

Capítulo 4 – Comprobación y Dimensionamiento

4.1. Comportamiento resistente

Un forjado mixto de chapa colaborante puede encuadrarse dentro del capítulo de estructuras mixtas. El hormigón es dispuesto sobre la chapa nervada, comportándose como un forjado unidireccional en donde la armadura necesaria que trabaja a tracción para soportar los momentos positivos es la propia chapa, sustituyendo total o parcialmente a las armaduras de tracción o positivos, colaborando el hormigón como bloque comprimido en esas secciones. Además la sección de hormigón se ve complementada con un mallazo situado en la parte superior como armadura para repartir cargas y absorber esfuerzos de retracción y temperatura. En las zonas de momentos negativos es preciso incorporar, habitualmente, la armadura necesaria en barras corrugadas, pudiendo o no, si hay continuidad considerar a la chapa dentro del bloque comprimido (habitualmente no se considera).

Aunque la denominación “losas” corresponde a estructuras planas que trabajan a flexión en dos direcciones, estos forjados tienen un comportamiento lineal por la direccionalidad que le confieren las nervaduras de la chapa, y se pueden considerar como “vigas mixtas planas” que funcionan con criterios similares a los que podremos encontrar en las secciones 1-7 del Eurocódigo 4. El hecho que la sección 9 del Eurocódigo 4 esté dedicada exclusivamente a los forjados mixtos de chapa es debido a sus características constructivas y la incidencia que tienen en la función resistente.

Para que la sección de hormigón y chapa pueda responder adecuadamente como estructura mixta, la propia chapa ha de llegar a aproximarse al agotamiento, por lo que es preciso que la sección tenga capacidad resistente suficiente a la tensión rasante a la que se ve solicitada en la interfaz entre la chapa y el hormigón. Por ello, resulta determinante que el mecanismo de adhesión primero y conexión mecánica posterior, funcionen adecuadamente y ante sollicitaciones lo mayores posibles. Para conseguir aumentar esta capacidad resistente a tensiones rasantes, es posible adicionar al forjado mixto elementos como conectadores que, situados en los apoyos, colaboran como tercer mecanismo en la absorción de las tensiones rasantes y pueden llegar a producir el agotamiento a tracción e la propia chapa.

Otra posibilidad sería disponer armadura pasiva adicional, de forma que se disminuyan las sollicitaciones de esfuerzos rasantes.

En relación con el hormigón cabe indicar que, a diferencia de en otros elementos estructurales se suele utilizar para edificios altos, frecuentemente hormigón ligero, siendo preciso considerar unas características resistentes, en lo que a capacidad resistente a tensiones rasantes se refiere, ligeramente inferiores a la de un hormigón normal, siempre dependiendo del tipo de chapa utilizada.

La actuación de la chapa colaborante como elemento similar al de la armadura de positivos de una sección de hormigón armado, hace que sea preciso que la misma deba mantenerse ligada al hormigón con objeto que pueda trabajar como una sección mixta. Por lo tanto, en este tipo de forjados resulta determinante garantizar la transferencia de esfuerzos entre hormigón y chapa que se realiza habitualmente a través de las denominadas indentaciones o embuticiones que la propia chapa debe poseer. Tres son los mecanismos que se consideran garantizan la acción mixta entre la chapa y el hormigón:

- Adhesión chapa-hormigón (1ª Fase)
- Colaboración de las indentaciones (2ª Fase)
- Colaboración de los conectadores situados en los extremos del vano.

4.1.1. Tipos de comportamiento.

Encontramos tres tipos de comportamiento, tal i como se muestra en la figura 4.1:

- Interacción completa entre el acero y el hormigón: no existe deslizamiento global en la superficie de contacto acero-hormigón. La transferencia del rasante horizontal es completa y la carga última P_u está en su máximo -la acción mixta es completa-.
- Interacción nula entre acero y hormigón: deslizamiento global en la superficie de contacto acero-hormigón sin límite y prácticamente no hay transferencia del rasante. La carga última se encuentra en su mínimo y apenas se observa una acción mixta.
- Interacción parcial entre acero y hormigón: el deslizamiento global en la superficie de contacto no es cero pero está limitado. La transferencia de rasante es parcial y la carga última se encuentra entre las de los casos anteriores. El fallo puede ser frágil o dúctil.

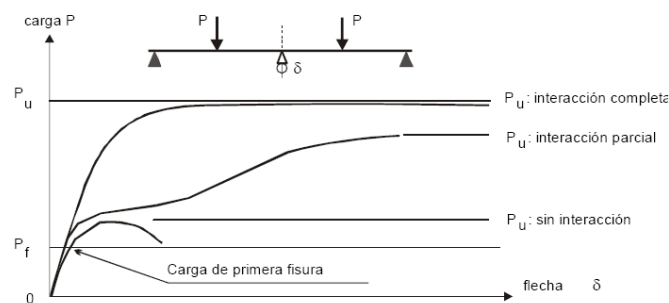


Figura 4.1. Comportamiento de la losa mixta

La rigidez de la losa mixta, representada por la primera parte de la curva $P - \delta$, es diferente para cada tipo de comportamiento. Esta rigidez es máxima para la interacción completa y mínima para la interacción nula.

4.1.2. Formas de rotura.

La rotura de la losa mixta puede ser de dos maneras diferentes, representadas en la figura 4.2:

- Frágil, en cuyo caso el fallo surge de forma repentina y sin deformaciones importantes apreciables.
- Dúctil, que se produce progresivamente con deformaciones significativas al llegar al colapso.

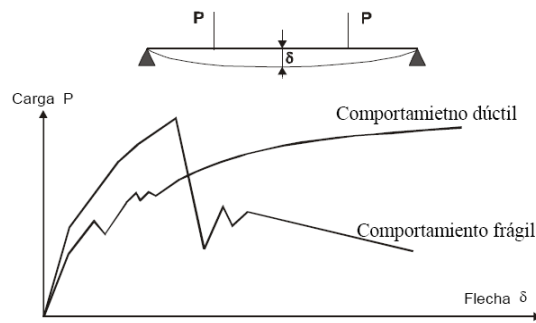


Figura 4.2. Respuesta carga-flecha de losas frágiles y dúctiles

El que la losa presente un modo de fallo frágil o dúctil depende de las características de la interfase acero-hormigón. Las losas con perfiles abiertos experimentan un comportamiento más frágil que aquellas con perfiles reentrantes que exhiben un comportamiento más dúctil. Sin embargo los fabricantes de las chapas aminoran la tendencia al comportamiento frágil mediante diversos medios mecánicos, tales como embuticiones o hendiduras y el uso de formas en cola de milano. Los conectores de rasante en la viga y la losa también influyen en el modo de fallo.

4.1.3. Esfuerzo rasante. Conectores.

La capacidad resistente a flexión de un forjado mixto vendrá limitada por la capacidad resistente a tensiones rasantes, ya que la primera sólo podrá llegar a desarrollarse hasta el límite si el binomio chapa-hormigón posee una adherencia tal, que la acción compuesta entre ambos componentes queda garantizada.

La resistencia a las tensiones rasantes se desarrolla, si no existen conectores en dos fases principales, como se indica en la figura 4.3. Estas fases coinciden, la primera de ellas, con la adhesión entre la chapa y el hormigón, y la segunda, denominada "mechanical interlocking", con la adherencia lograda a través del engarce o trabazón existentes entre chapa y hormigón, por medio de unos mecanismos internos, como indentaciones o resaltos. Ambas fases resistentes resultan consecutivas, no comenzando el trabajo de la siguiente hasta haber agotado la adhesión a la primera, produciéndose en ese momento un corrimiento, entre ambos componentes, denominado "primer corrimiento".

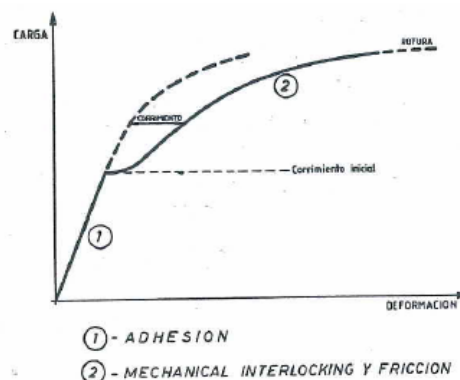


Figura 4.3. Desarrollo de las tensiones rasantes cuando no existen conectores.

Si existiesen conectores en los apoyos del forjado sobre las correspondientes vigas, éstos comenzarían a resistir las tensiones rasantes una vez hubiera fallado la fase “mechanical interlocking”.

Tipos de conexión de las vigas secundarias cuando utilizamos conectores

Cuando en los Forjados Mixtos de Chapa Colaborante se utilizan conectores, estos hacen que las vigas de apoyo, vigas secundarias, trabajen como mixtas.

Las condiciones de conexión completa en las vigas secundarias son difíciles de alcanzar; además, en el dimensionado suelen intervenir criterios que no son de resistencia: el espesor de la cabeza se hace coincidir con el forjado, los perfiles se unifican constructivamente en pocos tipos, etc., y en consecuencia las barras resultan sobredimensionadas si se considera conexión completa, lo que se puede compensar colocando menos conectores y realizando conexión parcial.

Este planteamiento justifica la conexión parcial como una adecuación de las dimensiones genéricas de la viga mixta a la sollicitación por medio del número de conectores; estudios experimentales avalan este comportamiento que se representa en la figura 4.3, relacionando el momento de agotamiento en la pieza con la compresión en su cabeza: la reducción de resistencia a flexión es pequeña mientras el colapso se asocia al aplastamiento del hormigón – tramo BC, conexión completa- pero al disminuir el número de conectores el fallo se produce en la conexión y la resistencia decrece rápidamente –tramo A'B- hasta que la conexión es insuficiente y sólo resiste la viga metálica –tramo AA'; los diagramas tensionales correspondientes a cada tramo se representan en la figura 4.4.

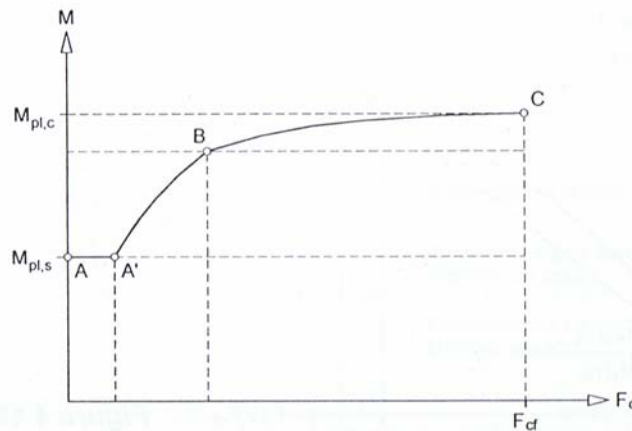


Figura 4.3. Momento agotamiento de la pieza vs compresión en la cabeza.

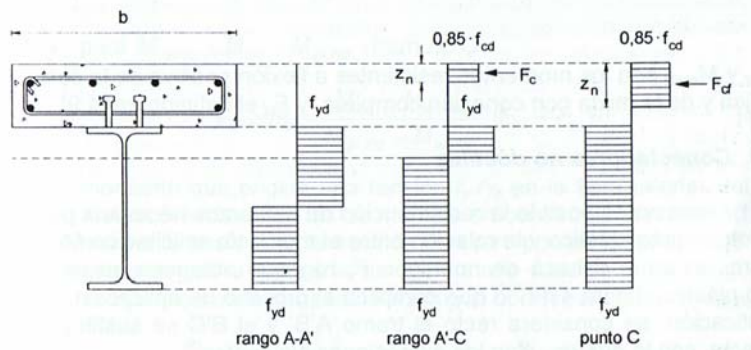


Figura 4.4. Diagramas tensionales correspondientes a la figura 4.3.

En una publicación del *Canadian Institute of Steel Construction* se dan tres razones para las cuales utilizar conexión parcial en vigas mixtas con forjados mixtos:

- Típicamente las vigas mixtas con aproximadamente el 50% de la conexión pueden lograr sobre el 80% de la capacidad a flexión conseguida con conexión completa.
- La selección de vigas mixtas pueden usualmente estar gobernadas por criterios de diseño y consideraciones constructivas en lugar de factores de resistencia de vigas. Consideraciones constructivas como la deformación bajo el emplazamiento del hormigón fresco, y la profundidad disponible para vigas, puede disminuir la necesidad de conexión total. La integración mecánica, eléctrica y estructural es también una importante consideración.
- La geometría física y la distribución de las unidades de la chapa sobre el forjado mixto, podrían limitar la distribución de los conectores. La instalación de conectores emparejados pueden reducir la eficacia de los mismos. De este modo, el coste de conectores adicionales puede usualmente ser minimizado usando conexión parcial.

