveles estandarizada -dB) entre habitaciones basado en un ensayo estándar de la norma EN ISO 717-1, que cubre un rango de frecuencias de 100 a 3.150 Hz. Para ruido a impacto, el cual sólo se



Figura 2.2 Residencia de estudiantes de 16 plantas con estructura principal de acero y paneles de fachada no portantes de acero ligero (Southampton, Reino Unido)



Figura 2.3 Edificio de apartamentos de acero en Evreux (Francia), con paneles de fachada de acero ligero, con cerramiento ligero y forjado de chapa. Arquitectos: Dubosc & Landowski

Tabla 2.1 Acciones típicas empleadas en edificación residencial

aplica en forjados, la transmisión del sonido $L_{n,w}$ (nivel global de la presión de ruido de impactos normalizado - dB) a través del forjado con una máquina estándar de impactos no debe exceder un valor máximo establecido.

El valor del aislamiento frente a ruido aéreo para conseguir un comportamiento acústico aceptable es de 45 dB para muros y forjados entre zonas separadas destinadas a viviendas. Esto se verifica a través de unos ensayos de medición en el edificio finalizado, lo que tiene en cuenta la transmisión acústica local a través de las uniones, tanto en el forjado como en la unión entre paredes.

Seguridad ante Incendio

La seguridad ante incendios en edificación residencial aborda un rango de factores tales como unos medios eficaces de evacuación en caso incendio, la limitación de la propagación del incendio, la estabilidad estructural y previsión de medidas efectivas de lucha contra incendios. Los requerimientos de estabilidad estructural y compartimentación se expresan normalmente en términos de "resistencia al fuego" de los elementos estructurales.

La resistencia al fuego está basada en los resultados de ensayos estándar a fuego y se expresan en unidades de tiempo de 30 minutos. Generalmente, para la edificación residencial se requiere un mínimo de 30 minutos de resistencia al fuego (R30), aumentando hasta 60 minutos (R60) en los tabiques de compartimentación, dependiendo de la normativa nacional correspondiente.

Los edificios de gran altura pueden requerir una resistencia al fuego de 90 minutos (R90), principalmente por

Tipo de Acción	Valores Típicos (kN/m ²)
Sobrecargas de uso:	
Uso residencial	1,5 a 2,0
Pasillos y zonas comunes	3
Zonas comerciales	2,5 a 4
Particiones ligeras	0,5 a 1,0
Pesos propios:	
Paneles de acero ligero	0,5 a 1,0
Forjados de acero ligero	0,7
Cubiertas ligeras	0,5
Cubiertas de tejas	0,9
Estructura de acero	0,3 a 0,5
Forjados mixtos	2,5 a 3,5
Losas prefabricadas de hormigón	2,5 a 4

razones de estabilidad estructural y para permitir una actuación de extinción efectiva. Generalmente, para paredes y forjados, las medidas aplicadas para la obtención de un aislamiento acústico satisfactorio pueden también ofrecer al menos 60 minutos de resistencia al fuego.

Eficiencia Energética

Una de las maneras más eficaces para la reducción del consumo de energía convencional es la mejora del comportamiento térmico de la envolvente del edificio, por ejemplo, reduciendo la transmisión térmica y mejorando su hermeticidad. El aislamiento térmico de la envolvente del edificio está caracterizado por su transmitancia térmica U, la cual representa la pérdida de calor a través de la superficie de los elementos externos de la fachada o de la cubierta por diferencia de temperatura entre el exterior e interior, W/m^2K .

Habitualmente, un valor U de 0,3 W/m^2K es el valor máximo adoptado para los elementos de fachada y un valor U de 0,2 W/m^2K es, generalmente, el valor máximo considerado para cubiertas, dependiendo del país. Esto puede

lograrse colocando el aislamiento externamente a los paneles de fachada o cubierta de acero ligero debido a que el riesgo de puentes térmicos y condensación se minimiza. Una innovación es el uso de secciones ligeras de acero, perforadas o ranuradas, para la reducción de los efectos del puente térmico. La mayor parte del aislamiento puede colocarse eficazmente entre los elementos de acero conformado en frío dando lugar a una reducción en el espesor de los paneles.

Acciones

En el diseño de edificación residencial, las principales acciones que deben considerarse son:

- Peso propio (inclusive acabados).
- Sobrecargas de uso (inclusive grandes cargas en zonas comunes).
- Acciones de viento.
- Cargas de nieve (o cubierta).

En la Tabla 2.1 se presentan los valores habituales de acciones. Se puede observar que los edificios con estructura de acero son más ligeros que los de hormigón o de fábrica de ladrillo economizando la cimentación.

03 Tipologías de Forjado

Este capítulo describe los principales sistemas de forjado empleados en la edificación residencial. Asimismo, se describen las características de cada tipología de forjado junto con los aspectos de diseño más relevantes en cada caso.

Los forjados pueden disponerse entre los paneles portantes de acero, o pueden apoyarse sobre vigas de acero de la estructura principal.

En esta guía se consideran tres configuraciones habituales de forjados:

- Forjados de acero ligero conformado en frío;
- Forjado mixto de chapa colaborante;
- Forjado mixto de chapa colaborante de gran canto.

Los forjados de acero ligero constan generalmente de perfiles tipo C; no obstante, pueden diseñarse en celosía para cubrir mayores luces. Además, pueden instalarse como elementos individuales o como paneles en dos dimensiones (componentes de forjado prefabricados).

Los forjados mixtos de chapa colaborante constan de una losa de hormigón in situ sobre la chapa del forjado. Se ha incrementado el uso de este tipo de forjado en edificación residencial por la capacidad de proporcionar rigidez, excelente comportamiento acústico y resistencia al fuego. Las vigas de acero normalmente se diseñan para trabajar en acción mixta con la losa, pero en algunos casos, las losas del forjado está soportado directamente por los paneles de acero.

Los forjados mixtos de chapa colaborante de gran canto pueden presentarse con diferentes cantos de chapa para conseguir un canto total de forjado de 300 mm. Las vigas pueden estar integradas en el forjado sin que se presenten vigas descolgadas (véase el Capítulo 4).

Forjados con Vigas de Acero Ligero

Forjado Mixto de Chapa Colaborante

Forjado Mixto con Chapa Colaborante de Gran Canto



Figura 3.1 Forjado con vigas de acero ligero apoyadas sobre paneles de fachada ligeros
Fuente: Fusion Building Systems

Forjados con Vigas de Acero Ligero



Figura 3.2 Forjado con vigas de acero ligero apoyadas en perfiles de sección en Z, sobre paneles de fachada autoportantes de acero ligero

Descripción

Las viguetas de sección en C presentan, generalmente, un canto entre 150 mm. y 300 mm., espesores entre 1,6 – 2,4 mm. y acero galvanizado de S280 a S390 según la norma EN 10326 (con G275 o 40 micras de recubrimiento de zinc). En cambio, las viguetas en celosía tienen un canto de entre 300 y 500 mm. permitiendo la integración de servicios de hasta 100 mm. de diámetro. Habitualmente, las viguetas se distancian entre 400-600 mm para estar alineado con paneles de forjado y techos en función de las dimensiones y luces.

Las viguetas del forjado se adjuntan directamente a los elementos soporte o se apoyan en perfiles de sección en Z, como se muestra en la Figura 3.2. Cuando se construyen como bandejas 2D, deberían introducirse puntos de sujeción adicionales para la unión entre forjado y muro.

Puede colocarse láminas de yeso en el forjado para mejorar su rigidez y aislamiento acústico (véase la Figura 3.3). La chapa colaborante puede utilizarse en sustitución de placas y tableros del forjado logrando acción mixta con las viguetas.

Para zonas con grandes luces, se pueden emplear perfiles laminados en caliente o armados para soportar las viguetas de acero conformado en frío en su ala inferior. En este caso, podrían también integrarse las vigas en el forjado (véase la Figura 3.4).

Principales Consideraciones del Diseño

Las viguetas del forjado soportan placas de acabado en la parte superior y placas de cartón - yeso debajo, que deben presentar el espesor suficiente para lograr conjuntamente la resistencia al fuego requerida y un aislamiento acústico óptimo. Estos requerimientos a menudo conducen a la colocación de 2 o 3 placas de cartón-yeso en el techo y de lana mineral o de fibra de vidrio colocada entre las viguetas. En los baños y cocinas, puede requerirse una zona de servicios separada bajo el forjado, por lo que puede necesitarse la instalación de un techo falso.

La ligereza de este forjado implica que la sensibilidad a las vibraciones es importante; por consiguiente, el diseño debe asegurarse que no ocurran efectos de resonancia al caminar o al realizar otro tipo de actividades habituales. Generalmente, se adopta una frecuencia natural mínima de 8 Hz para forjados de acero ligero para minimizar el efecto de andar rápido y otros impactos vibratorios.

Figura 3.3 Vigas en celosía de gran luz con pantallas superiores de yeso
Fuente: Metek Building Systems



Figura 3.4 Vigas secundarias de acero ligero apoyadas en vigas principales de acero laminado en caliente
Fuente: Ruukki



Ventajas

- Fácil instalación en obra.
- Placas de revestimiento soportadas, superior e inferiormente, por las vigas que proporcionan un aislamiento acústico adecuado y la resistencia al fuego requerida.
- Amplia disponibilidad de diferentes secciones de vigas.
- Los componentes de forjado pueden fabricarse e instalarse como componentes prefabricados de grandes dimensiones.

Resistencia al Fuego

La resistencia al fuego se logra mediante la colocación de dos o tres capas de panel de cartón-yeso (placas tipo F según EN 520). Las medidas introducidas para conseguir un eficaz aislamiento acústico alcanzan generalmente un tiempo de resistencia al fuego de 60 minutos (R60). Para conseguir una resistencia al fuego de 60 minutos se colocan 2 placas de cartón-yeso de 12 mm bajo las viguetas del forjado.

Aislamiento Acústico

Mediante los detalles que se muestran en la Figura 3.5, se logra un alto nivel de aislamiento acústico, evitando se transmita el ruido en las uniones entre forjado y pared. La reducción de transmisión sonora se consigue mediante la colocación de varios tipos de recubrimientos resilientes para el forjado y lana mineral entre las viguetas.

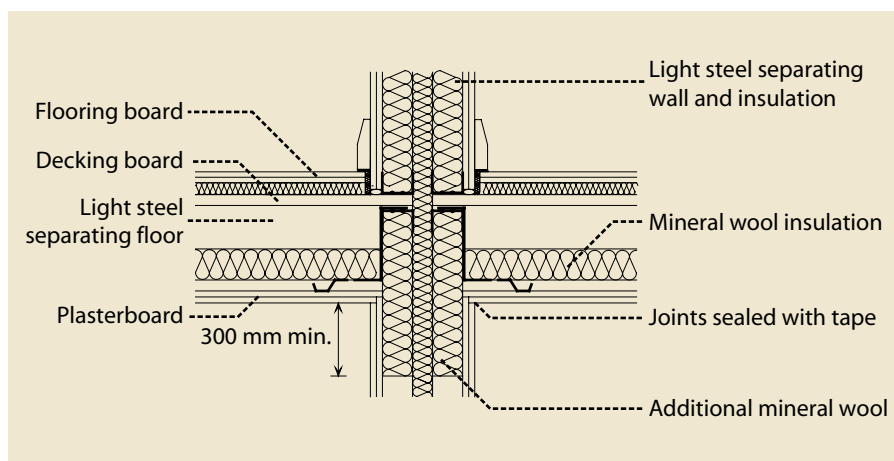


Figura 3.5 Aislamiento acústico en forjado de acero ligero y el detalle en las particiones interiores

Cargas y Flechas

Normalmente, las viguetas de acero conformado en frío soportan sobrecargas de uso de hasta 3 kN/m^2 para luces de 3 a 6 m. (véase la Tabla 3.1). Las flechas deben limitarse a los siguientes valores máximos para que los movimientos no sean visibles y minimizar las vibraciones perceptibles del forjado:

- $L/350$, o un máximo de 15 mm. bajo peso propio y sobrecarga de uso (valores característicos).
- $L/450$ únicamente bajo sobrecarga de uso.
- Flecha local menor que 1,5 mm. bajo una carga puntual de 1 kN, utilizando una distribución efectiva de la carga concentrada sobre las viguetas.

Un límite de 15 mm. en flecha asegura que el forjado alcanza el límite de frecuencia natural de 8 Hz, y conduce a las luces máximas que se muestran en la Tabla 3.1.

Canto Total del Forjado

El canto total del forjado con vigas de acero conformado en frío, incluyendo capas de aislamiento acústico y paneles de cartón-yeso para techos, puede ser de:

- 300 mm. para luces de forjado de hasta 3,8 m.
- 400 mm. para luces de forjado de hasta 4,8 m.
- 500 mm. para luces de forjado de hasta 6 m.

Vigas secundarias de forjado (viguetas)	Separación vigas (mm.)	Luz máx. en viviendas (m.)	Luz máx. en apartamentos (m.)
150 x 1,6 C	400	3,8	3,6
200 x 1,6 C	400	4,8	4,5
200 x 2,0 C	400	5,2	4,8
250 mm. vigas en celosía	400	5,0	4,8
300 mm. vigas en celosía	400	5,5	5,2
300 mm. viguetas en celosía con 40 mm. de placa de yeso	600	6,0	5,7

Viviendas: sobrecargas de uso = $1,5 \text{ kN/m}^2$ peso propio = $0,5 \text{ kN/m}^2$
 Apartamentos: sobrecargas de uso = $2,5 \text{ kN/m}^2$ peso propio = $0,7 \text{ kN/m}^2$ ($1,7 \text{ kN/m}^2$ incluida la placa de yeso)

Tabla 3.1 Luces típicas de vigas de forjado en viviendas y apartamentos

Forjado Mixto de Chapa Colaborante



Figura 3.6 Detalle de viga de borde en forjado mixto de chapa colaborante
Fuente: Kingspan

Descripción

Este tipo de forjado comprende chapa colaborante con hormigón in situ, tal como se observa en la Figura 3.6. Pueden lograrse luces de 2,5 m. a 4,5 m. mediante la utilización de forjados mixtos con chapa colaborante de canto 50-80 mm. y espesor de 0,8 a 1,2 mm. Durante la construcción no se requiere apuntalamiento ya que se realiza una elección cuidadosa del canto de la chapa para la luz requerida.

Una losa mixta tiene un canto típico de 120 a 160 mm. con la integración de un mallazo (tal como A142 a A193, definido por área de refuerzo en mm^2/m). En algunos casos, en los nervios de la chapa se coloca armadura adicional para mejorar la resistencia a flexión y la resistencia al fuego. No obstante, pueden lograrse una resistencia al fuego de 90 minutos utilizándose un mallazo del 0.2% del área transversal de la losa.

Principales Consideraciones del Diseño

Este forjado de losa mixta presenta relativamente poco canto respecto a la luz (es posible una relación luz-canto de hasta 32). No obstante, es la capacidad de la chapa de acero colaborante en construcción no apuntalada la que controla el diseño.

En la mayoría de las aplicaciones, el apoyo en las vigas secundarias o los muros portantes supone luces de aproximadamente:

- 3 m. para perfiles de chapa con 50 mm. de canto;
- 3,6 m. para perfiles de chapa con 60 mm. de canto;
- 4,2 m. para perfiles de chapa con 80 mm. de canto.

Las tablas de predimensionamiento se muestran en la Tabla 3.2. Con construcción apuntalada, pueden lograrse mayores luces debido a que el forjado es capaz de resistir las cargas de apuntalamiento, proporcionando el forjado apoyado. Se puede conseguir un diseño óptimo cuando se dispone la chapa continuamente sobre uno o más apoyos internos.

Ventajas

- Construcción robusta y rígida.
- Amplio rango de perfiles y espesor de chapas de acero para un diseño óptimo.
- En la mayoría de las aplicaciones, no se requiere apuntalamiento.
- Buen aislamiento acústico y resistencia al fuego.

Protección ante Incendio	El canto eficaz de la losa mixta influye directamente sobre el aislamiento que se proporciona ante condiciones de incendio, y por tanto, se requieren cantos mayores para resistir períodos largos de resistencia al fuego. La cantidad de armadura también aumenta en la resistencia al fuego, aunque su efectividad se reduce con el incremento de la temperatura. Las capacidades de luz y carga para diferentes cantos de forjado. Así como la resistencia al fuego para cantos de losa mixta entre 120 mm. a 150 mm., se muestran en la Tabla 3.2.
Aislamiento Acústico	Esta tipología de forjado mixto con paneles de de cartón yeso para el techo puede alcanzar excelente aislamiento acústico de aproximadamente 60 dB.
Cargas y Flechas	En la Tabla 3.2 se presenta el predimensionamiento para carga y luz. En edificación residencial, los perfiles de chapa en la losa de de 150 mm. de canto pueden cubrir una luz de 4,5 m. sin requerimiento de apuntalamiento temporal, que es ideal para la planificación interna del espacio. Las flechas bajo sobrecargas de uso se limita a L/360, pero las flechas de la cara inferior de la chapa del forjado después ser hormigonada pueden ser de hasta L/180.
Canto Total del Forjado	El canto total del forjado tener un canto tan reducido como 250 mm., incluyendo las capas de aislamiento y placa de cartón-yeso para el techo, pero se incrementa debido al canto de la viga en el caso de que estas no queden integradas en las particiones. En otros casos, donde las vigas no estén integradas en los muros, el canto total de forjado que puede estimarse para la implantación inicial es de 600 mm.

