



SESIÓN TÉCNICA MONOGRÁFICA Nº 4

FORJADOS DE CHAPA COLABORANTE



FORJADOS DE CHAPA COLABORANTE

Autores:

Capítulo 1: Peter Tanner, Ingeniero de Caminos (ACIES)

Capítulo 2: Jorge Jordán de Urriés, Dr. Ingeniero de Caminos (SGS-TECNOS)

Capítulo 3: Miguel Macaya, Ingeniero Técnico Industrial (ARCELOR)

Capítulo 4: Ramón Escolano, Ingeniero Industrial (EUROPERFIL)

Capítulo 5: Jesús Ortiz, Dr. Ingeniero de Caminos (ACIES)

Capítulo 6: Juan Luis Bellod y Peter Tanner, Ingeniero de Caminos (ACIES)

Coordinación y edición:

Juan Francisco de la Torre, Arquitecto (ACIES)

Juan Luis Bellod, Ingeniero de Caminos (ACIES)

Jorge Conde, Arquitecto (ACIES)



ÍNDICE

1. PRESENTACIÓN	5
1.1. ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE FORJADOS EN GENERAL	5
1.2. FORJADOS MIXTOS ACERO-HORMIGÓN.....	5
1.3. CHAPAS GRECADAS	7
1.4. ALGUNAS PARTICULARIDADES.....	8
1.5. CONTENIDO DE LA JORNADA	9
2. EL COMPORTAMIENTO RESISTENTE DE LOS FORJADOS MIXTOS DE CHAPA COLABORANTE	10
2.1. GENERALIDADES.....	10
2.2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	10
2.3. DESCRIPCIÓN Y COMPORTAMIENTO RESISTENTE DE LOS F.M.C.N.	11
2.4. LIMITACIONES DEL USO DEL F.M.C.N.....	13
2.5. VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL F.M.C.N.....	14
3. PRODUCTOS PARA FORJADOS MIXTOS DE CHAPA COLABORANTE	21
3.1. PERFIL METÁLICO	22
3.2. FIJACIONES	30
3.3. ARMADURAS	32
3.4. HORMIGÓN	33
3.5. REMATES	34
3.6. PROGRAMAS PARA EL CÁLCULO DE FORJADOS MIXTOS	36
4. CONSTRUCCIÓN DE FORJADOS MIXTOS DE CHAPA COLABORANTE	39
4.1. INTRODUCCIÓN	39
4.2. RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD.....	39
4.3. GUÍA DE EJECUCIÓN.....	40
4.4. EVITAR LAS SOBRECARGAS.....	54
5. ESTABILIDAD AL FUEGO DE LOS FORJADOS MIXTOS DE CHAPA CRECADA COLABORANTE.....	57
5.1. DISEÑO.....	57
5.2. NORMATIVA	62
5.3. "FUEGOS DE CALCULO".....	66
5.4. HORMIGON	68
5.5. EUROCODIGOS 1 y 3	69
5.6. EUROCODIGOS 2 Y 4.....	72
5.7. CAPACIDAD RESISTENTE.....	73
5.8. PROTECCION	74
5.9. EAE	75
5.10. INVESTIGACIONES RECIENTES.....	77
6. REALIZACIONES.....	79
6.1. PREÁMBULO	79

6.2. REMODELACIÓN DEL EDIFICIO DE LA CALLE ALBASANZ 26-28, MADRID, PARA BIBLIOTECA, SALÓN DE ACTOS Y SERVICIOS COMUNES DEL C.S.I.C.	80
6.3. ACCESO AL NUEVO HEMICICLO DE LA ASAMBLEA E EXTREMADURA, MÉRIDA.....	85
6.4. MEJORA Y AMPLIACIÓN DEL ESTADIO MUNICIPAL DEL CHAPÍN, JEREZ.....	88
6.5. AMPLIACIÓN DEL RECINTO FERIA DE VALENCIA	92
6.6. EL EDIFICIO DE EMBARQUES PARA VUELOS INTERISLAS EN EL AEROPUERTO DE PALMA DE MALLORCA	97

1. PRESENTACIÓN

1.1. ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE FORJADOS EN GENERAL

En los edificios con estructuras metálicas, los forjados están constituidos, normalmente, por un entramado de vigas, el forjado propiamente dicho, así como los revestimientos inferior (falso techo) y superior (aislante, capa de nivelación, suelo). La función resistente básica de los forjados consiste en la transmisión de las cargas verticales que actúen sobre ellos hacia los apoyos (pilares). Otra función estructural de relevancia consiste en la transmisión hasta los arriostramientos verticales de las fuerzas horizontales debidas al viento y al sismo, ya que actúan como arriostramientos horizontales de las estructuras de edificación. Aparte de sus funciones estructurales, los forjados también desempeñan las funciones de protección contra el ruido, el fuego, el calor y la humedad y, finalmente, sirven para alojar las instalaciones de un edificio.

En edificios de una cierta altura, los forjados son elementos repetitivos. Por este motivo, resulta ventajoso prever soluciones estructurales que cumplan con los siguientes requisitos:

- Altura reducida.
- Peso propio reducido.
- Montaje rápido.

Es en este contexto donde los forjados mixtos de chapa colaborante resultan particularmente competitivos, especialmente en combinación con las estructuras metálicas aunque en algunos casos también se han aplicado en combinación con estructuras de otros materiales constitutivos, por ejemplo madera u hormigón. En todo caso, su campo de aplicación no está limitado a los edificios de altura. En términos generales, los forjados de chapa colaborante constituyen una solución particularmente atractiva en todos los casos en los que prevalece cualquiera de los requisitos arriba mencionados.

1.2. FORJADOS MIXTOS ACERO-HORMIGÓN

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, destinada a mitigar la fisuración del hormigón debida a la retracción y a los efectos de la temperatura (Foto 1). 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 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 denominadas indentaciones.

Los forjados mixtos de chapa colaborante están apoyados, normalmente, en un entramado de vigas metálicas. Son bien conocidas las ventajas que se pueden obtener al incorporar un forjado en el mecanismo resistente de estas vigas, aprovechando mejor las características de cada uno

de los materiales puestos en obra. 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 acero-hormigón (Figura 1).



Foto 1: Forjado mixto de chapa colaborante con vigas mixtas antes del hormigonado (Foto: Michel Crisinel, ICOM-EPFL)

Para asegurar la colaboración deseada entre el acero y el hormigón, la conexión entre las vigas metálicas y el forjado mixto debe transmitir los esfuerzos rasantes y limitar los deslizamientos que se producen en la interfaz. Esta conexión se materializa a menudo mediante pernos soldados con las alas superiores de las vigas metálicas (Fotos 1 y 2). 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 con 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.

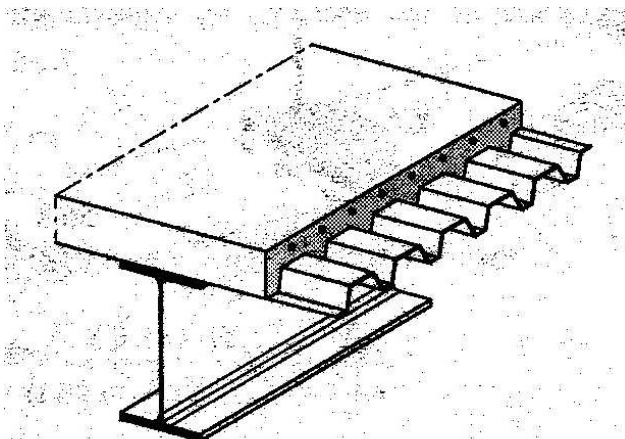


Figura 1: Forjado mixto de chapa colaborante con viga mixta acero – hormigón

En la mayoría de los forjados mixtos, las chapas grecadas son continuas sobre las vigas metálicas (Figura 1). 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.

En algunos casos puede interesar reducir el espesor del forjado a un mínimo. Para ello se puede adoptar una solución que integra las vigas de acero dentro del espesor ocupado por las chapas grecadas y el hormigón. Este tipo de solución se ha empezado a emplear en los años 1980 en los países nórdicos y en el Reino Unido y se conoce bajo su nombre inglés *slim floor* (forjado con vigas integradas). Aparte de un espesor mínimo, esta solución también ofrece una buena protección de las vigas metálicas contra los incendios.



Foto 2: Corte a través de un perno conectador soldado sobre una chapa metálica y perno conectador antes de su colocación

1.3. CHAPAS GRECADAS

Por las funciones que deben desempeñar, las chapas grecadas constituyen el elemento fundamental en un forjado con chapa colaborante. En el mercado existe una gran variedad de diferentes chapas grecadas, aptas para ser utilizadas en este tipo de soluciones. Estas chapas se diferencian por la forma, el canto y la separación de las grecas, por su ancho, por el sistema

adoptado para su solape lateral, por la rigidización de los elementos planos que constituyen el perfil y por la conexión mecánica (indentaciones) que debe asegurar la conexión con el hormigón. El espesor de las chapas se puede situar entre 0,75 y 1,50 mm, aunque en la práctica los espesores empleados raras veces superen el valor de 1,0 mm. El canto de las grecas varía entre 38 mm y 80 mm, aproximadamente.

Para transmitir el esfuerzo rasante que aparece en la interfaz entre la chapa y el hormigón existen diferentes posibilidades. La conexión entre la chapa y el hormigón se puede conseguir a través de la forma de las grecas, la disposición de indentaciones, o mediante anclajes finales. La resistencia de esta conexión frente a los esfuerzos rasantes depende de un gran número de parámetros y se debe determinar experimentalmente.

1.4. ALGUNAS PARTICULARIDADES

Un forjado de hormigón con una chapa colaborante implica dos estados estructurales fundamentalmente diferentes, la fase de construcción y el estado final, respectivamente. Durante el hormigonado, la chapa grecada es el único elemento resistente. 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, normalmente, 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. En la determinación de las deformaciones del sistema mixto se deberán tener en cuenta también los efectos diferidos tales como la retracción y la fluencia del hormigón.

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:

- 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.
- 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.

1.5. CONTENIDO DE LA JORNADA

El objetivo principal de la presente jornada sobre forjados mixtos de chapa colaborante consiste en mostrar las posibilidades que brinda esta solución, pero también en poner de manifiesto sus limitaciones. Es por ello que las diferentes intervenciones, en las que priman los aspectos fenomenológicos sobre los detalles teóricos y científicos, tienen un carácter claramente divulgativo-práctico. Con el fin de alcanzar el objetivo mencionado, se tratan los siguientes temas:

- En una primera contribución se describe el comportamiento de los forjados mixtos de chapa colaborante, con especial énfasis en los posibles mecanismos de rotura.
- Los productos empleados en la construcción de los forjados mixtos, en particular las chapas grecadas constituyen el eje central de la segunda contribución.
- Las particularidades relacionadas con la puesta en obra de los forjados mixtos con chapa colaborante se abordan en una tercera contribución.
- La resistencia de las estructuras en caso de incendio está recibiendo una atención cada vez mayor por parte del público, y en consecuencia también de los técnicos. En el caso de los forjados mixtos, esta resistencia es relativamente baja, lo que a menudo se está utilizando como argumento en contra de su utilización. Es por estos motivos que se ha estimado conveniente dedicarle una contribución específica a esta problemática.
- Finalmente se presentan una serie de aplicaciones prácticas con forjados mixtos de chapa colaborante. A través de los ejemplos seleccionados se pretende, entre otro, demostrar cómo es posible incrementar las prestaciones de esta solución aplicando medidas prácticas muy sencillas.

En el tiempo disponible no es posible abordar todos los temas que resulten relevantes en relación con los forjados mixtos de chapa colaborante. Por ejemplo, no se trata en detalle el tema de las verificaciones a efectuar, en particular las relativas al comportamiento en servicio, incluida la relativa al comportamiento dinámico. No obstante, confiamos en que esta jornada contribuya a animar a los proyectistas a considerar esta tipología en la concepción de sus futuras estructuras.

2. EL COMPORTAMIENTO RESISTENTE DE LOS FORJADOS MIXTOS DE CHAPA COLABORANTE

2.1. GENERALIDADES

Dentro del mundo de la Construcción, las técnicas y procesos constructivos van evolucionando de forma rápida alentados por la necesidad de optimizar los plazos y los presupuestos, mejorando también los aspectos técnicos del Proyecto, Ejecución y Materiales. Los Forjados Mixtos de Chapa Nervada (en adelante F.M.C.N) son la consecuencia, a través de los años, de tal afirmación, pudiendo citar como razones objetivas de su utilización de modo general, las siguientes:

- La racionalización y planificación de los trabajos de construcción.
- La existencia de plazos muy reducidos para la ejecución de las estructuras.
- La realización de edificios cada vez más altos con tecnologías complicadas, que permiten ir montando la estructura principal sin necesidad de tener hormigonados todos los forjados hasta la última planta, pero necesitando de un determinado arriostramiento.
- La posibilidad de utilizar las chapas premontadas como base de acopio y montaje de materiales.
- La no necesidad, habitualmente, de tener que cimbrar el forjado en el momento del proceso de hormigonado, evitando medios auxiliares costosos y posibilitando la ejecución de otros tajos.

La utilización de este tipo de forjados se lleva a cabo básicamente en la Edificación con cargas impuestas predominantemente estáticas. En casos distintos, como otros tipos de construcción con cargas dinámicas, etc., será preciso adoptar medidas desde el punto de vista de diseño para garantizar por el cálculo y los detalles constructivos que la acción mixta chapa-hormigón no se deteriore en servicio.

2.2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El comienzo de la utilización de este tipo de forjados data de 1.938 en los Estados Unidos de América, si bien, con bastantes limitaciones y pensando en la chapa nervada exclusivamente como encofrado perdido.

Es en 1.950 cuando por primera vez en Sant Louis (EE.UU.) se patentó un sistema mixto chapa-hormigón que para conseguir la adherencia entre los dos elementos incorpora una serie de hilos de acero soldados transversalmente a la chapa. A partir de ese momento, determinados fabricantes ponen en el mercado chapas nervadas, es decir sin ningún tipo de embutición o indentaciones, por lo que generalmente necesitaban de mallazos soldados o elementos similares para lograr la acción mixta chapa-hormigón.

En 1.960, también en los Estados Unidos, aparece una chapa que ya introduce indentaciones hacia la cara en contacto con el hormigón, sirviendo eficazmente para absorber la tensión rasante que solicita la interfaz entre ambos materiales. Este sistema se introduce en Europa sobre el año 1969. En estos años los investigadores PORTER Y SCHUSTER trabajan decididamente en el desarrollo de estos forjados y principalmente en todo lo relacionado con la capacidad de los mismos para hacer frente a la tensión rasante. Entre 1980 y 1984 se acaban de elaborar documentos claves como son el de "Specifications for the Design and Construction of Composite Slabs" (American Society of Civil Engineers) y la Normativa británica BS-5950-82 que durante muchos años, incluso hasta nuestro días, sirven para el análisis de esta tipología de forjados.

Estos documentos conllevan básicamente por sí mismos, el efectuar un análisis en rotura para determinar la Capacidad resistente a Tensiones Rasantes, aspecto técnico básico y limitativo de estos forjados.

Desde finales de los años 80 y fundamentalmente en el primer quinquenio de los 90, utilizando reflexiones de determinados investigadores y directrices francesas recogidas en "Avis Techniques", al ser considerado un sistema no tradicional, se postula la necesidad de efectuar un análisis en servicio además del de rotura, proponiéndose métodos y valores recomendables relacionados con resultados de ensayos como limitativos de las acciones o cargas a considerar en el cálculo, llevándose las principales conclusiones al Eurocódigo nº 4 que se incorpora a España en el año 1994 como ENV1994. Actualmente de esta prenorma existe una versión del año 2002.

De todos los estudios efectuados hasta el momento se deduce que habitualmente esta tipología de forjados precisa de ensayos de comportamiento previo, que permitan observar su idoneidad y aplicaciones. Hoy en día siguen llevándose a cabo estudios para definir generalmente las formas de las nervaduras y de las indentaciones, así como las disposiciones de estas últimas con objeto de lograr llegar a luces mas elevadas con cargas mayores y así, de luces que no sobrepasaban, para forjados normales de edificios de oficinas, los dos metros y medio en los años 80, estamos en este momento pudiendo utilizarlas hasta cinco metros y medio.

2.3. DESCRIPCIÓN Y COMPORTAMIENTO RESISTENTE DE LOS F.M.C.N.

Un F.M.C.N. puede encuadrarse dentro del capítulo de estructuras mixtas. El hormigón es dispuesto sobre la chapa nervada (ver figura nº 1), comportándose como un forjado unidireccional en donde la armadura necesaria que trabaja a tracción para soportar los momentos positivos es la propia chapa, 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).

Para que la sección de hormigón y chapa pueda responder adecuadamente como estructura mixta, la propia chapa he 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 solicitaciones 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.

El elemento más significativo de los forjados es la chapa nervada pudiendo tener diferentes tipos de configuración, siendo este aspecto definitivo para lograr una buena capacidad resistente a tensiones rasantes. Existen dos grandes familias por la forma de la chapa como se observa en las figuras nº 2-a y 2-b. En principio, son más aconsejables las de configuración en cola de milano en su concepción general, al “abrazar” el hormigón a la chapa de la manera más eficaz por el efecto de la retracción. Dependiendo del fabricante, pueden existir diferentes configuraciones como las indicadas en las figuras nº 2-a y 2-b, las cuales en función de las diferentes formas de engarce pueden quedar resumidas como indica el Eurocódigo nº 4 y que se exponen en la figura nº 4.

Apartado especial merece el tipo de indentación, tratando de buscar su eficacia bien en zona del valle, en el alma de las chapas o en la parte superior de las mismas. Son aspectos determinantes los siguientes:

- Tamaño de la indentación.
- Intensidad de la indentación en la chapa.
- Posición de la indentación en el perfil.
- Longitud de la indentación.
- Orientación de la indentación en la parte vertical, inclinada u horizontal de la chapa.

El no poder determinar numéricamente la incidencia de algunas de estas alternativas y sus variaciones, es uno de los motivos por lo que es preciso validar la idoneidad y capacidad de estos forjados mediante ensayos.

En la figura nº 3 se pueden observar diferentes tipologías.

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.

En la gráfica que acompañamos en la figura nº 5 puede observarse el desarrollo de la primera y segunda fase, es decir, cuando no existen conectadores.