4.2. Diseño de forjados mixtos de chapa colaborante.

El hormigón de un forjado mixto de chapa colaborante es casi siempre continuo sobre los soportes (vigas secundarias) pero las luces individuales son frecuentemente diseñadas como biapoyadas por simplicidad. Cuando las flechas encontradas son excesivas, se utiliza un diseño de viga continua para el forjado mixto.

Un forjado de hormigón con una chapa colaborante implica dos estados estructurales fundamentalmente diferentes, la fase de construcción (cuando la chapa actúa de encofrado perdido) y el estado final. Durante el hormigonado, la chapa grecada es el único elemento resistente, que puede ser apuntalada o no. Durante la fase de utilización, al contrario, el acero y el hormigón están conectados y ambos constituyen una sección mixta. Tanto para la fase de construcción como para el estado definitivo se deberán efectuar las relevantes verificaciones de la seguridad estructural y de la aptitud al servicio.

A efectos de las verificaciones relativas a la chapa grecada, aparte de su peso propio se deberán tener en cuenta básicamente el peso del hormigón fresco así como una carga de construcción. Además del peso del hormigón fresco en función de su espesor nominal, según los planos de ejecución, se deberá tener en cuenta el peso del hormigón adicional que se vierte. Esto se hace para nivelar la superficie de la capa de hormigón a efectos de compensar la deformación de la chapa grecada bajo el peso del hormigón fresco. La carga de construcción deberá tener en cuenta el peso de los operarios, la acumulación local del hormigón fresco en la zona del vertido, las instalaciones necesarias para el hormigonado, así como las posibles vibraciones o impactos que se puedan producir durante la construcción.

Para las verificaciones relativas al estado definitivo se deberán tener en cuenta los efectos de la eliminación de los apeos provisionales (en caso de haberse utilizado), además de las relevantes cargas permanentes y variables.

Los fabricantes llevan a cabo ensayos que permiten establecer la capacidad de carga de las losas colaborantes, siguiendo los criterios vigentes en cada país o los que se establecen en el Eurocódigo 4.

Los vanos admisibles se determinan según la capacidad de la chapa para soportar las sobrecargas antes, durante y después del hormigonado. Para unas buenas prestaciones de confort en servicio de la losa, la relación entre el vano y el espesor total de la losa debe ser inferior a 35, en losas continuas, y a 30 en isostáticas. Los vanos pueden aumentarse utilizando puntales siempre que se siga respetando el ratio vano/espesor.

En el Eurocódigo nº 4 son analizados estos forjados explicando las fases de comprobación a llevar a cabo, las cuales se ven resumidas en la siguiente tabla:

Comprobación de forjados mixtos de chapa nervada		
Fase de construcción	Estados Límites Últimos (ELU)	Limitación por resistencia
	Estados Límites de Servicio (ELS)	Deformaciones
Comportamiento como losa mixta. Estado final.	Estados Límites Últimos (ELU) (3)	Tensiones rasantes (1)
		Flexión
		Cortante y punzonamiento
	Estados Límites de Servicio (ELS)	Fisuración (2)
		Deformación (2)

Tabla 4.1. Comprobaciones ELU y ELS de forjados mixtos de chapa nervada.

(1) Lógicamente la comprobación a tensiones rasantes es previa y generalmente exige la comprobación experimental de la sección, teniendo en cuenta las características geométricas de las chapas y la forma y posicionamiento de las indentaciones.

Todos los catálogos técnicos de este tipo de chapa deben garantizar la capacidad resistente a tensiones rasantes.

Cuando en los extremos del vano existen conectadores, la capacidad resistente a tensiones rasantes viene garantizada por ello y es muy probable poder llegar a agotar a flexión la sección mixta de chapa y hormigón, si el conectador soporta los esfuerzos a que se ve sometido o la chapa no se desgarrá. El cálculo de este tipo de conexión se indica así mismo en el Eurocódigo 4.

(2) El estado límite de servicio, considera la fisuración y las deformaciones. Para ésta última consideración es preciso conocer el forjado de manera experimental, pues el análisis depende del momento en el que se produzca el denominado primer deslizamiento significativo entre la chapa y el hormigón, en relación con la rotura del mismo ante la sollicitación de tensiones rasantes.

(3) La figura 2.16 muestra los posibles modos de rotura y secciones críticas donde se puede producirse cada uno, en la comprobación de la sección compuesta, ELU.

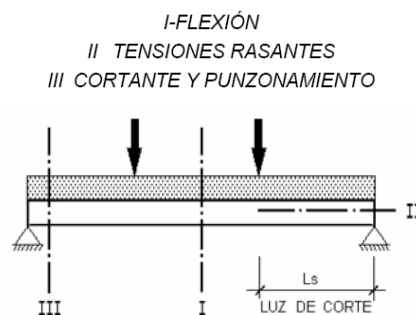


Figura 4.5. Secciones críticas en un forjado mixto de chapa colaborante.

Sección crítica tipo I: estas secciones pueden ser críticas si hay conexión completa entre el hormigón y la chapa, la rotura se produce por flexión cuando se alcanza el momento último, positivo o negativo, según su situación. Éste es generalmente el modo crítico para luces de moderadas a altas, con un alto grado de interacción entre el acero y el hormigón.

Sección crítica tipo II: la carga máxima en el forjado queda condicionada por la resistencia de la conexión, la rotura se produce por excesivo rasante longitudinal cuyo valor último se alcanza antes que el momento último en las secciones tipo I, por lo que corresponde a conexión parcial. Esto produce un deslizamiento entre la chapa de acero y el hormigón, que puede llevar a una rotura entre la interfase acero-hormigón. Esto sucede en la sección II, a lo largo de la luz de rasante L_s .

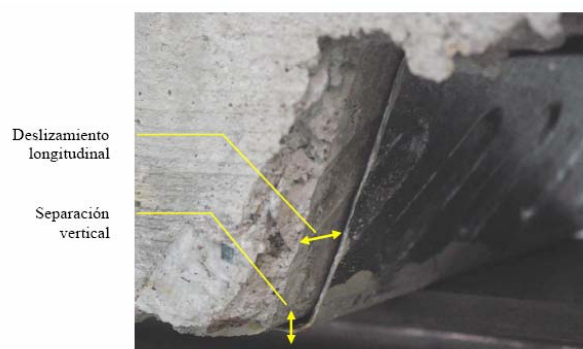


Figura 4.6. Fallo por deslizamiento longitudinal.

Sección crítica tipo III: estas secciones sólo son críticas en casos especiales, como forjados de gran canto con luces pequeñas y cargas importantes; la rotura se produce por cortante vertical y/o punzonamiento cuando se alcanza su valor último.

Teniendo en cuenta el concepto unidireccional para proceder al análisis de este tipo de forjados, normalmente son los estados últimos de flexión los más limitadores desde el punto de vista resistente, aunque para cargas especiales muy concentradas pudieran ser los de cortante y punzonamiento.

El procedimiento constructivo del forjado marcará el esquema estático del sistema y por lo tanto su cálculo. Estados relevantes en la secuencia de construcción de los forjados, como la utilización de apeos, deberán ser considerados.

Aunque no es objeto de este estudio, no hay que olvidar en el diseño de este tipo de forjados las vigas secundarias y principales. Las vigas secundarias serían aquellas en las cuales se fija la chapa colaborante. Si el forjado se diseña mediante conectores, éstas vigas se comportarán como vigas mixtas.

4.3. Influencia de la utilización de puntales durante el proceso constructivo.

En la ejecución de los forjados mixtos, una de sus partes, la chapa grecada, tiene capacidad resistente desde el principio mientras que la otra, el hormigón, carece de ella hasta su endurecimiento y se comporta como un peso muerto a soportar; por ello el proceso constructivo

se puede realizar sin apuntalamiento o bien con apuntalamiento, lo que puede influir en el estado tensional del forjado, reduciendo la capacidad resistente última de la losa mixta.

Un puntal es un apoyo provisional colocado para reducir temporalmente la distancia entre apoyos de los perfiles durante la fase de vertido y secado parcial del hormigón. Éstos, si se utilizan, serán colocados en el centro del vano. En el caso de necesitar dos puntales, se colocarán a $1/3$ y $2/3$ de la luz libre del tramo. El siguiente croquis ilustra la manera correcta de colocar un puntal.

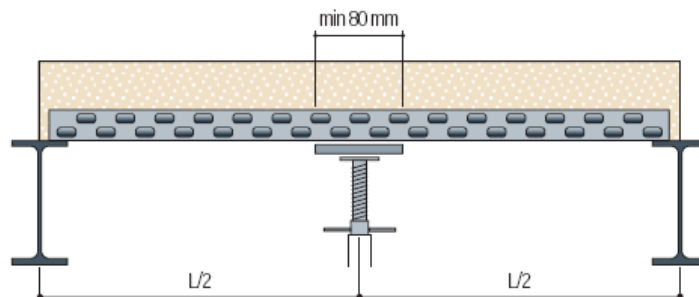


Figura 4.7. Detalle constructivo de cómo utilizar puntales cuando la chapa actúa como encofrado perdido.

En el caso de no apuntalamiento, el perfil metálico sin más apoyos que los del forjado mixto definitivo, ha de soportar el peso del hormigón, de su encofrado y las cargas que pueden actuar durante la fase de ejecución; esta hipótesis adicional, denominada estado de montaje, se debe verificar con los criterios aplicables a una pieza metálica. Si el perfil previsto para el forjado mixto satisface los requisitos correspondientes, es aceptable para esta situación, en caso contrario, hay que reforzarlo –es antieconómico, el refuerzo sólo se aprovecha durante esta situación transitoria- o apuntalar.

En el caso de la ejecución de los forjados con apuntalamiento, el perfil metálico trabaja como viga continua sobre los apoyos definitivos del forjado mixto y los puntales provisionales, deben soportar el peso del hormigón y las acciones de ejecución, lo que originan un estado de cargas típico de viga continua, junto con los diagramas de momentos y cortantes, que producirán tensiones sólo en el acero, que es el único elemento resistente en esta fase. Una vez endurecido el hormigón se retiran los puntales, equivale a aplicar sobre el forjado mixto –ahora trabajan conjuntamente acero y hormigón- cargas iguales y opuestas a las reacciones del estado anterior, que originan momentos y cortantes en los dos materiales, y al final del proceso, apuntalamiento y posterior desapuntalamiento, en el perfil metálico tendremos tensiones debidas a la superposición de dos estados tensionales, como encofrado perdido y ya trabajando como forjado mixto, y en el hormigón sólo el segundo estado.

Éstas tensiones de montaje se superponen a las que se producen posteriormente en la fase de servicio; en estructuras normales de edificación, donde las luces no son grandes y la separación entre puntales suele ser pequeña, se puede despreciar, puesto que son poco importantes, pero cuando no se dan estas circunstancias hay que considerarlas por sus valores significativos.

Por todo lo explicado en este apartado, no es de extrañar que un usuario de las tablas de sobrecargas máximas, que son facilitadas por los fabricantes, en un determinado momento, al aumentar 1 cm el canto de la losa de hormigón, la sobrecarga admisible baja de manera significativa. Al aumentar la losa de hormigón, aumentamos la carga que, durante la fase de montaje, debe resistir la chapa. Llega un momento en que la chapa ya no puede resistir más peso, y es cuando procedemos a apuntalarla, reduciendo así la luz a la mitad. Como al verificar

el forjado como losa mixta deberemos superponer estados tensionales, el resultado de ello es la disminución de esta sobrecarga admisible.

4.4. Acciones

Como ya se ha dicho anteriormente, un forjado de hormigón con una chapa colaborante implica dos estados estructurales diferentes: la fase de construcción y el estado final. En cada uno de esos estados las cargas a tener en cuenta en el cálculo variarán.

