

## Capítulo 2 – Generalidades sobre Forjados Mixtos de Chapa Colaborante

### 2.1. Definición y descripción

Un Forjado Mixto de Chapa Nervada Colaborante es un elemento estructural plano, compuesto por hormigón y acero, donde el acero se presenta en forma de lámina provista de una serie de nervios que contribuyen a reforzar la resistencia, junto con el hormigón, una vez endurecido.

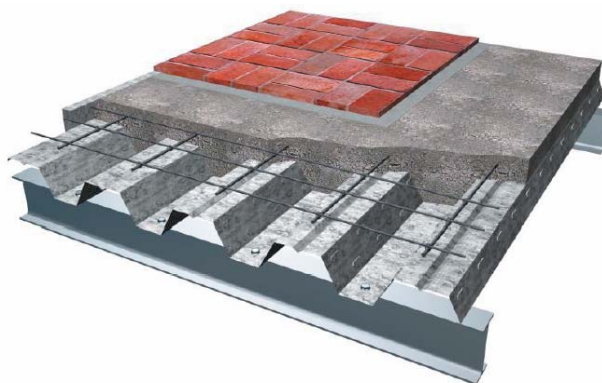


Figura 2.1. Vista de forjado mixto de chapa colaborante.

Un forjado mixto de chapa colaborante está constituido por una chapa grecada de acero sobre la cual se vierte una losa de hormigón que contiene una malla de armadura. En este tipo de forjado la chapa grecada sirve de plataforma de trabajo durante el montaje, de encofrado para el hormigón fresco y de armadura inferior para el forjado después del endurecimiento del hormigón. También puede servir de arriostramiento horizontal de la estructura metálica durante la fase de montaje, siempre y cuando su fijación con ésta sea la adecuada.

Las chapas grecadas deben tener una resistencia y una rigidez suficientes para desempeñar la función de encofrado, en la medida de lo posible y sin apeos provisionales. Además, para asegurar una buena conexión entre acero y hormigón, deben disponer de un perfil particular en cuanto a la forma de las grecas y de las nominadas indentaciones.

Los forjados mixtos de chapa colaborante están apoyados, normalmente, en un entramado de vigas metálicas. A estos efectos se requiere una conexión adecuada entre el forjado y las vigas metálicas que impida los deslizamientos relativos entre estos elementos. Al conectar el forjado mixto de chapa colaborante con las vigas mediante conectadores, el conjunto resultante constituye un forjado mixto de chapa colaborante con vigas mixtas de acero-hormigón.

La conexión entre vigas metálicas y el forjado mixto se materializa a menudo mediante pernos soldados a las alas superiores de las vigas metálicas. La realización de estas soldaduras puede presentar algunas dificultades relacionadas con la corriente eléctrica necesaria, con la presencia de humedad en las superficies metálicas, así como la presencia de una protección contra la corrosión de las vigas (pintura) y de la chapa (galvanizado). Con el fin de evitar estos problemas se han desarrollado conectadores cuya fijación con las vigas metálicas se realiza mecánicamente mediante clavos. Este tipo de conexión se presta particularmente para las aplicaciones con chapas grecadas ya que su fijación a través de éstas se puede realizar sin dificultades.

En la mayoría de los forjados mixtos, las chapas grecadas son continuas sobre las vigas metálicas. Consecuentemente, los forjados de chapa colaborante suelen ser continuos sobre varios vanos y requieren la disposición de una armadura superior de refuerzo para resistir los momentos negativos.

El *Eurocódigo 4: Diseño de estructuras compuestas de acero y hormigón*, engloba esta tipología de forjados como una tipología más de estructura mixta, dándole un tratamiento como tal.