Luz	Resistencia al fuego (min.)	Canto de losa (mm.)	Armadura (mm ² /m.)	Luces máximas (m.) para sobrecargas de uso			
				t = 0,9 mm.		t = 1,2 mm.	
				3,5 kN/m ²	5,0 kN/m ²	3,5 kN/m ²	5,0 kN/m ²
Vano único - no apuntalado	R60	120	A142	2,8	2,8	3,2	3,2
	R 90	130	A193	2,7	2,7	3,1	3,0
Vano doble - no apuntalado	R 60	120	A142	3,2	3,2	3,9	3,7
	R 90	130	A193	3,1	3,1	3,8	3,5
	R 120	150	A252	2,9	2,9	3,5	3,4
Una línea de apuntalamiento temporal	R 60	120	A353*	3,8	3,4	4,0	3,6
	R 90	130	A353*	3,4	3,1	3,6	3,3
	R 120	150	A353*	3,1	2,9	3,3	3,0

t = espesor de la chapa de acero * requerido para el control de fisuras en construcción apuntalada A193 = armadura 193mm²/m en ambas direcciones

a) 60 mm de canto en chapa colaborante

Luz	Resistencia al fuego (min.)	Canto de losa (mm.)	Armadura (mm ² /m.)	Luces máximas (m.) para sobrecargas de uso			
				t = 0,9 mm.		t = 1,2 mm.	
				3,5 kN/m ²	5,0 kN/m ²	3,5 kN/m ²	5,0 kN/m ²
Vano único - no apuntalado	R60	150	A193	3,7	3,2	4,1	3,5
	R 90	160	A252	3,8	3,2	3,9	3,3
Vano doble - no apuntalado	R 60	150	A293	4,2	3,8	4,6	4,1
	R 90	160	A252	4,1	3,9	4,5	4,0
	R 120	170	A393	4,0	3,9	4,3	3,9

b) 80 mm de canto en chapa colaborante

Tabla 3.2 Tablas para el predimensionamiento de forjados mixtos

Forjado Mixto con Chapa Colaborante de Gran Canto

Figura 3.7 Estructura de acero con el forjado mixto con chapa colaborante de gran canto, vigas integradas ASB y los paneles de fachada



Descripción

Este forjado de la chapa colaborante puede diseñarse para actuar en acción mixta con la losa de hormigón para crear un canto total típico de 300 mm. Se pueden conseguir luces de hasta 6 m sin requerir un apuntalamiento temporal. El canto de la chapa tiene un canto habitualmente de 190mm. a 225 mm, dependiendo del producto. El canto mínimo del hormigón sobre la chapa es de 70mm. a 90 mm, dependiendo de los requerimientos de la resistencia al fuego.

El forjado *Slimdek* de Corus comprende vigas asimétricas ASB o una viga HE con platabanda inferior soldada para apoyar la chapa de gran canto de tipo SD225 (véase la Figura 3.7). Este sistema es extensamente utilizado en el sector de la construcción residencial en Reino Unido y Países Bajos, véase con más detalle el capítulo 8. Las vigas de borde pueden estar constituidas por un perfil tubular de sección rectangular (RHS) con una platabanda inferior soldada por razones estéticas y de detalle, así como para mejorar la resistencia a torsión.

Por otra parte, el forjado Hoesch *Additif* es un sistema con chapa colaborante de gran canto que integra barras soldadas transversalmente al ala superior de la vigas IPE o HE, en la cual se apoya la chapa, véase la Figura 3.8. Este sistema se emplea normalmente en aparcamientos con luces de hasta 5,5 m.

Asimismo, El sistema *Cofradal* se compone de una bandeja de acero con lana mineral de alta densidad sobre la que es aplicada una capa de compresión de hormigón in situ. Este forjado de 200 mm. de canto puede cubrir luces de hasta 6 m en edificación residencial. (véase el Capítulo 8).

Principales Consideraciones del Diseño

Las losas mixtas de canto profundo pueden cubrir grandes luces y la principal consideración de diseño es la capacidad de la chapa colaborante de soportar la cargas durante la construcción sin requerir apuntalamiento temporal. Las luces típicas sin apuntalamiento son las siguientes:

- Chapa de canto 225 mm. – 6 m. de luz para un canto de losa de 300 mm.;
- Chapa de canto de 190 mm. – 5,4 m. de luz para un canto de losa de 270 mm.

Puede requerirse armadura adicional para verificar la resistencia al fuego. Pueden lograrse luces de hasta 9 m. con construcción apuntalada. Por otra parte, para tener unas condiciones de servicio aceptables, es posible una relación de luz-canto de 25 con una armadura adecuada.

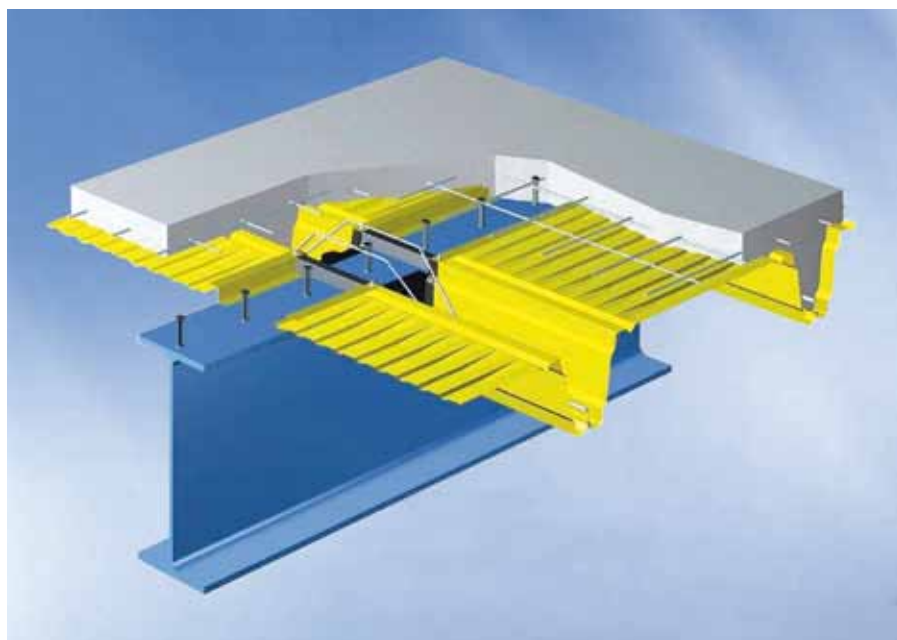


Figura 3.8 Detalle del sistema de forjado Hoesch Additif sobre viga de acero

Ventajas

- Construcción rígida y robusta.
- Grandes luces (hasta 6 m en construcciones no apuntaladas).
- Buen aislamiento acústico y resistencia al fuego.
- Forjado de poco canto combinado con slim floor o vigas integradas.
- Libertad en la planificación del espacio interior.

Protección ante Incendio

En la tabla que se presenta a continuación, se muestran los requerimientos mínimos de diseño ante incendio para forjado mixto de chapa colaborante de gran canto con armadura en los nervios:

Resistencia al fuego (min.)	Canto mínimo de la losa sobre la chapa colaborante	Armadura mínima por nervio	Armadura mínima en la losa
R30	60 mm.	Ø 12 mm.	A142
R60	70 mm.	Ø 16 mm.	A193
R90	90 mm.	Ø 20 mm.	A252

A193 = armadura 193 mm²/m en ambas direcciones

Tabla 3.3 Requerimientos de resistencia a fuego para forjado mixto con chapa colaborante de gran canto

Aislamiento Acústico

Este tipo de forjado mixto consigue excelentes reducciones de ruido para conseguir un aislamiento de 60 dB. Se requieren detalles especiales en las uniones entre forjado y muros.

Canto Total del Forjado

El canto total del forjado presenta generalmente de 400 mm. a 500 mm., incluyendo las capas de aislamiento y falso techo. La utilización de vigas integradas o slim floor implica que los muros internos pueden situarse en cualquier zona sin ser afectado por vigas descolgadas.

04 Tipologías de Panel de Fachada

Este capítulo describe los diferentes sistemas de paneles de fachada internos y externos con estructura de acero ligera. Las características de cada sistema son se describen a continuación con los aspectos de diseño más relevantes. El rendimiento térmico de los sistemas de cerramientos presenta con más detalle en el Capítulo 7.

Los paneles de fachada pueden diseñarse utilizando estructura de acero conformado en frío como parte de una estructura portante o como elementos no portantes dentro de la estructura principal de acero. Los tres sistemas constructivos más comúnmente utilizados son los siguientes:

- Paneles portantes, muros de carga.
- Paneles de fachada no portantes.
- Particiones interiores.

Los paneles de fachada portantes pueden utilizarse para soportar forjados de acero ligero utilizando viguetas con perfiles de sección en C o componentes prefabricados de forjado.

Alternativamente, las losas mixtas pueden ser soportadas por un perfil perimetral de sección en C. Los paneles de fachada portantes de acero ligero se han utilizado en edificación de hasta 8 plantas.

Los paneles de fachada no portantes se utilizan en una estructura principal de acero o de hormigón y son diseñados para soportar el cerramiento y resistir las cargas de viento. Pueden ser prefabricados o instalados utilizando perfiles individuales de sección en C. Esta misma tecnología puede utilizarse para particiones interiores.

Estructura Portante de Acero Ligero

Paneles Externos de Fachada no Portantes

Particiones Interiores



Figura 4.1 Instalación de panel de fachada no portante de acero ligero
Fuente: Kingspan Architectural

Estructura Portante de Acero Ligero



Figura 4.2 Construcción para viviendas de paneles de acero ligero arriostrados
Fuente: Fusion Building Systems

Descripción

Los paneles de fachada portantes se realizan mediante una estructura de acero ligero utilizando perfiles de sección en C con cantos de 70 mm. a 150 mm. y espesores de 1,6 mm. a 2,4 mm., fabricados en paneles de dos dimensiones. Generalmente, este método constructivo se conoce como construcción “sobre plataforma”, en la cual los paneles se instalan directamente utilizando el forjado como plataforma de trabajo. La Figura 4.2 muestra un ejemplo característico del uso de paneles de fachada arriostrados. Las fuerzas se transfieren directamente a través de los paneles y los forjados generalmente se apoyan sobre un perfil de sección en Z colocado alineado con el muro inferior.

Se colocan montantes en los paneles de fachada (pilarillos verticales de sección en C) distanciados entre 300 mm., 400 mm. o 600 mm. para alinearse con los anchos estándar de las placas de cartón-yeso de 1,2 m. o 2,4 m. Generalmente, dentro del panel de la fachada, se emplea el mismo espesor del perfil en C; no obstante, múltiples perfiles de sección en C pueden detallarse en las zonas con grandes aberturas, u otras áreas con cargas elevadas. Se prefieren particiones interiores de doble capa, pero en algunos casos, pueden utilizarse paneles de capa única, siempre que los servicios no atraviesen el muro.

Los paneles de fachada portantes presentan una de las tres formas genéricas como:

- Paneles de doble capa que constan de aislamiento de lana mineral o fibra de vidrio colocado entre los perfiles tipo C y dos placas de cartón-yeso en las caras exteriores.
- Paneles de doble capa con placa de aislamiento rígido colocado entre las capas.
- Panel monocapa con perfiles de sección en C con 100 mm. de canto mínimo con barras resilientes fijadas a la cara externa del perfil C, lana mineral entre los perfiles y dos placas de cartón-yeso (fijadas a las barras resistentes).

Estos métodos constructivos se muestran en la Figura 4.3. Los paneles de doble capa principalmente pueden utilizarse como tabiques con un espesor total de 300 mm. Sin embargo, en otros casos, pueden utilizarse paneles monocapa con espesor de tan solo 150 mm. aproximadamente.

Panel con perfil de sección en C (Canto x ancho x espesor)	Altura efectiva del panel (m.)	Resistencia de la sección transversal			Resistencia reducida de pandeo con excentricidad (kN)
		Resistencia a flexion (kNm)	Resistencia a compresión – sin pandeo (kN)	Resistencia al pandeo (kN)	
70 x 45 x 1,2	2,5	1,4	58	32	18
70 x 45 x 1,2	3,0				
100 x 45 x 1,6	2,5	3,1	89	53	29
100 x 45 x 1,6	3,0				

Nota: Resistencia reducida de pandeo considerando el efecto de la excentricidad de la fuerza axial aplicada en el alma del perfil de sección en C.

Tabla 4.1 Datos típicos de los fabricantes para la resistencia a compresión de los pilarillos de sección en C de los paneles autoportantes

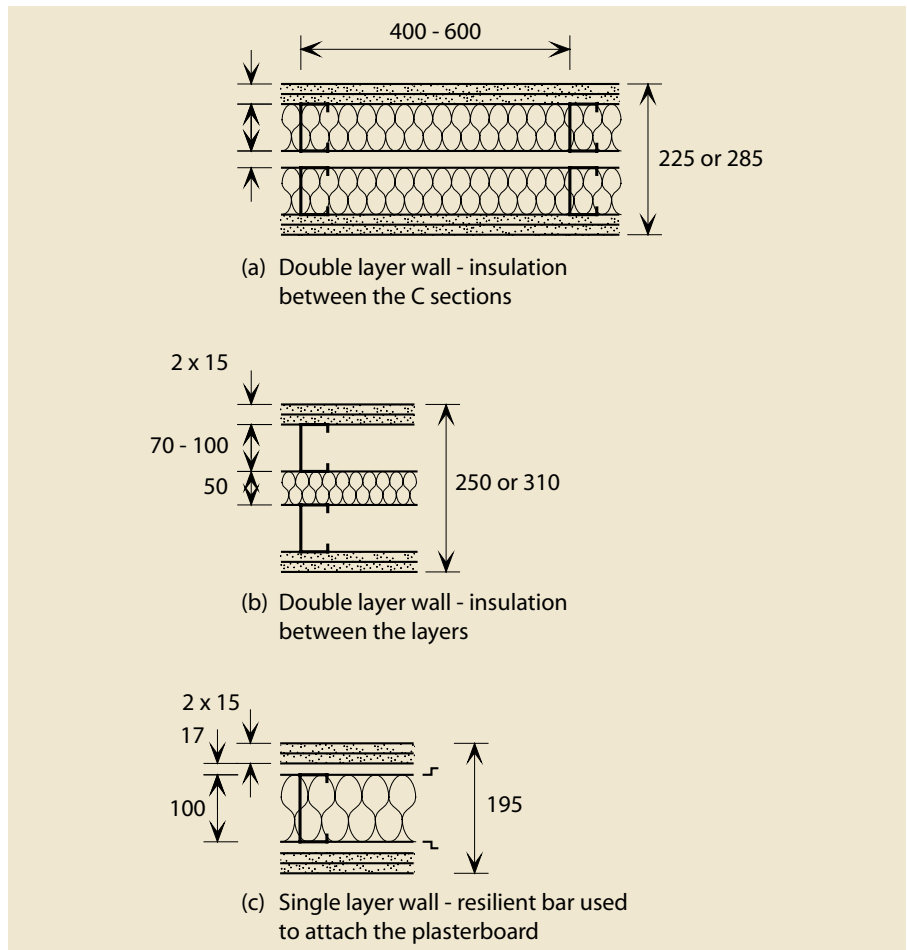


Figura 4.3 Diversas formas de paneles autoportantes en acero ligero

Principales Consideraciones del Diseño

Los paneles portantes realizados en estructuras de acero ligero son diseñados resistir la compresión–flexión combinada debido a las cargas excéntricas transferidas desde los forjados. Para aplicaciones en edificios de plantas múltiples, perfiles de sección C con 100 mm. de canto y 1,6 mm. de espesor son, por lo general, suficientes cuando se colocan cada 300-600 mm., aunque para viviendas de 2 plantas, pueden utilizarse perfiles menores de 70 x 1,2 mm.

Principales Consideraciones del Diseño (continuación)

La resistencia a compresión de los paneles de fachada utilizando perfiles tipo C depende de la resistencia al pandeo adquirida, según la excentricidad de la fuerza axial y el efecto de estabilidad de las placas adjuntas a ellos. Generalmente, para los perfiles de sección en C, la resistencia de compresión está gobernada por el pandeo en el eje fuerte; el pandeo en el eje menor está restringido por los arriostramientos o por la unión a los tableros frontales. La resistencia obtenida del tipo de perfil C en función de la longitud se presenta en la Tabla 4.1. Cuando las fuerzas verticales se aplican con excentricidad (por ejemplo, para forjados apoyados en un perfil de sección en Z colocado sobre los paneles), se requiere un coeficiente reducción para la resistencia, al considerar la interacción de compresión y flexión (véase la Tabla 4.1).

Para resistir las fuerzas horizontales, los paneles de fachada se pueden arriostrar mediante diversos métodos:

- Arriostramientos en forma de W o K integrales con perfiles de sección en C actuando a tracción o compresión.
- Arriostramientos externos en forma de X con chapas acero planas actuando a tracción.
- Acción de diafragma en los muros mediante placas de madera o tableros de cemento.

Generalmente, el arriostramiento en forma de X es el más eficiente en edificios de altura. Asimismo, los esfuerzos a cortante de hasta 20 kN pueden resistirse mediante un panel arriostrado en X de 2,4 m².

Existen diversas maneras de revestimiento que pueden adjuntarse a través del aislamiento exterior utilizado para crear una construcción de “estructura caliente”, como se ilustra en el Capítulo 7. Las estructuras de cubierta abierta pueden fabricarse utilizando adaptaciones sobre esta tecnología.

Ventajas

- Los paneles de fachada que pueden fabricarse adaptándose a cualquier carga y tamaño.
- Pueden proporcionarse grandes aberturas para ventanas.
- Los paneles de fachada de menor tamaño (de unos 2,4 m²) pueden ser levantados manualmente.
- Los paneles de fachada de mayor tamaño pueden izarse mecánicamente, reduciendo el tiempo de instalación.
- El arriostramiento puede incluirse durante la fabricación de los paneles.
- Construcción ligera sin desperdicio de material.

Resistencia al Fuego

El periodo de tiempo requerido para la resistencia al fuego en paneles de fachada portantes depende de la protección de la placa de cartón-yeso. La temperatura crítica de los postes del panel portante puede considerarse como 400°C cuando se está evaluando la estrategia de la protección al fuego. Generalmente, los detalles requeridos para un adecuado aislamiento acústico, logran al menos una resistencia al fuego de 60 minutos (R60).

Aislamiento Acústico

Tal y como se presenta en la Figura 4.3, se proporciona un buen aislamiento a ruido aéreo en los paneles de fachada de acero ligero.