Estas tipologías de forjados están pensados para edificación con cargas predominantemente estáticas, incluyendo edificios industriales. Para estructuras donde la carga impuesta es repetitiva o aplicada de tal manera que ésta provoca efectos dinámicos, esta tipología constructiva está permitida aunque se tendrá especial cuidado en el diseño de la misma, evitando el deterioramiento con el tiempo por efecto de cargas dinámicas.

A continuación se muestran los tipos y valores de las acciones a considerar en el análisis de un forjado mixto.

	Cargas permanentes (cp)	Sobrecargas de uso (sc)	sc, cuando proceda
Fase de construcción	peso propio chapa grecada, armadura y hormigón	carga de construcción: 1.5 kN/m ² y 0.75 kN/m ² (1)	acopios, impactos excesivos, etc. si los hay (5)
	peso propio hormigón adicional para nivelar (4)		
Estado final. Estructura mixta.	peso propio forjado (3)	sobrecarga de uso (2)	sismo viento apeos provisionales

Tabla 4.2. Acciones a considerar en el cálculo de forjados mixtos.

- (1) Durante la operación de hormigonado se originan cargas adicionales sobre la chapa debido al peso de los obreros del equipo de vertido, el hormigón fresco, y sobrecargas en forma de impacto durante el bombeo. A nivel de cálculo, todas estas sobrecargas temporales se engloban en una única carga de 1,5 kN/m² aplicada a un único vano de cada chapa en un momento dado, sobre cualquier superficie 3x3 m –o la luz del forjado si es menor-. Para los vanos adyacentes puede considerarse una sobrecarga adicional de 0,75 kN/m², situados de manera que originen el máximo momento i/o cortante, ver figura 4.8. Estos valores se consideran característicos.

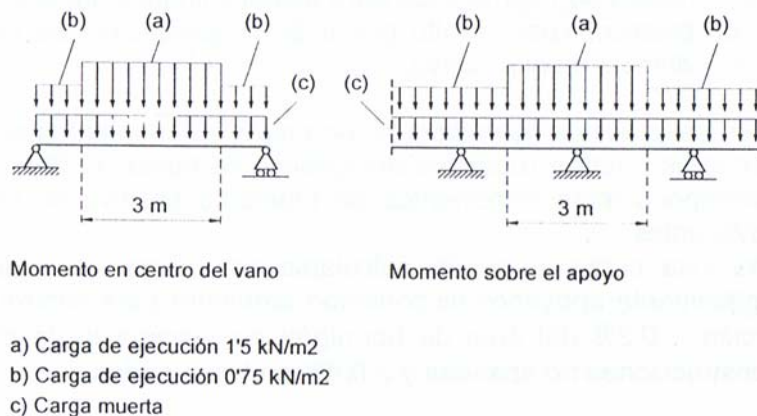


Figura 4.8. Distribución de cargas de ejecución con la chapa como encofrado perdido.

- (2) Según DB-SE-AE y de acuerdo con el Eurocódigo 1. La carga de los tabiques también se aplicará como sobrecarga, según lo especificado en la misma norma.
- (3) El peso propio del forjado incluye, además de la chapa grecada y el hormigón endurecido, el pavimento y todo lo necesario para los acabados.
- (4) Si la flecha central δ de la chapa bajo su peso propio y el del hormigón –calculada en servicio– es menor que $1/10$ del canto del forjado, puede ignorarse el efecto de embalsamiento o “ponding”; en caso contrario debe tenerse en cuenta incrementando el espesor del hormigón en todo el vano $0,7 \cdot \delta$
- (5) Las acciones definidas en (1) no siempre son suficientes para impactos excesivos, amontonamientos de hormigón o cargas de conductos o bombeo, por lo que si se estima oportuno deben considerarse otros mayores; se verificará por ensayo o cálculo que la chapa sin el hormigón puede resistir una carga característica de 1 kN sobre una superficie de $300 \times 300 \text{ mm}^2$ en cualquier situación, salvo el nervio adyacente a un borde libre.

Los valores de las acciones a considerar en las estructuras, independientemente de la tipología estructural de las mismas, están fijados por las respectivas normativas. En nuestro caso, debido a que el presente documento se centra en edificación, la normativa a tener en cuenta será la DB-SE-AE, *Acciones de la Edificación*, del Ministerio de la Vivienda. Asimismo, se tendrán en cuenta también las cargas definidas en el *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras* (EN 1991).

4.5. Diseño y disposición de las conexiones

En el diseño de los forjados mixtos de chapa colaborante, la utilización de pernos conectores es opcional. A continuación se dan las directrices básicas a seguir, en el caso de utilizarse, para conectores soldados y conectores clavados.

Conectores soldados

Los pernos conectores soldados a través de la chapa son usualmente de 19 mm de diámetro y de 75 a 150 mm de longitud, con una cabeza de aproximadamente de 28 mm de diámetro. El límite de rotura del material es 450 N/mm^2 y su alargamiento a la rotura deberá ser superior al 15 %. Los pernos se acortan unos 5 mm al ser soldados.

Deberán respetarse las siguientes reglas durante la colocación de los pernos conectores:

- El espesor del ala de la viga de soporte no será inferior a 7,6 mm (para soldar pernos de 19 mm). Este límite aumenta para diámetros superiores de pernos conectores (consultar al fabricante).
- Los pernos conectores soldados deben sobresalir 35 mm por encima de la cara superior de la chapa y deben tener un recubrimiento mínimo de hormigón por encima de su cabeza de 15 mm. Para impedir daños en la chapa, los pernos conectores se colocarán sobre líneas predeterminadas y marcadas sobre la chapa. La distancia entre el límite del perno conector y el límite de la chapa no será inferior a 20 mm. La separación entre pernos conectores no será inferior a 95 mm en la dirección de los esfuerzos rasantes, y de 76 mm en la dirección perpendicular a los citados esfuerzos.
- La separación entre pernos conectores no será superior a 450 mm.
- Los pernos conectores se colocan normalmente en cada onda del perfil, en ondas alternas, o, en algunos casos, por pares en cada onda. Si existen pernos conectores adicionales indicados en planos serán posicionados en igual cantidad respecto a los dos límites de la viga considerada.

- En ciertas chapas grecadas modernas existe un rigidizador central en la onda que implica que no sea posible soldar el perno conector centrado en la misma. Un lado es favorable y el otro desfavorable dependiendo de la sección de hormigón frente al perno conector. Se recomienda que los pernos conectores estén posicionados sobre el lado favorable de cada rigidizador, el cual es, lógicamente, el más próximo al final de la viga. Ello implica un cambio de posición relativa respecto al punto central de la viga.
- Opcionalmente, los pernos conectores pueden posicionarse de forma alterna a cada lado del rigidizador en ondas contiguas (figura 4.9.a). Ello es aplicable asimismo a las parejas de pernos conectores en una misma onda (figura 4.9.b). Deberá consultarse al fabricante o proyectista sobre esta cuestión si la posición de los pernos no está especificada de forma clara en los planos.
- En las discontinuidades de la chapa, por ejemplo correas de empalme, los pernos conectores se colocarán de forma tal que las dos chapas a ambos lados de la discontinuidad estén correctamente ancladas. Ello supone situar los pernos conectores en zigzag a lo largo de la viga. La distancia mínima del perno conector al límite de la chapa es de 20 mm (figura 4.9.c). A causa de ello no es recomendable utilizar vigas de ancho de ala inferior a 120 mm.

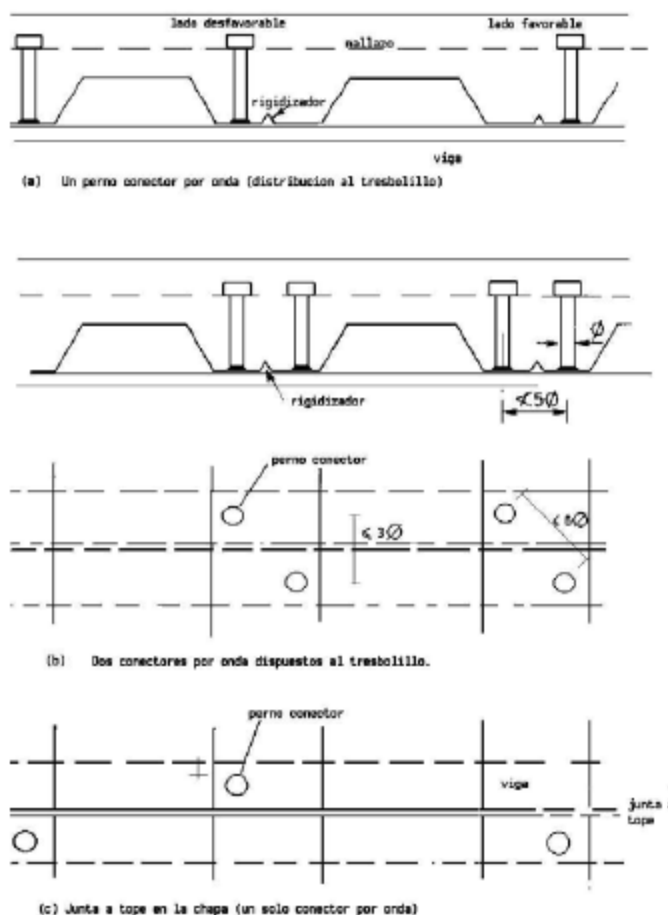


Figura 4.9. Disposición de los pernos conectores

Conectores clavados

El diseño y cálculo de este tipo de conectores está perfectamente definido en el *Manual Técnico de Conexiones* de la casa HILTI. Además, dicho documento contiene los datos necesarios esenciales para permitir el dimensionamiento de los conectores en estructuras mixtas de

edificación, incluyendo los valores de resistencia de los conectadores a adoptar en el cálculo dentro del marco del Eurocódigo 4, así como de las reglas de construcción relativas a la colocación y control de los mismos.

A grandes rasgos, las reglas generales para la disposición de los conectadores se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Posición del conectador con relación a la viga: los conectadores se pueden colocar con su plano medio paralelo al alma de la viga o perpendicularmente a la misma.
- Posición del conectador con relación a la chapa perfilada: los conectadores se pueden colocar, salvo condicionante particular, de forma paralela o perpendicular a la chapa perfilada. Se contempla la posibilidad de colocar hasta tres conectadores por onda.

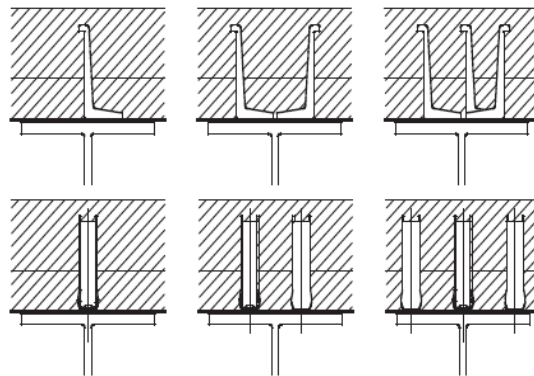


Figura 4.10. Posición relativa de los conectadores.

- Separación entre conectadores perpendicular a la viga: Perpendicularmente a la viga, los conectadores deben distar entre sí al menos 50 mm. En el caso de chapa perfilada semicompacta o esbelta perpendicular a la viga (o en el caso en el que $h_{ap} > 51$ mm) dicha separación mínima será 100 mm.
- Separación entre conectadores longitudinal a la viga: Longitudinalmente a la viga, los conectadores deben distar entre sí como mínimo 100 mm; y como máximo el menor valor entre $4 \cdot h_c$ o 600 mm, a menos que la rigidez de la cabeza del forjado sea capaz de resistir el pandeo.
- Se recomienda alternar el sentido de los clavos, tanto en posición longitudinal como sobre el alma, alternativamente de izquierda a derecha, asegurando así la simetría del conjunto.
- En ningún caso, es recomendable que los clavos disten menos de 15 mm del borde libre del ala de la viga metálica. Esta situación puede darse con frecuencia en obras de rehabilitación, (donde habitualmente se usa losa continua), en el que los anchos de las alas son pequeños.