En el Eurocódigo nº 4 son analizados estos forjados explicando las fases de comprobación a llevar a cabo, cuales son:

- Análisis de la chapa colaborante ante la acción del peso propio del hormigón fresco y otros elementos auxiliares
- Análisis del F.M.C.N. como sección mixta

En ambos casos existen sendos análisis de los estados límites, último y de servicio.

El análisis del F.M.C.N. en lo que a estados últimos se refiere, plantea tres comprobaciones habitualmente, cuales son:

- Flexión
- Tensiones rasantes
- Cortante y punzanamiento (Ver figura nº 6)

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.

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.

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, sí el conectador soporta los esfuerzos a que se ve sometido o la chapa no se desgarra. El cálculo de este tipo de conexión se indica así mismo en el Eurocódigo E-4.

2.4. LIMITACIONES DEL USO DEL F.M.C.N

La limitación más importante de este tipo de forjados viene de la mano de la Capacidad Resistente a Tensiones Rasantes, pues realmente es este aspecto el que provoca normalmente el estado último de agotamiento, siendo por tanto decisivo.

Actualmente podemos decir que utilizando chapas de espesores iguales o superiores a 0.75 mm con indentaciones adecuadas y con conectadores complementarios en apoyos extremos, resulta habitual moverse en luces de 4 metros, pudiendo llegar en ocasiones determinadas hasta 5,5 metros, aunque no de manera habitual.

Por este mismo aspecto, es decir, por la necesidad de mantener una adecuada conexión entre el hormigón y la chapa, en este tipo de forjados se deben adoptar medidas especiales en aquellas construcciones sometidas a cargas dinámicas, debiendo efectuarse especiales consideraciones en zonas sísmicas.

La forma y espesor de la chapa resultan ser un factor decisivo en la resistencia y, sobre todo, en las deformaciones en el momento de hormigonar, donde la flecha no debe superar los valores de $L/180$ o 20 mm.

Obviamente la utilización de este tipo de forjados posibilita la no necesidad de utilizar apuntalamiento, lo que también condiciona, en su caso, tanto la forma de la chapa, en donde el canto es fundamental, como el propio espesor.

Aunque como elemento estructural podría incorporarse con todos los tipos de estructuras en las que se pudiera materializar el apoyo correcto de la propia chapa, es en las estructuras metálicas o mixtas en donde tiene una mayor aplicación para determinadas luces, pensando también en las características de soldabilidad o anclaje mecánico de los conectadores utilizados habitualmente.

En algún caso, puede ser limitativo de este tipo de forjados la existencia de cargas puntuales que puedan llegar a punzonarlos, por lo que es preciso adoptar medidas especiales para materializar el apoyo, logrando un mejor reparto de cargas.

Desde el punto de vista de su resistencia al fuego, por sí mismos se les suele reconocer un tiempo de 30 minutos, lo cual en ocasiones queda por debajo de las exigencias aplicables. En estos casos, es preciso utilizar revestimientos, que en ocasiones tienen dificultades de aplicación debido al galvanizado que las propias chapas poseen. En cualquier caso, puede encontrarse una solución con morteros, pinturas o falsos techos resistentes.

2.5. VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL F.M.C.N

En los apartados anteriores se han mencionado ya algunas de las ventajas e inconvenientes que la utilización de este tipo de forjados supone. No obstante, a continuación se efectúa una enumeración de las mismas.

2.5.1. Ventajas

- 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.
- 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.

Es muy adecuado para oficinas – paisajes en donde es preciso tener flexibilidad en la disposición del mobiliario y por tanto en los puntos de conexión eléctrica, de datos, etc.

2.5.2. Inconvenientes

- Se trata de un sistema de forjado muy específico adaptable muy bien a estructuras mixtas o metálicas presentando una mayor dificultad en otros tipos.
- 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.

- Hoy en día, la fabricación de chapas de elevadas prestaciones, es decir con adecuadas indentaciones que permiten llegar a luces importantes, exige montajes en fábrica de medios de elevado coste.

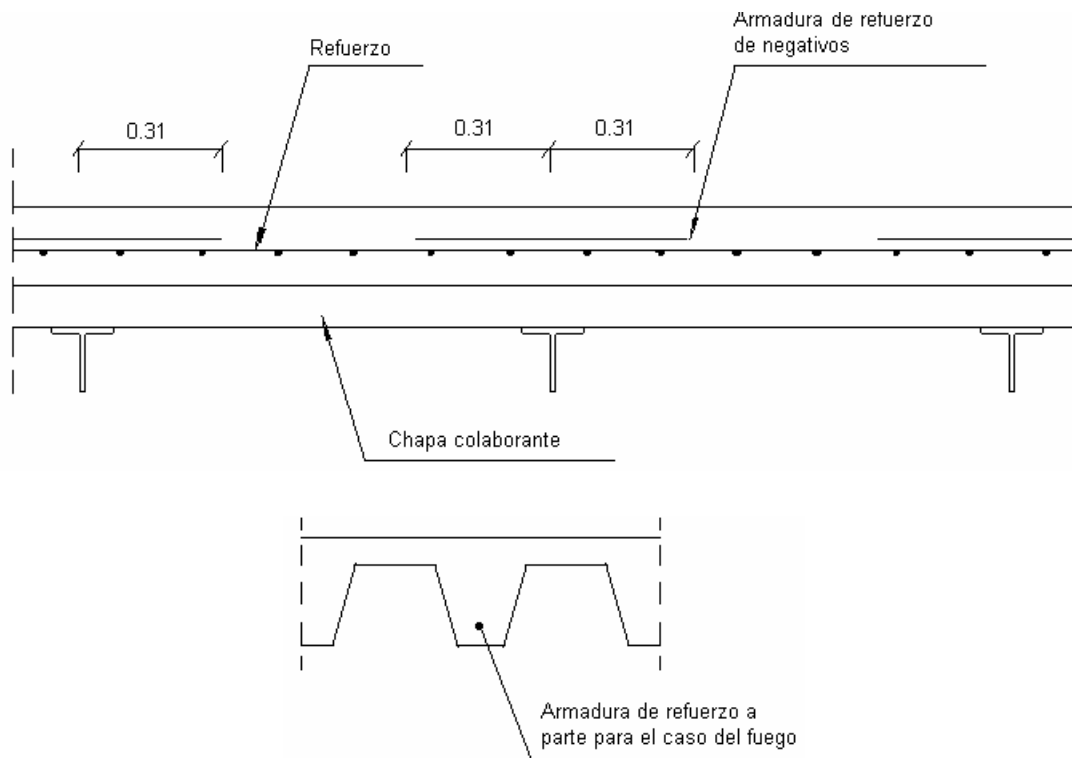


Figura 2.1: Disposición de armaduras complementarias

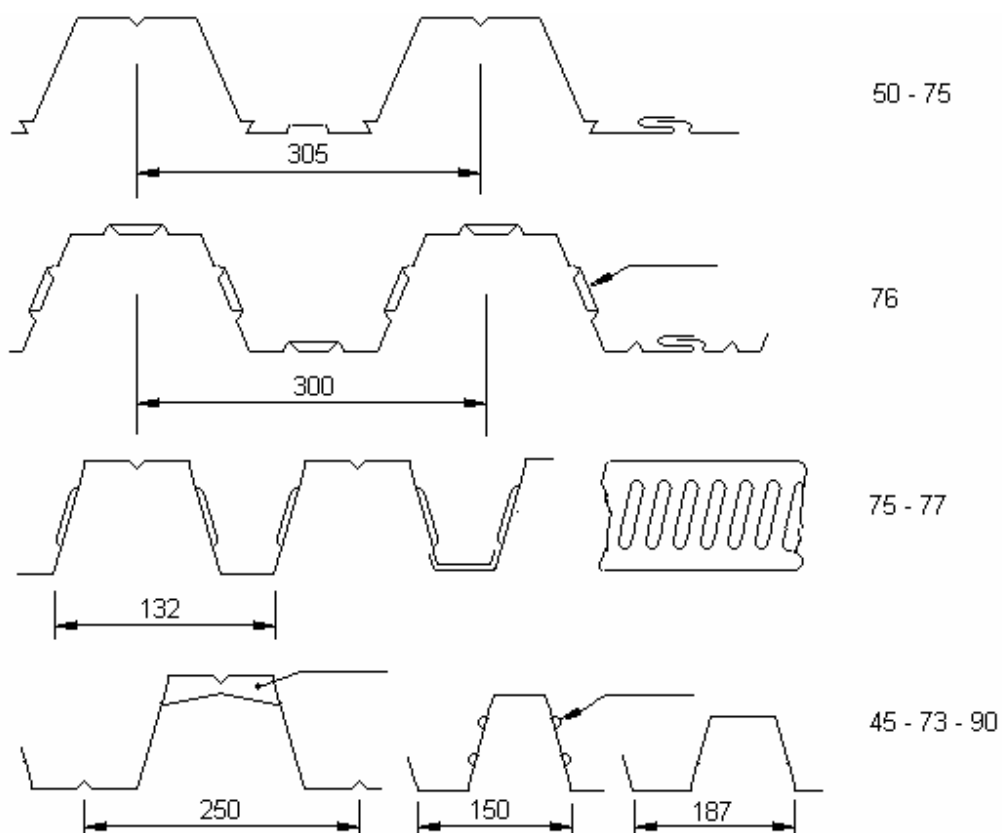


Figura nº 2.2-a: Tipos de chapas

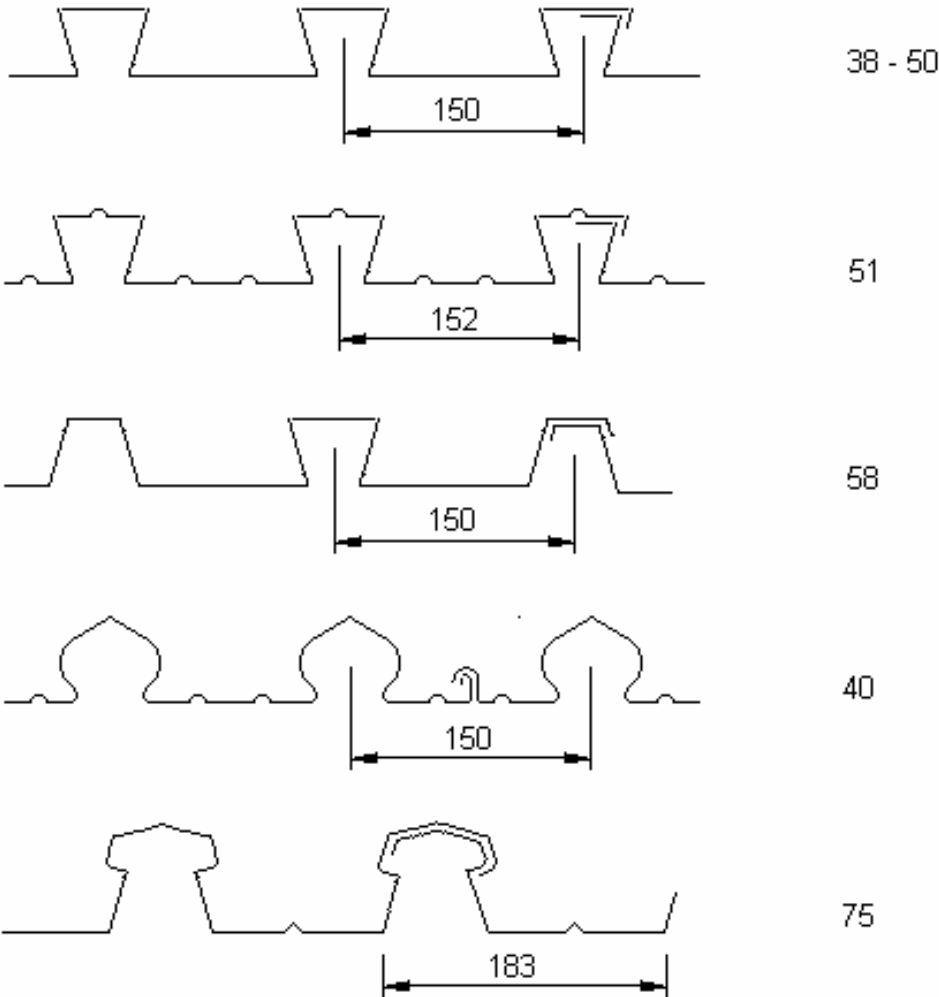
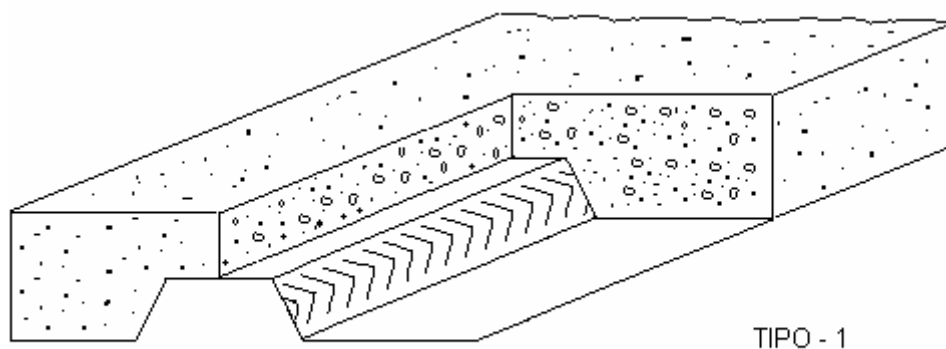
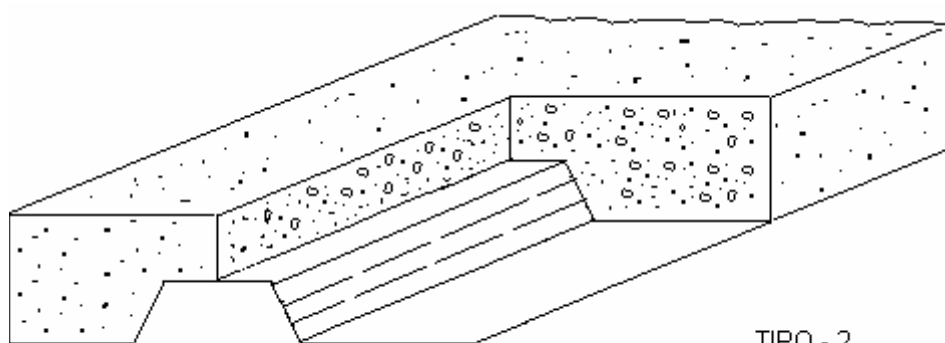


Figura nº 2.2 b: Tipos de chapas



TRANSVERSAL AL NERVIO

TIPO - 1



LONGITUDINAL AL NERVIO

TIPO - 2

Figura nº 2.3: Tipos de indentaciones

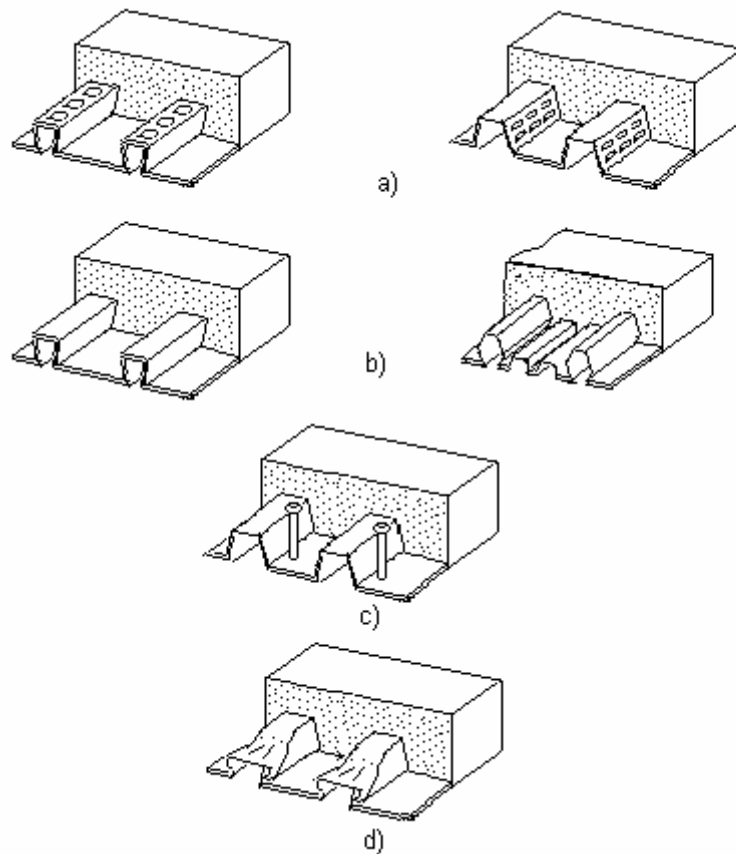


Figura nº 2.4: Configuraciones admisibles del EC - 4

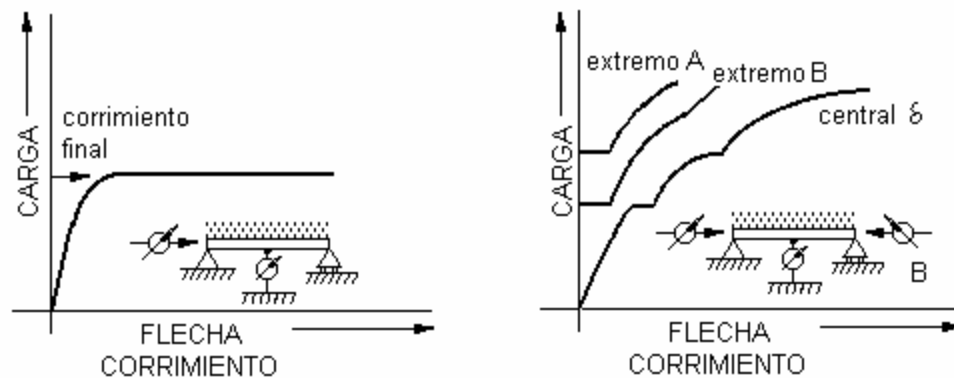
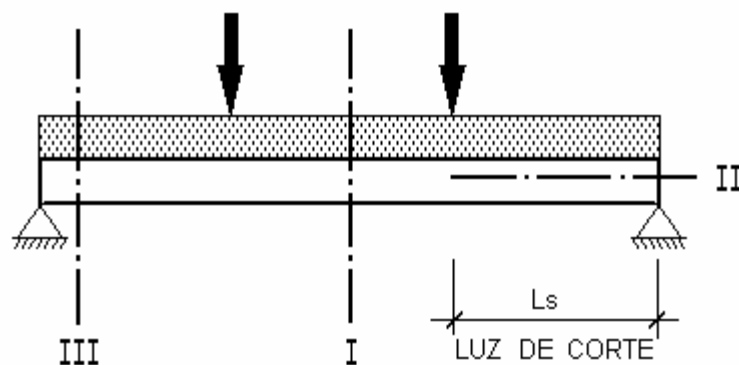


Figura nº 2.5: Comportamiento frágil o dúctil


 Figura nº 2.6: Comprobación sección compuesta estado límite último
 Ilustración de posibles secciones críticas

I-FLEXIÓN

II TENSIONES RASANTES

III CORTANTE Y PUNZONAMIENTO

3. PRODUCTOS PARA FORJADOS MIXTOS DE CHAPA COLABORANTE

Sistema mixto de construcción de un forjado formado por un perfil de acero que además de actuar como encofrado del hormigón, colabora en la resistencia de la losa de hormigón sustituyendo total o parcialmente a las armaduras tracción o positivos.