Paneles Externos de Fachada no Portantes



Figura 4.4 Paneles de fachada no portantes de acero ligero en edificio de estructura mixta

Descripción

Los paneles de fachada no portantes proporcionan soporte a la envolvente exterior y están diseñados para resistir las cargas del viento y soportar el peso del cerramiento. Los paneles de fachada presentan una de las tipologías genéricas siguientes:

- Perfiles individuales de sección en C (montantes del panel) instalados en obra y unidos a la parte superior de la losa y la parte inferior de la viga del forjado.
- Paneles de fachada prefabricados unidos exteriormente a la estructura y fijados a los pilares y forjados, como se presenta en la Figura 4.1 para edificación de gran altura.

Un ejemplo de paneles de fachada de acero ligero utilizado en estructura principal de acero se observa en la Figura 4.4. Los paneles de fachada de relleno también pueden constar de perfiles de sección en C perforados y ranurados, como se describe en el Capítulo 7, proporcionando unos altos niveles en aislamiento térmico.

Dependiendo de si la estructura está realizada en acero u hormigón, se prevee movimiento relativo entre el panel y la estructura principal en la parte superior del panel de fachada no portante. El panel con cerramiento de ladrillo generalmente es utilizado en planta baja o soportado con angulares de acero inoxidable unidos a la estructura principal. Las fachadas ligeras están generalmente constituidas por paneles que soportar los materiales que la constituyen.

Principales Consideraciones del Diseño

Los paneles de fachada son diseñados principalmente para resistir las cargas de viento con carga vertical adicional debido al peso propio del panel y su cerramiento. Grandes paneles prefabricados pueden diseñarse para cubrir la luz horizontal entre pilares, así como, verticalmente entre forjados, como se muestra en la Figura 4.4. La presión del viento se determina de acuerdo con la normativa del Eurocódigo EN 1991-1-4, dependiendo de la ubicación del edificio, altura y orientación. Los paneles más críticos para su diseño son los paneles de cara sur u oeste en las esquinas del edificio.

La previsión para el movimiento relativo depende de la tipología de soporte, pero los siguientes movimientos mínimos son considerados razonables para vigas de hasta 5 m. de luz:

- 10 mm. – para edificios de estructura de acero o edificios de hormigón existentes.
- 20 mm. – para edificación nueva en hormigón.

La parte superior del panel de fachada está generalmente anclada mediante cartelas cada no más de 600 mm. ubicadas en la cara interior del panel. Cada soporte esta diseñado para resistir la fuerza de succión del viento (negativa) y permitir movimiento vertical relativo.



Figura 4.5 Panel prefabricado de fachada con cerramiento y ventanas
Fuente: Ruukki

Ventajas

- Rápido sistema constructivo que puede emplearse tanto con estructuras principales de acero como de hormigón.
- Construcción ligera, con utilización mínima de material sin residuos en obra.
- Posible inclusión de amplias aberturas.
- Los paneles de fachada pueden ser prefabricados o instalados en obra.
- El cerramiento puede unirse previamente en sistemas de fachada prefabricados.

Resistencia al Fuego

La resistencia al fuego de un panel de fachada debería ser suficiente para la prevención de la propagación del humo y llamas entre forjados. Normalmente, se requiere una resistencia al fuego de 30 ó 60 minutos, que es lograda mediante una o dos capas de panel de cartón-yeso de espesor de 12 mm. Se precisan detalles especiales en las vigas de borde para permitir el movimiento vertical relativo. En algunos casos, los paneles de fachada proporcionan cierta protección a fuego a las vigas de borde.

Aislamiento Acústico

Los requisitos para el aislamiento acústico en paneles de fachada externos dependen principalmente de la tipología de cerramiento utilizada. Generalmente, se logra una atenuación acústica de al menos 30 dB mediante paneles de fachada externos con cerramiento ligero.

Canto Total del Forjado

El espesor total de los paneles de las fachadas depende del nivel del aislamiento térmico y de la tipología del cerramiento requerida (véase el Capítulo 7).

Particiones Interiores



Figura 4.6 Placa de cartón yeso fijada a una partición interior con arriostramientos en X

Descripción

Los muros divisorios son particiones interiores requeridas para adquirir un resultado óptimo de aislamiento acústico entre las partes separadas de un edificio o de una vivienda. Estos muros a menudo son requeridos para funcionar de compartimentación de incendio. Las particiones interiores también proporcionan función autoportante, como se ha descrito anteriormente, o alternativamente son muros no portantes que son colocados en el interior de la estructura principal de acero o de hormigón.

Los tabiques son muros no portantes los cuales no integran aislamiento acústico ni función de compartimentación ante incendio. Los tabiques pueden desmontarse sin que por ello se afecte la función resistente del edificio.

Los perfiles de sección en C utilizados en particiones interiores y tabiques representan cantos de de 55 a 100 mm. con espesores de 0,55 a 1,5 mm. dependiendo de la altura y de la carga que conlleven.

Generalmente, los muros divisorios son de dos tipologías como se observa en la Figura 4.3:

- Paneles de doble hoja con dos capas de cartón-yeso directamente fijadas a las caras exteriores.
- Paneles de una sola hoja con dos capas de cartón yeso fijados a unas barras resilientes que a su vez se conectan a la cara exterior de los paneles con perfiles de sección en C.

En la parte superior de los paneles se debe preveer el movimiento relativo en una estructura principal de acero o de hormigón.

Principales Consideraciones del Diseño	Mediante la colocación de múltiples capas de cartón-yeso en los paneles de simple o doble hoja se logran altos niveles de aislamiento acústico. La Figura 4.6 muestra la instalación de un tabique en una parte arriostrada. Un panel divisorio de doble hoja es menos sensitivo a pérdidas acústicas que un panel de hoja única a través de la integración de servicios.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Paneles ligeros de rápida construcción. • Reducción excelente del ruido aéreo. • Todos los paneles de fachada de acero ligero no portantes son móviles. • Mínimo gasto de material y de residuos generados en obra. • Peso propio menor de 0.5 kN/m² por unidad de área del forjado.
Resistencia al Fuego	Las fachadas de paneles no portantes que cumplen los requisitos ante rendimiento acústico, generalmente también consiguen alcanzar una resistencia al fuego de al menos 60 minutos.
Aislamiento Acústico	Las particiones interiores están diseñados para lograr óptimas reducciones ante ruido aéreo para alcanzar un aislamiento de 52 dB sin factor de corrección a baja frecuencia C _{tr} (ruido de tráfico), o de 45 dB con factor de corrección a baja frecuencia. En la Figura 4.3 se presentan los detalles constructivos de este tipo de paneles.
Canto Total del Forjado	<p>Para el esquema del diseño los espesores típicos de los paneles divisorios de fachada considerados son como se indican a continuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Panel divisorio de doble hoja - 300 mm. • Panel divisorio de hoja única - 200 mm. • Particiones - 100 mm.

05 Estructura Principal de Acero

Este capítulo describe diferentes construcciones con componentes estructurales de acero que pueden utilizarse en edificación residencial de varias plantas. También se describen las características de los elementos que componen la estructura principal de acero y su combinación con los sistemas de forjado y paneles de fachada que se han presentado en capítulos anteriores.

La estructura principal de acero es la elección habitualmente escogida en edificación residencial de varias plantas que requieren de un planteamiento con espacios abiertos. En esta guía se van a considerar varios sistemas constructivos en acero:

- Estructura de acero con prelasas de hormigón.
- Estructura mixta con forjados mixtos.
- Viga integrada o construcción *Slim floor*.
- Vigas de acero invertidas, tales como el sistema *Slimline*.

Las vigas en una estructura de acero, habitualmente, se disponen alineadas con

las particiones interiores; sin embargo, empleando vigas integradas, los paneles internos pueden situarse en cualquier zona y no influenciadas por el canto de las vigas descolgadas como se muestra en la Figura 5.1. Las vigas integradas pueden incorporar diversos sistemas de forjados, incluyendo forjados mixtos con chapa colaborante de gran canto y viguetas de acero conformado en frío.

Los pilares presentan habitualmente secciones HE/UC o perfiles tubulares de sección cuadrada (SHS) y suelen ser diseñados para encajarse dentro del ancho de las particiones interiores.

Estructuras de Acero con Prelasas de Hormigón

Estructura de Acero Mixta con Losas Mixtas

Vigas Integradas o Slim Floor

Vigas Invertidas de Acero



Figura 5.1 Estructura de acero con perfiles ASB y chapas de forjado de gran canto

Estructuras de Acero con Prelosas de Hormigón



Figura 5.2 Instalación de prelosas de hormigón sobre vigas de acero

Descripción

Las losas de forjado prefabricadas en hormigón son apoyadas en el ala superior de las vigas de acero, en algunos casos, pueden diseñarse para lograr una actuación mixta con las vigas de acero mediante el uso de conectadores a cortante, soldados al ala superior como se muestra en la Figura 5.2. En orden a proporcionar una longitud de apoyo mínimo adecuado, el ancho del ala superior debería de medir al menos 190 mm, conduciendo al uso de perfiles de tipo IPE/UB de mayor canto o perfiles de tipo HE/UC.

Las losas prefabricadas de hormigón pueden ser de dos tipologías diferentes cuando las vigas descolgadas son utilizadas:

- Losas finas sólidas (50–100 mm. de espesor) con una capa de compresión de hormigón añadida in situ, generalmente diseñadas para una actuación mixta con las vigas de acero. La modulación de las luces tienen una disposición de 2.5m a 4 m.
- Las losas de núcleo ovalado (150–250 mm. de espesor), generalmente son diseñadas como no mixtas, aunque pueden diseñarse como mixtas añadiéndoles una capa fina de compresión. La modulación de las luces tienen una modulación de 5m a 9 m.

Las losas prefabricadas de hormigón también pueden utilizarse en combinación con las vigas integradas.

Principales Consideraciones del Diseño	<p>Para las vigas que apoyan las losas prefabricadas de hormigón, la principal consideración en el diseño, es que conste un ancho mínimo en la viga para permitir las tolerancias de la construcción, y si esta es diseñada como mixta, obtener un espacio suficiente alrededor de los conectadores a cortante utilizado para el desarrollo de la acción mixta. Por esta razón, las losas prefabricadas son generalmente utilizadas en aplicaciones de largas luces utilizando vigas de mayor canto o más anchas.</p> <p>Una compresión de hormigón, mínima de 60 minutos, es generalmente requerida para un aislamiento acústico en la edificación residencial, y también satisface los requisitos de la seguridad al fuego y requisitos de robustez a través de un mallazo en la compresión.</p>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Forjados de gran luz. • Esencialmente, proceso de construcción prefabricado. • Buen aislamiento acústico. • Las vigas descolgadas pueden alinearse con las particiones interiores.
Resistencia al Fuego	<p>Las losas prefabricadas de hormigón pueden lograr una resistencia al fuego de hasta 90 minutos sin capa de compresión de hormigón o de hasta 120 minutos con la capa de compresión de hormigón y con unas barras armadas soldadas en los huecos de los núcleos.</p> <p>La protección al fuego de las vigas de acero puede lograrse mediante:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Panel protector. • Protección mediante mortero proyectado. • Protección mediante pintura intumescente.
Aislamiento Acústico	<p>Las losas prefabricadas de hormigón con capa de compresión de hormigón enrasado proporcionan una reducción acústica a ruido aéreo excelente.</p>
Cargas y Flechas	<p>Las vigas de acero que soportan las losas de hormigón prefabricadas son relativamente de canto profundo y pueden diseñarse para una modulación de luces de aproximadamente 18. Las flechas pueden ser de unos límites normales de L/360 bajo cargas impuestas.</p> <p>Para la realización del esquema del diseño, las áreas totales del forjado que debe utilizarse para las vigas de acero que apoyan las losas de hormigón prefabricadas de núcleo tubular. Se muestran en la Tabla 5.1.</p>

Luz de viga (m.)	Luz de la losa (m.)	Canto total de forjado (mm.)
6	6	600
8	6	700
8	8	800
10	6	800

Tabla 5.1 Canto total de forjado para vigas de acero que soportan losas alveolares

Estructura de Acero Mixta con Losas Mixtas



Figura 5.3 Forjado mixto de chapa colaborante y vigas alveolares

Descripción

Las losas mixtas son apoyadas en el ala superior de las vigas de acero y son diseñadas para una actuación mixta con las vigas utilizando conectadores a cortante que generalmente son soldados a través de la chapa colaborante como en el proceso en obra. Las vigas mixtas son ampliamente utilizadas en todos los sectores de construcción incluso en edificación residencial aunque en este caso, las luces son relativamente cortas (5 m a 9 m). La acción mixta aumenta la resistencia a flexión y rigidez de las vigas.

Las modulaciones de las luces de la losa dependen del canto del perfil del forjado y a la vez dependen de si la losa está apuntalada durante la construcción. Las modulaciones de luces más común es de 3 m por 50 a 60 mm. en los perfiles de canto profundo a 4 a 4,5 m. por 80 a 100 mm. en los perfiles de canto profundo (Véase Capítulo 3 para más detalles).

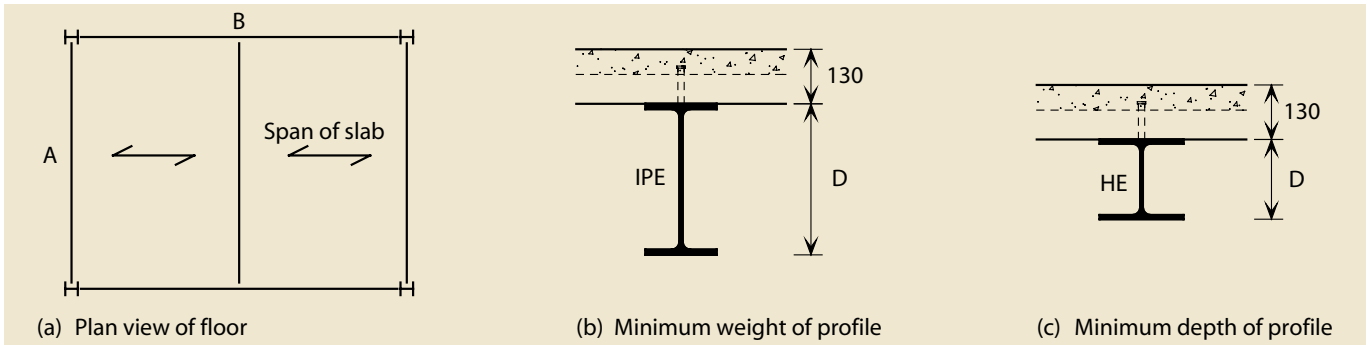
Principales Consideraciones del Diseño

En la construcción mixta, el mayor criterio es minimizar el canto del forjado sin comprometer su rigidez. Por esta razón, los perfiles tubulares de tipo HE/UC son utilizados a menudo en la edificación residencial y así son logradas luces de 5m a 9 m. Las vigas son apoyadas en el interior de un techo falso o alineadas con muros divisorios.

Un factor importante en el esquema del diseño es una elección adecuada del canto del perfil para evitar un posible apuntalamiento, la Tabla 3.2 muestra los diferentes espesores de canto del perfil que pueden utilizarse para las vigas y las losas diseñadas sin apuntalar. Las vigas mixtas pueden perforarse para incorporar la integración de los servicios, como por ejemplo, en las vigas alveolares, como se muestra en la Figura 5.3. Las vigas mixtas de largas luces pueden diseñarse como un “podio” para soportar una estructura de acero ligero en la parte superior.

Ventajas

- Forjado relativamente, de poco canto pero rígido.
- Pueden emplearse vigas de perfil de tipo HE para minimizar el canto del forjado.
- Buen aislamiento acústico.
- Los muros pueden alinearse con las vigas minimizando el canto del forjado.
- Las vigas mixtas de gran luz pueden emplearse para proporcionar una zona del edificio, podium, bajo la cual se precisen mayores luces, p.e. aparcamiento de vehículos.



Luz de viga principal (B)	Luz de viga secundaria (A)			
	6 m.	8 m.	10 m.	12 m.
5 m.	IPE 240	IPE 300	IPE 360	IPE 450
6 m.	IPE 240	IPE 330	IPE 400	IPE 450
7 m.	IPE 270	IPE 330	IPE 400	IPE 500
8 m.*	IPE 300	IPE 360	IPE 450	IPE 550

*requiere el uso de chapa colaborante de canto profundo de 80 mm y una losa de canto profundo de 150 mm

(a) Perfil de vigas secundarias

Luz de viga principal (B)	Luz de viga secundaria (A)			
	6 m.	8 m.	10 m.	12 m.
5 m.	IPE 270	IPE 300	IPE 330	IPE 400
6 m.	IPE 270	IPE 300	IPE 360	IPE 450
7 m.	IPE 300	IPE 330	IPE 400	IPE 500
8 m.*	IPE 300	IPE 360	IPE 450	IPE 550

(b) Perfil de vigas principales

Tabla 5.2 Tablas de predimensionamiento para vigas mixtas

Resistencia al Fuego	Las losas mixtas logran una resistencia al fuego de hasta 120 minutos utilizando solo mallazo, diseñándose como continuas sobre una o mas luces internas. Unas barras armadas adicionales pueden colocarse en los nervios del forjado en áreas de mayor carga, por ejemplo en cada planta del edificio. La protección al fuego de las vigas puede proporcionarse con las mismas medidas que las losas de hormigón prefabricadas.
Aislamiento Acústico	Las losas mixtas logran un aislamiento acústico excelente utilizando una cubrición resistente de forjado. El factor principal es la inter actuación entre los muros divisorios y las vigas de acero, que no obstante, el espacio entre los nervios del forjado debe rellenarse con lana mineral en orden a evitar la perdida de aislamiento a través de las losas y el muro.
Cargas en Función de la Luz	Las vigas mixtas que apoyan losas mixtas son relativamente huecas y pueden diseñarse para tener una modulación de luces de aproximadamente 24 m. Las vigas mixtas son muy rígidas en cuanto al control de la vibración del forjado. La situación más crítica del diseño es obtener el control de las flechas totales, que están limitadas a una luz máxima de L/200. La flecha de la viga de acero está causada por el peso del hormigón húmedo soportado durante la construcción. Las luces concernientes al panel se muestran en la Tabla 5.2. Estas pueden utilizarse con vigas mixtas con una losa de canto profundo de 130 mm. y 60 mm. de forjado de canto profundo. (Excepto donde es mostrado un *).