Aunque el forjado mixto de chapa colaborante como tal tiene únicamente variaciones en función del tipo de chapa, descritas en el apartado 3.2, diferenciamos otras tipologías de forjado mixto atendiéndonos a la disposición y el tipo de vigas que conforman el entramado sobre el que se apoya la chapa y el hormigón. La utilización de uno u otro tipo dependerá de las necesidades del proyecto; luces a cubrir, métodos constructivos, integración de servicios, etc. Éstas se describen a continuación:

- *Slimfloor* (forjado con vigas integradas). Esta solución integra las vigas de acero dentro del espesor ocupado por las chapas grecadas y de hormigón. En este caso, el ahorro de la altura por planta es considerable.

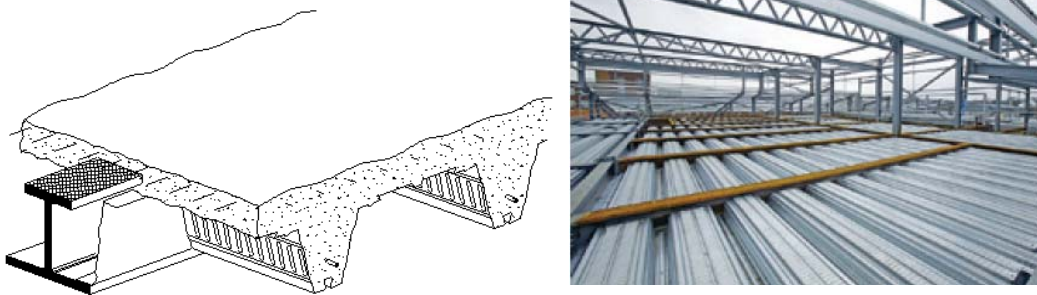


Figura 2.2. Slimfloor.

- *Parallel Beam Approach* (acercamiento de vigas paralelas). Las vigas primarias trabajan como vigas metálicas convencionales, conectadas por ménsulas a las columnas. Se suelen disponer dos en paralelo rigidizándolas transversalmente en las zonas donde entregan las vigas secundarias y en la zona entre columnas, mejorando su comportamiento frente pandeo lateral. Las columnas se disponen con su eje fuerte paralelo a las vigas principales.

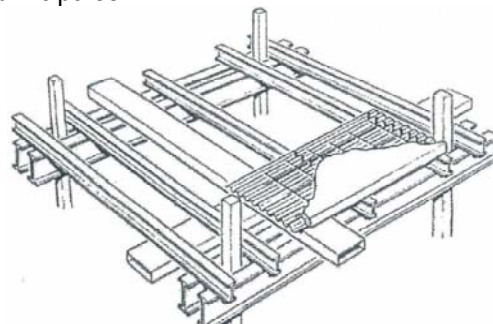


Figura 2.3. *Parallel Beam Approach*.

- Celosías mixtas. Cuando es necesario cubrir grandes luces, las soluciones convencionales mixtas suelen dar espesores muy grandes. Las soluciones con celosías mixtas van acompañadas de la necesidad de pasar gran cantidad de servicios que

hacen que el canto resultante sea aún mayor. Las luces habituales van de los 12 a los 20 metros.

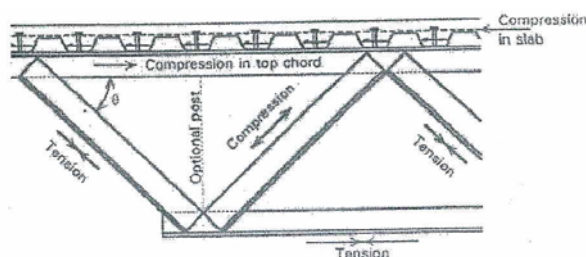


Figura 2.4. Forjados mixtos con celosías mixtas.

- Stub Girders (vigas de tachón). Son apropiados para luces entre 12-20 metros en jácenas principales y entre 8-12 metros en las secundarias. En este tipo de sistemas, al aplicarse una carga se desarrolla una compresión en la losa de hormigón o mixta y una tracción en el cordón inferior, aprovechando de una manera óptima, las características resistentes de cada uno de estos materiales. Esto es posible gracias a que se disponen unos perfiles metálicos cortos, stubs, unidos inferiormente a las vigas por soldadura o tornillos y superiormente mediante pernos.