La acción mixta se fundamenta en la adherencia entre la chapa colaborante y el hormigón fraguado, que debe ser superior al esfuerzo rasante solicitado, y junto con las armaduras adicionales formar un solo elemento estructural.

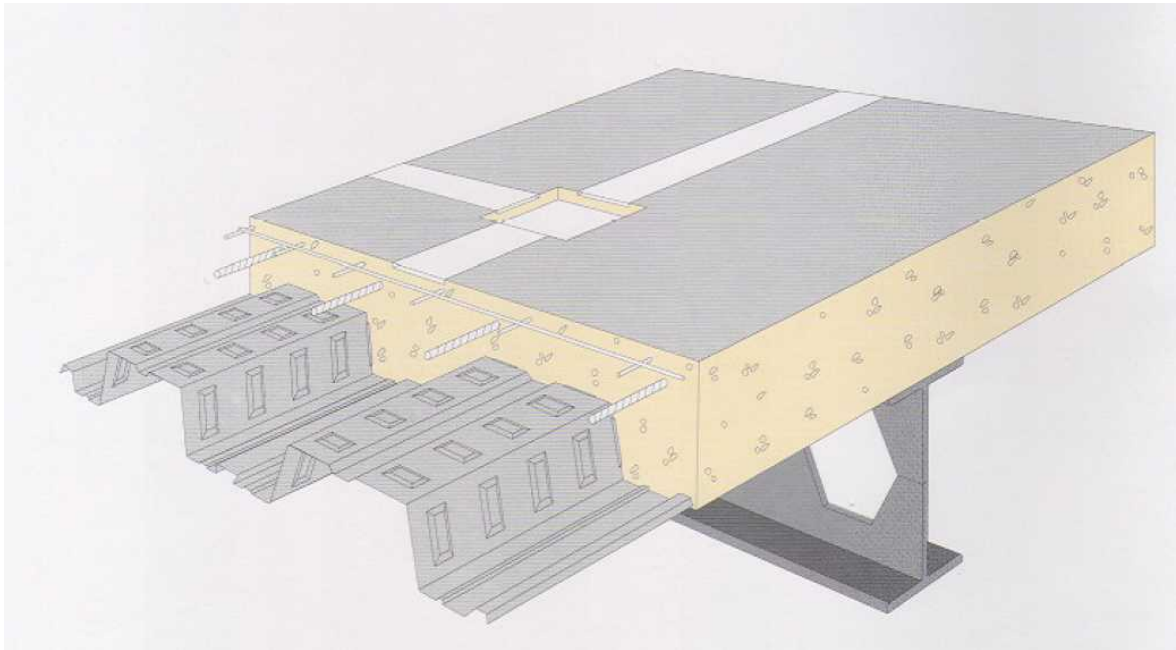


Foto nº 3.1: Sistema forjado mixto colaborante

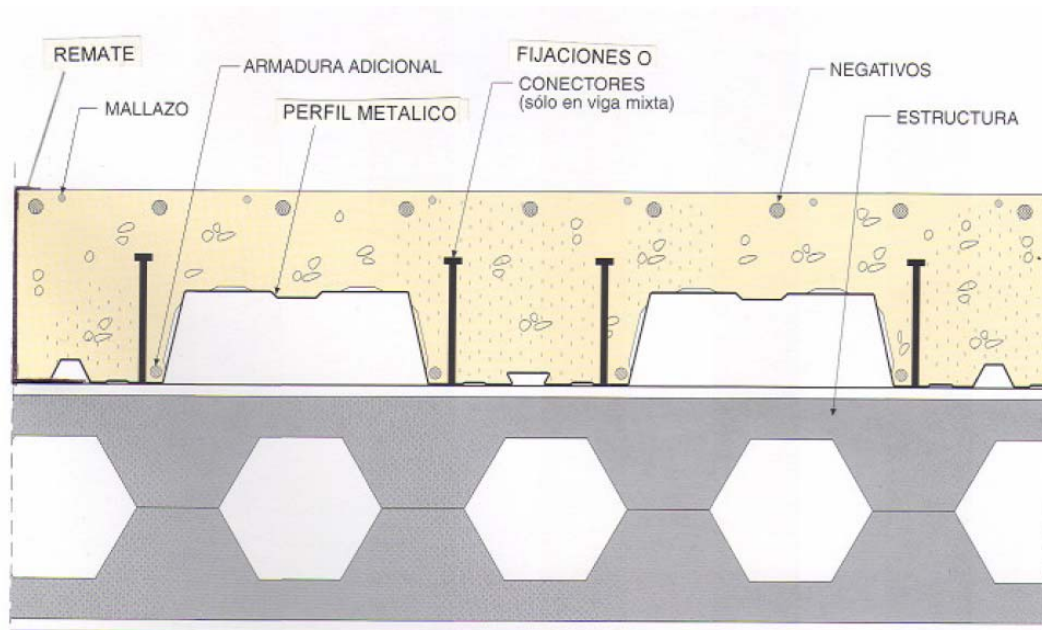


Foto nº 3.2: Elementos de un forjado mixto colaborante

3.1. PERFIL METÁLICO



Foto nº 3.3: Perfil de acero galvanizado diseñado con embuticiones para trabajar en conjunto con el hormigón

En una primera fase es utilizado como encofrado permanente capaz de soportar el hormigón fresco y las cargas de montaje.

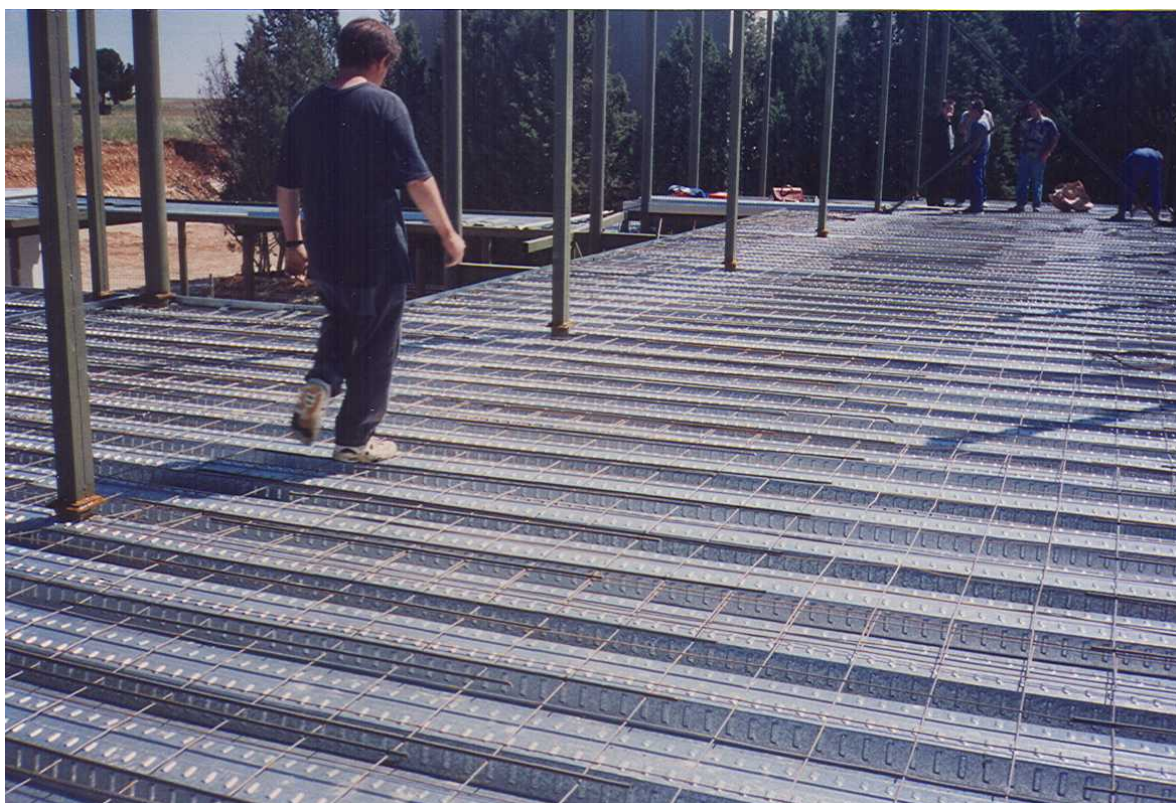


Foto nº 3.4

3.1.1. Denominación y características geométricas

La chapa se denomina por su referencia comercial, la altura de greca, su ancho útil y/o el paso entre ondas

- **H: Altura de la greca**

Como en todos los perfiles la altura o canto es un indicativo de la inercia y capacidad resistente. Las alturas más habituales en este tipo de chapas oscilan entre 50 y 80 mm.

- **P: Paso o ancho útil**

Dato a considerar en el proyecto y petición de material, en el rendimiento de montaje y manipulación en obra.

Rango: 700-900 mm.

- **B: Paso entre grecas**

Característica función del diseño.

- **E: Espesor**

Espesores mas comunes: 0.7, 0.75, 0.8, 1, 1.2 mm.

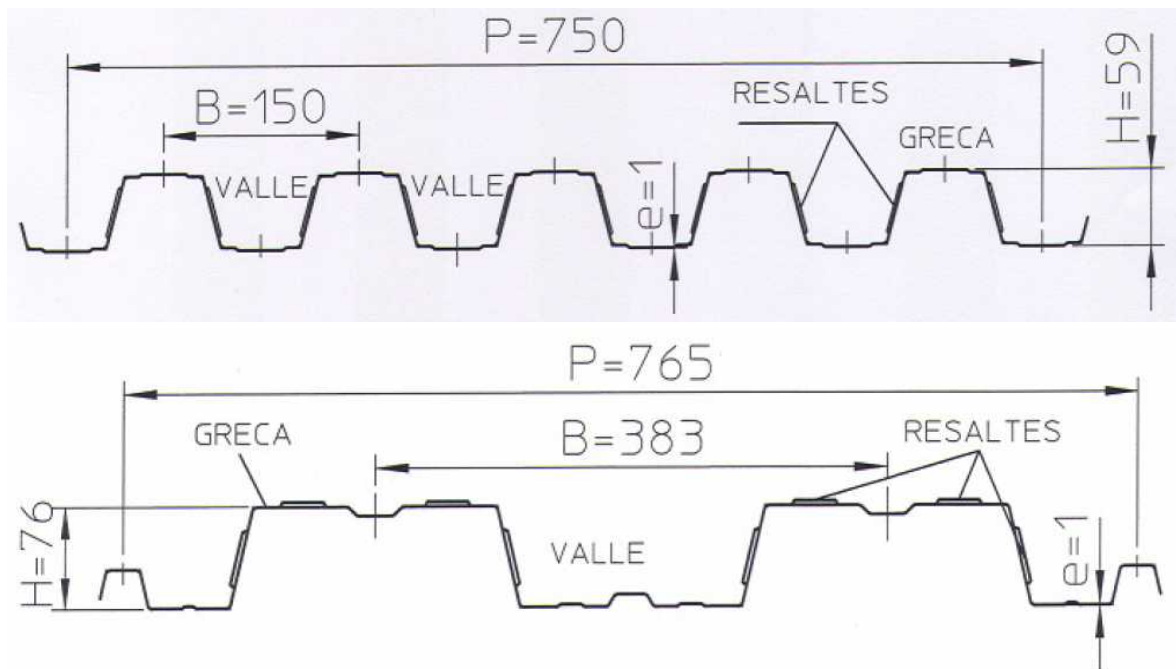


Figura nº 3.1: Ejemplo.

Otros valores importantes para el proyecto y montaje que los fabricantes incluyen en sus fichas técnicas son los siguientes:

- **Peso por m²**
- **Volumen de hormigón por m²**

3.1.2. Características resistentes

Los valores resistentes de cada perfil son consecuencia de su forma geométrica y del tipo de acero.

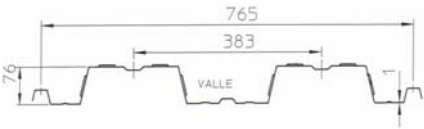
Ixx: Inercia eficaz

Centro de esfuerzos (fibra neutra)

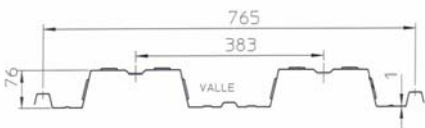
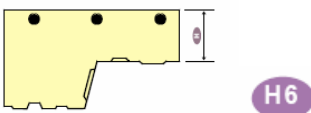
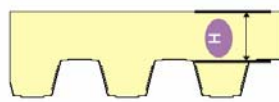
Wxx: Modulo resistente eficaz

La normativa europea que considera el diseño y calculo es el Eurocódigo 3 Parte 1-3.

Ejemplo comparativo I:

	 Espesor: 1mm.	 Espesor 1 mm.
Inercia eficaz (cm ⁴ /m)	98,89	77,57
Modulo resistente eficaz (cm ³ /m)	22,46	25,75
Peso (Kg/m ²)	11,64	13,08
Volumen Hormigón Losa H=8 (L/m ²)	115,1	109,3

Ejemplo comparativo II: Luces libres sin puntales:

	 Losa de hormigón: 6 cm.  		 Losa de hormigón: 6 cm.  	
Espesor	Luz sin puntales (m.)	Carga (Kg/m2)	Luz sin puntales (m.)	Carga (Kg/m2)
0,7	2,9	1000	2,8	600
0,8	3,1	700	3	300
1	3,35	700	3,2	350
1,2	3,6	300	3,4	300

3.1.3. Materiales

La bobina de acero galvanizado es el material base del perfil y debe tener las aptitudes siguientes:

- Soportar las deformaciones y embuticiones propias del perfilado.
- La propiedad de elemento estructural de un forjado obliga a que el material base de la bobina sea un acero de construcción según norma EN-10147.

GRADOS DE ACERO Y TABLA DE CARACTERISTICAS

(Construcción según EN-10147)

GRADOS DE ACERO Y PROPIEDADES MECANICAS

(Para espesor igual o inferior a 3 mm.)

Grados de Acero	Límite Elástico ReH N/mm ² , mín.	Resistencia a la Tracción Rm N/mm ² , mín.	Alargamiento de Rotura A80 %, mín. (1)
S220GD	220	300	20
S250GD	250	330	19
S280GD	280	360	18
S320GD	320	390	17
S350GD	350	420	16
S550GD	550	560	-

(1) Para los productos de espesor nominal $\leq 0,7$ mm. (incluido el recubrimiento de Zinc), los valores mínimos de alargamiento de rotura, A80, deberán reducirse en 2 unidades.

CALIDADES: S 220GD - S 250GD - S 280GD - S 320 GD

Espesores en mm.	NA	MA	MC	NA	MA	MC	NA	MA	MC	NA	MA	MC
0,35 ÷ 0,40							Z 100 a Z 275		Z 100 a Z 275	Z 100 a Z 275		Z 100 a Z 275
0,41 ÷ 0,60	Z 100 a Z 275			Z 100 a Z 275		Z 100 a Z 275	Z 100 a Z 350		Z 100 a Z 275	Z 100 a Z 350		Z 100 a Z 275
0,61 ÷ 0,80	Z 100 a Z 275	Z 275		Z 100 a Z 275	Z 275	Z 100 a Z 275	Z 100 a Z 350	Z 275	Z 100 a Z 275	Z 100 a Z 350	Z 275	Z 100 a Z 275
0,81 ÷ 1,-	Z 100 a Z 275	Z 275		Z 100 a Z 350	Z 275	Z 100 a Z 275	Z 100 a Z 450	Z 275	Z 100 a Z 275	Z 100 a Z 450	Z 275	Z 100 a Z 275
1,01 ÷ 1,5	Z 100 a Z 350			Z 100 a Z 350		Z 100 a Z 275	Z 100 a Z 450		Z 100 a Z 275	Z 100 a Z 450		Z 100 a Z 275
1,51 ÷ 2,-	Z 100 a Z 350			Z 100 a Z 350			Z 100 a Z 450			Z 100 a Z 450		
2,01 ÷ 3,-				Z 100 a Z 350			Z 100 a Z 450					
Anchos en mm.	600 ÷ 750			751 ÷ 850			851 ÷ 1050			1051 ÷ 1250		

NA= Estrella normal
MA= Estrella mínima

MC= Acabado mate
MB= Puede servirse en acabado liso

Cualquier producto que esté fuera del cuadro será objeto de consulta

3.1.4. Resaltes

Las embuticiones o resaltes son el elemento de anclaje, adherencia y colaboración con la losa de hormigón. La cantidad y diseño de los resaltes ha de asegurar una adherencia superior al esfuerzo rasante y cortante vertical.

El calculo y comprobación de la losa mixta se basa en disposiciones teóricas y ensayos de carga. La normativa actual aplicable en la fase mixta o de explotación es el Eurocódigo 4, según el procedimiento de ensayos para obtención de los valores m y k .