Vigas Integradas o Slim Floor

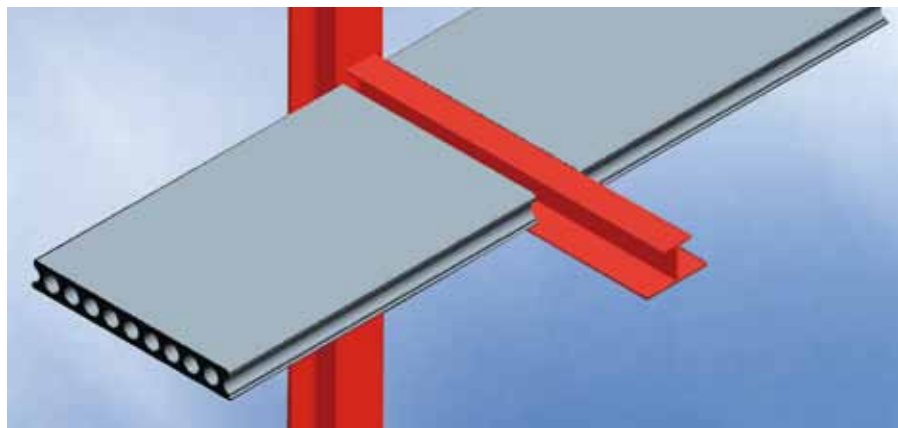


Figura 5.4 Forjado integrado de vigas asimétricas y losas prefabricadas de hormigón

Descripción

Las vigas integradas (también conocidas como vigas slim floor) soportan una losa prefabricada de hormigón o una losa mixta de canto profundo, para que así la viga y la losa ocupen el mismo canto. Estos perfiles pueden ser de varias formas:

- Perfiles HE /UC con chapa inferior soldada.
- Perfiles IPE cortados a media altura y soldados a la chapa que conforma el ala inferior.
- Vigas ASB de perfil asimétrico.
- RHS (perfil tubular de sección rectangular) con una chapa inferior soldada, utilizada a menudo para vigas de borde.

Donde las vigas integradas apoyan las losas de hormigón de núcleo tubular, como muestra la Figura 5.4, las losas a menudo tienen luces mayores que las vigas, para que así, el canto de la losa y la viga sean compatibles. Generalmente es añadida una capa de compresión de hormigón. Las vigas integradas son diseñadas para lograr un canto estructural mínimo.

Principales Consideraciones del Diseño

Las vigas integradas que soportan losas de núcleo tubular son diseñadas de modo que la luz de la losa conste de una longitud de hasta 9 m y la viga contenga una luz de 6 a 7.5 m. La cuestión crítica del diseño es la actuación de la torsión en la viga durante la construcción y carga debido a unas luces adyacentes desiguales. Las vigas integradas utilizando losas mixtas de canto profundo pueden tener una luz de hasta 9 m cuando espacian hasta 6 m.

Ventajas

- Rapidez en la construcción.
- No existe limitación en la altura del edificio, sujeto al diseño y a la disposición de los arriostramientos.
- Vigas de grandes luces proporcionando espacios abiertos y flexibilidad para las particiones interiores.
- Reducción del canto del forjado mediante el uso de las vigas integradas o *Slim Floor*.

Resistencia al Fuego

Para las vigas integradas o vigas slim floor, el encastramiento del perfil de acero en el hormigón logra hasta 60 minutos de resistencia al fuego. Una protección adicional puede aplicarse en el ala inferior con diversos métodos, tales como:

- Protección mediante paneles, por ejemplo, mediante un panel de cartón yeso.
- Pintura intumescente aplicada en obra o en el taller.

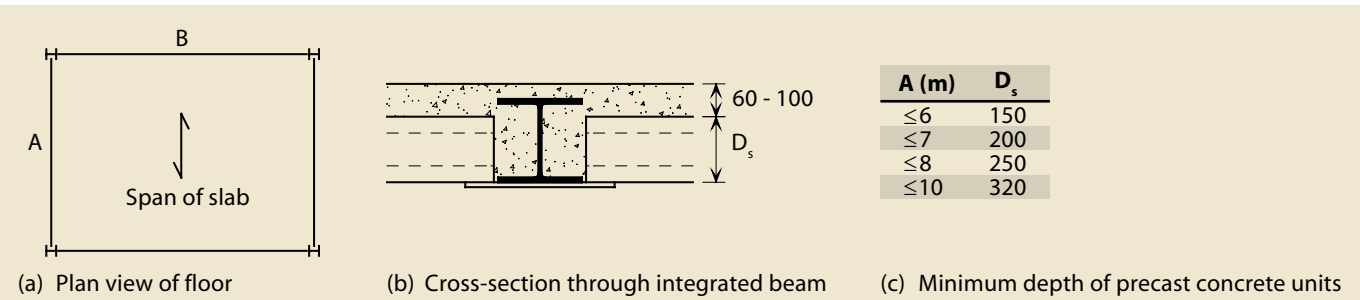
Los paneles son más prácticos en los pilares. La pintura intumescente mantiene el perfil del elemento y son finas. (1-2 mm. de espesor). Estas capas pueden aplicarse en obra.

Aislamiento Acústico

Las vigas integradas con losas de núcleo tubular y capa de compresión o las vigas realizadas con el sistema slim floor con losas mixtas de canto profundo logran un aislamiento acústico excelente. Unas medidas especiales en los detalles pueden requerirse en ambas, aislamiento acústico y Resistencia al fuego.

Cargas y Flechas

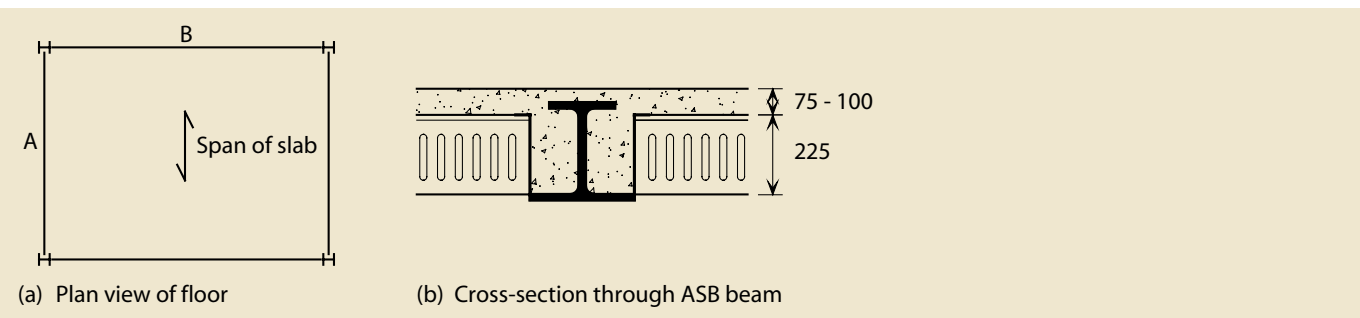
La Tabla 5.3. muestra el tamaño de las vigas integradas con una chapa de ala inferior soldada de 12 mm. soportando las losas de hormigón de núcleo tubular. Los tamaños de las vigas ASB soportando losas mixtas de canto profundo son mostrados en la Tabla 5.4. El canto total del forjado incluyendo las capas de aislamiento es de 350mm a 450 mm.



Luz de la losa (A)	Luz de la viga integrada (B)		
	6 m.	8 m.	10 m.
6 m.	HE 220A	HE 280A	HE 300B
7 m.	HE 240A	HE 280B	HE 320B
8 m.	HE 240B	HE 300B	HE 340B

Para el canto de la losa elegido no se requiere apuntalamiento.

Tabla 5.3 Tablas de predimensionamiento para vigas integradas con losas prefabricadas de hormigón



Luz de la losa (A)	Luz de la losa ASB (B)		
	6 m.	8 m.	10 m.
6 m.	280 ASB 100	280 ASB 136	300 ASB 196
7 m.	280 ASB 100	300 ASB 153	300 ASB 249
8 m.	280 ASB 136	300 ASB 153	300 ASB 249

Tabla 5.4 Tablas de predimensionamiento para vigas ASB en Slimdek para forjado de chapa colaborante de gran canto.

Vigas Invertidas de Acero



Figura 5.5 Vigas de acero invertidas (Slimline)

Descripción	<p>Las vigas de acero invertidas son utilizadas en el sistema <i>Slimline</i> y comprenden perfiles de tipo IPE encastrados en una losa de hormigón que actúa como parte inferior bajo el forjado como muestra la Figura 5.5. El espacio entre las vigas, que son colocadas a 600 mm. del centro, puede utilizarse para el apoyo de los servicios sobre la losa. La superficie superior del forjado utiliza un tablero de forjado o una losa fina mixta.</p>
Principales Consideraciones del Diseño	<p>El sistema <i>Slimline</i> es fabricado en la forma de losas prefabricadas y vigas invertidas de hasta un ancho de 2.4 m, que son soportadas directamente en las vigas principales. Por consiguiente, el canto combinado de las vigas principales y secundarias es crucial en la utilización del sistema, y las vigas principales deberían colocarse cuidadosamente para alinearse con los muros divisorios. Mediante este sistema se logra una luz de hasta 12 m, dependiendo del tamaño de la viga escogida. La losa invertida es generalmente de un espesor de 70 mm. a 100 mm. y los servicios y alumbrado pueden incorporarse como parte de la losa.</p>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de forjado prefabricado para grandes luces. • Proceso de construcción esencialmente en seco. • Las losas de hormigón configuran el techo. • Integración de servicios en las vigas.
Resistencia al Fuego	<p>El sistema <i>Slimline</i> proporciona una resistencia al fuego excelente debido a la losa de hormigón invertida y un canto de 100 mm., generalmente logra 90 minutos de resistencia al fuego. Las vigas pueden protegerse contra el fuego, aunque en algunos casos, la reducción de exposición directa al fuego puede utilizarse para justificar el uso de vigas no protegidas. Las vigas principales deben protegerse de modo convencional.</p>
Aislamiento Acústico	<p>Este sistema logra un excelente aislamiento acústico proporcionado por el sellamiento de las juntas de las losas prefabricadas de hormigón.</p>
Cargas y Flechas	<p>El coeficiente de modulación máximo de la luz de las vigas parcialmente encastradas es de aproximadamente 18 m. La luz óptima de la chapa de forjado es de 8 a 10 m. por un canto de forjado de 500 a 600 mm., vigas integrales no incluidas.</p>

06 Sistemas Modulares

Este capítulo describe las diversas tipologías constructivas en construcción modular utilizando unidades tridimensionales, las cuales pueden diseñarse independientemente, o como parte de un sistema híbrido que combina componentes 2D y 3D.

La construcción modular utiliza módulos portantes tridimensionales que pueden constituir un edificio de hasta 8 plantas de altura. Los módulos son fabricados en taller en condiciones controladas mediante un proceso repetitivo con las dimensiones adecuadas para su posterior transporte e instalación.

La construcción modular ha resultado más efectiva en la construcción de hoteles, residencias de estudiantes y viviendas sociales, donde se pueden conseguir reducciones económicas en fabricación (véase la Figura 6.1).

Existen tres formas constructivas más habituales en construcción modular:

- Construcción íntegramente modular mediante módulos portantes.
- Módulos soportados por una estructura de acero auxiliar o mediante un núcleo de arriostramiento.
- Unidades menores de módulos no portantes para ubicar baños, etc.

El uso estructural de estos módulos está definido en esta guía, aunque los módulos menores (“pods”) no se describen debido a sus dimensiones y a que nos son estructurales.

Construcción Modular Portante

Plataforma de Acero y Construcción Modular



Figura 6.1 Edificación residencial modular con balcones integrados, Londres
Fuente: AHMA Architects & Yorkon

Construcción Modular Portante



Figura 6.2 Módulo cerrado autoportante
Fuente: Terrapin

Descripción

Los tres métodos constructivos más habituales en la construcción modular son:

- Módulos en los cuales las fuerzas verticales son transferidas a través de los paneles laterales al módulo inferior (véase la Figura 6.2).
- Módulos parcial o totalmente abiertos en los que las fuerzas verticales son soportadas por vigas de borde y postes de borde (véase Figura 6.3).
- Módulos no portantes apoyados en forjados o en una plataforma auxiliar separada.

Otro método constructivo posible llamado construcción híbrida puede combinar diferentes tipologías de módulos además de otros componentes estructurales, tales como:

- Módulos apoyados en una estructura auxiliar de acero u hormigón que permite disponer espacios abiertos en su interior para emplearse a uso comercial o aparcamiento.
- Módulos combinados componentes estructurales de forjado y panel de fachada.

Los módulos están constituidos por paneles de fachada y forjados con perfiles tubulares de sección cuadrada o angulares para los postes de esquina, elementos similares a los descritos en los capítulos anteriores.

Principales Consideraciones del Diseño

Las principales consideraciones del diseño en la elección de la construcción modular:

- Habilidad para el uso de unidades modulares iterativas.
- Requisitos de transporte e instalación.
- Habilidad para la creación de espacios abiertos cuando sea requerido.
- Altura del edificio y requerimientos para espacios abiertos, concretamente en planta baja.

Los módulos son fabricados en anchos de 2,7 a 4,2 m., siendo el máximo permitido para el transporte en la mayoría de las redes de carreteras principales. Las dimensiones internas de hasta 3,6 m. son prácticas en las aplicaciones residenciales (3,8 m. para dimensiones exteriores). Las longitudes de módulos hasta 12 m. pueden utilizarse, aunque son más comunes de 7,5 m. a 9 m.

El diseño tipo de módulos que se combinan para crear amplios espacios abiertos se ilustra en la Figura 6.3.



Figura 6.3 Módulo abierto con pilarillos y vigas de borde
Fuente: Kingspan

Ventajas

- Rapidez de construcción (hasta un 60% más rápido que construcción tradicional en obra).
- Alta calidad debido a la fabricación en taller ante condiciones controladas.
- Óptimo aislamiento acústico debido al uso de paneles de doble capa y forjados.
- Reducción de costes en la fabricación de unidades modulares iterativas.
- Los módulos parcialmente abiertos resultan muy prácticos en apartamentos.

Resistencia al Fuego

Se consigue una resistencia al fuego de 60 minutos (R60) utilizando dos capas de placas resistentes al fuego en muros y techos. Es necesario también proporcionar "cortafuegos" entre módulos para la prevenir la propagación del fuego y del humo.

Aislamiento Acústico

Se logra un alto nivel de aislamiento acústico (sobre 60 dB) mediante la instalación de doble capa de los muros y a la combinación de forjado y techo.

Cargas y Flechas

El diseño modular está influenciado directamente por:

- Resistencia portante de los montantes de los paneles.
- Estabilidad bajo la acción del viento.
- Robustez en acciones accidentales.

Para los módulos cerrados, la estabilidad puede lograrse con arriostramiento adecuado en los muros o por la acción de diafragma de las placas adjuntadas a los paneles. Para los módulos abiertos, como se observa en la Figura 6.2, el diseño está influenciado por la resistencia a compresión de los postes de borde y las capacidades para cubrir luces de las vigas de borde. Generalmente, este tipo de módulos tienen que ser estabilizados mediante una estructura separada. Los módulos se fijan en los bordes para actuar conjuntamente.

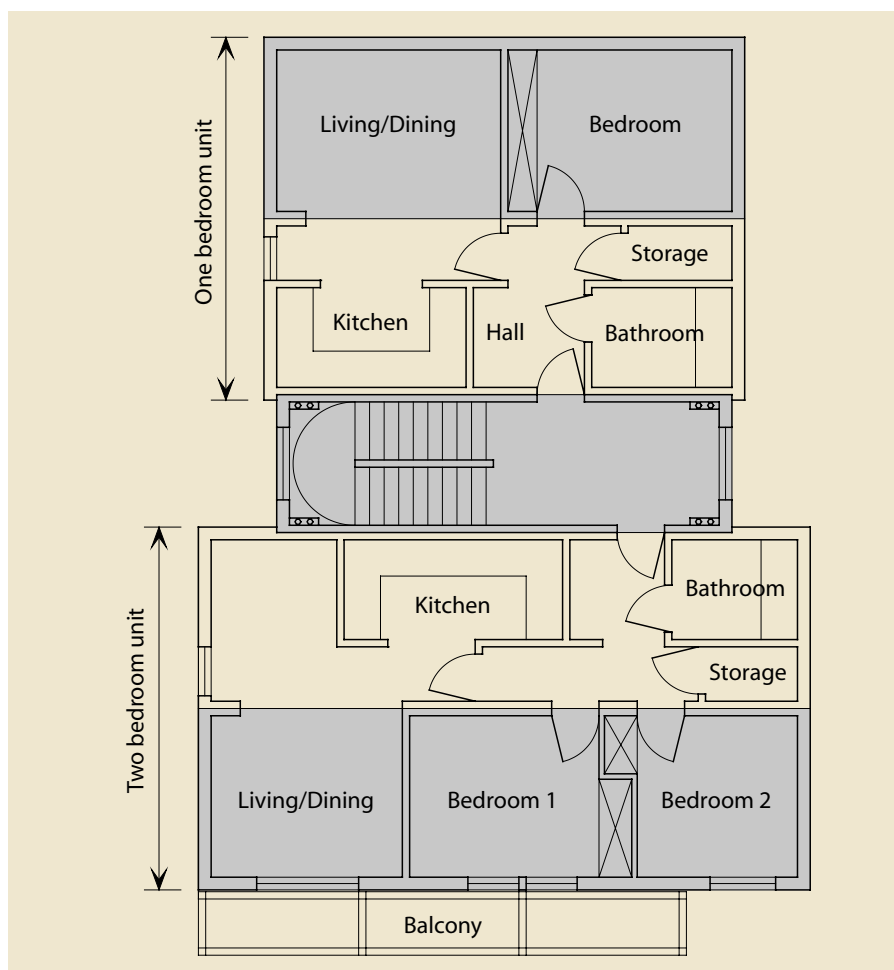


Figura 6.4 Planta de un edificio residencial en base a módulos

Canto Total del Forjado

La zona de forjado depende de la combinación del canto del forjado y del techo y pueden considerarse en el planeamiento como:

- 400 mm. para módulos pequeños (< 3,6 m. de ancho).
- 500 mm. para módulos mayores (< 4.2 m. de ancho).
- 600 mm. para módulos abiertos con vigas de borde.