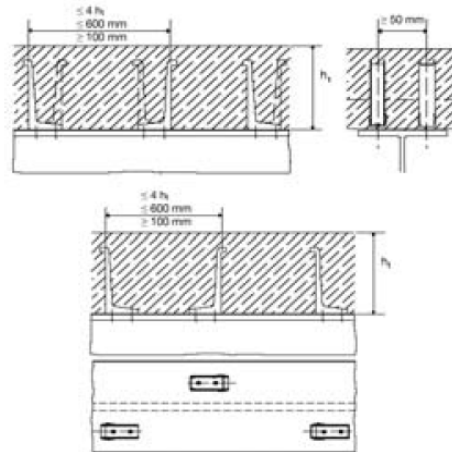
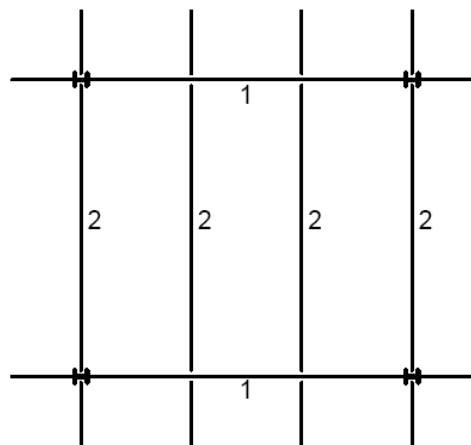


Figura 4.11. Separaciones mínimas y máximas de los conectores.

4.6. Diseño de las vigas secundarias y principales

Un forjado mixto de chapa colaborante se sustenta sobre un emparillado de vigas secundarias y principales. Las primeras sostienen directamente el forjado mixto, como se muestra la Figura 4.12, y vigas principales se unen las vigas secundarias. Tanto las vigas secundarias como las principales pueden diseñarse para trabajar en forma compuesta con el forjado mixto. El espaciamiento entre vigas secundarias depende de las características del forjado; un espaciamiento típico de 3,0 m a 3,5 m es utilizado normalmente en construcción mixta. Para una distribución cuadrada de columnas, las vigas secundarias sostienen menos peso que las vigas principales, por consiguiente serán más ligeras o de menor altura.



Leyenda:
1 = Vigas principales
2 = Vigas secundarias

Figura 4.12. Vigas principales y secundarias en una distribución cuadrada.

Para disposiciones rectangulares de columnas, existen dos configuraciones generales de forjados:

- Vigas principales que sostienen vigas secundarias cortas – ver figura 4.13.
- Vigas secundarias largas apoyándose directamente sobre las columnas, o unidas a vigas principales más cortas. – ver figura 4.14.

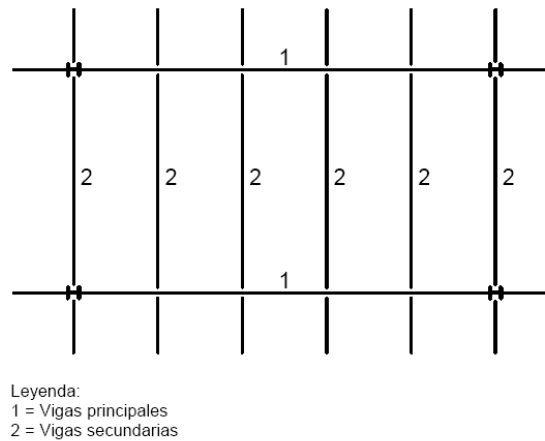


Figura 4.13. Disposición de vigas en una distribución rectangular; vigas secundarias más cortas.

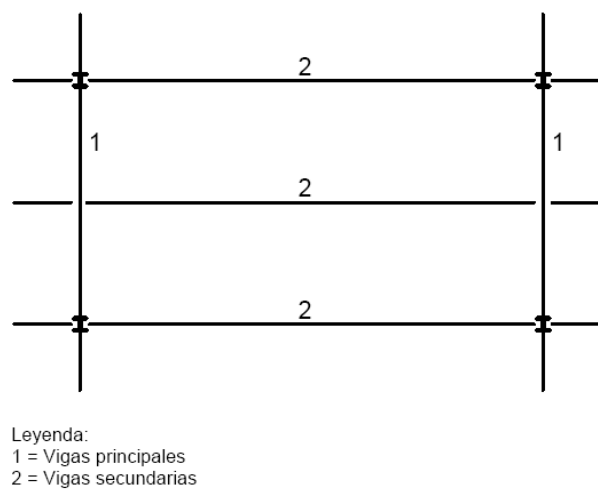


Figura 4.14. Disposición de vigas en una distribución rectangular; vigas secundarias más largas.

En el primer caso, las vigas secundarias son de menor altura que las vigas principales, mientras que en el segundo caso, las alturas de las vigas puede ser aproximadamente igual. La elección del sistema está determinada frecuentemente por la forma de integración de los servicios en la estructura. Donde no existen dichas limitaciones, la última solución es usualmente la más económica.

Las vigas secundarias largas pueden fabricarse con muchas aberturas regulares. Estas vigas se fabrican cortando y soldando perfiles en I o H en forma circular. Estas son similares en forma a las vigas aligeradas hexagonales, las cuales tienen aberturas de forma hexagonal. Las vigas aligeradas circulares son frecuentemente asimétricas en su sección transversal, las cuales se fabrican soldando vigas de diferentes tamaños, lo cual conlleva a un resultado óptimo en el diseño de elementos mixtos.

Las ventajas de la utilización de vigas secundarias largas son:

- Diseño eficiente para todo tipo de distribuciones en forjados. Proporción luz/canto entre 20 y 25 para diseño mixto.
- Facilidad de integración con los servicios. Aberturas regulares en vigas aligeradas circulares hasta un 70% del canto de la viga. Se pueden hacer aberturas ovaladas adicionales más grandes.
- Resistencia al fuego. Revestimiento con productos intumescentes u otras medidas de protección contra el fuego.

El diseño estructural de vigas secundarias depende de la disposición del emparrillado del forjado y de la opción de integración de los servicios.

Para tener un orden de magnitud de las medidas que pueden alcanzar las vigas secundarias, a continuación se muestran dimensiones generales con: vigas de perfiles laminados (IPE/HPE o UB/UC o secciones HE), tabla 4.3, tabla 4.4 y tabla 4.5; y vigas aligeradas circulares de sección asimétrica, en las tablas 4.6 y 4.7. En todos los casos las vigas actúan conjuntamente con la losa mixta y están diseñadas según la norma Eurocódigo 4, 1-1.

La información usual es la sobrecarga típica en oficinas y el peso propio determinado por el canto y la longitud de la losa y el tamaño de la viga. Se utilizan los límites de flecha de la Eurocódigo 3, 1-1. Para las vigas secundarias se utiliza frecuentemente acero S235 o S275, cuyo diseño está limitado por la flecha. Sin embargo, en vigas aligeradas circulares el más utilizado es el acero S355, ya que su diseño está usualmente controlado por el cortante en las zonas del alma comprendidas entre aberturas.

Vigas de perfiles laminados	Máxima longitud de viga				
	6 m	7,5 m	9 m	10,5 m	12 m
Peso mínimo	IPE 270A	IPE 300	IPE 360	IPE 400	IPE 500
Canto mínimo	HE 220A	HE 240A	HE 280A	HE 320A	HE340B

Toda la información es para losas con canto de 130 mm, y espaciamiento de vigas de 3 m, y sobrecarga de 3 kN/m² más 1 kN/m² para tabiquería, etc.

Tabla 4.3. Tamaño de vigas secundarias mixtas utilizando secciones IPE/HE (acero S235).*

Vigas de perfiles laminados	Máxima longitud de viga				
	6 m	7,5 m	9 m	10,5 m	12 m
Peso mínimo	254 × 146 × 31 kg/m	305 × 127 × 42 kg/m	356 × 171 × 51 kg/m	406 × 178 × 60 kg/m	457 × 191 × 74 kg/m
Canto mínimo	203 × 203 × 46 kg/m	203 × 203 × 71 kg/m	254 × 254 × 89 kg/m	305 × 305 × 97 kg/m	305 × 305 × 158 kg/m

Toda la información es para losas con canto de 130 mm, y espaciamiento de vigas de 3 m, y sobrecarga de 3 kN/m² más 1 kN/m² para tabiquería, etc.

Tabla 4.4. Tamaño de vigas secundarias mixtas utilizando secciones UB/UC (acero S275). *

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

Sobrecarga = 3 kN/m² más 1 kN/m² para tabiquería, etc.

Canto de losa=130mm; Espaciamiento de viga = 3 m

Tabla 4.5. Longitudes máximas de viga mixta para cargas típicas de oficina. *

Vigas aligeradas circulares	Longitud máxima de viga (m)				
	12	13,5	15	16,5	18
Diámetro de abertura (mm)	300	350	400	450	500
Canto de viga (mm)	460	525	570	630	675
Cordón superior	IPE 360	IPE 400	IPE 400	IPE 450	IPE 500
Cordón inferior	HE 260A	HE 300A	HE 340B	HE 360B	He 400M

Sobrecarga = 3 kN/m² más 1 kN/m² para tabiquería, etc.

Canto de losa = 130 mm; Espaciamiento de viga = 3 m

Tabla 4.6. Tamaño de vigas aligeradas circulares mixtas como vigas secundarias (secciones IPE/HE en acero S355). *

Vigas aligeradas circulares	Longitud máxima de viga (m)				
	12	13,5	15	16,5	18
Diámetro de abertura (mm)	300	350	400	450	450
Canto de viga (mm)	415	490	540	605	625
Cordón superior	305 UC 54	356 UC 67	406 UC 67	457 UC 67	457 UC 82
Cordón inferior	254 UC 89	305 UC 54	305 UC 137	356 UC 153	356 UC 287

Sobrecarga = 3 kN/m² más 1 kN/m² para tabiquería, etc.

Canto de losa = 130 mm; Espaciamiento de viga = 3 m

Tabla 4.7. Tamaño de vigas aligeradas circulares mixtas como vigas secundarias (secciones UC en acero S355). *

* Tablas obtenidas de www.access-steel.com.

4.7. Comprobación del forjado como encofrado perdido a ELU

En esta comprobación, con el forjado como encofrado perdido, únicamente tendremos la chapa como elemento resistente. En esta fase del forjado, ésta sirve de encofrado soportando el peso del hormigón, las armaduras y las cargas de ejecución.

Los esfuerzos de la chapa se obtienen mediante análisis elástico. Se trata de secciones Clase 4 (según Eurocódigo 3, 1-1) y por tanto, se deben descontar las partes comprimidas de las mismas, realizándose los cálculos con el ancho eficaz, redefiniéndose el nervio típico.

Si la chapa pasa sobre varios apoyos es más laboriosa la solución porque hay que calcular la chapa para dos tipos de sección.

A modo esquemático, el cálculo se puede resumir en:

1. Cálculo de las características eficaces a flexión de la chapa (características resistentes) y características de la sección: inercia eficaz, centro de esfuerzos, módulo resistente eficaz. La normativa europea que considera el cálculo y diseño es el Eurocódigo 3, partes 1-1, 1-3, 1-5.
2. Cálculo del momento y cortante de sollicitación, según esquema estructural.
3. Comprobación que los esfuerzos de sollicitación sea menores que los esfuerzos últimos de la sección.

4.8. Comprobación del forjado como plataforma de trabajo a ELS

La comprobación del forjado mixto como plataforma de trabajo en Estados Límites Últimos se limita a calcular que la flecha del forjado no supere los límites establecidos.

Para las características de la sección para estados límites de servicio también se tendrán en cuenta los criterios aplicables para secciones Clase 4. La deformación de la chapa bajo su peso propio y el hormigón, pero excluyendo cargas de ejecución, será $\leq L/180$ ó 20 mm, L luz libre entre apoyos, considerando las cimbras como tales. Estos límites pueden aumentar si no perjudican la resistencia o eficacia del forjado.

En el caso en que la flecha calculada superase 1/10 del canto total del forjado, se debería añadir un peso adicional de hormigón, por el llamado efecto "embalsamiento" o "ponding". Éste peso añadido tendrá un valor de 0,7 δ de espesor "extra" de hormigón.

Para la comprobación de ésta flecha se deberá tomar como inercia las deducidas a partir de los anchos eficaces. Ésta manera sería conservadora.

En realidad, el momento de inercia variará a lo largo de la directiz, precisamente en función del flector. Por ejemplo, en una viga biapoyada, únicamente en las zonas inmediatas a los apoyos, donde el flector produce unas tensiones inferiores a partir de las cuales se perdería la linealidad de la chapa (abolladura), y es cuando encontramos el momento de inercia "ideal" de la chapa (sin anchos efectivos).