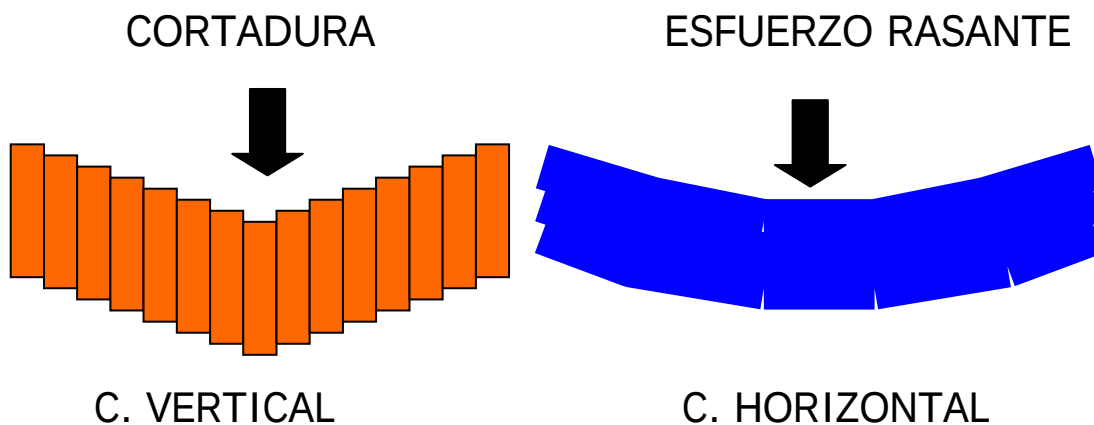


Figura nº 3.2 Esfuerzos losa-chapa colaborante

3.1.4.1. Tipos de resaltes

Verticales o inclinados: Mejor comportamiento esfuerzo rasante

Horizontales y colas de milano: Mejor cortadura vertical.

Circulares.

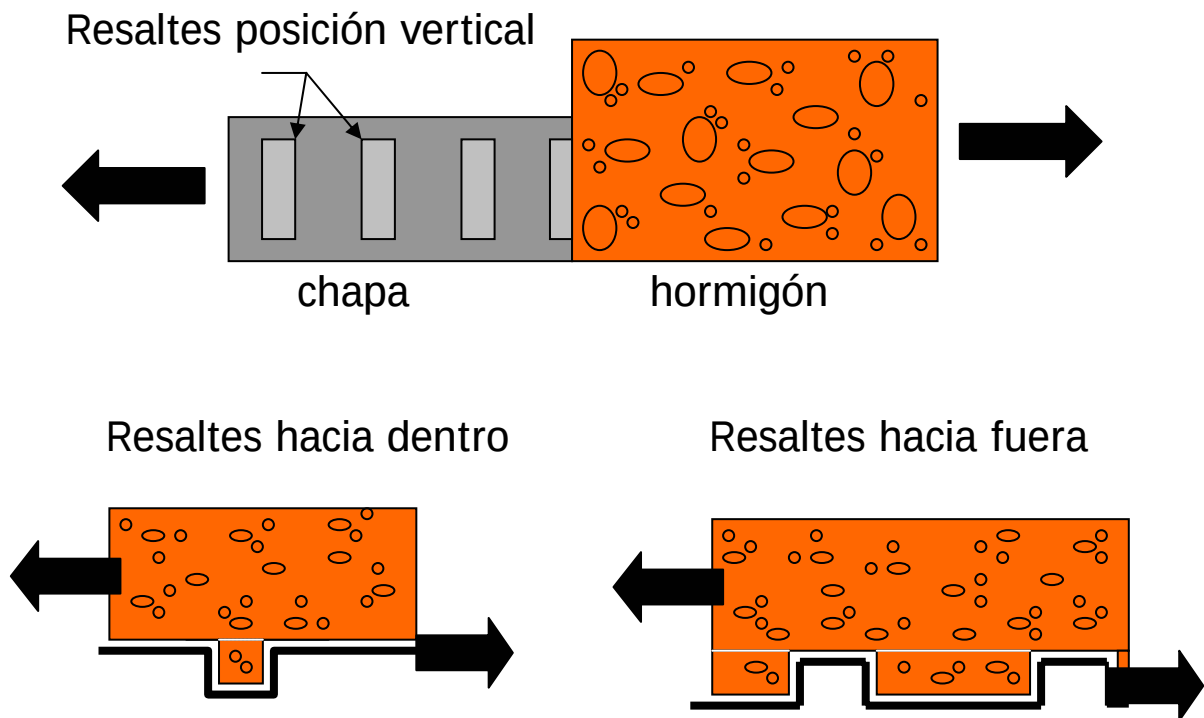


Figura nº 3.3: Tipos de resaltes

Ejemplos:



Foto nº 3.5: Ejemplo de resalte inclinado

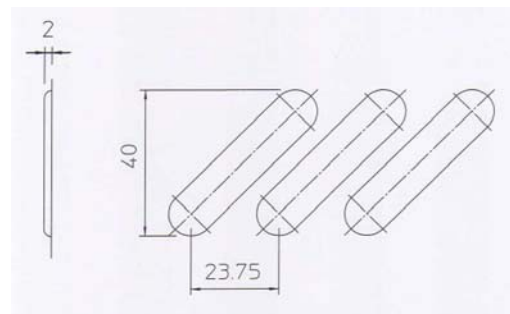
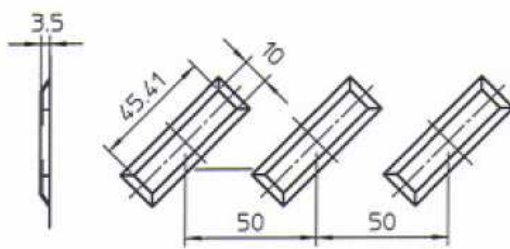


Figura nº 3.4

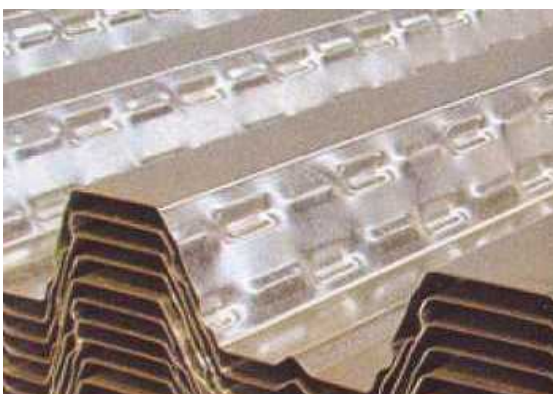


Foto nº 3.6: Horizontales: Dentro-fuera

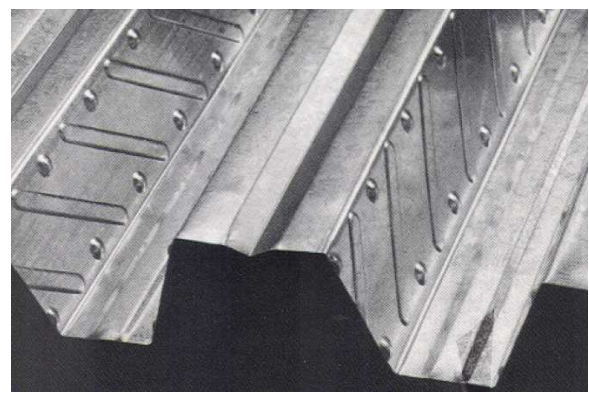


Foto nº 3.7: Inclinaados y circulares

3.2. FIJACIONES

Los perfiles deben fijarse a la estructura para evitar el desplazamiento bajo la acción del viento o durante la fase de hormigonado. La fijación se adaptará al tipo de soporte.

Tipos de fijaciones:

- Tiros o clavos aplicados con pistola. Los más utilizados.

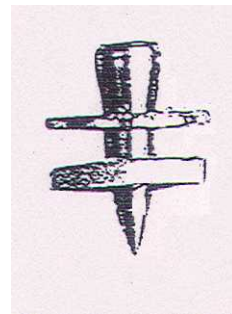


Foto nº 3.8: Clavos aplicados con pistola

- Conectores.

El uso de conectores permite constituir la 'viga mixta' y optimizar así la estructura soporte. Tienen por objeto transmitir los esfuerzos entre la losa y la estructura permitiendo un aprovechamiento global de ambos.

Existen en el mercado dos tipos:

- Conectores soldados

Para soldar el conector a través de la chapa sobre el soporte, la parte superior de la viga debe estar limpia, no pintada y seca, y el perfil en contacto perfecto con la viga.

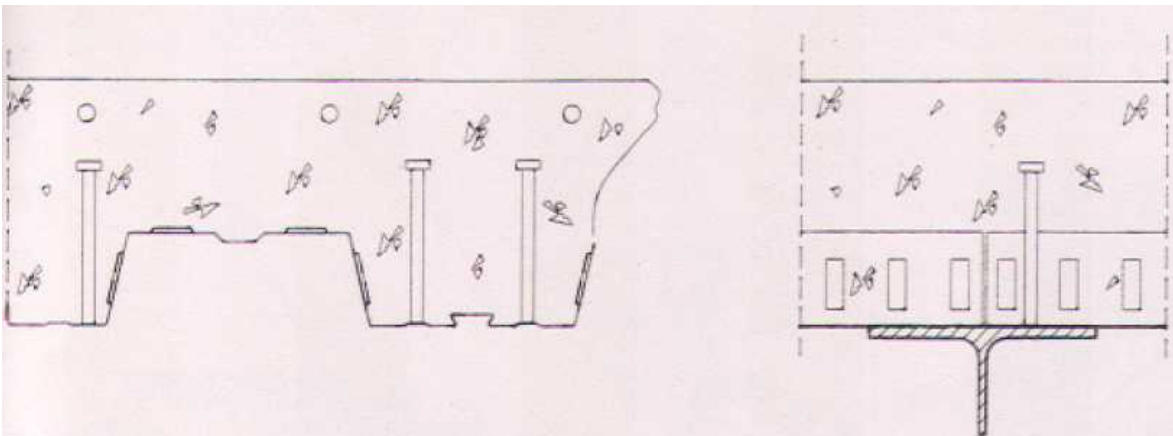


Figura nº 3.5: Conectores soldados



Foto nº 3.9: Colocación de conectores.

- Conectores clavados

Pieza metálica en forma de 'L' fijada a la viga por medio de dos clavos aplicados por pistola. Sistema de ejecución rápido.

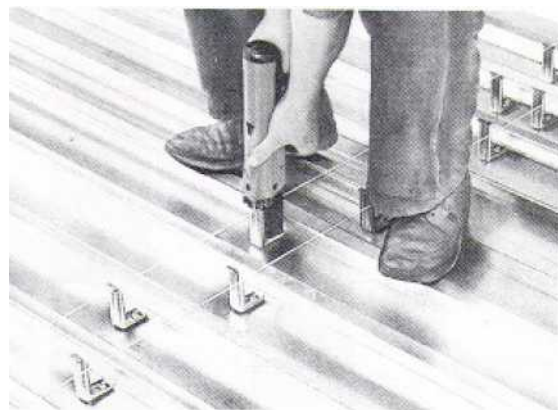
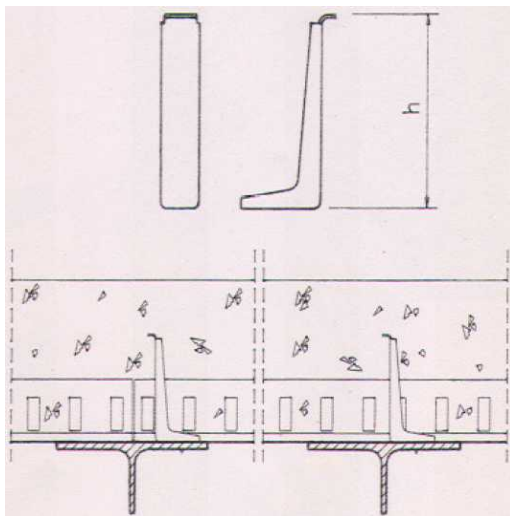


Figura nº 3.6: Aplicación conectores clavados

3.3. ARMADURAS

La principal característica del perfil colaborante es constituir la armadura positiva o de tracción de la losa de hormigón en el centro del vano. El resto de armaduras que conforman viga mixta son las siguientes:

- Mallazo electrosoldado para limitar la retracción debida al secado del hormigón y evitar la fisuración. El calculo determina el tamaño de la cuadrícula y diámetro de la varilla corrugada.



Foto nº 3.10: Mallazo electrosoldado

Ejemplos de mallazo utilizados:

Mallazo electrosoldado			
H6	H8	H10	H12
ø4 200X300	ø5 200X300	ø5 200X300	ø6 200X300
B 500T	fy= 500 N/m2		(EHE)

- Armadura negativa en los apoyos centrales de sistemas multiapoyados para absorber la tracción del momento negativo. El diámetro determina el diámetro de la barra corrugada.

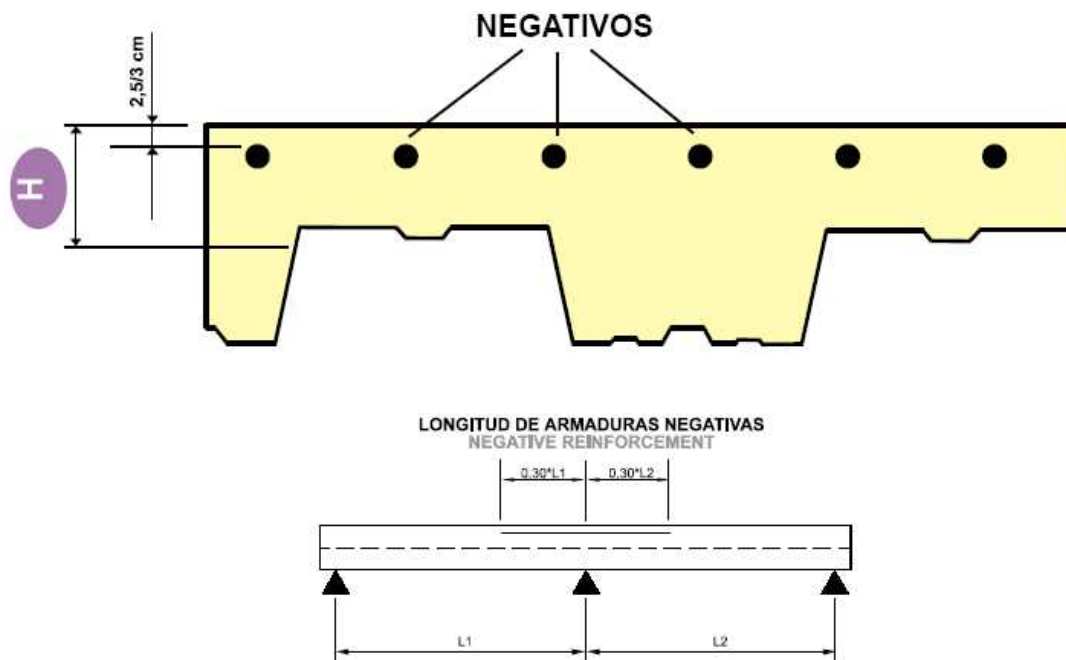


Figura nº 3.7: Armadura negativa

- Armadura positiva adicional en los casos excepcionales en que el perfil no absorba la totalidad de los esfuerzos de tracción.

La cantidad, sección y material de las armaduras se calculan según las solicitaciones requeridas en cada caso y para cada tipo de perfil, siempre según las disposiciones de la norma **EHE – Instrucción de hormigón estructural (Artículo 31)**

3.4. HORMIGÓN

Los hormigones se tipifican, según la instrucción EHE, y deberá reflejarse en los planos de proyecto y en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto.

Normalmente se utilizan hormigones armados HA, con resistencia característica a compresión a 28 días de 25 N/mm²: **HA-25**

En la ejecución de este tipo de forjado podemos encontrarnos con los hormigones aligerados que tienen como característica principal reducir el peso de los forjados de hormigón.

La altura de la losa de hormigón depende de:

- Luces y sistema de apoyo
- Sobrecargas de uso
- Requerimientos específicos del proyecto
- Resistencia al fuego de la losa

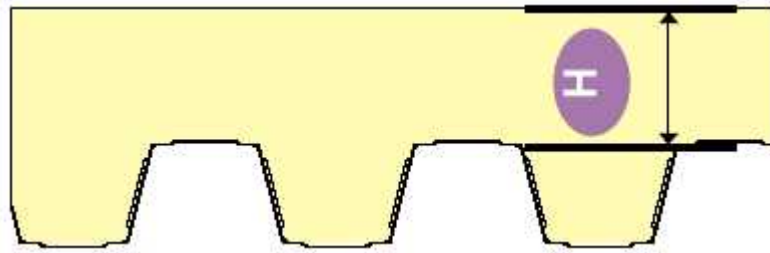


Figura nº 3.8: losa superior



Foto nº 3.11: Fase de hormigonado

3.5. REMATES

Perfiles metálicos de acero galvanizado dispuestos para la contención del hormigón en su fase húmeda. Tipos de remates:

- Remate perimetral:

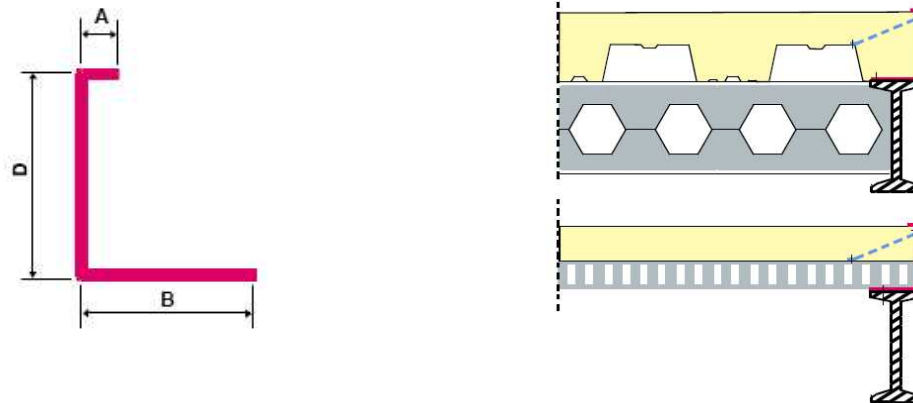


Figura nº 3.9: Remate perimetral



Foto nº 3.12: Perfiles metálicos utilizados para remate perimetral

- Tirante contención: Dispuesto regularmente evita la deformación del remate anterior por el empuje del hormigón



Figura nº 3.10: Tirante contención



Foto nº 3.13: Modo de disposición de tirante de contención

- Remate cambio de sentido de forjado

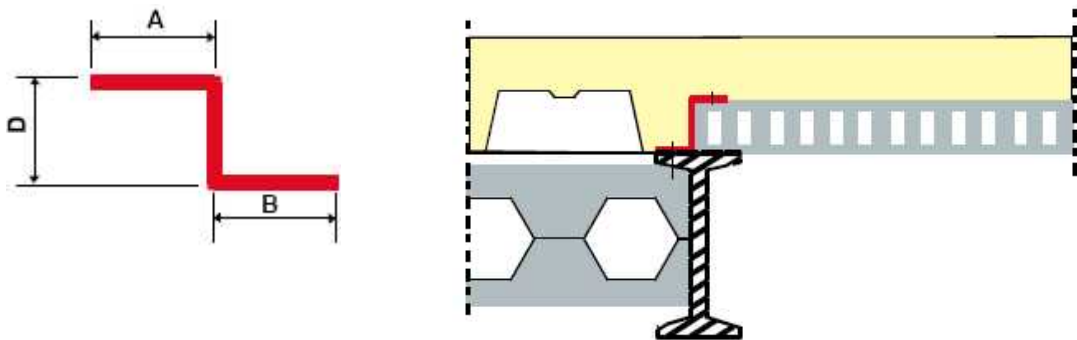


Figura nº 3.11: Remate cambio de sentido de forjado

3.6. PROGRAMAS PARA EL CÁLCULO DE FORJADOS MIXTOS

Algunos fabricantes de chapas colaborantes adjuntan el cálculo del forjado mixto completo según los requerimientos de sobrecargas, luces o resistencia al fuego del proyecto.