Por otro lado, el ancho combinado ente muros de módulos adyacentes puede considerarse a priori como:

- 250 mm. para módulos destinado a edificación de baja altura.
- 300 mm. para módulos destinados a edificación en altura con pilarillos en las esquinas.

El espacio entre los módulos permite ciertas tolerancias en su instalación.

Los balcones pueden integrarse dentro de los módulos, como se muestra en la Figura 6.1, o pueden unirse directamente a los postes de borde de los módulos. Los módulos de escaleras también pueden introducirse como parte del concepto modular pudiendo influir al canto total del forjado. En este caso, se recomienda un canto de 500 mm. para forjado y techo.

Plataforma de Acero y Construcción Modular

Figura 6.5 Edificación modular soportados en una estructura principal auxiliar y estabilizada por una estructura de acero arriostrada alrededor de las escaleras



Descripción

Existen tipologías de edificios que requieren un espacio abierto más amplio, y en este caso, los paneles modulares pueden combinarse con una estructura de acero principal. Existen tres maneras habituales para lograr el uso combinado entre estructuras de acero y módulos:

- Módulos apoyados en una plataforma de acero en donde la disposición de los pilares de la plataforma se alinean en la medida de lo posible con las dimensiones principales de los módulos que soporta.
- Módulos abiertos o cerrados soportados en una estructura principal de acero en cada nivel.
- Módulos estabilizados por núcleos arriostrados de acero o núcleos de hormigón.

El diseño de los módulos estabilizados con núcleo de arriostramiento o apoyados en una plataforma de acero es similar al descrito anteriormente. En cambio, si están soportados por una estructura auxiliar de acero, los módulos pueden diseñarse como no portantes. En las Figuras 6.6 y 6.7 se presenta un ejemplo de construcción con plataforma de acero y un núcleo de arriostramiento de escaleras respectivamente.

Principales Consideraciones del Diseño

Los módulos soportados por una estructura auxiliar de acero son de tamaño similar al de los módulos portantes. Por otra parte, las vigas de la estructura soporte se sitúan bajo los muros de los módulos. Por ejemplo, para integrar un aparcamiento de coches eficaz en planta bajo o subterráneo, se utilizan dos módulos de 3,6 m. de ancho con una viga soporte de luz 7,2 m., eficaz para incorporar tres plazas de aparcamiento. Por otro lado, las vigas alveolares o los perfiles armados resultan eficaces proporcionando espacio abierto bajo el nivel de la plataforma de acero.

El uso combinado de unidades modulares y forjados planos presentan ventajas cuando las unidades requieren una fuerte integración de servicios, como es el caso de baños y cocinas (véase la Figura 6.8).

Ventajas

- No existe limitación en altura.
- La plataforma de acero crea espacios abiertos y la posibilidad de incorporar aparcamiento de coches bajo la mismo.
- Adecuado para combinar uso residencial y comercial.

Resistencia al Fuego

Convencionalmente, la estructura de acero debe estar protegida al fuego. El sistema de protección más habitual es la pintura intumescente con el fin de no aumentar las dimensiones de los perfiles de acero. El empleo de pilares tubulares de sección cuadrada suelen resultar ventajosos en este aspecto.



Figura 6.6 Edificación modular finalizada

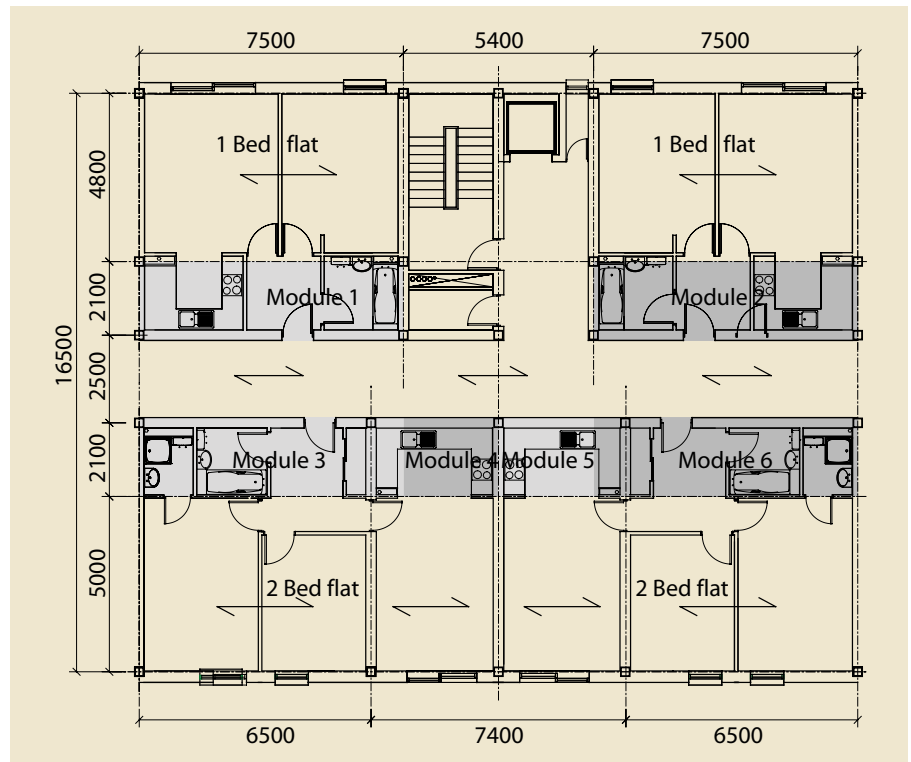


Figura 6.7 Uso combinado de módulos con estructura de acero

Aislamiento Acústico

El aislamiento acústico es independiente del empleo de estructura soporte de acero cuando se utiliza construcción modular.

Cargas y Flechas

Las vigas de acero deben diseñarse para resistir la combinación de flexión y torsión cuando existe un reparto desigual de las cargas entre módulos adyacentes. En este sentido, resultaría ventajoso emplear vigas de acero asimétricas.

07 Sistemas de Fachada y Cubierta

En este capítulo se describen las diferentes tipologías de revestimiento que pueden utilizarse en combinación con los muros de acero ligero. También se presentan las características de los sistemas de revestimientos, particularmente, las relacionadas con el funcionamiento térmico. Son analizados también, los sistemas de cubiertas basados en elementos de acero.

Los sistemas de fachada son apoyados por muros exteriores de acero ligero siendo autoportantes, otro método alternativo, es la colocación de unos paneles de fachada empotrados en un acero principal o bien mediante estructuras de acero. Son aplicados los mismos principios y detalles a ambos sistemas. Las tres tipologías habituales de revestimientos son:

- Albañilería, generalmente apoyada en tierra y contenidos lateralmente por los muros.
- Revestimiento metálico o de tipo panel.
- Mortero monocapa o bicapa sobre elemento de aislamiento rígido.

Los requisitos principales del diseño son la hermeticidad, aislamiento acústico y comportamiento térmico. Los detalles concernientes a estos sistemas de revestimientos también son descritos.

Las cubiertas pueden diseñarse también en acero en base a celosías, correas, paneles mixtos y chapas de cubiertas con aislamiento. Además, pueden crearse sistemas abiertos de cubiertas proporcionando un espacio habitable eficiente.

Sistemas de Fachadas

Sistemas de Cubiertas



Figura 7.1 Edificación residencial en estructura de acero ligero y con cerramiento metálico en Glasgow
Fuente: Peck & Reid Architects & Metsec

Sistemas de Fachadas



Figura 7.2 Paneles de fachada con mortero monocapa hidrófugo combinados con ladrillos cerámicos

Descripción

Para los sistemas exteriores de muros descritos anteriormente existen dos métodos constructivos habituales de revestimientos:

- Revestimiento apoyado en suelo o en forjado tal como la albañilería.
- Revestimiento ligero apoyado por un muro de acero ligero.
- Para edificios de varias plantas, la albañilería requiere un apoyo a través de unos ángulos de acero inoxidable unidos a las vigas del perímetro. El revestimiento de acero ligero puede ser de varias tipologías tales como:
 - Aislamiento renderizado.
 - Azulejos o ladrillos unidos a los nervios horizontales.
 - Revestimiento metálico tales como paneles mixtos.
 - Paneles de diferentes tipos.

Cuando los paneles acristalados son utilizados, a menudo, se integran en el muro o se unen al forjado directamente en una subestructura separada.

Los paneles de muros de acero ligero prefabricados pueden diseñarse mediante revestimiento prefabricado, y si ese es el caso, las uniones son cruciales en el concepto del diseño. Unos ejemplos de paneles de fachadas prefabricados utilizando estructuras de acero ligero se muestran en las Figuras 4.1 y 4.5.

Principales Consideraciones del Diseño

Los principales aspectos del diseño para la elección de los sistemas de fachadas son:

- Medios de apoyos verticales y horizontales al revestimiento.
- Disposición del nivel requerido del aislamiento térmico con un puente de frío mínimo.
- Disposición de aberturas (ventanas y puertas) y accesorios.
- Oportunidades para la prefabricación de los paneles de fachadas con revestimiento unido.

Cuando una estructura de acero ligero es utilizada para soportar la fachada, el aislamiento, generalmente, es colocado en el exterior en los elementos de acero ligero siendo añadidas unas capas de lana mineral entre los conectores del muro.

La albañilería se ensambla mediante unas fijaciones de muros que son unidos a unos corredores verticales atornillándose atravesando el aislamiento exterior hacia los conectores del muro a una distancia de 600 mm. centro a centro como se observa en la Figura 7.3. Las uniones de los muros están ensambladas cada quinta hilada (o a 375 mm verticalmente) conduciendo a 2.5 uniones por m² de área. Son requeridas unas uniones adicionales alrededor de las aberturas. La albañilería es autoportante hasta los 12 m (4 plantas) pero mayores edificios requieren apoyos verticales adicionales en cada planta además de en plantas alternas. Esto solo es práctico para la estructura de acero y no para la estructura de acero ligero.

En las Figuras 7.4 y 7.5. Se muestran ejemplos de diversos detalles de revestimiento utilizando revestimiento metálico y sistemas de aislamiento renderizado. En ambos casos, el uso de una chapa de revestimiento es recomendado.

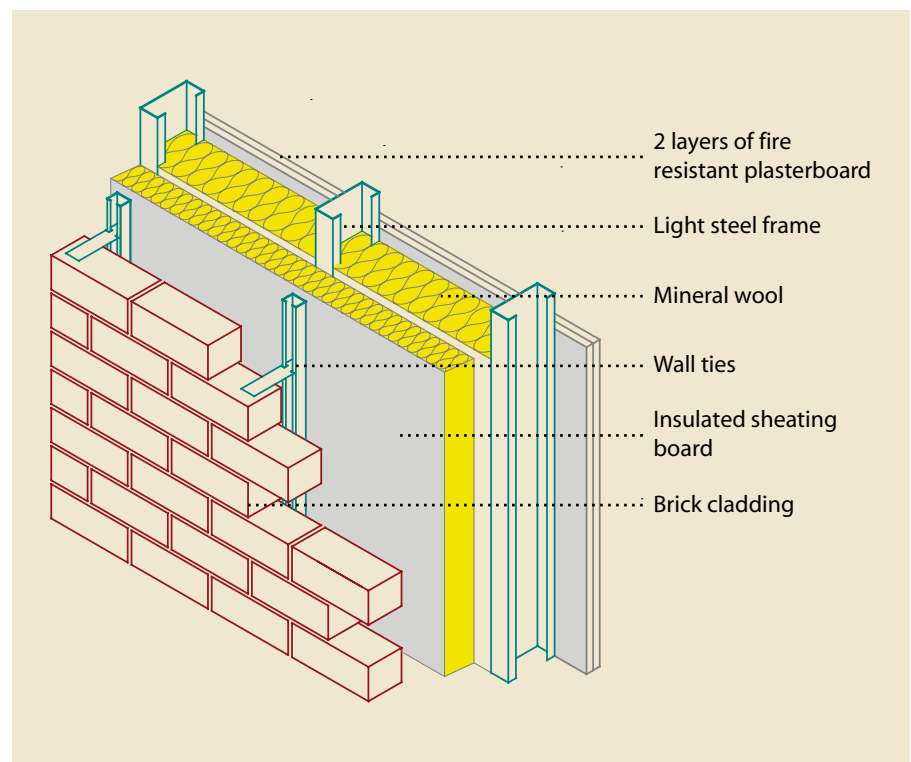


Figura 7.3 Panel de fachada exterior con cerramiento de ladrillo

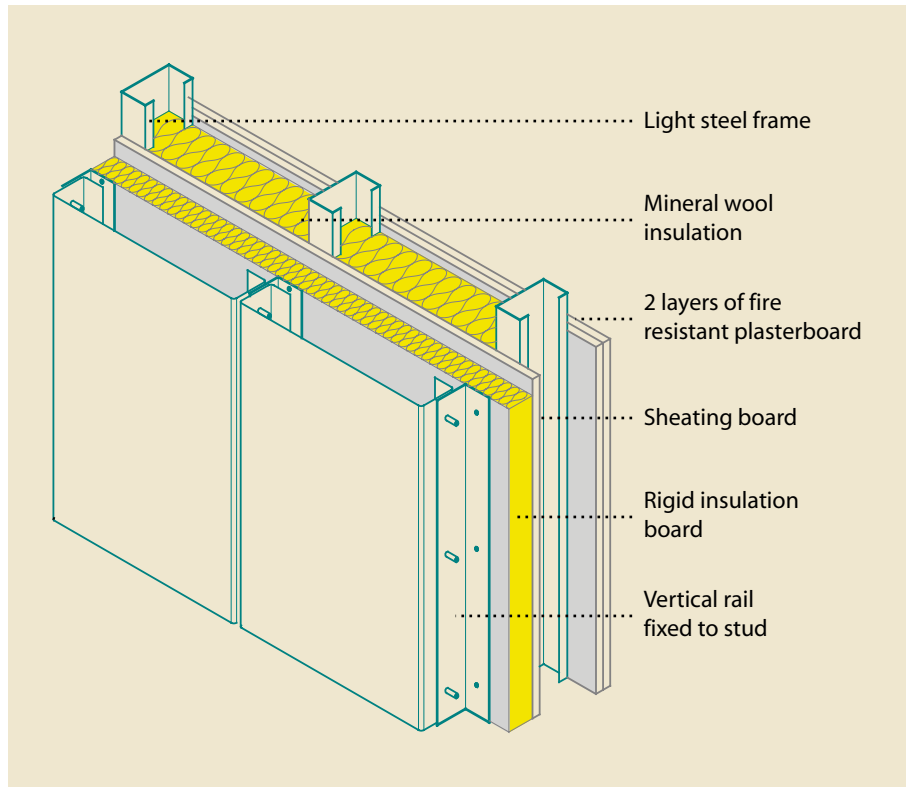


Figura 7.4 Panel de fachada exterior con cerramiento metálico

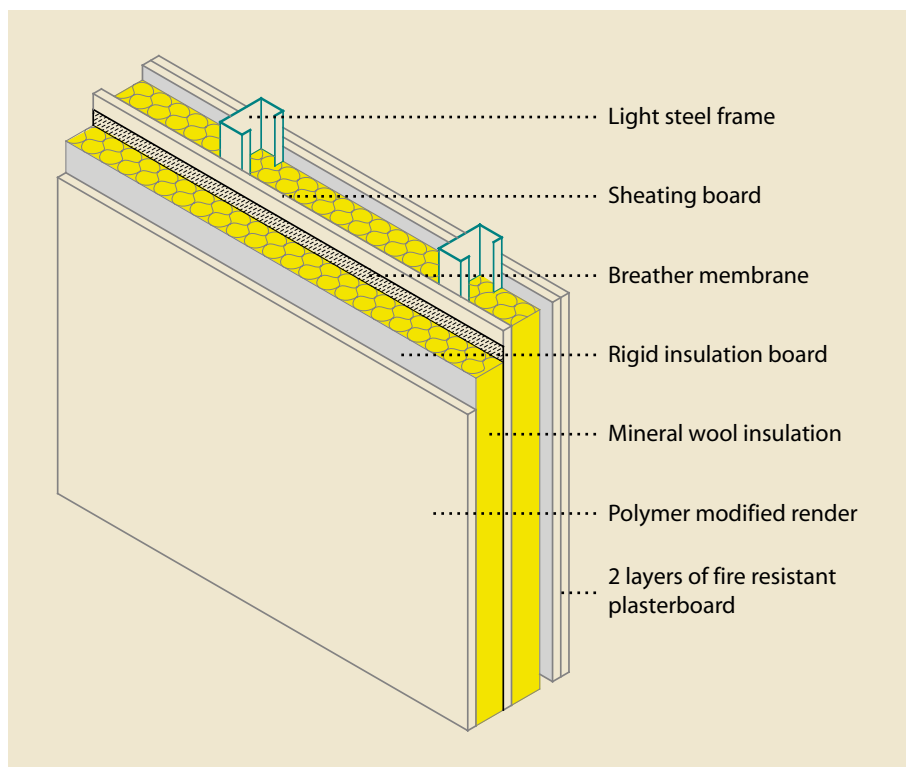


Figura 7.5 Acabado de mortero monocapa soportado en estructura ligera de acero

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Una amplia variedad de materiales de revestimientos puede utilizarse. • Un revestimiento ligero puede ser apoyado por muros de acero ligero. • Largos paneles pueden prefabricarse con su revestimiento incorporado. • Altos niveles de aislamiento térmico (valores bajos de U) pueden lograrse. • Los muros son más finos que en el trabajo con bloques o construcción de hormigón.
Comportamiento Térmico	<p>Unos valores U por debajo de 0.25 W/m²K pueden lograrse para los muros con revestimiento de ladrillos y por debajo de 0.2 W/m²K para muros con aislamiento renderizado. Mediante la utilización de conectadores ovalados o ranurados (Figura 7.6) se logra una minimizar el puente frío y permite la colocación de mayor aislamiento entre los conectadores sin causar condensación. Puede lograrse una eficiencia térmica óptima mediante la colocación de unos conectadores ovalados de canto profundo de 150 mm. y un panel aislante externo con un espesor de 30 mm además de 150 mm. de aislamiento mediante lana mineral entre los conectadores.</p>
Aislamiento Acústico	<p>Para los sistemas de revestimiento no existen especificaciones precisas sobre el aislamiento acústico adecuado pero la mayoría del revestimiento ligero proporcionan un valor U menor que 0.25 W/m²K logrando una reducción sonora aerotransportado de más de 30 dB. El revestimiento realizado mediante ladrillos logra una reducción sonora aerotransportada de más de 35 dB.</p>
Espesores Totales de los Muros	<p>El espesor total del muro depende del tipo de revestimiento utilizado, mediante las siguientes dimensiones, siendo las idóneas para sistemas de revestimiento pueden lograrse un valor U de 0.25 W/m²K:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Albañilería 350 mm. • Revestimiento de mortero con aislamiento 250 mm. • Revestimiento metálico 250 mm.