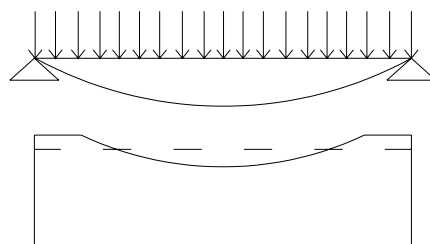


Figura 4.14. Distribución de inercias a lo largo de una viga biapoyada.

Siguiendo este razonamiento, se obtiene una aproximación suficiente utilizando en el cálculo un valor de inercia ficticio (I_{fic}) tal y como se muestra a continuación.

$$I_{fic} = I_{gr} - \frac{\sigma_{gr}}{\sigma} \cdot (I_{gr} - I(\sigma)) \quad [4.1]$$

I_{gr} , valor de la inercia como si la chapa fuera "ideal".

σ_{gr} , la tensión de compresión en la chapa tomando la inercia y la posición del centro de gravedad de la chapa "ideal".

σ , es la tensión de compresión real.

$I(\sigma)$, inercia mínima, correspondiente a la σ real anterior.

4.9. Comprobación del forjado mixto a ELU

4.9.1. Previos

Análisis del forjado mixto

En la comprobación del forjado como pieza mixta una vez retiradas las cimbras, debe considerarse la distribución de cargas más desfavorable aplicando alguno de los siguientes procedimientos:

- Análisis lineal, con o sin redistribución.
- Análisis rígido-plástico global siempre que las secciones donde se forman las rótulas tengan suficiente capacidad de rotación. (No es necesaria la comprobación directa de rotación si se emplea acero de armar clase H –ductilidad alta- según EC2 y el vano es menor de 3 m).
- Análisis elasto-plástico, considerando las propiedades no lineales del material.

Los métodos lineales son apropiados para estados límites últimos y de servicio, pero los plásticos, por su alto grado de simplificación, se usan sólo para estados últimos, en el proceso.

Si se desprecia la fisuración del hormigón en el análisis de estado límite último, los momentos en apoyos interiores pueden reducirse opcionalmente hasta un 30%, con los correspondientes incrementos de momento positivo en los vanos adyacentes.

Una losa continua puede calcularse como una serie de vanos simplemente apoyados disponiendo armadura para control de fisuración $\geq 0,2\%$ del área de hormigón por encima de la chapa en construcciones no apeadas y $\geq 0,4\%$ en las apeadas.

Ancho efectivo para tratar cargas puntuales o lineales en forjados mixtos

Cuando los forjados soportan cargas concentradas o puntuales, éstas deben considerarse distribuidas encima de un ancho eficaz, siempre y cuando no se proceda a un análisis más exacto.

Las cargas concentradas, o lineales paralelas a la dirección de trabajo del forjado, pueden considerarse actuando sobre una anchura b_m , en la cara superior de los nervios, figura 4.15,

$$b_m = b_p + 2 \cdot (h_c + h_f) \quad [4.2]$$

b_p ancho de la carga

h_c canto de hormigón sobre los nervios

h_f espesor de los acabados, si los hay

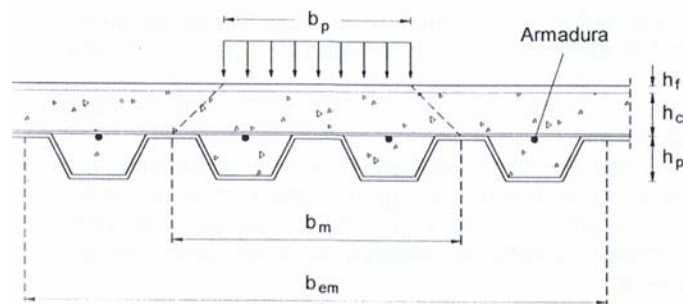


Figura 4.15. Distribución de las cargas concentradas o lineales.

Con cargas lineales perpendiculares a la dirección de trabajo se puede aplicar también la expresión 4.2 para el cálculo de b_m , con b_p tomada como longitud de la línea de carga.

Si $h_p/h < 0,6$ el ancho efectivo considerado, b_{em} será el siguiente:

- Para flexión y esfuerzo rasante
 - Vanos simples, o exteriores de losas continuas

$$b_{em} = b_m + 2 \cdot L_p \cdot \left(1 - \frac{L_p}{L}\right) \leq \text{ancho de la losa} \quad [4.3]$$

- Vanos interiores de losas continuas

$$b_{em} = b_m + 1,33 \cdot L_p \cdot \left(1 - \frac{L_p}{L}\right) \leq \text{ancho de la losa} \quad [4.4]$$

- Para esfuerzo cortante vertical

$$b_{ev} = b_m + L_p \cdot \left(1 - \frac{L_p}{L}\right) \leq \text{ancho de la losa} \quad [4.5]$$

L_p distancia desde el eje de la carga al apoyo más cercano

L longitud del vano

Para asegurar la distribución de las acciones sobre este ancho eficaz debe disponerse de armadura transversal calculada según el Eurocódigo 2. Si las cargas características impuestas no superan los siguientes valores,

- Carga concentrada 7,5 kN
- Carga distribuida 5,0 kN/m²

se puede adoptar –sin cálculo- una armadura $\geq 0,2\%$ del área de hormigón sobre los nervios, en una amplitud $\geq b_{em}$ prolongada con las longitudes necesarias de anclaje – la colocada para otros fines puede aprovecharse-; en ausencia de esta armadura, los anchos eficaces para comprobaciones de momento y cortante no pueden considerarse $> b_m$.

Los cálculos y comprobaciones a realizar son los mencionados en la tabla 4.1 y que a continuación se especifican. El forjado mixto, como cualquier otra estructura, se comprobará bajo Estados Límites Últimos (ELU) y Estados Límites de Servicio (ELS), comprobados con los valores de cálculo y valores característicos de las acciones, respectivamente.

4.9.2. Flexión

El análisis a flexión de una sección de este tipo de forjados, puede hacerse como si de una de hormigón armado se tratase, en donde la chapa constituye la armadura traccionada de la misma. La capacidad resistente a flexión de un forjado de este tipo, sin embargo, vendrá limitada por la capacidad resistente a tensiones rasantes, ya que la primera solo podrá llegar a desarrollarse hasta el límite si el binomio chapa-hormigón posee una adherencia tal que la acción compuesta entre ambos componentes queda garantizada.

El valor de cálculo del momento último $M_{p,Rd}$ en cualquier sección se determina por la teoría plástica según el artículo 6.2.1.2. del Eurocódigo 4 para conexión completa, adoptando como límite elástico para la chapa f_{yp} / γ_{ap} . Con flexión positiva la expresión que proporciona $M_{p,Rd}$ varía según la fibra neutra esté situada por encima de la chapa o en ella. En flexión negativa la contribución de la chapa sólo se tiene en cuenta si ésta es continua. Para el cálculo del área eficaz de la chapa se desprecian sus engarces y muescas –a no ser que se demuestre mediante ensayos que es mayor-.

a) *Momento flector positivo*

Si la fibra neutra está situada por encima de la chapa, la distribución de tensiones se indica en la figura 4.16 y el momento último resulta,

$$M_{p,Rd} = N_{cf} \cdot (d_p - 0,5 \cdot x) \quad [4.6]$$

siendo x la profundidad del bloque comprimido dada por⁽²⁾

$$x = \frac{N_{cf}}{b \cdot \left(0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \right)} \quad [4.7]$$

⁽²⁾ Si este valor resulta mayor que el canto de hormigón h_c , la fibra neutra está situada en la chapa y se debe aplicar el criterio que se indica después.

y N_{cf} la resultante de compresiones en el hormigón –igual a las tracciones en la chapa- sobre la anchura considerada,

$$N_{cf} = A_p \cdot \frac{y_{yp}}{\gamma_{ap}} \quad [4.8]$$

A_p área traccionada de la chapa

d_p distancia entre la cara superior del hormigón y el c.d.g. de la chapa

b ancho de la sección considerada

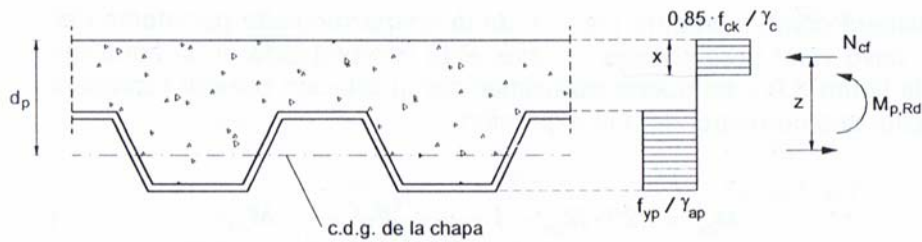
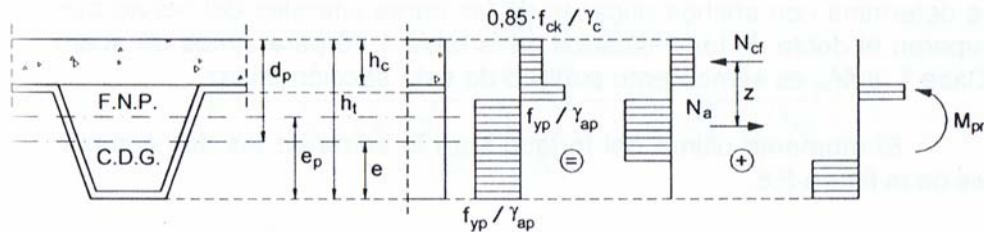


Figura 4.16. Distribución de tensiones M^+ , con fibra neutra en el hormigón.



F.N.P.: fibra neutra plástica de la chapa.
C.D.G.: centro de gravedad de la chapa.

Figura 4.17. Distribución de tensiones M^+ , con fibra neutra en la chapa.

Cuando la fibra neutra está en la chapa –puede producirse si su canto es grande- la distribución de tensiones correspondientes a la figura 4.17 donde, simplificada, se desprecia el hormigón del nervio. Para su análisis se descompone en dos partes: la primera incluye las compresiones del hormigón N_{cf} y la parte de tracciones en la chapa situadas inmediatamente debajo de la fibra neutra del forjado de valor $N_a = N_{cf}$, y la segunda formada por todas las compresiones de la chapa –por encima de la fibra neutra del conjunto- y las tracciones restantes; cada una equivale a un par –su resultante de fuerzas es nula- y el correspondiente a la segunda se considera como momento plástico de la chapa reducido por efecto del axil M_{pr} , cuyo valor para chapas usuales está comprendido en la zona rayada de la figura 4.18 y se puede aproximar por la relación bilineal representada en ella, que corresponde a la expresión,

$$M_{pr} = 1,25 \cdot M_{pa} \cdot \left(1 - \frac{N_{cf}}{A_p \cdot f_{yp} / \gamma_{ap}} \right) \leq M_{pa} \quad [4.9]$$

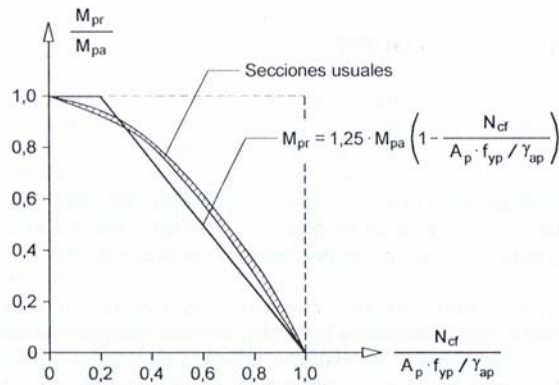


Figura 4.18. Relación bilineal para el cálculo aproximado del momento flector positivo cuando la fibra neutra se encuentra en la chapa.

A_p es el área eficaz de la chapa que, para tener en cuenta el pandeo local, se determina con anchos eficaces de las caras laterales del nervio que no superen el doble de los indicados en EN 1993-1-1 tabla 5.2 para almas de acero en Clase 1 (esto es debido a que el hormigón previene a la chapa), y M_{pa} es el momento plástico de esta sección eficaz.