Como resultado de este cálculo se obtienen los datos:

Tipo y espesor de chapa, altura de la losa, tipo de hormigón, armaduras, necesidad de puntales.

Ejemplo de aplicación:

DATOS DE CÁLCULO:

Forjado TRIAPOYADO

Sobrecarga uso: 2'00 KNg/m²

Tabiques: 1'00 KN/m²

Solado: 1'00 KN/m²

RESULTADO:**CLIENTE:****FORJADO:****PERFIL METÁLICO**

PERFIL/0,7
 ESPESOR 0,7
 LÍMITE ELÁSTICO 240 N/mm²

HORMIGÓN

HORMIGÓN HA- 25
 ESPESOR DE LOSA 4 cm
 DENSIDAD 25 KN/m³

SOBRECARGAS

PESO PROPIO 1'96 KN/m²
 USO 2'00 KN/m²
 SOLADO 1'00 KN/m²
 TABIQUES 1'00 KN/m²

LUZ 3 m

MALLAZO 200 x 300 x 4

NEGATIVOS

SEPARACIÓN DE NEGATIVOS 250 mm
 DIÁMETRO DE NEGATIVOS 8 mm
 RECUBRIMIENTO DE HORMIGÓN 25 mm

FORJADO TRIAPOYADO**NO ES NECESARIO APUNTALAR****SOLUCIÓN DE FORJADO COLABORANTE****CÁLCULO****FORJADO TRIAPOYADO**

Luz 3,00 m
 Momento negativo -57926 N·mm
 Momento positivo 56322 N·mm
 Reacción en los apoyos extremos 9'10 KN
 Reacción en el apoyo central 25'93 KN
 c.d.g 84 mm

Momento resistente en el vano	110638 N·mm
Brazo de palanca	84'5 mm
Momento resistente en el apoyo	75332 N·mm
Esfuerzo cortante en los apoyos extremos	33'81 KN
Esfuerzo cortante en el apoyo central	27'64 KN
Inercia media	687,17 cm ⁴
Retracción en el sentido de los nervios de la chapa	34,10 cm ²
Retracción transversal a los nervios de la chapa	17,05 cm ²
Aderencia de las armaduras	6348'45 KN
Cizalladura chapa - hormigón	16'81 KN
Flecha permanente	cm
Flecha provocada por la sobrecarga de uso	1'40 mm
Longitud de los negativos (centrados en el apoyo)	1800 mm

4. CONSTRUCCIÓN DE FORJADOS MIXTOS DE CHAPA COLABORANTE

4.1. INTRODUCCIÓN

La prácticamente nula existencia de documentos sobre esta materia en España nos indujo a redactar esta guía de ayuda a las personas responsables de la puesta en obra de estos productos. Se tomaron como referencia un interesante documento del Steel Construction Institute y la publicación "Planchers col.laborants" de J.D. Antropius.

Esta Guía describe, paso a paso, las mejores prácticas de ejecución de losas mixtas o colaborantes en edificios de estructura mixta, aportando conceptos que afectan también al diseño, por lo que se considera de utilidad tanto para proyectistas como para las personas a pie de obra.

Como sin duda saben, una construcción "mixta" o "compuesta" se define como aquella en la que las vigas de acero actúan estructuralmente de forma conjunta con las losas de hormigón constituidas sobre ellas. Para conseguir la acción mixta o compuesta se utilizan a menudo pernos conectores cuya misión es absorber los esfuerzos rasantes que se producen en todo sistema mixto trabajando a flexión.

De forma similar, un **forjado mixto**, está constituido a partir de una chapa grecada de acero que presenta unas embuticiones de forma, densidad y ubicación diversa. Dicha chapa actúa inicialmente como un encofrado permanente del hormigón pero a partir del momento en que el hormigón adquiera una resistencia suficiente, gracias a la conexión mecánica que aportan las embuticiones, ambos materiales actuarán de forma solidaria dando origen a un nuevo elemento con características propias, que aporta una gran ligereza, rigidez y eficacia a la solución de forjado.

Los siguientes apartados muestran las diferentes fases constructivas y describen, de forma clara, la forma correcta de ejecución subrayando algunos posibles riesgos. El documento se divide en dos apartados. El primero trata de la ejecución práctica y el segundo del control y cuidado en la aplicación de cargas sobre las chapas y losas.

4.2. RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

Los accidentes en obra pueden prevenirse informando adecuadamente a los trabajadores de los posibles peligros y tomando las precauciones oportunas. La supervisión de los responsables a pie de obra es importante, pero los obreros deben comprender y asimilar las fases del proceso constructivo y sus consecuentes riesgos. Es obligado el cumplimiento de las normas básicas de seguridad de obra tales como la utilización de protección colectiva horizontal e individual.

En todas las obras existe un escenario en que cada actor desarrolla un papel importante. Si bien el proyectista, normalmente un arquitecto o ingeniero, es responsable del edificio terminado, el contratista es responsable del proceso de construcción y de la seguridad en la obra. Las estructuras metálicas son, habitualmente, fabricadas, suministradas y montadas por talleres

especializados en el acero, como subcontratistas de un contratista general o por contrato directo a través de la Dirección Facultativa.

Las chapas metálicas y los pernos electro-soldados son, a su vez, colocados por otras empresas especializadas que pueden actuar como subcontratas del contratista de estructura metálica o del contratista general. El hormigón y las armaduras de refuerzo son generalmente colocadas por el contratista general o de obra civil.

Existen pues suficientes participantes como para que las comunicaciones malas o insuficientes incrementen el riesgo de errores y accidentes. Es muy importante dar una correcta difusión de planos e instrucciones a todas las personas a las que pueda afectar esta unidad de obra. Los errores derivados de insuficiente información son causa, muchas veces, de situaciones de riesgo para el trabajador y suponen a menudo elevados sobre-costes.

4.3. GUÍA DE EJECUCIÓN

Por cuestiones de seguridad y calidad es recomendable preparar unos planos de ejecución de los forjados en los que aparecerán claramente definido lo siguiente:

- Límites exteriores del forjado
- Límites interiores definidos por huecos de todo tipo
- Estructura de apoyo
- Distribución de las chapas metálicas indicando nº de unidades, largo, espesor y ubicación.
- Zonas en las que se requiere apuntalamiento.
- Posibles estructuras de soporte o armaduras de refuerzo en huecos.
- Detalles y armado de posibles voladizos.
- Sección tipo del forjado
- Armaduras de RF, si procede

4.3.1. Recepción, almacenaje y elevación de las chapas

Las chapas se embalan y empaquetan en bultos cuyo peso se halla en torno a las 2,5 Tm. Cada bulto debe llevar una etiqueta de identificación que facilite:

- Nº de pedido y zona de destino (si se especifica en el pedido)
- Nombre del cliente y de la obra.
- Nombre del fabricante o proveedor.
- Descripción del producto, espesor y límite elástico del acero.
- Número de chapas.
- Peso del bulto.
- Número de bulto.

En el caso de que los paquetes deban ser descargados temporalmente en el suelo, se evitará su contacto directo con la tierra.

La elevación se realizará mediante eslingas o balancines en función del largo de los paquetes y se depositarán sobre la estructura en los lugares acordados previamente, sin generar riesgos de sobrecarga excesiva. Para evitar el tener que girar las chapas, los bultos se situarán de forma que el solape de las chapas quede siempre del mismo lado en todos los bultos.

Nunca deberán utilizarse los flejes como elementos de izado.

4.3.2. Colocación de las chapas

Antes de iniciar el montaje de las chapas, los responsables de la colocación y supervisión de la fijación de la chapa verificarán que obra en su poder la última edición de planos de ejecución.

Cuando sea preciso realizar soldadura de pernos conectores a través de la chapa, es totalmente imprescindible que la cara superior de las correas esté perfectamente limpia y sin pintar.

Antes de proceder a la elevación de los paquetes de chapa, se comprobará que la estructura metálica esté finalizada y en condiciones para poder soportar la sobrecarga consecuente.

Se verificará que los paquetes de chapa han sido izados a la zona prevista y que el espesor, longitud, límite elástico son correctos y la información de la etiqueta coincide con la información contenida en el plano.

Una vez abiertos los paquetes se iniciará el montaje de las chapas, normalmente a partir de una esquina del edificio, respetando el orden de montaje indicado en los planos. Los montadores crean, al principio, su propia plataforma de trabajo con las primeras chapas perfectamente fijadas por lo que nunca se debe caminar directamente sobre las vigas.

Dado que la protección horizontal es obligatoria a partir de 2 m. de altura, es obligatorio el uso de redes horizontales en cada forjado y se evitará trabajar simultáneamente en zonas coincidentes de niveles de forjado consecutivos.

Las chapas, una vez llevadas a su posición definitiva, deberán ser fijadas antes de continuar con la siguiente. Si por razones de replanteo previo es necesario el extendido de una zona completa, se realizará un número mínimo de fijaciones, procediéndose rápidamente, una vez replanteadas de forma correcta, la fijación definitiva y total de las chapas.

Los nervios laterales suelen estar diseñados de forma que una vez realizado el solape de las chapas, las pérdidas de lechada son mínimas. Son normales y admisibles aberturas de hasta unos 5 mm entre los frentes de las chapas. Los encuentros con pilares o columnas pueden solucionarse con remates y juntas o sellados.

Por razones de seguridad, deberá evitarse el dejar chapas sueltas o paquetes empezados y, por tanto, sin flejes. Caso de quedar algún paquete a medias se realizará un atado con alambre u otro medio disponible.

Las chapas se fijarán a las vigas soporte sobre las que apoyarán un mínimo de 50 mm. Las fijaciones mas comúnmente utilizadas son los clavos, o disparos, los tornillos autorroscantes y autotaladrantes.

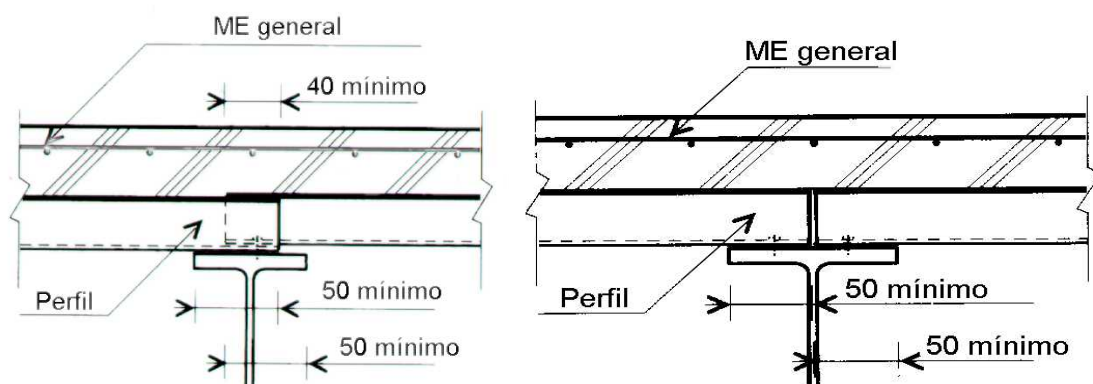


Figura nº 4.1: Modo de fijación de las chapas

Las chapas se fijan en cada nervio en los límites del forjado y cada dos nervios en el resto de vigas intermedias. Estas fijaciones cumplen únicamente una función de sujeción frente a levantamientos por el viento, no pudiendo ser consideradas una conexión losa-viga.

Se evitará el depositar cargas pesadas sobre las chapas y muy especialmente en los espacios entre las vigas.

4.3.3. Sobrecargas temporales de diseño de chapas grecadas

Las figuras 2 y 3 muestran diversos tipos de perfiles utilizados habitualmente. Los espesores mas frecuentes oscilan entre 0,7 y 1,2 mm. Las chapas son galvanizadas, Z275, como protección frente a la corrosión. En caso de losas mixtas en contacto con el exterior se recomienda un recubrimiento superior y un control frente al riesgo de corrosión acelerada por agentes contaminantes.

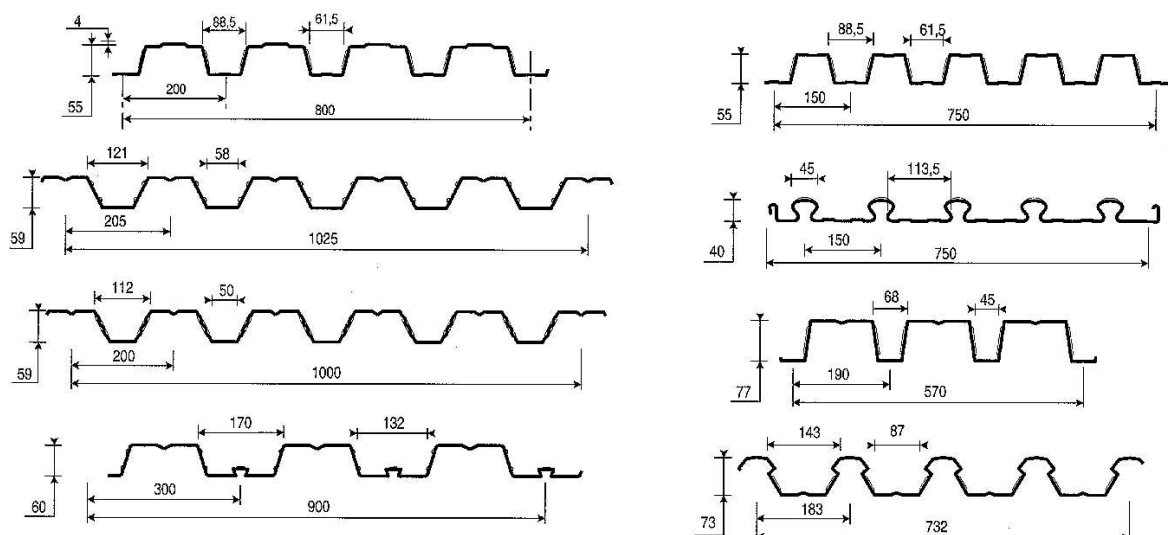


Figura nº 4.2 y 4.3: Tipos de perfiles utilizados habitualmente

Como indicábamos al inicio, las chapas nervadas colaborantes cumplen dos funciones principales:

- Soportar 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.

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 $1,5 \text{ kN/m}^2$ aplicada en un único vano de cada chapa en un momento dado. Para los vanos adyacentes puede considerarse una sobrecarga adicional de $0,5 \text{ kN/m}^2$ que se sobrepondrá, lógicamente, al peso propio de la losa (entre 2 y 3 kN/m^2).

La sobrecarga de construcción, de $1,5 \text{ kN/m}^2$, es representativa de lo que se considera una correcta ejecución de la losa o forjado.

4.3.4. Diseños de forjados mixtos

Las losas acabadas suelen tener un espesor total entre 100 y 250 mm ., pudiendo depender, en algunos casos, de la resistencia al fuego requerida para el forjado.

Los perfiles colaborantes poseen indentaciones u otras deformaciones mecánicas que permiten alcanzar una buena adherencia de la chapa con el hormigón, aportando una excelente resistencia a los esfuerzos rasantes.

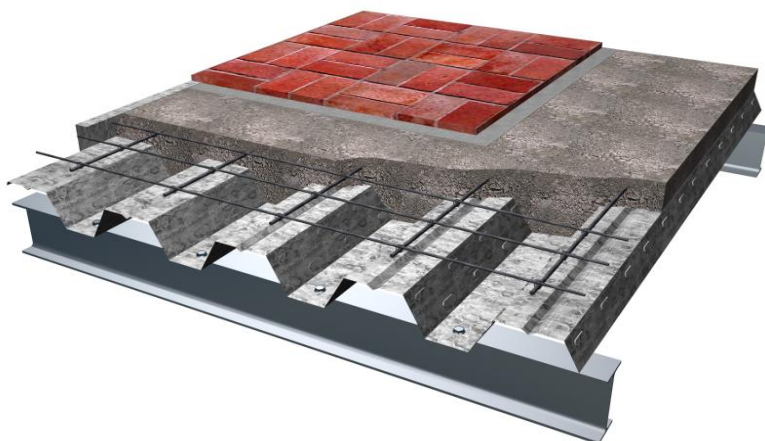


Foto nº 4.1: Ejemplo de adherencia de perfiles colaborantes en chapa de hormigón.

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 EUROCODIGO 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.

4.3.5. Remate perimetral

Los remates perimetrales constituyen los límites verticales de los forjados y se realizan a base de piezas angulares de chapa de acero galvanizada. Es muy importante que estén correctamente posicionados y fijados de forma que no se deformen o vengzan durante el hormigonado ya que determinadas fachadas y muros cortina no prevén grandes tolerancias (± 25 mm) y utilizan a menudo el canto de los forjados para ubicar las placas de anclaje.

Los remates perimetrales se suministra a obra con la altura requerida, igual al espesor total de la losa. Para espesores de losa importantes o voladizos del forjado que impidan que el remate pueda descansar y ser fijado a la estructura, puede recurrirse a pequeños tirantes separados de 0,6 a 1 m. que servirán para dar rigidez a su parte superior. El espesor de la chapa del remate debe venir especificado en proyecto (consultar planos constructivos). Los remates se fijan por el mismo sistema que la chapa.

Cuando la chapa se extiende a lo largo de la última viga y vuela una pequeña distancia, la chapa es suficientemente rígida y el remate puede fijarse como se indica en las figuras.