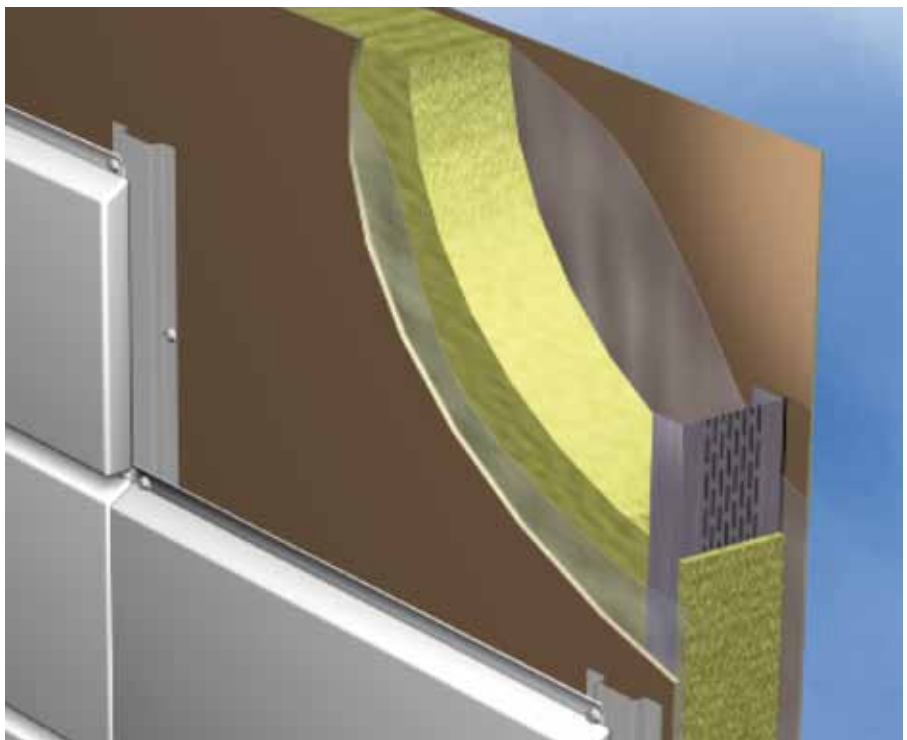


Figura 7.6 Montantes ranurados de acero conformado en frío con aislamiento de lana mineral y cerramiento metálico
Fuente: Ruukki

Sistemas de Cubiertas

Descripción

En la construcción en acero pueden considerarse varias tipologías de sistemas de cubiertas. Estas son:

- Correas de acero espaciando entre estructuras estructurales o muros transversales.
- Sistema de panel abierto diseñado para la creación de un espacio habitable.
- Paneles de cassettes de acero prefabricados.
- Paneles mixtos (para luces de hasta 6 m).

Las cubiertas de acero pueden fabricarse en una amplia gama de formas incluidas las de curvas y las de cuatro aguas. Un revestimiento metálico es apropiado para cubiertas de baja pendiente y formas curvas.

Principales Consideraciones del Diseño

Los dos principales factores a considerar en el diseño son: la dirección de la luz de la cubierta y satisfacer las exigencias del aislamiento térmico. Existen dos direcciones posibles de luces concernientes a la cubierta:

- Desde fachada a fachada con luces entre 8 a 12 m, o;
- Entre muros transversales con luces entre 5 a 8 m.

En el primer caso, es preferida una celosía tradicional, pero en el segundo caso, las correas u otros sistemas permitiendo el uso del espacio en la cubierta son las elegidas. En la Figura 7.7. Se observa un sistema abierto de cubierta de acero proporcionando un espacio habitable.

En las cubiertas, el nivel requerido del aislamiento acústico es generalmente de un valor alto (valores $U < 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$) y por esto, el espesor total del aislamiento acústico puede ser de hasta 150 mm. La mayor parte del aislamiento es colocado en el exterior en la cubierta de acero, por ejemplo las celosías o correas, no obstante, puede colocarse más de un 30% del aislamiento entre los elementos de acero sin riesgo de una posible condensación.

Los paneles mixtos pueden fabricarse con un efecto visual en forma de azulejos, como se muestra en la Figura 7.8. Los paneles fotovoltaicos o colectores térmicos pueden ensamblarse fácilmente al revestimiento de acero y su subestructura.

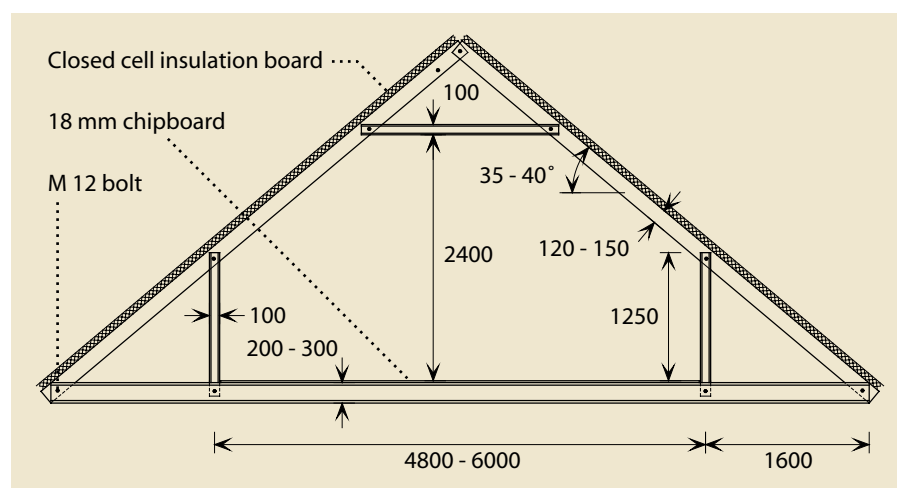


Figura 7.7 Sistema de panel abierto en cubierta utilizando perfiles de sección en C



Figura 7.8 *Insatación de panel mixto de cubierta con tejas*
Fuente: Kingspan

08 Prácticas Nacionales

En este capítulo, se presentan las prácticas nacionales habituales en diferentes países. Estas prácticas constructivas adaptan los diferentes sistemas descritos a lo largo de esta guía. Asimismo, se presentan algunos nuevos sistemas que podrán ser utilizados más ampliamente en Europa.

Práctica Actual en el Reino Unido

Se construyen aproximadamente 180.000 casas y apartamentos anualmente en el Reino Unido. El mercado de la tecnología de acero en el sector residencial es óptimo, principalmente en la construcción de edificios de poca altura y pequeños apartamentos. En la edificación residencial, la cuota total del mercado en el sector del acero es de aproximadamente un 7%. En esta guía las buenas prácticas constructivas presentadas son las habitualmente utilizadas, no obstante, las tendencias más notables pueden reconocerse por el uso de:

- Estructura de acero ligero para apartamentos de 4 a 6 plantas.
- Paneles de fachada en acero ligero y Slimdek para edificaciones

residenciales de 6 a 15 plantas, requiriendo un uso del espacio más flexible.

- Construcción modular para unidades individuales, tales como residencias estudiantiles en edificios de hasta 10 plantas de altura.
- Uso conjunto de construcción modular con un núcleo de hormigón para una estabilidad en aplicaciones altas o con una estructura de acero apoyada a nivel de podio para edificios de 6 a 8 plantas.

El desafío en este sector de la construcción es la construcción con una densidad más alta y con más rapidez en localizaciones urbanas además de satisfacer las normativas impuestas para lograr unos hogares sostenibles,

Reino Unido

Los Países Bajos

Francia

Suecia



Figura 8.1 Proyecto de viviendas en Basingstoke, Reino Unido, utilizando estructura de acero ligero
Fuente: HTA Architects



Figura 8.2 Proyecto residencial de construcción modular en Basingstoke, Reino Unido
Fuente: PRP Architects & Vision

un requisito incorporado recientemente, en las regulaciones en Reino Unido. Mediante el uso de la tecnología de acero puede proporcionarse unos sistemas más eficaces de construcción siendo estos, rapidez de instalación y comportamiento térmico, los preferentes.

Las siguientes prácticas del Reino Unido son descritas con más detalle a continuación:

Estructura de Acero Ligero

La estructura de acero ligera utiliza la tecnología anteriormente presentada, no obstante, hay tendencias notables, las cuales pueden reconocerse por el uso de:

- Paneles de muro portantes de una sola hoja.
- Uso mixto de muros de acero ligero y vigas de acero para luces mayores.
- Uso mixto de losas mixtas y muros de acero ligero.
- Uso mixto de vigas de acero y forjados de acero ligero.

El mercado para paneles de muro en edificaciones estructurales de ambos acero y hormigón ha aumentado considerablemente.

Sistema Slimdek

El sistema *Slimdek* consta de un mercado amplio en el sector residencial por la necesidad de proporcionar mayor flexibilidad en el trazado de las habitaciones y lograr el mayor uso de área pudiendo utilizar un mínimo de canto del forjado sin el uso de vigas descolgadas. Los paneles de muros de acero ligero se realizan mediante el sistema *Slimdek*, habiendo sido utilizado en edificaciones de hasta 16 plantas. (Véase Figura 2.2.)

Construcción Modular Estabilizada por un Núcleo de Hormigón

Los módulos pueden diseñarse eficientemente si el edificio es estabilizado por un arriostramiento de acero o por un núcleo de hormigón, por ejemplo, el edificio residencial de 17 plantas, Paragon, (véase Capítulo 9).

En orden a satisfacer la resistencia al fuego requerida y el aislamiento acústico solicitado para edificaciones de más altura, en otros proyectos, también han sido utilizados los módulos y las losas de hormigón para forjado, como se muestra en la Figura 8.2.

Construcción Modular Apoyada por una Estructura Separada

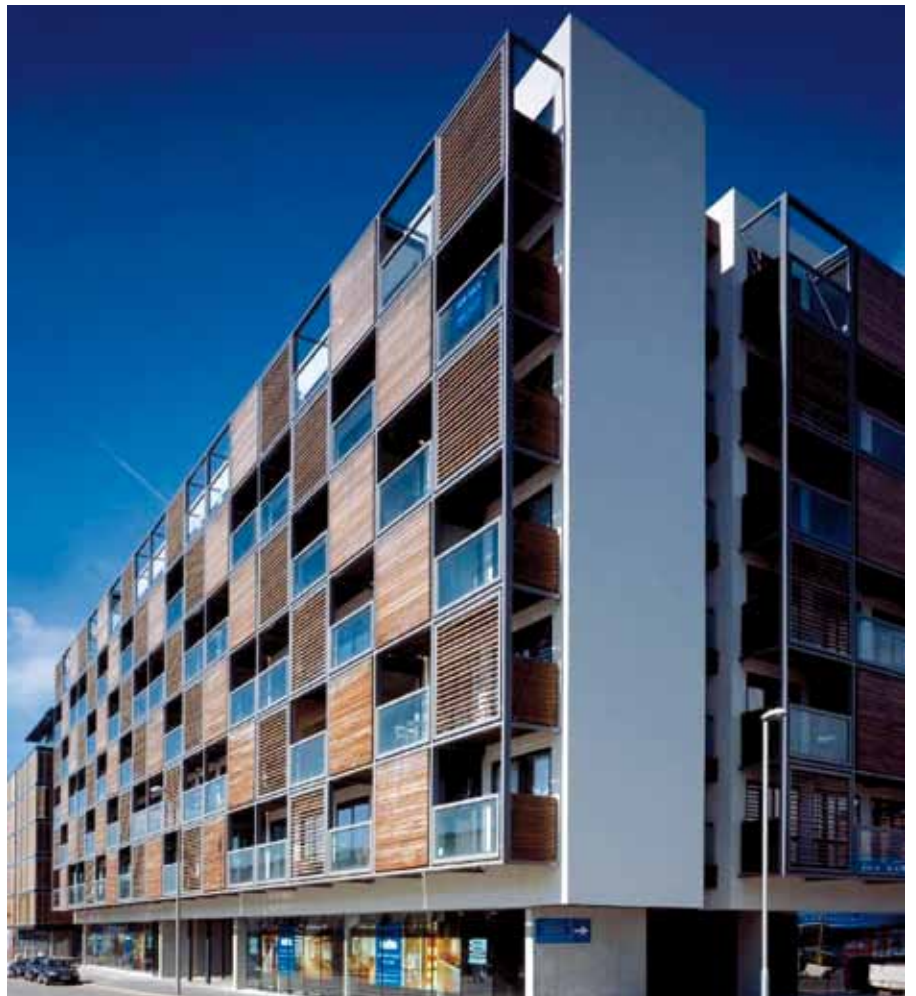
La construcción modular puede combinarse, bien con un podio de acero o bien con una plataforma a nivel para obtener un espacio abierto bajo la misma pudiendo utilizarse como espacio común, comercial, o bien, como aparcamientos de coches.

Los módulos también pueden diseñarse mediante un “exo esqueleto” como en el proyecto MOHO en Manchester, que se muestra en las Figuras 8.3. Y 8.4. Esta técnica es ampliamente utilizada para la prolongación del rango de aplicación de los sistemas modulares y creación de balcones autoportantes.

Figura 8.3 Estructura principal exterior de acero combinada con módulos acristalados, MOHO, Manchester
Fuente: Yorkon and Shed KM Architects



Figura 8.4 Edificio MOHO finalizado
Fuente: Yorkon and Shed KM Architects



Práctica Actual en los Países Bajos

Introducción

En los Países Bajos se construyen sobre 70.000 casas al año y aproximadamente 100.000 toneladas de acero son consumidas anualmente en este sector. Diez millares de toneladas de acero adicionales son utilizadas en el sector de la rehabilitación de viviendas, en el cual el acero, es un material de construcción muy extendido.

La utilización del acero en el sector residencial es muy diversa. Mediante el uso de chapas de acero de perfiles de colores para el revestimiento y la cubierta se abre la oportunidad a construir un edificio visualmente moderno. En la mayoría de los edificios alemanes, el acero es utilizado para pequeños elementos, tales como, dinteles sobre ventanas y vigas de apoyo sobre puertas de garajes. No obstante, las estructuras de acero son ampliamente utilizadas en edificaciones de apartamentos.

Como en otros países europeos, la utilización de sistemas prefabricados en acero ligero, ocasionan ventajas en la realización de proyectos urbanos. Muchas de las buenas prácticas que esta guía ofrece son utilizadas, aunque las tendencias más sensibles en los Países Bajos son:

- Estructura de acero ligero para extensiones de cubiertas superiores para la creación de apartamentos y duplex en renovados edificios de apartamentos de cubiertas llanas.
- Estructura de acero ligero para la remodelación de edificios no residenciales (oficinas, edificaciones industriales) en apartamentos.
- Estructuras de acero utilizando perfiles de acero laminados en caliente con variedad de forjados (hormigón prefabricado, viguetas de acero mixtas y de acero ligero) para edificios de apartamentos.
- Variedad de elementos de acero separadas, semiseparadas en edificios con terrazas.

Extensiones para Cubiertas

Los sistemas de extensiones para cubiertas se han convertido en un mercado nicho para el sector del acero en los Países Bajos. Muchos de los edificios ya construidos en hormigón conando de una cubierta plana pueden extenderse, añadiendo uno dos e incluso más forjados, siendo las estructuras de acero ligero muy adaptables, para este propósito. Existen proyectos muy interesantes tales como: Leeuw van Vlaanderen en Amsterdam (ganador del premio nacional restauración 2007) y más recientemente el proyecto Het Lage Land en Rotterdam (Figura 8.5) y De Bakens en Zwijndrecht.

Los elementos de la estructura de acero ligero son auto portantes, resultando ser un método de construcción muy ligero. Los requisitos de la resistencia al fuego y el comportamiento físico del edificio son satisfechos mediante capas de paneles de cartón yeso. La pérdida de calor entre los paneles de muro exteriores es



Figura 8.5 Ampliación sobre cubierta para la realización de varios duplex: Het Lage Land, Rotterdam

Figura 8.6 Reforma y ampliación de un antiguo almacén: Nautilus & IJsvís en El Haya, Holanda (Ganador del National Steel Prize 2006, categoría edificación residencial)



minimizada debido a la colocación de un material de aislamiento, tal como, lana mineral. Las vibraciones del forjado pueden reducirse mediante un enrasado de yeso.

Muchos edificios en desuso están ubicados en zonas más que deseables, tales como puertos y centros de ciudad, los cuales ya están reformándose en apartamentos de alta calidad y espacios comerciales.