El momento último del forjado será la suma de las dos componentes de la figura 4.17,

$$M_{p,Rd} = N_{cf} \cdot z + M_{pr} \quad [4.10]$$

donde,

$$N_{cf} = h_c \cdot b \cdot (0,85 \cdot f_{ck} / \gamma_c) \quad [4.11]$$

y el brazo de palanca z se puede aproximar por la relación,

$$z = h_t - 0,5 \cdot h_c - e_p + (e_p - e) \cdot \frac{N_{cf}}{A_p \cdot f_{yp} / \gamma_{ap}} \quad [4.12]$$

e_p y e son las distancias a la cara inferior de la chapa desde su fibra neutra plástica y c.d.g., respectivamente, correspondientes a la sección eficaz.

b) Momento flector negativo

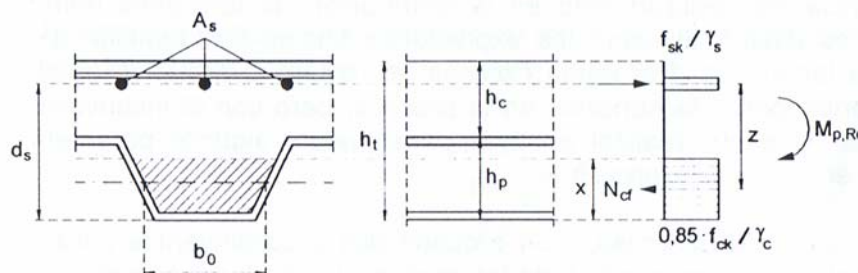


Figura 4.19. Distribución de tensiones M^- .

Sobre los apoyos intermedios de tramos continuos la sollicitación es un momento negativo y el comportamiento se asimila a una sección de hormigón armado; como simplificación se puede despreciar la contribución de la chapa –generalmente por falta de continuidad– y las tensiones representadas en la figura 4.19, por lo que el momento último resulta,

$$M_{p,Rd} = \frac{A_s \cdot f_{sk}}{\gamma_s} \cdot z \quad [4.13]$$

A_s y f_{sk} son el área de armadura asociada a un nervio y su límite elástico, respectivamente, z el brazo del par,

$$z = d_s - x/2 \quad [4.14]$$

y x la altura de la zona comprimida de hormigón que se obtiene por equilibrio de fuerzas, simplificada, suponiendo constante la anchura del nervio con su valor medio b_o (ver figura 4.22 para ancho medio del nervio),

$$b_o \cdot x \cdot \frac{0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = A_s \cdot \frac{f_{sk}}{\gamma_s} \Rightarrow x = \frac{A_s \cdot f_{sk} / \gamma_s}{b_o \cdot 0,85 \cdot f_{ck} / \gamma_c} \quad [4.15]$$

si en esta expresión x resulta superior al canto h_p de la chapa, el planteamiento sigue siendo válido, pero teniendo en cuenta que la zona comprimida de hormigón pasa de ser de un rectángulo a una T.

4.9.3. Esfuerzo rasante

El primer problema que plantea el análisis de tensiones rasantes en la interfaz acero-hormigón de un forjado mixto, consiste en determinar el tipo de conexión; en conexión completa, el colapso se produce por flexión en las secciones tipo I y el rasante no afecta al comportamiento puesto que no hay deslizamiento previo entre los materiales, mientras que en conexión parcial, las tensiones rasantes originan el colapso antes del fallo por flexión y es relevante su evaluación para determinar la carga última.

En conexión completa las tensiones rasantes pueden obtenerse, teóricamente, por el teorema de Colignon; no obstante, como la geometría del forjado es más complicada también lo es la aplicación del planteamiento y las expresiones que resultan. En conexión parcial el estudio teórico debe considerar la influencia del deslizamiento en la distribución de tensiones normales, y tanto su desarrollo como las expresiones finales son también excesivamente laboriosos. Por esta razón se recurre a métodos empíricos o semiempíricos más sencillos en la práctica, pero con el inconveniente de que es necesario realizar ensayos para evaluar algunos parámetros que intervienen en las expresiones.

Con esta premisa, el Eurocódigo 4 propone dos procedimientos para calcular la resistencia a rasante de forjados mixtos: el método "m-k" y el de la conexión parcial; el primero no proporciona información sobre el tipo de conexión, simplemente por una expresión semiempírica define la condición de resistencia; el segundo establece inicialmente el tipo de conexión y, si es completa, resulta suficiente la comprobación a flexión anterior, pero en caso contrario hay que verificar el rasante por un criterio que también define. Para la aplicación práctica de ambos hay que considerar:

- En forjados sin anclaje extremo: para disposiciones constructivas con enlace mecánico o por fricción entre hormigón y chapa –figura 3.5 (a) y (b)- son aplicables los dos procedimientos.
- En forjados con anclaje extremo –figuras 3.4 (c) y (d)-: el rasante se determina por el método de conexión parcial; el perno extremo en el tipo (c) se calcula para soportar la tracción de la chapa en estado límite último, considerando –en pernos con cabeza soldados a través de la chapa- como resistencia a rasante $P_{pb,Rd}$ el menor de los valores correspondientes al perno –expresiones [4.32 a] y [4.32 b] con el factor de reducción [4.33] o [4.34]- y a desgarramiento de la chapa [4.30].

Se describen a continuación estos dos procedimientos para determinar la resistencia a esfuerzo rasante de los forjados mixtos.

a) Método "m-k"

El cortante vertical $V_{I,Rd}$ -obtenido de forma semiempírica- que puede soportar un forjado mixto de ancho b viene dado por,

$$V_{I,Rd} = \frac{b \cdot d_p \cdot \left(\frac{m \cdot A_p}{b \cdot L_s} + k \right)}{1,25} \quad [4.16]$$

L_s es la luz de cortante que se define a continuación, m y k -en N/mm²- coeficientes obtenidos por ensayos que se describen en el apartado 4.13 y los demás símbolos como antes, expresando b , d_p y L_s en mm y A_p en mm². La condición de resistencia es,

$$V_{Sd} \leq V_{I,Rd}$$

Siendo V_{Sd} el valor de cálculo del cortante vertical máximo que actúa sobre el ancho b del forjado.

La luz de cortante L_s debe tomarse:

- $L/4$ para carga uniforme en toda la longitud del vano.
- Para dos fuerzas puntuales iguales y simétricas, L_s será la distancia entre la carga y el apoyo más cercano,
- Para otras disposiciones, incluyendo combinación de cargas distribuidas y puntuales asimétricas, debe hacerse una hipótesis basada en ensayos o cálculos aproximados. Por ejemplo, como aproximación para L_s podríamos tomar la correspondiente al momento máximo dividido entre la máxima fuerza vertical más cercana a los soportes, en el vano considerado.

Cuando el forjado mixto está diseñado como continuo, está permitido utilizar un vano equivalente isostático. La luz del vano deberá ser tomada como:

- $0,8L$, para vanos interiores
- $0,9L$, para vanos extremos

b) Método de la conexión parcial

Este procedimiento es aplicable a forjados de comportamiento dúctil –definido por los ensayos del apartado 4.13 y 4.1.2- y permite tener en cuenta la contribución de los anclajes extremos siempre que se verifique su validez por los ensayos normalizados según el Eurocódigo 4.

Si se utiliza el método de la conexión parcial, entonces debe verificarse que el momento de diseño no exceda al momento resistente, $M_{p,Rd} \geq M_{Sd}$, calculado anteriormente, pero ahora, para tener en cuenta la conexión parcial, sustituiremos en el momento resistente N_{cf} por N_c , siendo:

$$N_c = b \cdot L_x \cdot \tau_{u,Rd} \leq N_{cf} \quad [4.17]$$

Donde $\tau_{u,Rd}$ es el valor de diseño de la resistencia a rasante ($\tau_{u,Rk} / \gamma_{Vs}$) obtenido por los ensayos normalizados de forjados (se toma el menor de los ensayos reducido en un 10% y $\gamma_{Vs} = 1,25$). L_x es la distancia de la sección considerada al apoyo más cercano.

Y con z el brazo de palanca,

$$z = h_t - 0,5 \cdot x - e_p + (e_p - e) \cdot \frac{N_c}{A_p \cdot f_{yp,d}} \quad [4.18]$$

x la profundidad comprimida de hormigón,

$$x = \frac{N_c}{b \cdot (0,85 \cdot f_{cm})} \leq h_c \quad [4.19]$$

En la expresión [4.17] N_c podría ser incrementado por $\mu \cdot R_{Ed}$, con $\mu = 0,5$ y R_{Ed} la reacción del soporte.

Conocido $\tau_{u,Rd}$ se puede determinar L_{sf} como,

$$L_{sf} = \frac{N_{cf}}{b \cdot \tau_{u,Rd}} \quad [4.20]$$

para $L_x \geq L_{sf}$ hay conexión completa y es crítica la resistencia a flexión; para $L_x < L_{sf}$ hay conexión parcial y es crítica la resistencia a rasante.

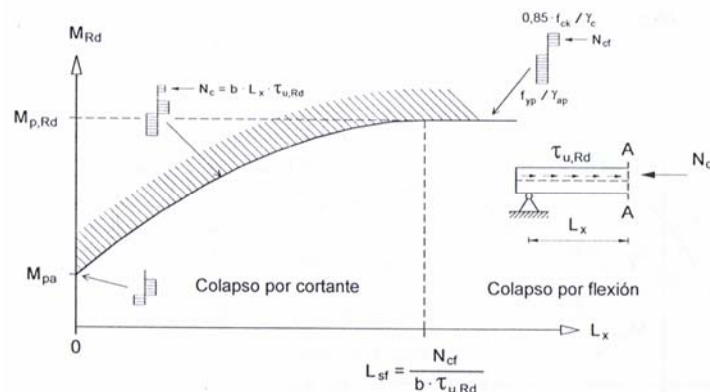


Figura 4.20. Límite de conexión parcial en función de los valores N_c y N_{cf} .

Además de esta comprobación, cuando hay anclaje extremo y/o armadura suplementaria cuya contribución en la resistencia a rasante se quiere tener en cuenta, hay que verificar también:

b1) En losas con armadura suplementaria

Para la validez del método en este caso también deben realizarse un mínimo de tres ensayos adicionales, obteniéndose para cada uno el momento máximo por el procedimiento teórico que se indica a continuación, con las dimensiones y resistencias del elemento ensayado; el método es aceptable si la resistencia a flexión en los ensayos no es inferior en más de un 10% al valor calculado.

La comprobación teórica, incluyendo la armadura de la cara inferior, se realiza como en el proceso para la resistencia a rasante, pero el valor M_{Rd} del diagrama de interacción se obtiene por la relación,

$$M_{Rd} = N_p \cdot z_1 + M_{pr} + N_{as} \cdot z_2 \quad [4.21]$$

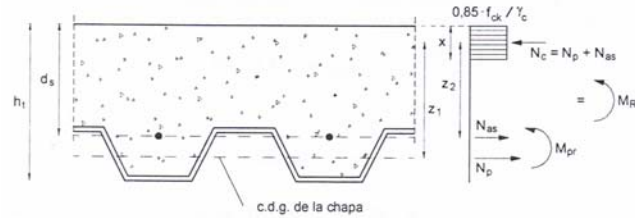


Figura 4.21. Distribución de tensiones para losas con armadura suplementaria.

donde,

$$N_p = b \cdot (L_s + L_o) \cdot \tau_{um} \quad [4.22]$$

$$N_{as} = A_s \cdot f_{sk} / \gamma_s \quad [4.23]$$

$$z_2 = d_s - 0,5 \cdot x \quad [4.24]$$

$$z_1 = h_t - 0,5 \cdot x - e_p + (e_p - e) \cdot \frac{N_p}{A_p \cdot f_{yp} / \gamma_{ap}} \quad [4.25]$$

$$x = \frac{N_p + N_{as}}{b \cdot (0,85 \cdot f_{ck} / \gamma_c)} \quad [4.26]$$

$$M_{pr} = 1,25 \cdot M_{pa} \cdot \left(1 - \frac{N_p}{A_p \cdot f_{py} / \gamma_{ap}} \right) \leq M_{pa} \quad [4.27]$$

A_s área de la armadura suplementaria anclada, situada en un ancho b de la cara inferior.