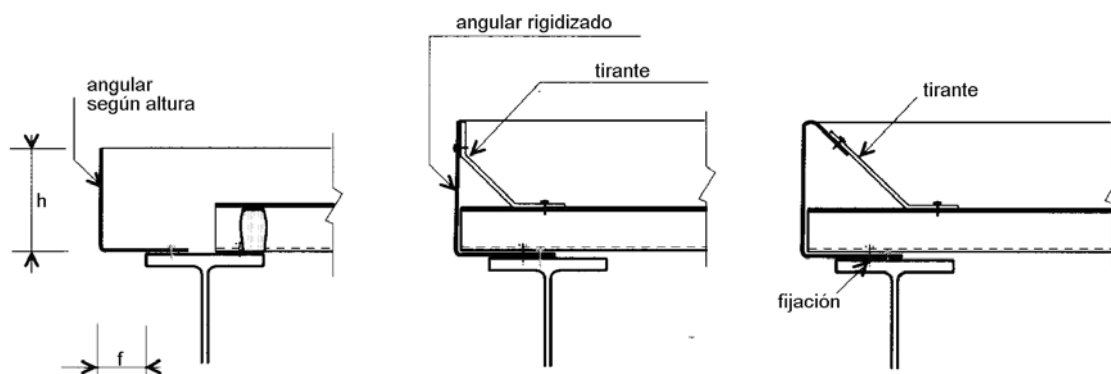


Figura nº 4.4: Modo de fijación del remate perimetral

4.3.6. Voladizos

Los voladizos requieren ser verificados tanto en la fase de construcción como en la mixta.

En fase de construcción, la chapa, en la dirección de los nervios, es capaz de soportar un determinado vuelo sin necesidad de apuntalar. En la dirección transversal a los nervios se requiere siempre apuntalamiento. Cada fabricante conoce la capacidad de su perfil y marcará los límites sin apuntalar, si bien se recomienda no superar en ningún caso los 600 mm. y se cuidará muy especialmente la fase de vertido evitando que los obreros se desplacen por esas zonas.

El caso mas engorroso se presenta cuando las chapas están dispuestas paralelamente a la viga perimetral y está previsto que la losa tenga un pequeño vuelo. En este caso el remate perimetral de chapa no está soportado. El remate deberá estar fijado a las prolongaciones de las vigas soldadas a la viga perimetral. Si no han sido previstas dichas prolongaciones, será necesaria la colocación de soportes temporales en forma de puntales.

En la fase mixta, la chapa no participa en la absorción de esfuerzos por lo que deberá verificarse si la armadura de negativos de la zona corriente es suficiente para el voladizo en cuestión.

4.3.7. Fijaciones a base de disparos

Las herramientas de disparo a base de cartuchos son las mas habitualmente utilizadas para la fijación de las chapas y de los remates. Estas fijaciones reciben a menudo el calificativo de fijaciones "calientes". Existen diferentes potencias de cartucho dependiendo del espesor y del límite elástico del acero de la estructura.

Las fijaciones se realizan atravesando la chapa y los remates perimetrales. La distancia mínima a respetar entre la fijación y el final de la chapa es de 20 mm. Deberán utilizarse medios de protección personal (gafas de seguridad y tapones auditivos).



Foto nº 4.2: Utilización de herramientas en la realización de fijaciones

4.3.8. Utilización de puntales

Las chapas se diseñan para ser utilizadas en la fase de encofrado sin necesidad de sopandas, en vanos de hasta 3-4 m. Para vanos superiores puede ser necesario un apuntalamiento provisional, de acuerdo a la información del producto facilitada por el fabricante o proveedor. Se deberá prestar especial atención a aquellos casos en los que sólo se requiera apuntalar zonas concretas aún cuando la mayor parte del forjado no lo precise.

Por razones de seguridad y protección de la misma chapa, puede ser recomendable apuntalar zonas de almacenamiento de material o paso de personas, próximas a los puntos de acceso al forjado. Las áreas mas críticas suelen ser las zonas que rodean a las grúas o puntos de izado por lo que no está de mas prever en estos lugares unos vanos mas reducidos. En caso de vanos superiores a 4 m. se recomienda apuntalar incluso antes de extender la chapa.

ES IMPORTANTE INDICAR CLARAMENTE EN LOS PLANOS Y VERIFICAR POSTERIORMENTE SI ES NECESARIA LA UTILIZACIÓN DE PUNTALES (LA LETRA "P" IDENTIFICARÁ LAS ÁREAS QUE REQUIEREN APUNTALAMIENTO).

Los puntales se deben colocar alineados, coincidiendo con la dirección que define el centro del vano. En determinados casos, dependiendo del diseño de la estructura, es posible apuntalar recurriendo a las alas inferiores de las vigas principales como soporte.

LOS PUNTALES NO DEBEN SER NUNCA APLICADOS DIRECTAMENTE SOBRE LA CHAPA DEL FORJADO INFERIOR SALVO QUE ESTE ESTÉ, A SU VEZ, APUNTALADO CONTRA UNA LOSA ACABADA. LOS PUNTALES DEBERÁN PERMANECER COLOCADOS HASTA QUE EL HORMIGÓN HAYA ALCANZADO COMO MÍNIMO EL 75% DE LA RESISTENCIA PREVISTA EN PROYECTO.

Los puntales podrán ser aplicados contra la losa inferior fraguada, siempre que la capacidad de carga admisible de este forjado supere las cargas aplicadas por la chapa superior. El forjado que soporta los puntales habrá alcanzado en esta fase la resistencia adecuada. En caso contrario se precisarán puntales contra el forjado inferior, es decir existirán puntales en dos niveles de forjado. Estas situaciones deberán ser comunicadas al personal de obra y al calculista.

Los puntales no deberán ser retirados hasta que el hormigón haya alcanzado, como mínimo, el 75 % de su resistencia. Esto ocurre normalmente después de 7 días. En esta fase se pueden aplicar pequeñas cargas.

4.3.9. Aplicación de pernos conectores (revisar dejando lo que tenga relación con la geometría del perfil)

Los pernos conectores más habitualmente utilizados en el diseño de vigas mixtas son los de 75 a 150 mm. de alto y de 19 ó 22 mm. de diámetro. El de 19 mm. de diámetro y 100 mm. de altura es el tipo más común. El perno conector aplicado a disparo (marca Hilti) es de 80 ó 110 mm. de alto. El perno de 19 mm. de diámetro puede ser soldado a través de la chapa en obra mediante grupos de soldadura adecuados con protecciones cerámicas para concentrar la potencia del arco. Este es el método más común de unión que se utiliza y con el que se obtienen buenos resultados siempre que la cara superior de las vigas esté sin pintar y libre de virutas, polvillo metálico de desbarbadora o herrumbre, siendo, además, necesario que la chapa esté limpia. Si la chapa llevará algún film de protección, deberá ser retirado antes de la colocación de la chapa. Para conseguir una soldadura correcta el espesor de la chapa deberá ser inferior a 1,5 mm. y el recubrimiento de galvanizado no superará los 0,03 mm. por cara.

Opcionalmente, los pernos pueden ser soldados sobre las vigas en el taller. Esta solución puede ser conveniente cuando se trate de pernos de gran diámetro y la más adecuada cuando deba suministrarse la estructura a obra ya pintada. Tiene el inconveniente, obvio, de que la chapa deberá ser montada a tramo simple o bien, si se desea colocar a tramo continuo, deberán realizarse los taladros oportunos que permitan su fácil colocación. El montaje de las vigas se complica, también, de forma considerable por lo que deberá tenerse en cuenta que la solución a base de pernos soldados en taller suele suponer importantes disminuciones de ritmo en la construcción.

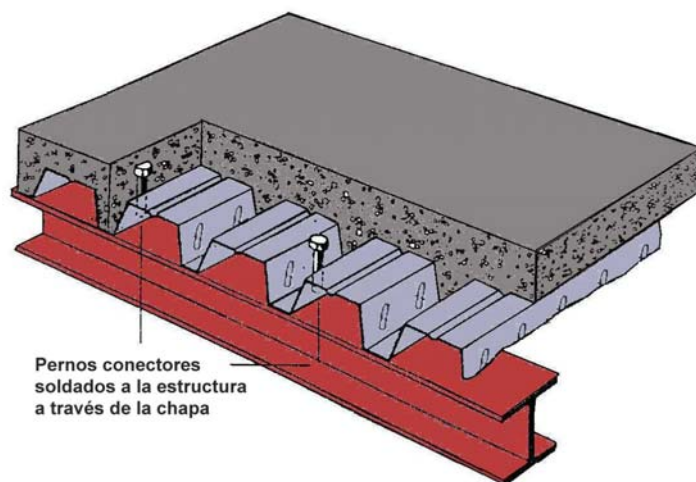


Foto nº 4.3: Modo de soldar los pernos conectores

Los conectores HILTI-HVB ofrecen una resistencia a esfuerzos rasantes inferior a los pernos soldados pero, por contra, pueden ser aplicados con la estructura pintada, en condiciones climatológicas adversas, y no precisan de fuente de energía. La soldadura de pernos a través de la chapa se realiza mediante una sencilla operación pero, eso sí, por personal especialista.

DEBE EVITARSE REALIZAR SOLDADURAS DE PERNOS A TRAVÉS DE DOS ESPESORES DE CHAPA.

4.3.10. Detalles de pernos conectores

Los pernos conectores soldados a través de la chapa son de 19 mm. de diámetro y de 75 a 150 mm. de longitud, con una cabeza de aproximadamente 28 mm. de diámetro. El límite de rotura del material es 450 N/mm² 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 9a). Ello es aplicable asimismo a las parejas de pernos conectores en una misma onda (figura 9b). 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 9c). A causa de ello no es recomendable utilizar vigas de ancho de ala inferior a 120 mm.

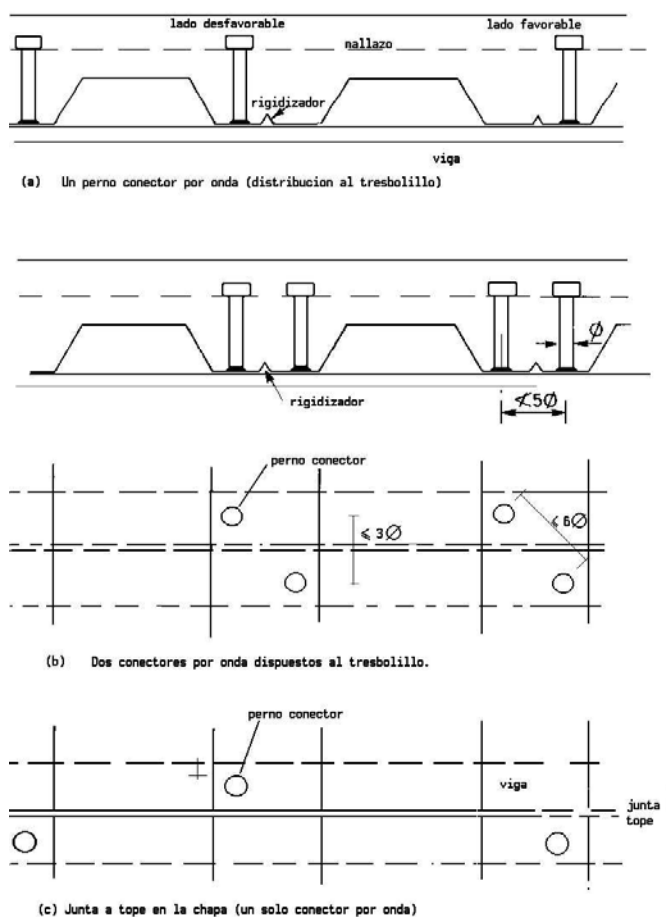


Figura nº 4.5: Disposición de pernos conectores

4.3.11. Armaduras

Las armaduras de los forjados colaborantes están compuestas normalmente por mallazos relativamente ligeros. Los redondos están normalmente a la misma separación en ambas direcciones, sin embargo es posible encontrar mallazos especiales con redondos mayores o situados a distancias menores en una dirección.

La armadura actúa principalmente en la dirección normal a las vigas y cumple varias funciones:

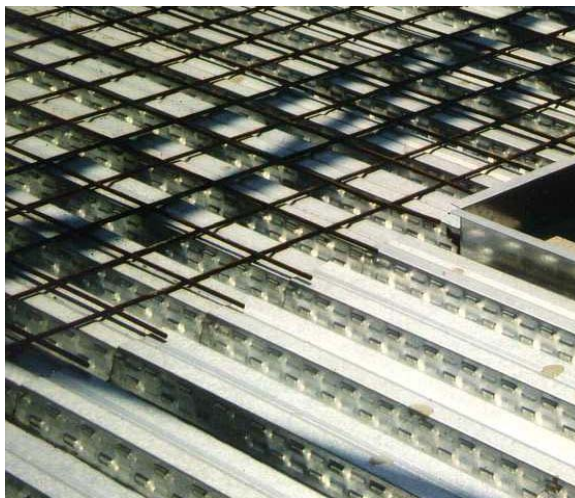


Foto nº 4.4. Actuación de la armadura

Actúa como una armadura transversal que impide la fisuración a lo largo de las alineaciones de pernos conectores (la chapa también ayuda a este respecto supuesto que esté perfectamente fijada a las vigas mediante los pernos conectores).

Otorga una resistencia a la flexión a los soportes de la losa en caso de incendio (esta circunstancia se ignora normalmente en condiciones normales de carga).

Ayuda a reducir la fisuración sobre los apoyos.

Además, tradicionalmente, en las losas de hormigón armado la armadura es necesaria para controlar la fisuración u otros estados límites. Esta función en los forjados colaborantes se cumple mayormente mediante la chapa (ver sección construcción hormigón). Algunas fisuras sobre las vigas y soportes de losa pueden producirse pero estas roturas no afectan a la durabilidad o prestaciones de la losa. Sin embargo en casos de atmósfera agresiva o de recubrimientos rígidos, como el terrazo, las armaduras adicionales pueden ser imprescindible evitarlas (consultar al cliente o proyectista).

Las armaduras en losas de poco espesor se colocarán en la parte superior, a una distancia de unos 20 mm. y se soportarán sobre la superficie de la chapa. En la práctica, teniendo en cuenta los solapes, ello significa que el mallazo estará directamente situado en una zona entre 20 y 45 mm. de la cara superior de la losa. El solape mínimo será de 300 mm. para el mallazo A142 y de 400 mm. para mallazos mas pesados.

Pueden precisarse armaduras adicionales por los siguientes motivos:

- Por resistencia al fuego, normalmente bajo la forma de una capa adicional de mallazo o barras situadas en el fondo de las ondas de la chapa. Estas barras se hallarán protegidas por los laterales y el fondo de la onda.
- Armaduras transversales en las zonas de pernos conectores. Este refuerzo es únicamente necesario cuando los pernos han sido soldados en taller, de forma que la chapa trabaja siempre a tramo simple.
- Refuerzos (barras adicionales) en huecos grandes (ver sección dedicada a la formación de huecos).

Todos los refuerzos deberán ser emplazados de forma correcta y cuidadosa de forma que no se produzcan desplazamientos o hundimientos durante el hormigonado. Se recomienda la utilización de tacos de plástico, bucles o de mallazos preformados para conseguir la posición adecuada. No deberán utilizarse elementos de apoyo corridos que supondrían un riesgo de aparición de grietas en ese punto. Durante el hormigonado pueden producirse pequeños movimientos o hundimientos que de no superar los 15 mm. no suponen riesgo alguno para las prestaciones de la losa.

4.3.12. Formación de huecos

Es totalmente recomendable y conveniente que los huecos necesarios en la losa sean conocidos y previstos antes del hormigonado, ya que la demolición del hormigón supone siempre un posible riesgo de pérdida de conexión chapa-hormigón en las proximidades. En cualquier caso, nunca deberá demolerse el hormigón con un útil de percusión.

Los agujeros pequeños son posibles mediante herramientas de corte, realizando un trabajo limpio, y los grandes deber ser previstos y preparados adecuadamente. El sistema más aconsejable para la formación de huecos consiste en la colocación de **encofrados interiores**, a base de madera o bloques de espuma de poliestireno con la forma de la chapa nervada. La chapa no se cortará hasta que la losa haya adquirido una resistencia suficiente. Este sistema tiene la ventaja de que la chapa soporta las cargas durante el hormigonado sin necesidad de puntales. Los cortes de la chapa deberán repasarse y protegerse con pintura de zinc.

LOS HUECOS GRANDES O PEQUEÑOS, PERO PRÓXIMOS, PRECISAN NORMALMENTE REFUERZOS ADICIONALES EN LA LOSA.

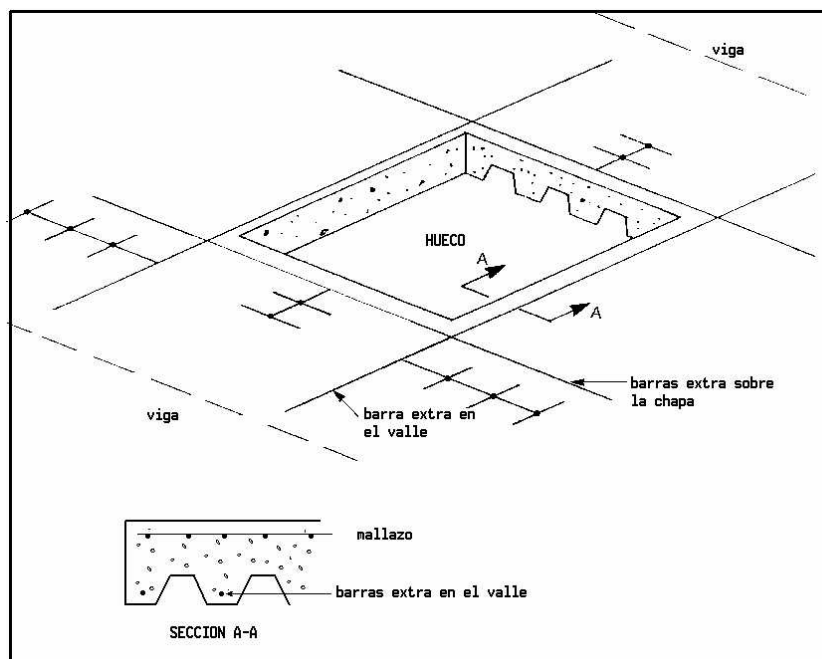


Figura nº 4.6: Refuerzos adicionales

Las pequeñas aberturas cuadradas o circulares, de hasta 200 mm. no precisan normalmente ningún refuerzo. Algunas losas con unos buenos valores de colaboración, distantes de su estado límite, pueden admitir huecos de hasta 300 mm. de lado sin necesidad de refuerzos. Huecos mayores precisan de refuerzos adicionales en la losa desde el momento en que los esfuerzos a absorber por la zona interrumpida, son transmitidos lateralmente a los nervios adyacentes. Este es también el caso cuando existen huecos no demasiado grandes pero muy próximos entre sí. Deberá notificarse al cliente o proyectista de la ausencia en planos de tales refuerzos.