La renovación de las extensiones en las cubiertas de los almacenes Nautilus y IJsvís en La Haya que se muestran en la Figura 8.6. son un buen ejemplo de esta práctica constructiva. Los áticos sobrepuestos de estilo arquitectónico contruidos en acero y vidrio ofrecen una vista espectacular del Puerto. El método de construcción es una mezcla de acero estructural y estructura de acero ligero.

Edificios de Apartamentos

Existe un incremento del uso de estructuras de acero en el sector de la

construcción de edificación comercial, el mismo sistema estructural, es utilizado paralelamente en el sector de edificación residencial concluyéndose recientemente un complejo de edificios de apartamentos de múltiples plantas.

En el sector de la edificación residencial existe una gran variedad de sistemas de forjados de uso habitual como, por ejemplo: losas prefabricadas de núcleo ovalado (tales como, Het Baken en Deventer), placas sólidas de hormigón (Montevideo en Rotterdam), losas mixtas (Schutterstoren en Amsterdam), acero-hormigón invertido (La Fenêtre en El Haya – véase casos de estudio) y estructura de acero ligero (Linea Nova en Rotterdam).

Casas Adosadas

Durante casi un siglo, las viviendas de propiedad privada han sido subvencionadas por el Gobierno

holandés. El deseo por obtener unos edificios arquitectónicamente expresivos y unos grandes ventanales ha conducido al uso del acero estructural y a unos elementos de fachada separados, semiseparados y colgantes. Un ejemplo de una construcción en acero con un estilo arquitectónico transparente se muestra en la Figura 8.8.

El concepto de la casa inteligente fue desarrollado por el arquitecto Robert Winkel utilizando vigas con perfiles tubulares cuadrados y rectangulares, forjados realizados con componentes de acero ligero y paneles de muros. Está basado en un mallazo de pilar de 5.4 m. Si bien pocos edificios que utilizan este concepto han sido contruidos, es un sistema bastante práctico para las edificaciones residenciales grandes y edificios de oficina más pequeños (véase la Figura 8.9).



Figura 8.7 Edificio de apartamentos con estructura de acero: Schutterstoren, Amsterdam



Figura 8.8 Casa adosadas: House De Kom, Oranjewoud



Figura 8.9 (Arriba y derecha) Smart house, Rotterdam, con perfiles tubulares de sección cuadrada y rectangular con paneles de fachada no portantes de acero ligero y vigas en forjado

Práctica Actual en Francia

El mercado en el sector de la vivienda en Francia es de aproximadamente 300.000 viviendas al año de los cuales el 50% son apartamentos. El sector de las viviendas sociales ha estado siempre activo en Francia y muchas asociaciones de viviendas sociales diseñan y adquieren sus propios edificios.

La construcción en acero ha alcanzado una cuota de mercado de un 7% principalmente mediante el sistema de Maison Phénix utilizado para la construcción de viviendas. Más recientemente, la construcción mixta ha logrado introducirse en la construcción de edificios de múltiples plantas en el sector residencial. Los proyectos modernos de edificación en Francia adoptan cada vez más los criterios de la sostenibilidad según el sistema de HQE (Haute Qualité Environnementale) requerido.

PRISM

El PRISM (Produits Industriels et Structures Manufacturées) es un concepto basado en una estructura de acero adecuada para la edificación residencial.

Junto con el sistema PRISM pueden utilizarse varias tipologías de sistemas de losas, incluidas, las losas comunes de

hormigón armado, losas de hormigón prefabricadas armadas de núcleo tubular y losas mixtas.

El sistema PRISM generalmente consta de muros externos que consisten en paneles de muros de acero ligero apoyados por las losas de forjado. El aislamiento térmico es unido externamente al muro y la subestructura de acero ligero forma la capa interna del sistema de fachada. La subestructura contiene unos tramos de losa a losa y el aislamiento térmico y acústico en este caso fue proporcionado por lana mineral y paneles de cartón yeso. (Véase la Figura 8.10).

Se utilizan dos sistemas de fachada, uno destinado a elementos de peso pesado tales como la terracota y el otro para elementos de peso ligero tales como el aislamiento renderizado. Ambos sistemas de revestimiento utilizan una subestructura de acero adaptada proporcionando una gran variedad de soluciones de diseño.

Elementos del revestimiento aparte, el muro está compuesto interiormente de:

- Dos paneles de cartón-yeso resistentes al fuego de 13 mm. de espesor, logrando 60 minutos de Resistencia al fuego.

- Una hendidura de 60mm a 100 mm. permitiendo la introducción del aislamiento al borde de la losa y las columnas de acero.
- Aislamiento de lana mineral de 70mm a 100 mm. de espesor.
- Muro realizado con una subestructura de acero ligero que comprende carriles horizontales y conectadores verticales.

El espesor total de los elementos internos es de aproximadamente 160 mm. El borde de la losa y los pilares son protegidos térmicamente desde el exterior por un aislamiento de tal modo que evita un puente térmico. El espesor total del muro puede variar entre 290mm y 360mm.

Los muros divisorios y tabiques están contruidos mediante paneles de cartón yeso unidos en una subestructura de acero interna utilizando lana mineral para un aislamiento acústico. Esta técnica es ampliamente utilizada en la construcción permitiendo la reconfiguración del trazado del forjado después de varios años de uso.

Sistema de Losas Cofradal

El sistema *Cofradal* es una losa de forjado de acero ligero que utiliza una bandeja



Figura 8.10 El sistema PRISM durante su construcción: estructura de acero, cubierta y paneles de fachada exteriores para su posterior cerramiento



Figura 8.11 Sistema PRISM: Ejemplo de envoltorio exterior con cerramiento de piedra
Arquitecto: P. Sartoux



Figura 8.12 Ejemplo de edificio finalizado con el sistema PRISM

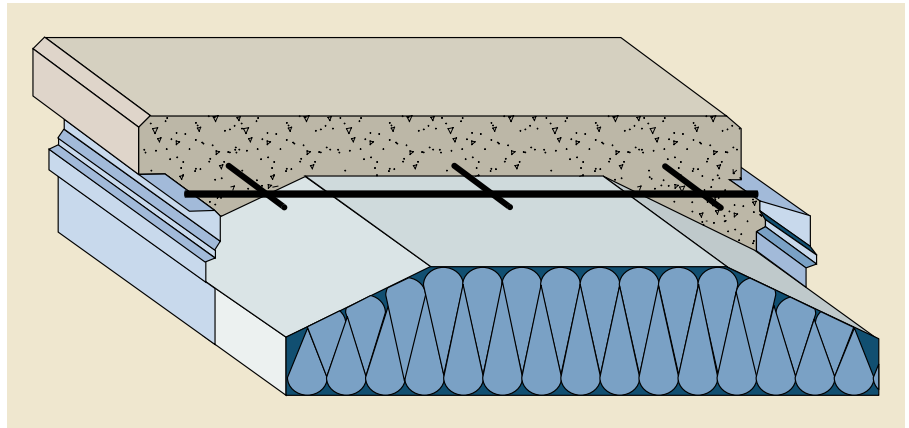


Figura 8.13 Unidades de forjado Cofradal – Sección transversal típica y paneles durante la instalación

fina de acero donde la lana mineral rígida es introducida y una guía fina de hormigón es colocada en la parte superior. Tiene un canto total de 200 mm, como se observa en la Figura 8.13, pudiendo utilizarse en edificación residencial y comercial. La acción mixta es lograda mediante una actuación conjunta entre la bandeja de acero y el hormigón.

Sistema de Losas PCIS

El sistema de losas PCIS es un sistema seco de construcción utilizado en la edificación residencial. Las vigas asimétricas son integradas en el canto de la losa. Los perfiles pueden ser fabricados o realizados con una chapa de acero soldada bajo el ala inferior de un perfil tipo HE. Las vigas tienen una luz de hasta 6 m. y meramente están unidas a los pilares. El canto total de la losa es de 320 mm.

El sistema de construcción es como sigue a continuación (Desde la parte inferior a la parte superior):

- La losa comprende una chapa perfilada de acero galvanizado (1.5 mm de espesor) atornillada a las vigas de apoyo.
- Una capa de fibra de vidrio de 3 mm. de espesor (230 g/m²), proporciona apoyo a un panel de madera triple de 12 mm. de espesor. Estos paneles son atornillados dentro de la chapa de acero.
- 12 mm de espesor de panel de cartón yeso con un resistente acabado proporciona la superficie superior.

Los materiales adecuados para el techo son:

- Aislamiento acústico y térmico: 45 mm. de espesor de lana mineral (30 minutos de resistencia al fuego)

o 70 mm. de espesor de lana de roca (60 minutos resistencia al fuego).

- Dos paneles de cartón yeso de 12mm de espesor (30 minutos de resistencia al fuego) o dos paneles resistentes al fuego de 12 mm. de chapas resistentes al fuego (60 minutos de resistencia al fuego).

Maison PHÉNIX

El líder del mercado francés en el sector de la construcción es la firma Maison Phénix, consta de 50 años de experiencia, realizando una entrega de aproximadamente 6.000 viviendas al año. La estructura de acero está realizada mediante perfiles de tipo IPN / IPE o perfiles angulares. Posibilita una mayor flexibilidad en el diseño y personalización de productos creando una amplia gama de formas de viviendas con una amplia variedad de fachadas.



Figura 8.14 Maison Phénix durante su construcción, mostrando los detalles de la cubierta para una casa de planta única



En la Figura 8.14. Se muestran los detalles que utilizan este sistema de construcción de viviendas los cuales principalmente se utilizan en viviendas de una sola planta.

Práctica Actual en Suecia

Introducción

En Suecia, la utilización principal del acero en la construcción es, mediante el sistema slim floor para oficinas y viviendas y es utilizada también en muros de acero ligero a menudo utilizando perfiles de tipo C perforados o ranurados. Es posible la creación de estructuras de forjado poco hondas, lo cual es muy importante en Suecia. Los costes de trabajo son una gran parte del importe total de la construcción final y la

rapidez de la construcción en obra es también muy importante.

Sistemas Slim Floor

Los sistemas Slim floor contienen vigas superficiales, cuyas luces logran flexibilidad en el trazado del plano para la construcción de apartamentos. La baja altura depende no solo del forjado por sí mismo sino también de las vigas de borde y de las vigas internas que son diseñadas con anchas alas inferiores. La ensambladura entre la viga de apoyo y la losa de núcleo tubular es rellenada de hormigón. Las vigas de acero son después protegidas por el hormigón circundante. En la edificación residencial es común la construcción de un sistema de forjado secundario. Los servicios pueden instalarse

horizontalmente entre los elementos del forjado superiores e inferiores.

Construcción en Acero Ligero

La construcción en acero ligero consiste en perfiles de acero conformados en frío autoportantes y losas, como se describe en el capítulo 3. Pueden fabricarse en obra o prefabricarse en taller en forma de sistemas de cassettes o elementos que más tarde son colocados en la obra. Una construcción típica de forjado consiste de perfiles tipo C con un espaciado de 600 mm. La altura del perfil de las viguetas es de entre 150mm y 300 mm, dependiendo de la luz. La chapa trapezoidal es unida al ala superior y también puede transferir carga en plano horizontal. Cuando los perfiles de tipo C con un canto de



Figura 8.15 Ejemplo de una edificación residencial de 7 plantas utilizando el sistema de forjado integrado, Suecia

300 mm son utilizados, la luz máxima del forjado es de aproximadamente 8 m. La experiencia actual es que las estructuras de acero ligero con una luz de 4m o 4.5 m son más económicas para el sector de la construcción de viviendas y unos detalles efectivos aseguran un buen aislamiento acústico.

Las construcciones en acero ligero son utilizadas como sistemas portantes en la edificación residencial de hasta tres plantas. La edificación de acero ligero

habitualmente se combina con otros sistemas de estabilización tales como perfiles de acero enrollados o perfiles de acero soldados. El peso total del forjado es menor que 150 kg/m² de área de forjado.

Construcción Modular

El sistema modular *OpenHouse* ha sido utilizado en Annestad en Malmö y está basado en un mallazo de pilar de 3.9 m. El empleo del sistema *OpenHouse* es presentado en los casos de estudio.

09 Casos Prácticos

En este capítulo, se presentan una serie de casos prácticos para ilustrar el diseño y los principios constructivos comentados anteriormente en la guía. Estos casos prácticos cubren un amplio rango de formas de construcción y diferentes ubicaciones a lo largo de Europa.

A continuación, se resumen los casos prácticos y sus sistemas estructurales:

- *Paragon, Londres.*
Una serie de edificios residenciales de 4 a 17 plantas de con módulos agrupados alrededor de núcleos de arriostramiento en hormigón.
- *Viviendas sociales, Evreux.*
Edificación residencial de 4 plantas utilizando sistema de construcción en seco.
- *La Fenêtre, El Haya.*
Edificación residencial de varias plantas apoyadas en pilares de acero inclinados.
- *Torres bioclimáticas, Vitoria-Gazteiz.*
Cuatro torres con estructura metálica de 16 plantas con una sostenibilidad de alto nivel.
- *OpenHouse, Malmö.*
Sistema modular para apartamentos de cuatro plantas.

*Paragon,
Londres*

*Viviendas Sociales,
Evreux*

*La Fenêtre,
El Haya*

*Torres Bioclimáticas,
Vitoria Gazteiz*

*El Sistema OpenHouse,
Malmö*

Paragon, Londres

La edificación modular con más altura de Gran Bretaña ha sido completada por el promotor Berkeley First, aportando un proyecto de viviendas asequibles en el Oeste de Londres. Este proyecto está compuesto de 17 plantas de módulos agrupados alrededor de un núcleo de hormigón.

Aplicación de Beneficios:

- Construcción modular de hasta 17 plantas
- Rápido sistema constructivo
- Minimización de problemas logísticos en obra
- Excelente aislamiento acústico
- Módulos abiertos que proporcionan espacios flexibles
- Módulos apoyados en una estructura inferior principal de acero



El promotor Berkeley First primeramente eligió la construcción modular por su trabajo significativo y empezó el proyecto de viviendas llamado Paragon en Brentford, al Oeste de Londres por su logro en la reducción en el programa de construcción siendo este de 22 meses y la minimización de problemas logísticos en obra.

La localización presentaba dificultad en el acceso, transporte, almacenaje de materiales e infraestructura de obra para los trabajadores y equipamiento debido a su ubicación intercalada entre la autopista M4, unas viviendas suburbanas y una escuela local. La construcción modular resolvió muchos de estos problemas y los módulos fueron entregados en un índice medio de 8 por día en un periodo de 40 minutos por transporte sin el requerimiento de una carretera cortada.

La construcción modular habitualmente esta limitada a 8 o 10 plantas pero, mediante la tecnología utilizada en este

proyecto, se realizó una extensión de hasta 17 plantas, que fue lograda mediante un núcleo de hormigón proporcionando una estabilidad total. De esta manera, los módulos son requeridos para la resistencia de carga vertical y trasferir las cargas del viento al núcleo.

Las primeras fases del proyecto no fueron concebidas originalmente en la construcción modular y por esta razón la eficacia de la fabricación de paneles modulares iguales no fue lograda por completo. No obstante, el sistema de construcción Caledonian, fue capaz de fabricar una amplia gama de tipologías de módulos, muchos con laterales abiertos, para que dos de los módulos pudieran colocarse de lado a lado para proporcionar habitaciones más anchas.

El proyecto comprende 6 edificios de 4, 5, 7, 12 y 17 plantas de altura. El número total de módulos en el proyecto es de 827 y el edificio de 17 plantas consiste

Equipo de Proyecto

Promotor:

Berkeley First

Arquitecto:

Carey Jones

Ingeniería estructural:

**Capita Symonds,
Alan Wood and Partners**

Contratista de la estructura modular:

Caledonian Building Systems

Módulos adjuntados a un núcleo de hormigón

en 413 módulos. El tamaño típico de un módulo es de 12 m x 2.8 m, pero algunos módulos son fabricados en un ancho de hasta 4.2 m, que es el máximo permitido para el transporte por autopista.

El proyecto costó £26 millones y fue concluido en Septiembre de 2006.

Detalles Constructivos

El proyecto Paragon comprende 840 habitaciones de estudiantes, 114 estudios, 44 habitaciones individuales y 63 apartamentos de 2 habitaciones para los empleados. Los módulos fueron combinados para la creación de apartamentos más amplios. Los apartamentos de una habitación y de dos fueron construidos utilizando 2 o 3 módulos, cada uno de 35 a 55 m² de superficie de forjado.

Los módulos fueron construidos mediante perfiles C en acero ligero en los forjados y muros combinados con postes realizados de perfiles tubulares cuadrados o rectangulares, resistiendo las cargas verticales. Los postes fueron de aceros de calidades SHS 80 x 80 o 160 x 80 RHS en espesores variados dependiendo de la altura del edificio. Estos postes colocados entre los paneles del muro de acero ligero. Las vigas de borde utilizadas consistieron en canales de alas paralelos laminados en caliente de 200 x 90 (PFC) a nivel del suelo y de 140 x 70 PFC a nivel del techo en orden



Instalación de módulos en la estructura principal inferior de acero

a diseñar módulos con laterales abiertos parcialmente de hasta 6 m de luz. El forjado combinado y el canto del techo fueron de 400 mm y el ancho combinado de los muros de 290 mm. Ambas construcciones lograron una excelente reducción sonora aerotransportada de alrededor de 60 dB, y una resistencia al fuego de 120 minutos.

Los módulos son ensamblados entre ellos e incorporados al núcleo de hormigón por ángulos de acero unidos a unos canales fundidos en el núcleo de hormigón. Las fuerzas en estas conexiones fueron establecidas por consideración de las fuerzas de viento e integridad estructural. La construcción de los núcleos de arriostramiento se completó a medida que los módulos eran instalados. En algunas áreas, los módulos se instalaron en un podio estructural de acero para el acceso de vehículos bajo el nivel del sótano.

Viviendas Sociales, Evreux

Una edificación residencial constituyendo 4 plantas utilizando un sistema de construcción seca conduciendo a una rápida instalación, flexibilidad en el uso y sostenibilidad a lo largo de su vida útil.