τ_{um} valor medio de τ_u obtenido por ensayos con la misma chapa pero sin armadura adicional.

y los demás signos están indicados anteriormente.

b2) En losas con anclaje extremo

Se realizará un mínimo de tres ensayos adicionales determinando en cada uno el valor η ($\eta = N_c / N_{cf}$) y la resistencia V_I del anclaje extremo por la relación,

$$V_I = \eta \cdot N_{cf} - \tau_{um} \cdot b \cdot (L_s + L_o) \quad [4.28]$$

τ_{um} es el valor medio de τ_u obtenido mediante ensayos con la misma chapa pero sin anclaje extremo. Como resistencia característica del anclaje extremo V_{Ik} se toma el mínimo de los ensayos reducido en un 10% y como valor de cálculo V_{Id} el característico dividido por $\gamma_v = 1,25$.

La comprobación debe verificarse básicamente por el mismo procedimiento indicado para la resistencia a rasante, modificando el valor N_c para tener en cuenta la contribución del anclaje extremo en la interacción parcial,

$$N_c = b \cdot L_x \cdot \tau_{u,Rd} + V_{ld} \quad [4.29]$$

Desgarramiento de la chapa

$$P_{pb,Rd} = K_\varphi \cdot d_{do} \cdot t \cdot f_{yp} / \gamma_{ap} \quad [4.30]$$

siendo

$$K_\varphi = 1 + \frac{a}{d_{do}} \leq 6,0 \quad [4.31]$$

d_{do} diámetro del anillo de soldadura, se toma 1,1 veces el del vástago del perno

a distancia del eje del perno al borde de la chapa, será $\geq 1,5 \cdot d_{do}$

t espesor de la chapa

Resistencia de los pernos

La resistencia última a esfuerzo rasante de un perno con cabeza de diámetro $\leq 22mm$ soldado automáticamente con anillo normal ⁽¹⁾ (1)(Un anillo normal de soldadura debe cumplir las siguientes prescripciones: a) la soldadura debe ser regular y estar unida por fusión al vástago del perno, b) el diámetro no debe ser $< 1,25 \cdot d$, c) la altura media no debe ser $< 0,20 \cdot d$ ni la mínima $< 0,15 \cdot d$), se adopta como el menor de los siguientes valores –el primero para su resistencia a cortante y el segundo al aplastamiento del hormigón–,

$$P_{Rd} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot (\pi \cdot d^2 / 4)}{\gamma_v} \quad [4.32 a]$$

$$P_{Rd} = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_m}}{\gamma_v} \quad [4.32 b]$$

d diámetro del vástago del perno, $16mm \leq d \leq 25mm$

f_u resistencia última a tracción del perno, pero $\leq 500 N/mm^2$

f_{ck} resistencia característica del hormigón en probeta cilíndrica, de densidad no menor de $1750 kg/m^3$.

E_m valor medio del módulo secante del hormigón –tabla 3.2-

α coeficiente de valor,

- $0,2 \cdot [(h/d) + 1]$ para $3 \leq h/d \leq 4$
- 1 para $h/d > 4$

h_{sc} altura total del perno

γ_v coeficiente parcial de seguridad, se adopta 1,25 para ELU

Estas expresiones también se pueden aplicar a pernos sin cabeza, cuando se impide el despegue utilizando conjuntamente otro tipo de conectadores.

Factor de reducción de resistencia de los pernos cuando los nervios son paralelos a las vigas

Si las chapas son continuas, como anchura del nervio b_0 se adopta la de la figura 4.22, tomando en ambos casos como el canto del nervio h_p el de la chapa sin resaltos. El factor de reducción k_l ,

$$k_l = 0,6 \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) \leq 1,0 \quad [4.33]$$

Siendo h la altura total del perno, que se toma $< h_p + 75mm$.

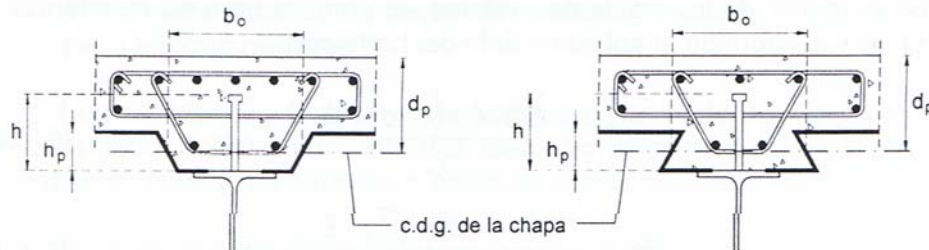


Figura 4.22. Anchuras de nervios.

Factor de reducción de resistencia de los pernos cuando los nervios son transversales a las vigas

El factor de reducción de la resistencia de los pernos con nervios transversales a las vigas se aplicará si:

- Los pernos están emplazados en nervios de placas con una altura $h_p \leq 85mm$ y con una anchura de nervio $b_0 \geq h_p$.
- Para pernos soldados a través de la chapa el diámetro de éstos será $\leq 20mm$.
- Para pernos provistos con agujeros a través de la chapa, su diámetro será $\leq 22mm$.

Tomando $f_u \leq 450 N/mm^2$, el factor de reducción k_t ,

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) \quad [4.34]$$

n_r es el número de pernos situados en la intersección de un nervio con la viga - ≤ 2 en los cálculos- y las demás magnitudes se han definido antes.

El factor k_t no deberá ser mayor que $k_{t,máx}$ definido en la tabla 4.8. En los casos en que no cumpla esta condición, quedan fuera del campo de aplicación y la resistencia se determina mediante ensayos.

número de pernos por nervio	espesor t de la placa (mm)	pernos menores de 20 mm de diámetro y soldados a través de la chapa	chapa con agujeros y pernos de 19 mm o 22 mm de diámetro
$n_r=1$	$\leq 1,0$	0,85	0,75
	$> 1,0$	1,00	0,75
$n_r=2$	$\leq 1,0$	0,70	0,60
	$> 1,0$	0,80	0,60

Tabla 4.8. Límites superiores $k_{t,máx}$ para la reducción del factor k_t .

Si los pernos se consideran a la vez para la viga y para la chapa

Si los pernos se consideran a la vez para la viga y la chapa del forjado quedando sometidos a dos esfuerzos de tipo rasante, cumplirán,

$$\frac{F_l^2}{P_{l,Rd}^2} + \frac{F_t^2}{P_{t,Rd}^2} \leq 1 \quad [4.35]$$

F_l y F_t son los valores de cálculo de los rasantes debidos a las acciones exteriores en la viga y en la losa mixta, respectivamente, y $P_{l,Rd}$ y $P_{t,Rd}$ las resistencias de los pernos calculadas, para vigas con los criterios anteriores y para la losa.

4.9.4. Esfuerzo cortante

El esfuerzo cortante último $V_{v,Rd}$ de un forjado mixto sobre una anchura igual a la distancia entre centros de nervios se determina por,

$$V_{v,Rd} = b_o \cdot d_p \cdot \tau_{Rd} \cdot k_v \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho) \quad [4.36]$$

donde,

$$\rho = \frac{A_p}{b_o \cdot d_p} < 0,02 \quad [4.37]$$

$$k_v = 1,6 - d_p \geq 1 \quad \text{con } d_p \text{ en m} \quad [4.38]$$

b_o ancho medio de los nervios –mínimo en chapas cuyas almas forman ángulo agudo con su base-

τ_{Rd} resistencia básica a cortante, de valor $0,25 \cdot f_{ctk} / \gamma_c$

f_{ctk} valor de $f_{ctk0,05}$ -tabla 3.2-

A_p área de la chapa traccionada en el ancho b_o -despreciando engarces y muescas-

El estado límite último a cortante será más crítico cuanto menor sea el radio luz vano/espesor.

4.9.5. Punzonamiento

La resistencia última a punzonamiento $V_{p,Rd}$ de un forjado mixto frente a una carga concentrada viene dada por,

$$V_{p,Rd} = C_p \cdot h_c \cdot \tau_{Rd} \cdot k_v \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho) \quad [4.39]$$

C_p es el perímetro crítico obtenido como se indica en la figura 4.23 y en la fórmula [4.40] y los demás símbolos han sido especificados antes.

$$C_p = 2 \cdot \pi \cdot h_c + 2 \cdot (2 \cdot d_p + a_p - 2 \cdot h_c) + 2 \cdot b_p + 8 \cdot h_f \quad [4.40]$$

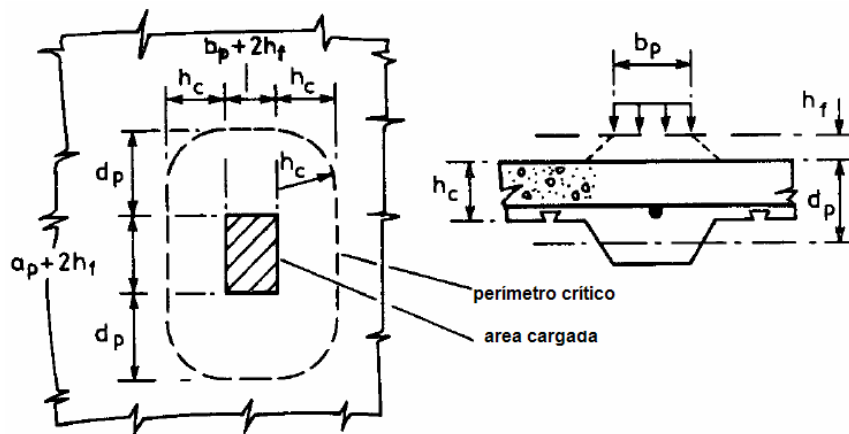


Figura 4.23. Perímetro crítico.

4.10. Comprobación del forjado mixto a ELS

4.10.1. Fisuración del hormigón

La cara inferior del forjado está protegida por la chapa de acero. La fisuración ocurrirá en la cara superior del forjado donde éste es continuo en la zona donde se apoyará la chapa, en las vigas secundarias, y será más ancha si cada uno de los vanos del forjado se diseña como simplemente apoyado, en lugar de continuo, y si los vanos están apeados durante la construcción.

El cálculo del ancho de fisura dependerá del ambiente en el cual nos encontremos. Este cálculo se hará de acuerdo con el Eurocódigo 2 1-1, 7.3 o una la norma nacional equivalente, en nuestro caso EHE.

Como alternativa a este cálculo, se puede adoptar un cálculo simplificado y conservador que limita el ancho de fisura, asegurando un refuerzo mínimo y un límite en el espaciamiento de las barras de refuerzo. Este cálculo está recogido en el Eurocódigo 4, 1-1, 7.4.2 y 7.4.3.

En el caso en que el diseño del forjado se haya realizado mediante vigas simplemente apoyadas en lugar de continuas y el control del ancho de fisura no interese (ambientes tipo I, cargas moderadas) por no influir en la durabilidad, la armadura longitudinal para el control de fisuración no será menor que:

- $\geq 0,2\%$ de la sección de hormigón por encima de la chapa, en construcciones no apeadas.
- $\geq 0,4\%$ de la sección de hormigón sobre los nervios, en construcciones apeadas.

4.10.2. Flechas

Las limitaciones relativas a flechas admisibles que deben satisfacer estos forjados dependerán del proyectista o bien del cliente. Los criterios de aplicación cambien, tal y como se indica a continuación.

Puede omitirse la comprobación de flechas cuando se cumplen simultáneamente estas dos condiciones:

1. La relación luz-canto no supera los límites de la tabla 4.9 para hormigones ligeramente solicitados, entendiéndose que se cumple esta condición cuando,

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} < 0,5\% \quad [4.41]$$

- A_s área de armadura traccionada –incluyendo la chapa si desempeña esta función-
- b anchura de la sección considerada
- d canto útil de la sección

Aunque en el EC4 no está definido el canto del forjado a tomar para esta comprobación, lo más lógico sería que en este caso se cogiera el canto como d_p en lugar de h_t .

Sistema estructural	Hormigón poco solicitado
Losas simplemente apoyadas	25
Vano extremo de una losa continua	32
Vano interior de una losa continua	35
Losa apoyada en soportes sin vigas (referida a su luz mayor)	30
Voladizo	10

Tabla 4.9. Relación canto/luz en losas mixtas

2. Cuando la carga para la que se produce un deslizamiento en el extremo de la placa de valor 0,5mm en los ensayos es mayor que 1,2 veces la carga de servicio.