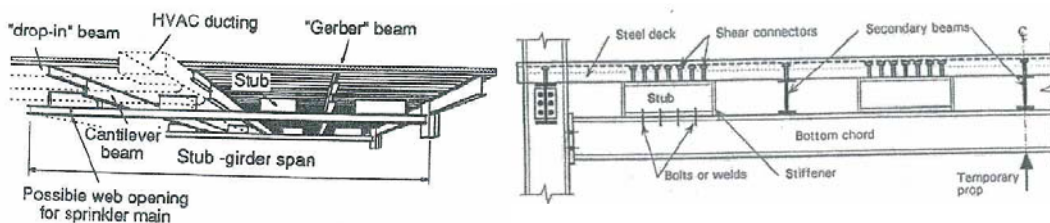


Figura 2.5. Forjados mixtos con el sistema *stub girder*.

- Vigas alveoladas. Este tipo de solución se basa en la utilización de vigas alveolares con huecos circulares en el alma. El esquema estructural utilizado es el de viga continua. El rango de luces va de los 12 a los 18 m.



Figura 2.6. Forjado mixto de chapa colaborante con vigas alveoladas.

## 2.2. Funciones

Los forjados mixtos de chapa colaborante nervada, constituyen una tipología más de forjados, y como tales, deben cumplir las mismas características que los demás.

La principal función de un forjado es recibir las cargas aplicadas y transmitir las, de igual modo que hace con su propio peso al resto de la estructura. Al tratarse de un forjado unidireccional, las cargas se transmiten a través de sus propios nervios a las jácenas y a las vigas de borde, y de estas a los pilares. Además de soportar las acciones verticales, el forjado debe absorber también las fuerzas horizontales actuantes sobre la estructura, entre las cuales se encuentran algunas acciones externas como el viento o el sismo. Frente a estas acciones, el edificio debe comportarse como un elemento monolítico. Ésta es la función principal del forjado en este sentido: solidarizar los entramados a nivel de cada planta. El forjado debe actuar como un diafragma, es decir, debe comportarse como una losa, haciendo que el edificio trabaje de forma continua.

Adicionalmente, el forjado materializa la separación entre plantas consecutivas y desempeña otras funciones, como el aislamiento entre plantas o el soporte de los acabados.

Las chapas nervadas colaborantes cumplen dos funciones principales:

- Soportar las cargas durante el hormigonado, normalmente sin necesidad de sopandas.
- Ejercer una acción colaborante con el hormigón una vez que éste ha adquirido una resistencia suficiente. Ello se consigue, parcialmente, mediante indentaciones en la chapa.

Realizan, además, otras funciones secundarias que son tenidas en cuenta por proyectistas y constructores:

- Se utilizan como plataformas de trabajo y ejercen una función de protección a la intemperie y de seguridad contra la caída de objetos.
- Estabilizan y rigidizan las estructuras durante la fase de construcción (siempre que se respeten las densidades y reparto de las fijaciones).
- Actúan como armaduras de la losa de hormigón y ayudan a prevenir su rotura.

### 2.3. Campo de aplicación

Los forjados mixtos de chapa colaborante se pueden aplicar a estructuras de edificación en que las cargas impuestas sean predominantemente estáticas o edificios industriales con forjados sometidos a cargas móviles. Las losas mixtas se pueden emplear en estructuras con cargas impuestas considerablemente repetitivas o aplicadas bruscamente, y para proporcionar un arriostramiento lateral a las vigas de acero, actuando como diafragma para resistir la acción del viento.

La protección estándar contra la corrosión de la chapa consiste normalmente en una capa delgada de galvanizado. Esta protección es generalmente suficiente para los usos más comunes de las losas mixtas (es decir, en atmósferas interiores secas).