Estos refuerzos adicionales suelen tomar la forma de barras situadas en los valles de la chapa adyacentes al hueco, de sección equivalente a la de la chapa interrumpida, colocadas en la cota correspondiente a la fibra neutra de la chapa, y en barras transversales centradas en la capa de compresión (figura 4.6).

4.3.13. Tipos de hormigón y ensayos

En el Eurocódigo 4 se admite la utilización de hormigones normales o ligeros si bien sólo cubre las calidades entre C20/25 y C60/75 para normales y entre LC20/22 y LC60/66 para ligeros. La EHE prevé hormigones estructurales de resistencia característica entre 20 y 50 N/mm², limitando el uso de la calidad de 20 N/mm² únicamente para el hormigón en masa.

Tanto el hormigón normal como el ligero pueden bombearse, siendo en tal caso necesario utilizar aditivos que faciliten la aplicación por bombeo. No es admisible una carga excesiva de agua ya que ésta reduce la resistencia del hormigón. Estos factores que influyen en la resistencia de la mezcla no son tan importantes en forjados con destino a edificios calefactados. Las cubiertas u otros forjados expuestos precisan un tratamiento especial.

El tradicional ensayo destructivo de hormigón no es apropiado para mezclas que vayan a ser bombeadas. Para estos casos se utiliza el ensayo de fluencia en obra (consultar documentación al respecto).

4.3.14. Operación de hormigonado. Preparación y restricciones

La superficie de la chapa estará razonablemente limpia de suciedad, aceite, etc., antes de hormigonar. La ligera capa de grasa superficial típica de la chapa galvanizada es aceptable y no supone detrimento a la colaboración entre el hormigón y el perfil colaborante. Las uniones de chapa deberán realizarse a tope o sellarse. Los finales de chapa expuestos deberán rellenarse o taparse para evitar las pérdidas de lechada.

No existen limitaciones en la superficie a hormigonar (al contrario que en las losas tradicionales de hormigón armado) ya que la chapa actúa de forma efectiva como una armadura continua que ayuda a distribuir uniformemente las retracciones o tensiones tempranas de tipo térmico. Por tanto no suelen aparecer fisuras de retracción y la superficie hormigonada puede alcanzar hasta 1000 m²/día.

Deberá tenerse en consideración, sin embargo, que en este tipo de forjados el secado del hormigón sólo es posible en sentido ascendente, por lo que si reciben radiación solar directa es imprescindible proteger o humedecer la superficie ya que la diferente velocidad de secado de la cara superior, expuesta, a la inferior, no expuesta y revestida por la chapa, provocará fisuras de retracción generalizadas.

LOS TOPES Y REGLES SE SITUARAN JUNTO A LOS SOPORTES

Los topes de límite y los regles deberán situarse sobre los soportes (a lo largo de las vigas), de esta forma la flecha en estos puntos durante el hormigonado no será excesiva. Colocando los topes sobre las uniones de chapa se evitarán las cargas desiguales en los vanos adyacentes.

El espesor de la losa está determinado por la altura de los regles que estarán perfecta y rígidamente calzados. Aún así la superficie terminada del forjado reproducirá las deformaciones de las viguetas de apoyo. En aquellos casos en que se precise un nivel de terminación mas exigente, los regles deberán ajustarse previendo las flechas que se pueden esperar de la estructura. Ello puede suponer cargas adicionales debido al exceso de hormigón necesario.

El efecto de las fisuras que pueden aparecer en líneas adyacentes a los conectores no es importante en cuanto al comportamiento de la viga mixta. Los topes utilizados habitualmente suelen ser en forma de tacos de madera o plástico insertados en la chapa, que son retirados un día después del hormigonado. Los restos de lechada que aparecen al retirar los topes y regles deberán eliminarse preferentemente con cepillos rígidos, cuando está tierno, o con un ligero repujado.

El hormigonado se realiza correctamente cuando la temperatura ambiente supera los 5° C. Sin embargo, particularmente durante la noche, pueden producirse pérdidas significativas de calor por radiación de la cara inferior de la chapa. Puede ser necesario utilizar calefactores para trabajar a temperaturas inferiores. Durante el fraguado del hormigón suele generarse una cierta cantidad de calor que puede provocar un aumento de temperatura que oscila entre 3 y 5° C. en el hormigón.

Los hormigones actuales alcanzan resistencias importantes rápidamente y son capaces de resistir la influencia de bajas temperaturas por debajo de 5° C. a partir del tercer día del hormigonado. Igualmente, en tiempo caluroso o con viento reinante puede ser necesario prevenir pérdidas excesivas de humedad utilizando arpilleras o geotextiles mojados sobre la superficie de la losa.

4.3.15. Operación de hormigonado. Bombeo

La operación de hormigonado por bombeo es el método mas utilizado actualmente en la construcción. Pueden alcanzarse vertidos del orden de 0,5 a 1 m³/s con equipos que funcionen de forma eficiente. Lógicamente la longitud de tuberías y la altura a que debe bombearse el hormigón, condicionan la lentitud de la operación. Las bombas se utilizan normalmente hasta alturas de 30

m. Para alturas superiores puede ser necesario utilizar bombas secundarias en niveles intermedios.



Foto nº 4.5: Hormigonado por bombeo

Las tuberías son normalmente de 6" (150 mm.) de diámetro y están conectadas en segmentos. Las tuberías se soportarán sobre tacos cada dos o tres metros. Las fuertes pérdidas de carga en los codos pueden llegar a ser importantes debiendo, en tales casos, utilizarse un bombeo directo. A medida que el hormigonado avanza suelen requerirse nuevos emplazamientos de la bomba. La primera parte de lechada es a menudo inaceptable y debe desecharse.

SE EVITARAN LAS ACUMULACIONES DE HORMIGÓN Y EL VERTIDO DESDE ALTURAS SUPERIORES A LA RODILLA. LA DESCARGA DE LA BOMBA O CUBILOTE SE REALIZARÁ DE FORMA CONTROLADA.

La tubería de salida deberá moverse frecuente y cuidadosamente de forma que se minimicen los problemas de acumulación de hormigón. Normalmente se precisan dos operarios para el reparto y extendido del hormigón. Dependiendo de la fluidez de la mezcla puede ser importante un buen vibrado, principalmente en las zonas de pernos conectores. La tubería de salida estará siempre preparada y no se elevará por encima de la rodilla en el momento de verter el hormigón sobre la chapa.

4.3.16. Operación de hormigonado con cubilote

El vertido de hormigón con cubilote desde una grúa es dificultoso debido a la obstrucción provocada por la chapa de los niveles superiores. Es, sin embargo, necesario a veces utilizar cubilotes y carretillas para el hormigonado de pequeñas zonas. Se emplea un tiempo excesivo y el rendimiento raramente supera los 5 m³/hora.

EVÍTESE EL IMPACTO DE CARGAS SOBRE LA CHAPA. LAS CARRETILLAS SE DESPLAZARÁN POR ENCIMA DE TABLONES GRUESOS.

Deberá controlarse el caudal de salida del hormigón desde los cubilotes y no se verterá desde una altura superior a 0,5 m desde la chapa o carretilla. La descarga hacia una carretilla se realizará en una plataforma de tabloncillos de 2*2 m sobre la losa terminada, de cara a limitar los fuertes impactos sobre la chapa. Las carretillas se harán rodar sobre tabloncillos de más de 30 mm. de grueso, situados sobre el mallazo, el cual será convenientemente soportado para evitar hundimientos.

4.3.17. Acabado de las superficies de hormigón

A veces es difícil conseguir un nivelado preciso del forjado hormigonado debido a que los regles están normalmente posicionados a lo largo de las vigas soporte, las cuales sufren una deformación bajo el peso propio del hormigón. Sin embargo la superficie de la losa está suficientemente nivelada entre vigas. Para conseguir un nivelado mas preciso, es necesario calcular la deformación central de las vigas y calzar los regles a lo largo de cada una de ellas para anular la flecha esperada. Este sistema puede también inducir a errores en la práctica ya que las vigas no suelen deformarse tanto como indican los cálculos debido a la rigidez que ofrecen las conexiones entre vigas y pilares.

En forjados apuntalados se originan flechas adicionales en el momento de la retirada de los puntales ya que la carga debida al peso propio se aplica en este momento al forjado colaborante. Las flechas son mayores cuanto mas pronto se retiran los puntales debido a que el hormigón no está suficientemente endurecido.

Las superficies de hormigón son aceptables cuando existe un pavimento superior o se extiende una capa de mortero adicional. Se consigue una mejor calidad de acabado mediante la utilización del "helicóptero" o niveladora de hélices sobre el hormigón recién endurecido. Este trabajo se realiza a las dos o tres horas del vertido, por lo cual no es factible si la operación de hormigonado se ha prolongado excesivamente durante la jornada.

Para conseguir una superficie mejor nivelada puede efectuarse, también, un pulido a los dos o tres días del hormigonado. Esta es una operación lenta y que produce gran cantidad de polvo y suciedad. Dicho pulido puede realizarse añadiendo determinados agregados al hormigón.

4.3.18. Fijación de instalaciones y soportes

Muchas chapas colaborantes presentan zonas indentadas en la que es posible mediante piezas de cuelgue adecuadas poder suspender cables o instalaciones. Cualquier otro tipo de anclaje deberá hacerse directamente a la losa mediante tacos de expansión. Deberá consultarse al fabricante para conocer las cargas admisibles de extracción.

Cuando la tolerancia de montaje de las chapas (desviaciones de +/- 25 mm.) sean superiores a las admisibles para los soportes encajados en las colas de milano, deberá optarse por sistemas de fijación por taladro y taco.

4.4. EVITAR LAS SOBRECARGAS

Este capítulo de esta GUÍA PRACTICA está dedicado a enfatizar la importancia de prevenir la existencia o aplicación indebida de sobrecargas no previstas durante la fase de ejecución del forjado.

Pueden producirse deformaciones o colapsos importantes cuando la chapa o losa recién terminada se ven sometidas a sobrecargas temporales para las que no han sido previstas ni calculadas. El sistema constructivo con perfiles de chapa colaborantes es suficientemente robusto y puede soportar, a veces, cargas superiores a las previstas en proyecto. Ello no puede, sin embargo, ser utilizado como argumento o excusa para cometer excesos o adquirir malos hábitos ya que en determinados casos puede llegarse a situaciones verdaderamente peligrosas y, por tanto, indeseables.

Los siguientes apartados describen nuevamente las fases constructivas vistas en la parte 1 y exponen los aspectos más importantes referentes a las sobrecargas antes, durante, y después del hormigonado.

NO DEPOSITAR SOBRE LA CHAPA CARGAS SUPERIORES A LAS ADMISIBLES. POSICIONAR LAS CARGAS SOBRE LAS ZONAS SOPORTADAS POR VIGAS, UTILIZANDO PANELES O TABLONES DE REPARTO.

4.4.1. Sobrecargas sobre la chapa antes del hormigonado

Es a veces inevitable, en obras con problemas de espacio, utilizar la chapa como plataforma para almacenar materiales o realizar trabajos. Esto es admisible siempre y cuando no se sobrepasen los valores de sobrecarga para los cuales estas chapas han sido previstas y que suelen ser de unos 300 Kg./m². de carga repartida. Es por ello preferible en caso de duda depositar las cargas sobre las vigas. Son ejemplo de sobrecarga típicos los paquetes de mallazo, bidones, cajas de conectores, herramientas, grupos de soldadura, etc. Las sobrecargas más importantes provienen de fajos de redondos, chapa, contenedores de deshechos, compresores, etc.

Veamos a continuación de que valores estamos hablando:

- **Mallazos** Un mallazo A142 apilado a 1 m de altura supone una sobrecarga de 220 Kg./m². y un volumen equivalente de mallazo A193 pesa 300 Kg./m².
- **Conectores** Un recipiente normal lleno de conectores pesa unos 500 Kg.
- **Contenedores** Un contenedor de 2, 5, 5*4,5 m. lleno de restos de chapa, madera, etc.. puede alcanzar los 800 Kg./m².
- **Barras** Un paquete de 100 barras de 12 mm. de diámetro supone una sobrecarga de 100 Kg./m².

Lógicamente cargas como las anteriores depositadas directamente sobre la chapa pueden provocar daños irreversibles. Deben utilizarse, sin excusa, elementos de reparto de las cargas. Las cargas móviles, como los compresores, merecen unas especiales atenciones.

Es necesario indicar que si bien la mayor parte de la superficie de los forjados está realizada a base de chapas largas trabajando a tramo continuo, es muchas veces inevitable el tener que montar algunas a tramo simple que si bien ofrecen resistencia suficiente en fase colaborante con el hormigón, son mucho más débiles en la fase previa al hormigonado y propensas a sufrir deformaciones por sobrecargas inadecuadas. Deberá vigilarse la distribución de chapas evitando colocarlas a tramo simple en las zonas de acceso, paso, o próximas a las aberturas.

NO DEBEN CORTARSE CHAPAS PREVISTAS A TRAMO CONTINUO PARA TRABAJAR A TRAMO SIMPLE SIN PREVIA CONSULTA CON EL FABRICANTE O PROYECTISTA

4.4.2. Sobrecargas sobre las chapas durante el hormigonado

Las cargas en fase de hormigonado provienen del propio peso de las cuadrillas de operarios, de los vertidos excesivos de hormigón, tuberías de bombeo, impactos, etc... Estas cargas se aplican directamente a la chapa y pueden superar las previsiones de cálculo que se estiman en una sobrecarga temporal uniforme de 150 Kg./m². añadida al peso propio del espesor previsto de hormigón, normalmente entre 200 y 300 Kg./m².

NO ES CONVENIENTE, NI NECESARIO, QUE ESTÉN MAS DE TRES OPERARIOS EN LA ZONA DE VERTIDO DURANTE LA FASE DE HORMIGONADO.

Las cuadrillas de hormigonado suelen estar compuestas por 5 o 6 hombres que en un determinado momento pueden hallarse situados en una superficie reducida, lo cual, unido a espesores excesivos de hormigón, puede originar sobrecargas superiores a las comentadas y provocar hundimientos en la chapa. Debe también tenerse en cuenta que en la fase de bombeo 1 ml. de tubería supone una sobrecarga de 40 Kg./m².

No obstante, dada la naturaleza del proceso de hormigonado, estos problemas de sobrecargas suelen verse limitados a zonas concretas, existiendo zonas adyacentes, no sobrecargadas, capaces de soportar pesos adicionales. Quiere ello decir que tomando unas precauciones mínimas y lógicas las sobrecargas temporales podrán ser soportadas perfectamente por la chapa.

Queremos insistir, sin embargo, en el peligro que supone pesos excesivos de hormigón o impactos bruscos por vertidos desde alturas inadecuadas. Es también importante el controlar rigurosamente el espesor real de la losa ya que cada cm. extra de hormigón supone una carga adicional de 25 Kg./m². y no siempre un mayor espesor de losa implica una mayor sobrecarga de explotación.

4.4.3. Sobrecargas en losas recién terminadas

A menudo se aplican cargas a las losas prácticamente recién terminadas. Ejemplos corrientes de sobrecargas son las bolsas de materiales de ignifugado, contenedores de desperdicios, palets de bloques y otros materiales. Si dichas sobrecargas no superan los 150 Kg./m². no suelen suponer mayores problemas. Se evitará cargar la losa excesivamente hasta que haya alcanzado la resistencia adecuada

Para aplicar cargas superiores, debe esperarse a que el hormigón alcance como mínimo el 75% de su resistencia final, lo cual se verificará mediante las probetas previamente preparadas.

Como ejemplo podemos citar que un palet de bloques, de 1 m. de altura, pesa unos 1000 Kg./m²., pero si son ladrillos alcanza los 1500 Kg./m². Todos los materiales de este tipo deberán ser obligatoriamente depositados sobre las vigas soporte. Una bolsa de material ignifugante puede pesar unos 250 Kg. y un palet de sacos de cemento unos 1000 Kg./m². Las máximas sobrecargas suelen producirse a causa de máquinas móviles tales como generadores (5 Tm.), carretillas elevadoras (10 Tm.) y, excepcionalmente contrapesos de grúas. Deberá cuidarse la elección del lugar y el manejo adecuado de tales elementos.

El proveedor deberá ser consultado siempre que sea necesario ubicar cargas excepcionales, no previstas, sobre el forjado.

5. ESTABILIDAD AL FUEGO DE LOS FORJADOS MIXTOS DE CHAPA CRECADA COLABORANTE.

5.1. DISEÑO.

5.1.1. Estructuras con forjados mixtos: opciones de diseño ante el fuego

Los objetivos de diseño estructural asumibles por un forjado mixto de chapa grecada colaborante trascienden más allá de la mera constitución de un forjado de piso solicitado por flexiones predominantemente unidireccionales.

Un forjado mixto es capaz de integrar "en su propio plano", las solicitaciones superiores de tracción y compresión propias del emparrillado de viguetas y jácenas sustentantes, si éstas se diseñan como mixtas (siempre que el proyectista de la estructura conozca bien los tipos, criterios y problemática de los conectadores utilizables), con las consiguientes oportunidades de optimización del comportamiento resistente y deformativo global, tanto estático como dinámico. Dado que el principal inconveniente de este sistema de forjados es su coste (no tanto su propio precio, sin más bien el del emparrillado antedicho, generalmente ineludible), ese diseño mixto integral optimizado es prácticamente una condición sine qua non para el proyecto de este tipo de forjados.

Además, los forjados mixtos son capaces de proporcionar un sistema constructivo libre de encofrados, apeos, sopandas, etc., y por lo tanto sumamente rápido (siempre que se proyecten de manera ordenada y racional), y ello independientemente de la altura libre subyacente.

Más aún, constituyen un sistema de "diafragma" horizontal sumamente eficaz, incluso ante esfuerzos rasantes muy importantes (siempre que se armen y se conecten apropiadamente). Por lo tanto no sólo aseguran el trabajo de conjunto de los sistemas estructurales del edificio ante acciones horizontales, sino que pueden incluso llegar a participar de posibles comportamientos tridimensionales del sistema estructural principal, ante acciones verticales.