Aplicación de Beneficios:

- Rápida construcción
- Uso intensivo de elementos de acero con construcción en seco
- Construcción ligera y reducción de cimentación
- Posibilidad de reconfiguración futura del edificio
- Flexibilidad en el uso del espacio



Esta edificación fue promovida por el departamento de viviendas sociales y desarrollo público y Servicio de Construcción de Eure (OPAC de l'Eure) en cooperación con el ministerio de Vivienda. Los arquitectos Dubosc & Landowski, habían estado implicados en la promoción del uso intensivo de acero en la construcción durante años, y propusieron un concepto de diseño innovador para este proyecto de viviendas de alquiler que incluía una biblioteca de distrito.

El diseño fue reevaluado completamente a favor de una aproximación de una construcción en seco de acero intensivo con una limitación de hormigón a un mínimo en la planta baja y el sótano.

El proyecto consistió en cinco edificios colindantes con una altura de 4 plantas consistiendo de 51 viviendas sociales radicando en unos apartamentos con superficies desde los 56 m² a s 106 m²,

en una configuración compuesta de entre 2 y 5 habitaciones más una biblioteca de distrito en dos niveles. Las plantas superiores constaban de dos niveles con terrazas y grandes aperturas. Un total de 22 plazas de aparcamientos cubiertas fueron construidas siendo también parte del edificio.

La estructura consistía en una estructura principal realizada en acero con un forjado de gran canto y un tablero de forjado cubierta metálica curva, unas escaleras exteriores de acero y un arriostramiento en forma de X. El sistema de construcción total es de peso ligero y potencialmente extensible o desmontable en el futuro.

El proyecto fue parte de una serie de iniciativas urbanas de renovación en Evreux, Normandía. El coste total del edificio fue de 775 €/m² de área, de los cuales un 20% del coste económico fueron la estructura de acero, forjados y cubierta. El edificio fue concluido en 9 meses,

Equipo de Proyecto

Promotor:

OPAC de l'Eure

Arquitecto:

Dubosc & Landowski

Diseño de oficina:

Bohic

Contratista:

Quille

Uso mixto de materiales

Forjado intermedio mostrando el amplio espacio abierto para una disposición flexible de tabiquería y uso intensivo de elementos de acero

principalmente debido a la naturaleza prefabricada del proceso de construcción.

Detalles Constructivos

La estructura estructural consistía de perfiles de acero laminados en caliente. El arriostramiento fue realizado mediante un sistema de barras transversales planas integradas en los tabiques y en el canto de la losa para el arriostramiento horizontal. Esta estructura estructural está expresada desde diversos puntos del edificio, ambos interior y exterior mostrando la aproximación radical del diseño.

El envolvente es una combinación de paneles de Madera y chapas de acero con un contraste arquitectónico en colores y textura. La cubierta está realizada mediante chapas de acero arqueadas apoyadas por correas.

El forjado es un sistema seco mixto llamado PCIS "Plancher Composite Interactif Sec" fabricado por ArcelorMittal consistiendo en una combinación de chapa colaborante perfilada y lana mineral para el aislamiento sonoro y térmico, unos paneles de Madera y una guía flotante. Las vigas fueron integradas en

el canto de la losa a 320 mm con una luz de hasta 6 m para una sobrecarga en uso de 1.5 kN/m² más una carga distribuida de 1 kN/m² (tabiques y acabados).

Todos los materiales fueron accesibles siendo manejados e instalados por los trabajadores en un proceso rápido de construcción. Las partes más grandes de los elementos del edificio fueron fabricados por una fábrica proporcionando una alta calidad y un proceso rápido en la construcción.

Una resistencia al fuego de 30 minutos fue lograda mediante la colocación de dos tableros de cartón yeso con una medida de 13 mm para los techos. El rendimiento acústico y térmico fueron mejores que los requeridos, conduciendo a la obtención de una etiqueta de calidad en Francia llamada "EDF-Innov'elec".

El hormigón ligero fue utilizado en áreas limitadas, principalmente en el sótano y la planta baja. El uso del hormigón ligero condujo a una reducción de peso del edificio y por consiguiente el tamaño de la cimentación.



La Fenêtre, El Haya

Un innovador sistema constructivo fue utilizado para la creación de un edificio de apartamentos de 16 plantas en el centro de la ciudad de Den Haag, en los Países Bajos. La superestructura de acero está apoyada mediante unas piernas tubulares inclinadas mientras el edificio proporciona un máximo de transparencia debido a su fachada acristalada.

Aplicación de Beneficios:

- Estabilidad proporcionada por pilares tubulares inclinados
- Fachada transparente con forjados de poco canto
- Losa de hormigón con tuberías de agua embebidas
- Resistencia al fuego de 120 minutos
- Distribución de los servicios bajo el forjado
- Excelente aislamiento acústico



Una excitante estructura de acero, llamada La Fenêtre forma un vestigio en una intersección de una carretera de tráfico continuo en El Haya (Den Haag) cercano a Rotterdam. Sus 16 plantas de apartamentos son apoyados en unas piernas tubulares inclinadas. Es utilizado un sistema estructural novedoso llamado Slimline, el cual está basado en una serie de vigas en forma de I con una luz de 0.6 a 0.9 m, en el cual una losa de hormigón es prefabricada alrededor del ala inferior de la viga. La cobertura de la losa prefabricada es de 2.4 m, siendo esta, una medida adecuada para el transporte e instalación.

La losa invertida es de un espesor típico de 70 mm y es expuesta en su cara inferior. Los servicios son colocados bajo suelo en la losa proporcionando calefacción y el aire acondicionado. El forjado unido al ala superior tiene una luz entre las vigas, pudiendo utilizar una guía de cartón yeso colocada en el tablero de forjado o en un forjado poco profundo.

El sistema de construcción también puede utilizarse en oficinas y hospitales donde es necesaria la distribución de los servicios bajo el forjado. Las tuberías de agua de este edificio también fueron encastradas en la losa para la facilitación de la calefacción. La losa invertida está capacitada para la radiación de calor o frío al recinto.

La fachada es totalmente acristalada y junto con sus largas piernas tubulares de 20 m el edificio se asemeja transparente. La estructura es arriostrada internamente consistiendo esta en elementos tubulares colocados estratégicamente.

Las pruebas de Resistencia fueron realizadas en el TNO en Delft para justificar los 120 minutos de Resistencia al fuego de las vigas de acero, por otra parte desprotegidas debido al aislamiento térmico proporcionado debido a la losa invertida. También fue logrado un excelente aislamiento acústico.

Equipo de Proyecto

Cliente:

Latei projectontwikkeling

Arquitecto:

Architectenbureau Uytengaak

Estructura de acero:

Oostingh Staalbouw

Proyecto de ingeniería:

Adams

Contratista del forjado:

PreFab Limburg BV

Contratista de servicios:

Heijmans

La construcción empezó al principio del año 2004 y fue acabada a finales del año 2005.

Detalles Constructivos

Diversas tipologías de vigas de acero pueden utilizarse conjuntamente con el sistema Slimline, dependiendo de la luz y de la carga. Aunque el ala superior de la viga no está empotrada lateralmente, un empotramiento de torsión por la losa encastrada alrededor del ala inferior, es proporcionado. La modulación típica de la viga es de 20m, y por ello una viga de forma I con un canto de 450 mm puede tener una luz de hasta 9 m.

Los servicios fueron integrados a través de unas largas aberturas formadas en el alma de las vigas, para ello, un forjado fue realizado con un canto de 600 mm.

La losa invertida de hormigón fue diseñada para soportar su propio peso y las cargas de los servicios de un espesor típico de 70 mm. El forjado está compuesto de una guía de cartón yeso vertido en un tablero de forjado o un forjado poco hondo de (20 mm) con un espesor de 60-80 mm. La estructura fue

diseñada para apoyar la carga del forjado impuesto de hasta 3 kN/m².

Los paneles prefabricados de forjado mediante el sistema Slimline pueden ser apoyados por un perímetro de vigas de acero colocadas bajo los paneles de forjado. La losa está encastrada a 100mm del borde de las vigas. Las vigas de apoyo son colocadas linealmente mediante unos tabiques. Las tuberías de la calefacción y del aire acondicionado también pueden encastrarse dentro de la losa dependiendo del empleo de las mismas radiando hacia el espacio inferior.

En el proyecto de La Fenêtre, las piernas tubulares inclinadas fueron colocadas bajo una posición de pilares en un mallazo con unas medidas de 6 m x 9 m conduciéndolas hasta 8 posiciones discretas a nivel del suelo para optimizar el requisito de la cimentación. Los costes económicos de la protección al fuego fueron reducidos al mínimo debido al aislamiento térmico proporcionado por la losa invertida y el uso de los elementos tubulares de gran masa. La edificación fue estabilizada por los pilares tubulares con un arriostramiento tubular interno.



Edificio en construcción



Distribución de servicios bajo el forjado en el sistema Slimline

Torres Bioclimáticas, Vitoria Gazteiz

Las Torres Bioclimáticas están ubicadas en el humedal protegido de Salburua, Vitoria, donde se levantan 4 torres similares de viviendas, locales comerciales y oficinas, utilizando 1.400 toneladas de acero. Mediante un diseño bioclimático se logró un aprovechamiento de la radiación solar.

Aplicación de Beneficios:

- Solución arquitectónica atípica
- Alta sostenibilidad y eficiencia energética
- Prefabricación de la estructura
- Máxima flexibilidad en el aprovechamiento del espacio
- Reciclabilidad de los materiales
- Uso intensivo de elementos de acero



Torres Bioclimáticas

(Izquierda) Vista de la estructura de acero terminada

Salburua es un humedal protegido de importancia internacional, situado en la periferia de la ciudad, formando parte del “Cinturón Verde” de Vitoria-Gasteiz.

En el límite de la ciudad, donde ésta se encuentra con la naturaleza, se levantan cuatro torres de oficinas y viviendas sociales que tratan de establecer una relación geográfica y visual entre el centro histórico y el humedal protegido de Salburua. Se desarrollaron según criterios de diseño de máxima sostenibilidad y eficiencia estructural en su proyecto, construcción y mantenimiento futuro.

Todas las viviendas situadas en las torres constan de dos orientaciones. Las torres son altamente sostenibles debido a su

óptima orientación, a la eficiencia energética en fachada y a la integración de sistemas de energía renovable.

Las torres de Salburua fueron exhibidas en el Museo de Arte Moderno (MOMA) de Nueva York. El proyecto fue diseñado por dos prestigiosos arquitectos Iñaki Abalos y Juan Herreros. Cada torre de 48 m. de altura tiene una superficie útil de 281,5 m² por planta.

Estas torres bioclimáticas de 16 plantas fueron construidas con estructura de acero perimetral, forjados de hormigón armado y pilares interiores (únicamente 4 pilares de acero por planta). Las cuatro estructuras constan de 1.400 toneladas



Torres bioclimáticas bajo construcción

Equipo de Proyecto

Cliente:

Ensanche XXI

Arquitecto:

Ábalos & Herreros

Promotor:

Jaureguizahar S.L

Estructura de acero:

Goros Construcciones**Metálicas S.Coop (Vitoria-Gasteiz)**

Fabricación fuera de obra de los paneles estructurales de fachada



Forjado con pilares internos en las obras del edificio

de acero. El presupuesto total de la estructura de acero de las cuatro torres fue de aproximadamente 2,35 millones de Euros. La obra de dicha edificación concluyó en el año 2006.

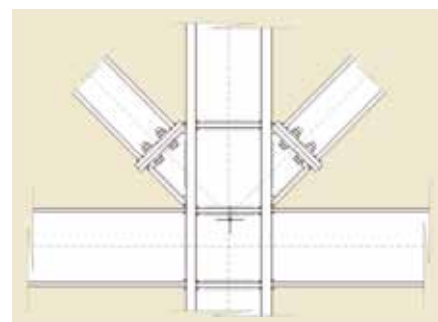
Detalles Constructivos

La estructura se realizó con cuatro paneles prefabricados por cada dos plantas del edificio (aproximadamente de una altura de 6 m.). La estructura principal de acero fue íntegramente fabricada en taller siendo de esta manera la fase del montaje en obra, más eficaz y rápida.

El forjado de hormigón armado (utilizando hormigón HA-25), construido totalmente en obra, consistió de una losa maciza con un canto de 250 mm., con lo que se conseguían luces máximas de 7 m.

Los pilares mixtos de acero y hormigón varían de sección en función de la altura del edificio. Las secciones de acero de los pilares iban desde HEM200 a HEM600 o desde HEB180 a HEB500 con acero de tipo S355. La mayoría de los pilares constaban de una cruceta superior de perfil HEM120 y distaban aproximadamente 3 m. Los pilares mixtos tenían embebida armadura de refuerzo (acero B500S, de 8 mm. de diámetro cada 200 mm.) y empotradas en el forjado de hormigón.

Los paneles de fachada estaban compuestos de vigas armadas de más de 1 m de canto con luces variables en el perímetro de las torres desde 2,3 a 2,9 m.



Unión atornillada entre pilares en la primera planta y arriostramiento

Unas uniones soldadas fueron realizadas en taller mientras en obra se llevaron a cabo uniones atornilladas debido a su rapidez de ejecución e independencia de las condiciones meteorológicas.

Se necesitó transporte especial para llevar los paneles estructurales de fachada prefabricados a obra, por su elevado peso de más de 20 toneladas con una longitud de 30 m. y ancho de 6 m.

La estructura fue erigida en un tiempo record de 1,5 días por forjado de media. El tiempo de construcción y montaje de cada torre fue de aproximadamente cuatro meses, dos para la fabricación en taller y otros dos para el montaje en obra.

Agradecimientos:

A GOROS S. Coop. en Vitoria, País Vasco (www.goros.net) y especialmente a Miguel Angel Zudaire (Director técnico), Raúl Etayo (encargado de obra), Pedro Marchan (jefe de obra) y Mikel Zudaire.

El Sistema OpenHouse, Malmö

El objetivo del sistema OpenHouse es construir viviendas económicas de buena calidad, medioambientalmente sostenibles en un corto tiempo de ejecución usando construcción modular. Este proyecto ubicado cerca de Malmö consta de 1.200 apartamentos de diversas distribuciones en planta.

Aplicación de Beneficios:

- Adaptabilidad en uso y forma de las viviendas
- Sostenibilidad mediante bajo consumo de material con reciclabilidad y reutilización del material
- Minimización de riesgos y una buena calidad mediante la aplicación de principios de industrialización y construcción en seco in situ
- Amplia gama en cerramientos, cubiertas y opciones para los balcones
- Alto nivel en aislamiento acústico y térmico



Módulo abierto OpenHouse durante su instalación con postes adicionales temporales



Annestad en Malmö, Suecia, es un gran complejo residencial realizado mediante los estándares suizos. Durante un periodo de cuatro años fueron construidos un total de 1200 apartamentos. La urbanización fue dividida en unos bloques con alturas de dos a cinco plantas finalizados en el año 2006. El proyecto comprende apartamentos de alquiler y en propiedad. El coste de alquiler de cada apartamento es de aproximadamente 110 € por m² al año.

El proyecto OpenHouse utiliza módulos totalmente equipados y construidos con estructura ligera de acero. Los módulos se basaron en una cuadrícula de 3,9 m.

constando todos ellos de longitudes múltiples de esta cantidad. Los postes perimetrales son perfiles tubulares de sección cuadrada (SHS).

El tamaño de los apartamentos varía desde una habitación con cocina a 4 habitaciones con la cocina. Los materiales utilizados para la fachada, fueron una combinación de ladrillo, paneles, mortero aislante y madera. Los módulos se distribuyen según una configuración desplazada para crear una línea de fachada variable. Se añadieron en obra las cubiertas metálicas, los paneles de fachada y los balcones a los módulos.

Equipo de Proyecto

Cliente:

**Hyreshem Malmö /
OpenHouse Production**

Arquitecto:

**Landskronagruppen /
OpenHouse Production**

Contratista principal:

OpenHouse Production

Proveedor de módulos:

OpenHouse Production**Detalles Constructivos**

Cada módulo fue resuelto mediante 6 pilares tubulares de sección cuadrada (SHS) que soportan el peso de los módulos superpuestos en una cuadrícula tridimensional de 3,9 m.

Las dimensiones interiores de los módulos son de 3,6 m. de ancho por hasta 11 de largo. Los módulos pueden tener un voladizo de 1,7 m. desde el pilar de la estructura exterior. El peso final de cada módulo está entre 5 y 8 toneladas. Los módulos fueron construidos para transmitir las cargas horizontales a los elementos de estabilización, por ejemplo, las escaleras de acero u hormigón. El sistema puede tener una altura de 8 plantas, no obstante lo habitual sería una altura de 5 plantas.

Los módulos utilizan estructuras de acero ligero en combinación con lana mineral y placas de yeso. Los paneles exteriores constan de montantes de acero ligero

ranurados, lana mineral y placas de yeso, proporcionando un adecuado aislamiento térmico. La cubierta y el forjado del módulo están realizados mediante vigas de acero ligero, lana mineral, placas de yeso y chapas trapezoidales en acero. Hasta la quinta planta, los módulos son autoportantes ante las cargas verticales y horizontales.

Los montantes ranurados que comprenden lana mineral proporcionan un alto nivel de aislamiento térmico con un valor U de aproximadamente 0,1 W/m²K. Los módulos parcialmente abiertos fueron fabricados utilizando postes intermedios, para que los módulos pudieran colocarse lateral con lateral para la creación de habitaciones mayores.

Una vez levantado en posición en obra, los módulos se conectaron a los postes SH, se finalizaron los forjados introduciendo los servicios entre los módulos abiertos.



Instalación de un módulo con fachada integrada



Proyecto residencial Annestad cerca de Öresund, al Sur de Suecia

**ArcelorMittal**

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

**Bouwen met Staal**

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

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

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

**Forschungsvereinigung Stahlanwendung (FOSTA)**

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

**Labein - Tecnalia**

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

**SBI**

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

**The Steel Construction Institute (SCI)**

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

**Technische Universität Dortmund**

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