Queda claro pues que las losas mixtas disponen de un amplio uso en muchas ramas de la construcción industrial. Algunos ejemplos pueden ser:

- Edificios industriales y plantas de proceso: en estructuras de acero son fáciles y rápidas de colocar.

- Almacenes: el forjado colaborante dota al almacén de la flexibilidad que éste siempre requiere, permitiendo además colocar instalaciones suspendidas y aspersores antiincendios.
- Oficinas y edificios administrativos: las estructuras de acero con losas mixtas disponen de grandes espacios libres y se adaptan a la colocación de conductos e instalaciones en falsos techos.
- Edificios de viviendas y servicios comunitarios: las losas mixtas tienen buena capacidad de aislamiento térmico y acústico.
- Reformas: se suele requerir losas de formas irregulares; además, el acceso a la zona de construcción normalmente es complicado, por lo que la ligereza de las losas facilita su aplicación en estos casos.

## 2.4. Normativa y recomendaciones

Actualmente en España no existe ninguna norma específica para forjados mixtos de chapa colaborante. Por este motivo la normativa de referencia para tratar este tipo de estructuras es el Eurocódigo 4. Dicha norma se inspiró en la norma inglesa BS5950 y trata de ser un compendio de las normas más tradicionales basadas en el análisis en rotura y las tendencias actuales en el análisis en servicio, fragilidad y ductilidad.

Todo y así, al tratarse el forjado mixto como una tipología más de forjado y enmarcado de este modo dentro de la edificación, a continuación se da la normativa actual y recomendaciones sobre este tipo de estructura.

Especificaciones técnicas obligatorias:

- DB SE-A, Documento Básico de Seguridad Estructural-Acero. Código Técnico de la Edificación.
- EHE, Instrucción de Hormigón Estructural.
- NCSE-02 Norma de construcción sismorresistente
- DB SE-AE, Acciones en la edificación

Especificaciones técnicas voluntarias:

- NTE. Normas Tecnológicas de la Edificación.
- Eurocódigo 3.
- Eurocódigo 4.

## 2.5. Ventajas e inconvenientes

Las principales ventajas del forjado mixto de chapa colaborante se podrían resumir como:

- Las losas mixtas son estructuralmente eficientes porque explotan la resistencia a la tracción del acero y la resistencia a compresión del hormigón, mejorando tanto su resistencia como su rigidez.
- Periodos de construcción reducidos. Permite una mayor simplicidad y rapidez en la construcción, ya que la rigidez y el peso reducido de la losa facilitan su transporte, almacenamiento e instalación.

- Ideal para edificios en altura, en donde es posible avanzar con el montaje de la estructura sin necesidad de hormigonar forjados, solamente disponiendo la chapa nervada fijada a las vigas metálicas, que incluso aporta una adecuada capacidad de arriostramiento a efectos horizontales, tanto en la etapa de ejecución como en la de servicio.
- La chapa extendida, premontada y debidamente sujeta, resulta ser una plataforma segura de trabajo, para facilitar el movimiento de las personas y para el acopio de los materiales.
- Puede no necesitar la colocación de apuntalamientos o cimbras para soportar el peso del hormigón antes del endurecimiento del mismo, lo que simplifica mucho la ejecución de la obra, permitiendo ejecuciones muy rápidas.
- La instalación de la chapa nervada proporciona un arriostramiento suplementario de los pórticos de acero durante la construcción. La losa mixta asegura la transmisión de cargas horizontales y elimina la necesidad de arriostramientos horizontales bajo el piso.
- En el caso de forjados a una determinada altura importante, por ejemplo por encima de 5 metros, al no necesitar apuntalamiento ni cimbras resulta muy adecuado para no tener que montar castilletes o varios niveles de apuntalamiento, simplificando y abaratando la ejecución.
- Por la forma de la propia chapa este tipo de forjados permite, con la colocación de elementos complementarios, el introducir instalaciones, evitando en ocasiones la necesidad de disponer falsos techos o falsos suelos de magnitudes importantes. Los accesorios y aperturas para servicios pueden ser hechos fácilmente.