En un vano interno de un forjado continuo, cuando el enlace entre chapa y hormigón esté asegurado por alguno de los procedimientos de las figuras 3.5 (a), (b) o (c), la flecha se determina con estas aproximaciones,

- Como momento de inercia se toma la media de sus valores para sección fisurada y no fisurada.
- Para el coeficiente de equivalencia n del hormigón se adopta un valor medio entre los correspondientes para deformaciones a corto y largo plazo – $(n = E_a / E'_c)$.

El módulo “eficaz” del hormigón, E'_c , se adopta:

- En edificios o naves de almacenamiento:
 - $E'_c = E_{cm}$, para efectos instantáneos
 - $E'_c = E_{cm} / 3$, para efectos diferidos
- En los demás casos:
 - $E'_c = E_{cm} / 2$

Donde E_{cm} es el módulo de elasticidad secante para el hormigón, definido en la tabla 3.2.

En vanos extremos, el deslizamiento extremo puede tener un efecto significativo en la flecha, tanto si coinciden el inicial y el de rotura – figura 4.24 (a), para comportamiento dúctil- o no –(b), semidúctil-; el tipo de comportamiento se define por ensayos y cuando se produce deslizamiento para carga de servicio en forjados sin anclaje, deben colocarse anclajes en los apoyos exteriores.

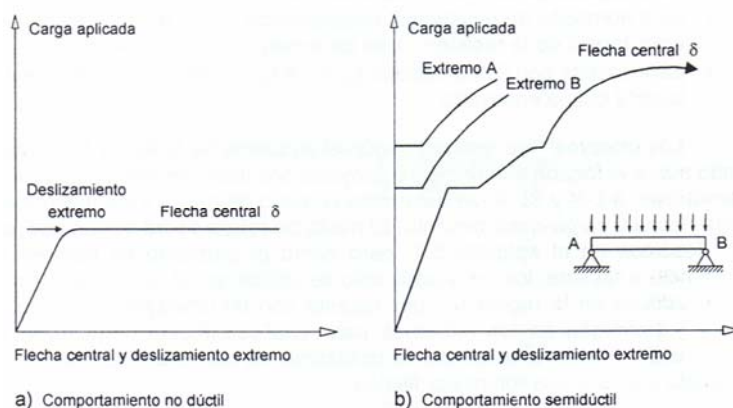


Figura 4.24. Comportamiento forjado.

Si en un forjado con anclajes extremos no se conoce experimentalmente la influencia de la conexión entre chapa y hormigón, el cálculo de la flecha se realiza de forma simplificada como si se tratara de dos barras acodadas de hormigón –con la sección de la zona comprimida obtenida en el cálculo a flexión- y un tirante equivalente a la chapa metálica, figura 4.25; este mecanismo equivale a considerar que el deslizamiento entre ambos materiales sólo está impedido en los anclajes, y del acortamiento y alargamiento en las barras se puede obtener geoméricamente la flecha.

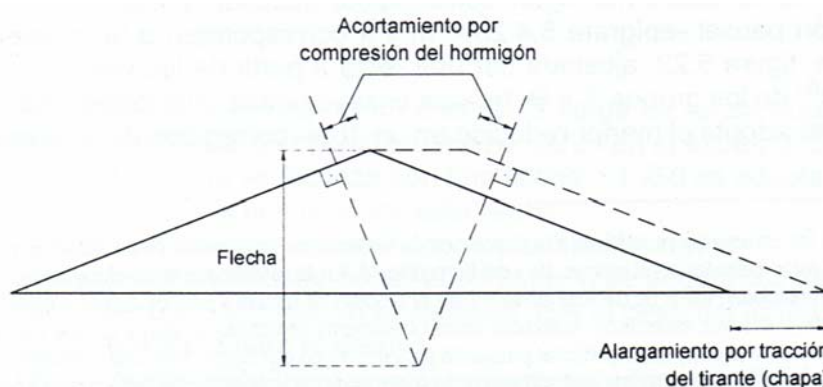


Figura 4.25. Cálculo aproximado de la flecha en un forjado con anclajes extremos.

4.11. Comprobación de las vigas secundarias o viguetas

Las vigas secundarias son aquellas sobre las cuales se fijan o conectan a las chapas nervadas. Pueden trabajar como una viga mixta o no, en función si el forjado se diseña con pernos conectores. En el caso de disponer de conectores, se tratará de una viga mixta y su cálculo se procederá como tal, teniendo en cuenta dos posibles secciones a comprobar, cuando las greca son paralelas a las vigas secundarias y cuando son perpendiculares. La única diferencia de ambas son las características geométricas.

En el caso que las vigas secundarias se trataran de vigas mixtas, los análisis que especifica el Eurocódigo 4 supone conocidas las dimensiones de la sección y el cálculo consiste en su comprobación y ajuste por un proceso iterativo. Si a esto le añadimos que complementariamente a este cálculo debemos comprobar y dimensionar la el forjado mixto de chapa grecada, todo junto se convierte en un trabajo muy extenso.

Existen algunas publicaciones para obtener de forma sencilla y con aproximación razonable un predimensionamiento de estas vigas. A partir de unos valores rápidos y fáciles de hallar obtenemos un predimensionamiento de viga secundaria que, aunque puede que no sea el definitivo, se ajusta bastante bien al resultado final.

De entre las publicaciones, señalamos las siguientes, ambas especificadas en las referencias bibliográficas:

- Ref. complementaria [3]. Da unas tablas en función del hormigón, acero estructural y perfil utilizados, con doble entrada. Únicamente habrá que calcular el momento de sollicitación e introducirlo en la tabla seleccionada. Evidentemente este proceso tiene unas limitaciones que deberemos tener en cuenta.
- Ref. [5]. Interesante documento del *Steel Construction Institute*. La elección de las medidas de las vigas que se utilizan para secciones mixtas (vigas secundarias) dependen de un gran número de variables: luces, cargas, separación entre vigas, canto del forjado, características del hormigón, grado del acero, forma de la chapa, etc. Este documento incluye las variables más importantes para el diseño de estas vigas en unas tablas y así facilita el diseño de las mismas.

Esta segunda referencia se ajustaría más a esta tipología de forjados, ya que es específicamente para ellos. La primera sería una aproximación más ambigua.

4.12. Comprobación de las vigas principales o jácenas

Las vigas principales son aquellas sobre las que se apoyan las vigas secundarias. Su cálculo y dimensionado se atiende según las normas de estructura metálica (Eurocódigo 3 y/o DB-SE-A) y no son objeto del presente trabajo.

4.13. Ensayos

Para obtener los datos que permiten determinar la resistencia a rasante de un forjado mixto hay que realizar ensayos a escala natural, con distintos valores para los parámetros objeto de investigación: tipo, espesor y protección de la chapa, tipo de armaduras, espesor de la losa, densidad y clase de hormigón, y longitud de cortante L_s ; para reducir el número de ensayos los resultados de una serie se pueden aceptar también,

- Para espesores de chapa t mayores que el ensayado.
- Para espesores de losa h_t menores que el ensayado.
- Para hormigón de resistencia característica $f_{ck} \geq 0,8 \cdot f_{cm}$, siendo f_{cm} el valor medio de la resistencia en los ensayos.
- Para chapas con límite elástico $f_{yp} \geq 0,8 \cdot f_{ym}$, siendo f_{ym} el valor medio para la chapa ensayada.

Los ensayos se realizan según el esquema de la figura 2.25, aplicando sobre el forjado simplemente apoyado dos acciones lineales, iguales y simétricas, a $L/4$ y $3L/4$; se determina el modo de rotura y los diagramas carga-flecha y carga-deslizamiento. El modo de rotura podrá ser uno de los tres descritos en el apartado 4.2, pero como el propósito es obtener la resistencia a rasante, los resultados sólo se utilizan en el cálculo si la rotura se producen en la región I-II, por rasante con un deslizamiento k entre chapa y hormigón en los extremos para una

solicitación menor que la resistencia a flexión –la ausencia de deslizamiento corresponde a conexión completa que produce rotura por flexión–.

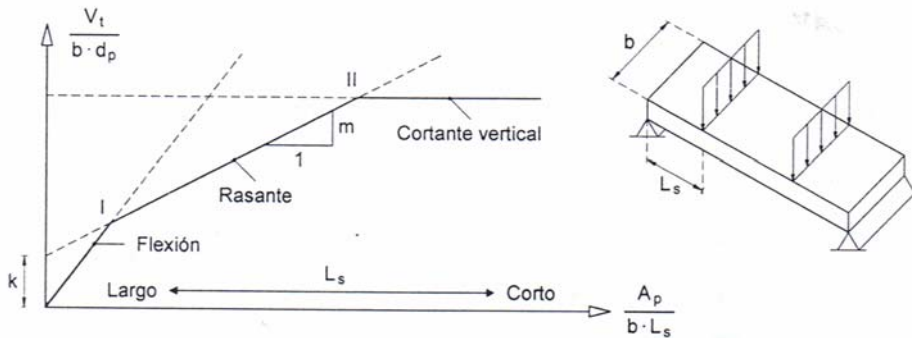


Figura 4.25. Esquema para la realización de los ensayos.

De esta gráfica se obtienen los coeficientes m y k -apartado 4.9.3 a) - con el criterio que se expone a continuación, y la resistencia a rasante $\tau_{u,Rd}$ en la interfaz acero-hormigón como se ha indicado en el método de la conexión parcial -apartado 4.9.3 b)- ; m y k corresponden a la resistencia a rasante, figura 4.26, ajustada por una recta a partir de los valores característicos de los grupos A y B -de tres ensayos cada uno; como valor de un grupo se adopta el menor reducido en un 10%- corregidos de la forma:

- Se considera comportamiento dúctil si la carga de rotura supera en más del 10% a la que provoca un deslizamiento de 0,1 mm en el extremo; cuando la carga máxima se alcanza con una flecha $> L/50$, se adopta como valor de rotura la que produce esta flecha.
- En caso contrario, se considera rotura frágil.
- Si el comportamiento es dúctil, el cortante V_t se adopta 0,5 veces la carga de rotura W_t - incluye la aplicada más el peso del forjado y las vigas de reparto para el ensayo-.
- En comportamiento frágil el valor anterior se reduce por 0,8.

La validez de estos ensayos queda limitada por la condición de que la desviación del resultado de cualquier ensayo con respecto a la media del grupo no supere el 10%.

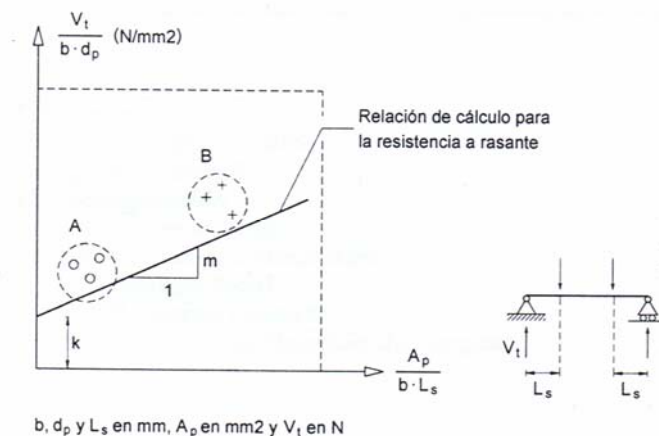


Figura 4.26. Ajuste de los valores obtenidos (A y B) por una recta.

Todas las características relativas a la disposición de los ensayos, preparación de las probetas y forma de carga están definidas en el Anejo B del Eurocódigo 4. En él se distingue entre ensayos paramétricos, que proporcionan datos de carácter general para el proceso de cálculo y son los que se explican aquí, y ensayos específicos, realizados sobre un elemento construido "in situ" a

tamaño natural representativo de una disposición particular propuesta para un forjado con carga real o una aproximación a ella; los resultados de éstos últimos sólo son aplicables a piezas de características similares a las del ensayo.

4.14. Diagrama de flujo para el cálculo de un forjado mixto de chapa colaborante

A continuación se muestra un diagrama de flujo que ilustra el proceso de diseño de un forjado mixto desde los principios básicos, siguiendo la metodología explicada en el presente capítulo de comprobación y dimensionamiento.

Los forjados mixtos se diseñan usualmente utilizando tablas publicadas por los fabricantes de chapas de acero. El manejo de estas tablas es muy sencillo. No obstante, estas tablas no eximen de la comprobación de este tipo de forjados en el caso de encontrarse con alguna particularidad, por ejemplo, algo tan común como los voladizos.