Figura 2.7. Colocación de servicios.

- Dota de una gran flexibilidad a la edificación, ya que las losas mixtas son adaptables y modificables durante la vida del edificio, sobretodo cuando actúan en colaboración con estructuras de acero. También permiten mucha flexibilidad en los servicios e instalaciones.
- Necesita menos construcción in situ, ya que los perfiles de acero se fabrican bajo condiciones controladas, lo que permite alcanzar tolerancias más estrictas y establecer procedimiento de calidad.
- Permite ahorrar hasta un 30% de hormigón, gracias al perfil ondulado y profundo de la chapa de acero. Esta reducción en el peso propio de la losa produce una reducción significativa de la carga que soporta la estructura, dando lugar a una construcción más ligera que un edificio tradicional de hormigón.
- Ahorro en peso de acero entro el 30-50%, si se utilizan conectores (vigas mixtas) respecto las vigas no compuestas.
- La mayor rigidez de los forjados mixtos permiten que éstos puedan ser más delgados para una misma luz, conduciendo a bajar alturas de piso y ahorros en el coste de revestimiento o, alternativamente, permitiendo más espacio para los servicios.

Los forjados mixtos de chapa colaborante constituyen una solución muy económica y por tanto competitiva para un gran número de aplicaciones. No obstante, algunas de las características inherentes al sistema conllevan limitaciones importantes de su campo de aplicación en ciertas circunstancias. En otras palabras, algunas de las ventajas estructurales de esta solución implican desventajas desde otros puntos de vista. Por ejemplo:

- Se trata de un sistema de forjado muy específico adaptable muy bien a estructuras mixtas o metálicas presentando una mayor dificultad en otros tipos.
- A menudo, la resistencia última de un forjado mixto de chapa colaborante viene determinada por la resistencia de la conexión acero-hormigón frente a los esfuerzos rasantes por lo que las luces que se pueden salvar de manera económica son más bien reducidas. Tiene limitada generalmente sus luces hasta el entorno de los 5 metros en estos momentos, salvo aplicaciones muy particulares.
- Es necesario utilizar personal especializado para el montaje del mismo, debiendo cuidar mucho las condiciones de limpieza.
- Deben existir planos de montaje, pues no permite habitualmente la improvisación.
- La conexión entre chapa y hormigón no queda asegurada en caso de acciones dinámicas.
- En ausencia de revestimientos específicos o de falsos techos, la resistencia de los forjados mixtos de chapa colaborante en caso de incendio resulta relativamente modesta.
- La masa muy reducida de los forjados mixtos de chapa colaborante puede contribuir a una cierta tendencia de estos elementos a vibrar de manera perceptible.

## 2.6. Ejemplos reales

A continuación se exponen brevemente una serie de obras donde se ha utilizado el forjado mixto de chapa colaborante.

1. Durante la adecuación de las vías de Sants-Estació a la llegada del AVE, muchos de los forjados realizados han sido mediante forjados mixtos de chapa colaborante. Gracias a ellos, han podido construirse rápidamente y en condiciones de seguridad.
2. La creciente y súbita demanda de vuelos de bajo coste, ha hecho que se realicen ampliaciones de aeropuertos secundarios. Más concretamente, aquí se exponen la ampliación del aeropuerto de Girona. Dadas las características de este tipo de ampliación, el forjado más idóneo ha sido el forjado mixto: plazos de ejecución limitados, rapidez de construcción, mínimo espacio de ocupación, etc. Como se puede observar en la siguiente fotografía.



Figura 2.8. Construcción de forjado mixto de chapa colaborante en el aeropuerto de Girona.

3. Paso superior para cruzar las vías de la estación de RENFE en Vilafranca del Penedés. Se ha realizado con forjado mixto de chapa colaborante. Aunque es una solución provisional, pues está previsto tapar las vías en su paso por la estación de Vilafranca, este forjado ha permitido su realización con independencia de la ejecución de las vías, pues no fue necesario el cimbrado del mismo.



Figura 2.9. Paso superior en la estación de RENFE de Vilafranca del Penedés.

4. Obras de la Sagrera para las mejoras de accesibilidad y nuevo intercambiador para las líneas de metro L1, L4, L5 y L9. Ampliación de los andenes y construcción de un nuevo forjado para los vestíbulos ubicados debajo de la Meridiana.

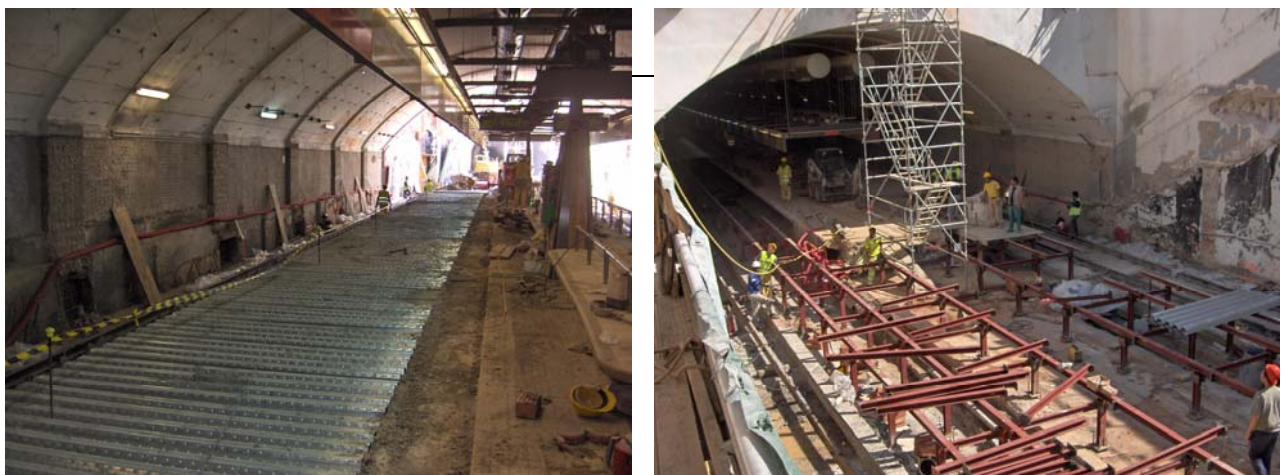


Figura 2.10. Construcción y ampliación andenes estación de la Sagrera.



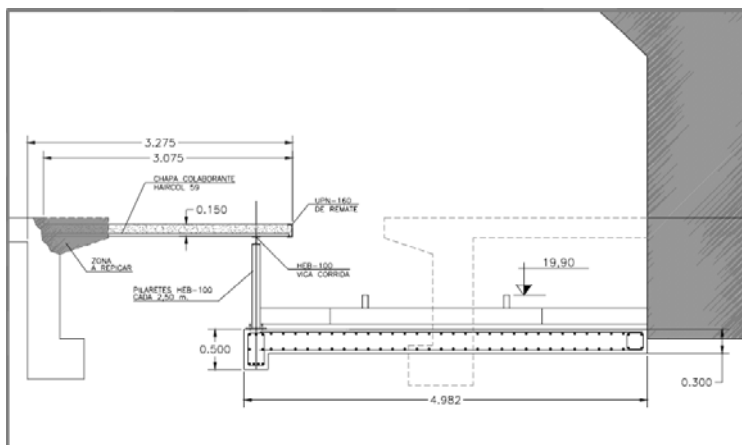


Figura 2.11. Croquis ampliación andenes en la estación de Sagrera.



Figura 2.12. Nuevo forjado vestibulo estación Sagrera, debajo de la Meridiana.