La posibilidad de alabeos moderados de la chapa "antes de conectar y hormigonar" dota incluso a este tipo de forjados de una cierta "capacidad formácea" para construir superficies alabeadas de curvaturas suaves, sin perder las ventajas señaladas de autoportancia y parquedad de elementos constructivos auxiliares. La incorporación de hormigón aporta además propiedades de aislamiento térmico y acústico superiores a otros tipos de cerramientos, en el caso de cubiertas.

Y, ya específicamente dentro del tema objeto de la presente exposición, aportan prestaciones perfectamente establecidas en cada caso (cualidades de resistencia y estanquidad al fuego) como elementos de compartimentación horizontal de sectores de incendio.

En este sentido, conocer y aplicar los criterios "europeos" de cálculo de estabilidad al fuego permite, con un armado apropiado, obviar la necesidad de protección de la propia chapa (aunque no de la perfilera de viguetas, vigas y soportes, en general), lo que potencia considerablemente, en su caso, la reducción de costes y plazos de ejecución de este tipo de forjados.

Todas estas cuestiones se ilustran con las figuras siguientes y se amplían y matizan con los comentarios a que las mismas dan pie.

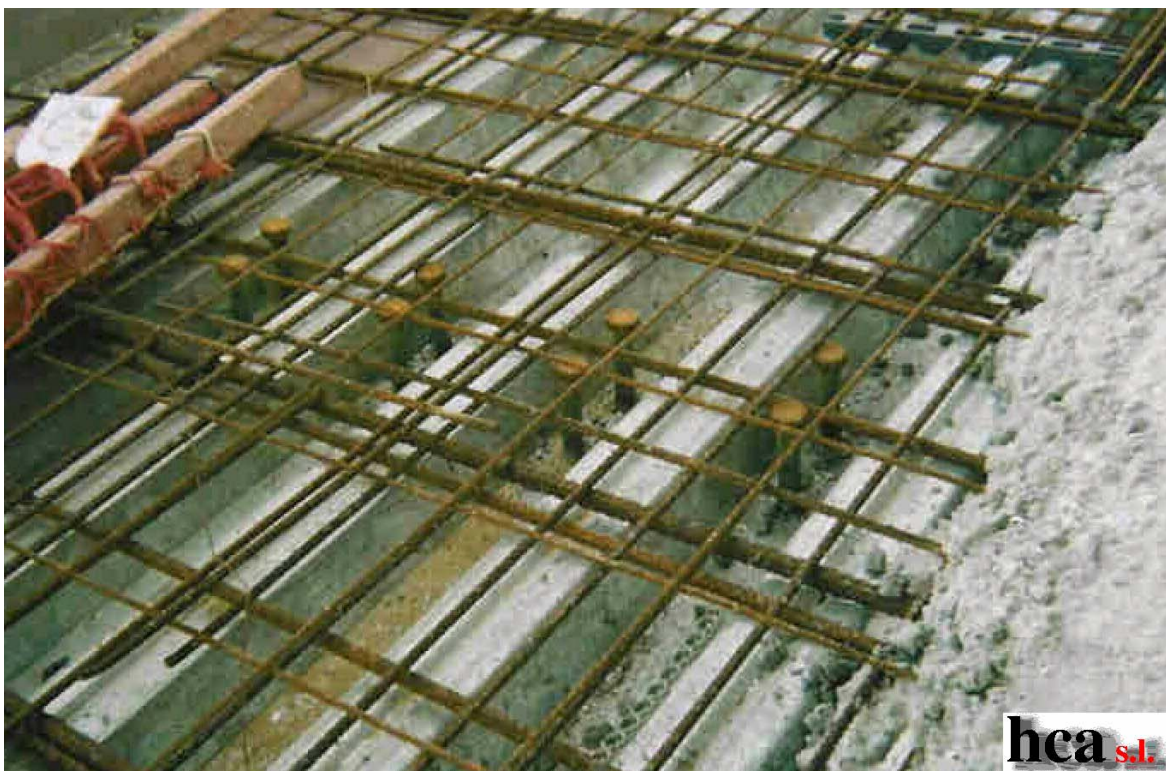


Foto nº 5.1: Forjado mixto de chapa grecada colaborante

= { construcción autoportante sin encofrados ni sopandas + losa terminada + cabezas de compresión solidarias a correas y jácenos + sus armaduras de continuidad + "diafragma" horizontal + compartimentación horizontal de sectores de incendio } =

"TODO UNO"

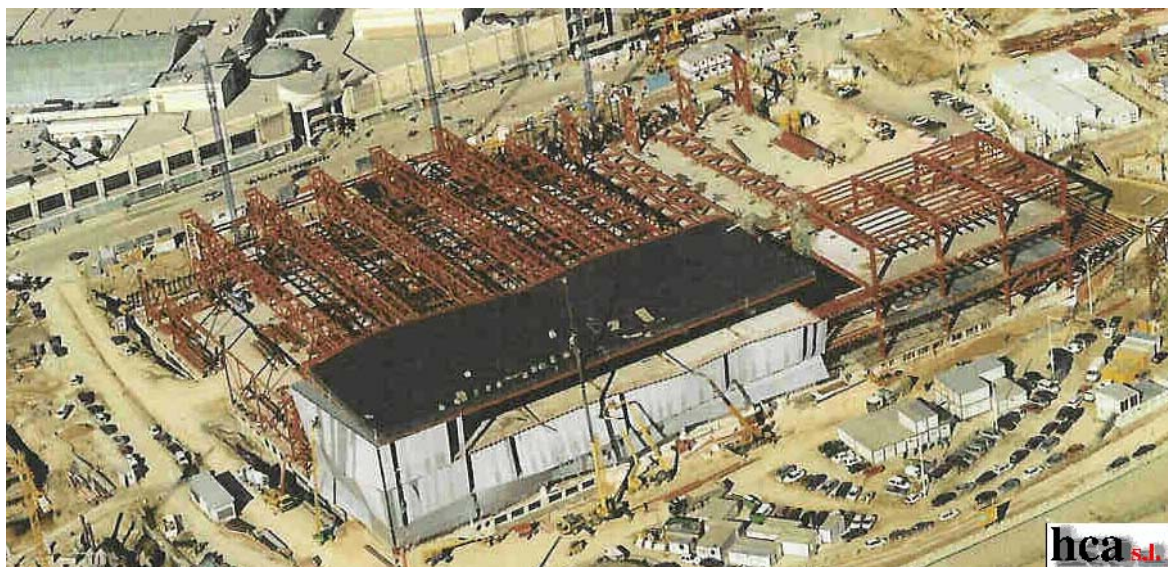


Foto nº 5. 2: Centre de convencions Forum 2004



Foto 5.3: Diversos niveles de forjados mixtos autoportantes entre Encavalladas de la Gran Nau



Foto nº 5. 4: Protección "gunitada", parcialmente ejecutada.

FORJADO MIXTO DE CHAPA GRECADA COLABORANTE

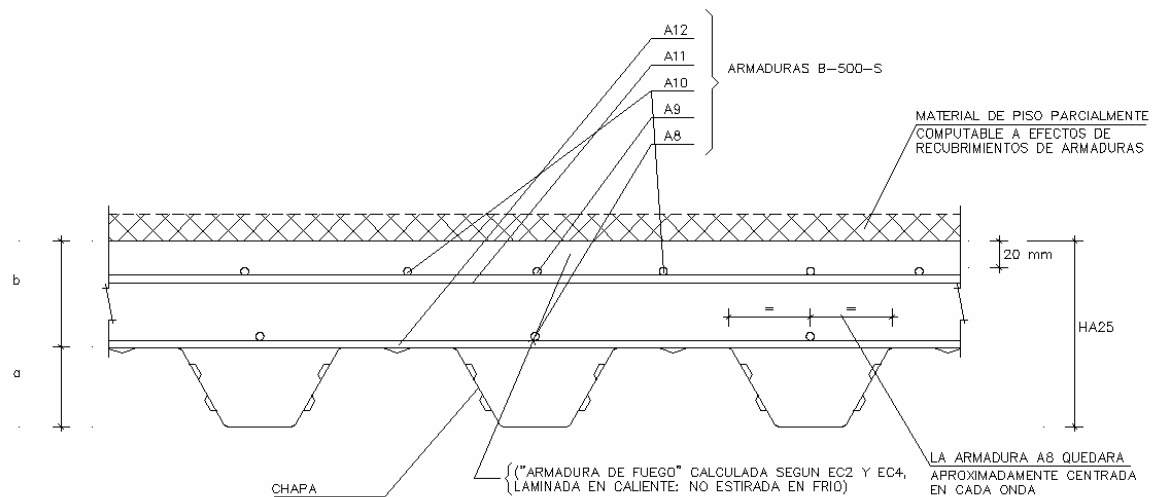


Gráfico 5.1: Solución sobre-armada para evitar el "gunitado" de la chapa.

5.2. NORMATIVA



Gráfico 5.2: Mención destacada del INSTITUTO EDUARDO TORROJA, que acoge a esta Asociación ACIES, y recuerdo del PROFESOR BATANERO, pionero de la enseñanza en España del proyecto de estructuras de acero frente al fuego.

Norma Básica de la Edificación CPI- 96

"establece las condiciones que deben reunir los edificios para proteger a sus ocupantes frente a los riesgos originados por un incendio y para prevenir daños a terceros".

Para garantizar la estabilidad del edificio y limitar el desarrollo de un posible incendio exige a los elementos constructivos y/o estructurales las siguientes condiciones que dicho elemento debe mantener durante determinados períodos de tiempo:

a) Estabilidad o capacidad portante.

b) Ausencia de emisión de gases inflamables por la cara no expuesta y resistencia térmica suficiente para impedir que se produzcan en dicha cara temperaturas superiores a las que se establecen en la norma UNE 23 093.

c) Estanqueidad al paso de llamas o gases calientes.

A la estructura portante de un edificio es aplicable siempre la condición **a** pero hay determinados elementos estructurales que tienen además una función separadora para los que son aplicables también el resto de las condiciones.

La determinación de la **ESTABILIDAD ANTE EL FUEGO EXIGIBLE** a la estructura portante de un edificio puede realizarse, según dice textualmente la citada norma NBE-CPI 96 en su artículo 14, **"por procedimientos analíticos, o bien adoptando los valores que se establecen en esta norma básica....."**, estos valores están incluidos en la Tabla 1 y expresados en términos de períodos de tiempo de fuego normalizado, EF-30, EF-60 etc....según el uso y la altura de los edificios.

Gráfico 5.3

La NBE-CPI-96 en el artículo 17 dice "La justificación de que el comportamiento ante el fuego de un elemento constructivo satisface las condiciones de resistencia al fuego establecidas en esta norma básica, podrá realizarse mediante alguno de los procedimientos siguientes:

- a) Contraste con los valores fijados en el Apéndice 1.
- b) Marca de Conformidad a normas UNE, Sello o Certificado de Conformidad con las especificaciones técnicas de esta norma básica. En tanto no existan estos distintivos, se admitirán los ensayos realizados según las normas UNE indicadas en el Apéndice 3 para cada elemento constructivo.
- c) Aplicación de un método de cálculo teórico experimental, conforme a lo establecido en el apartado 3.3."

En Apéndice 1, se han suprimido todas las tablas de utilización directa existentes, en la anterior NBE-CPI 91, para justificar la resistencia al fuego de elementos estructurales de diversos tipos y materiales; a cambio se propone:

... la utilización de los Eurocódigos nº 2, 3, 4, 5 y 6 para "la determinación de la resistencia al fuego de los elementos estructurales".

En apartado 3.3 dice: Las entidades cuando juzguen suficientemente justificadas ... su necesidad, derivada de la singularidad del proyecto, y su validez técnica.....

Gráfico 5.4

Objetivos generales y principios básicos de la parte 1-2 de los eurocódigos 2, 3, 4 y 5.

La Parte 1-2 de los Eurocódigos hace referencia al cálculo de las estructuras en la situación accidental de exposición al fuego, solamente identifica diferencias o suplementos al cálculo habitual por lo que debe ser usada conjuntamente con el resto de las partes de los Eurocódigos y con la Parte 2-2 del Eurocódigo 1 de Acciones.

Se aplica a las estructuras, que por razones de seguridad general contra el fuego, deben de cumplir ciertas funciones cuando se hallen expuestas al fuego, como son:

- **evitar el colapso** prematuro de la estructura: función resistente, criterio R

- **limitar la expansión del fuego**, es decir: llamas, gases calientes y/o excesiva temperatura, fuera de determinadas áreas: función separadora, criterios E e I.

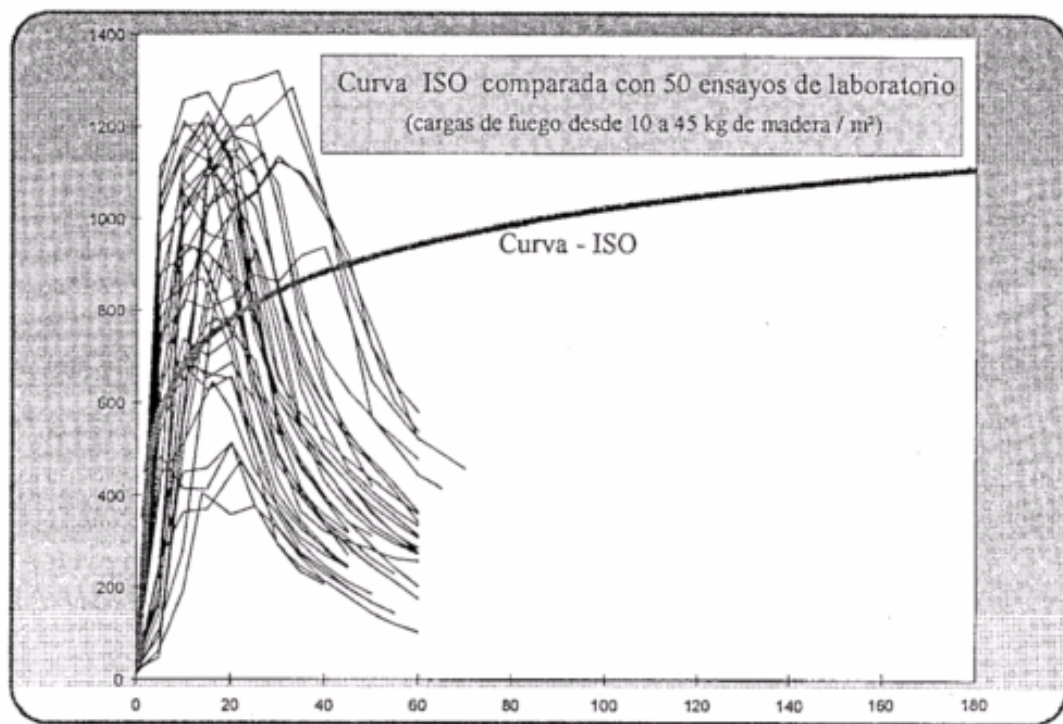
Proporcionan los principios y reglas de aplicación necesarios para diseñar estructuras en que el requisito fundamental es la resistencia mecánica en caso de incendio.

Cuando se exige, las estructuras deben ser calculadas y construidas de manera que mantengan su **función resistente** durante la correspondiente exposición al fuego.

Para asegurar la **función separadora**, o cuando se trata de elementos de características especiales, proponen la introducción, además, de requisitos de rigidez y la comprobación de las deformaciones de la estructura.

Gráfico 5.5

5.3. "FUEGOS DE CALCULO"



Curvas Temperatura-tiempo de fuegos reales y del incendio ISO

Gráfico 5.6: Curvas de temperatura-tiempo de fuegos reales

Diferentes curvas tiempo temperatura para definir incendios de igual carga combustible y factor de ventilación

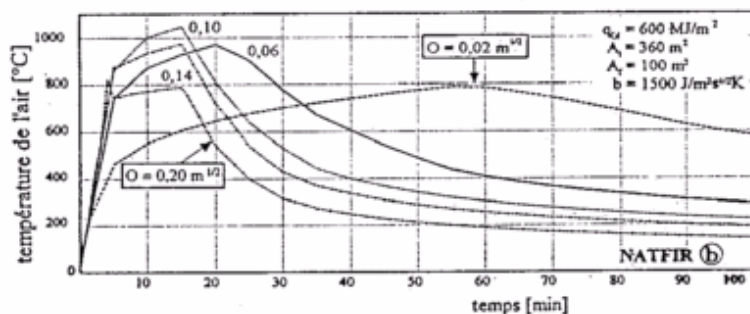
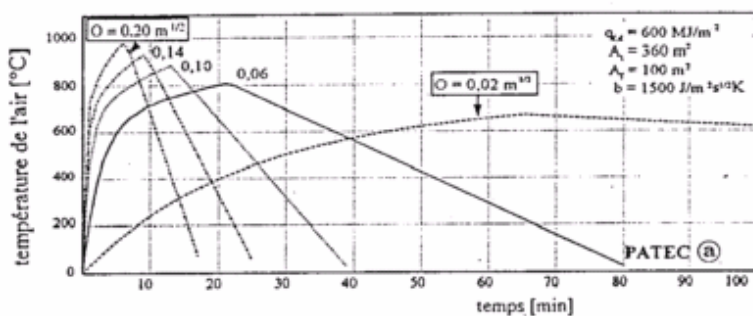

 $q_{fd} = 40 \text{ Mcal/m}^2$

Fig. 6 - Courbes paramétriques d'échauffement selon 4.3 et l'annexe B de la EN 1991-2-2 © et d'après la recherche CECA 7210-SA/112 © [13]

Incendio de $q_{fd} = 45 \text{ Mcal/m}^2$, ventilación $0,06 \text{ m}^{1/2}$

Temperatura máxima 954°C a los 27 minutos

Incendio de $q_{fd} = 30 \text{ Mcal/m}^2$, ventilación $0,04 \text{ m}^{1/2}$

Temperatura máxima 841°C a los 27 minutos

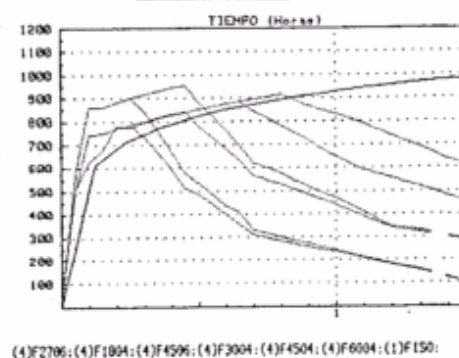


Gráfico 5.7: Diferentes curvas tiempo temperatura para definir incendios de igual carga combustible y factor de ventilación.

5.4. HORMIGON

3,1 caractères du béton

3,11 résistance à la compression

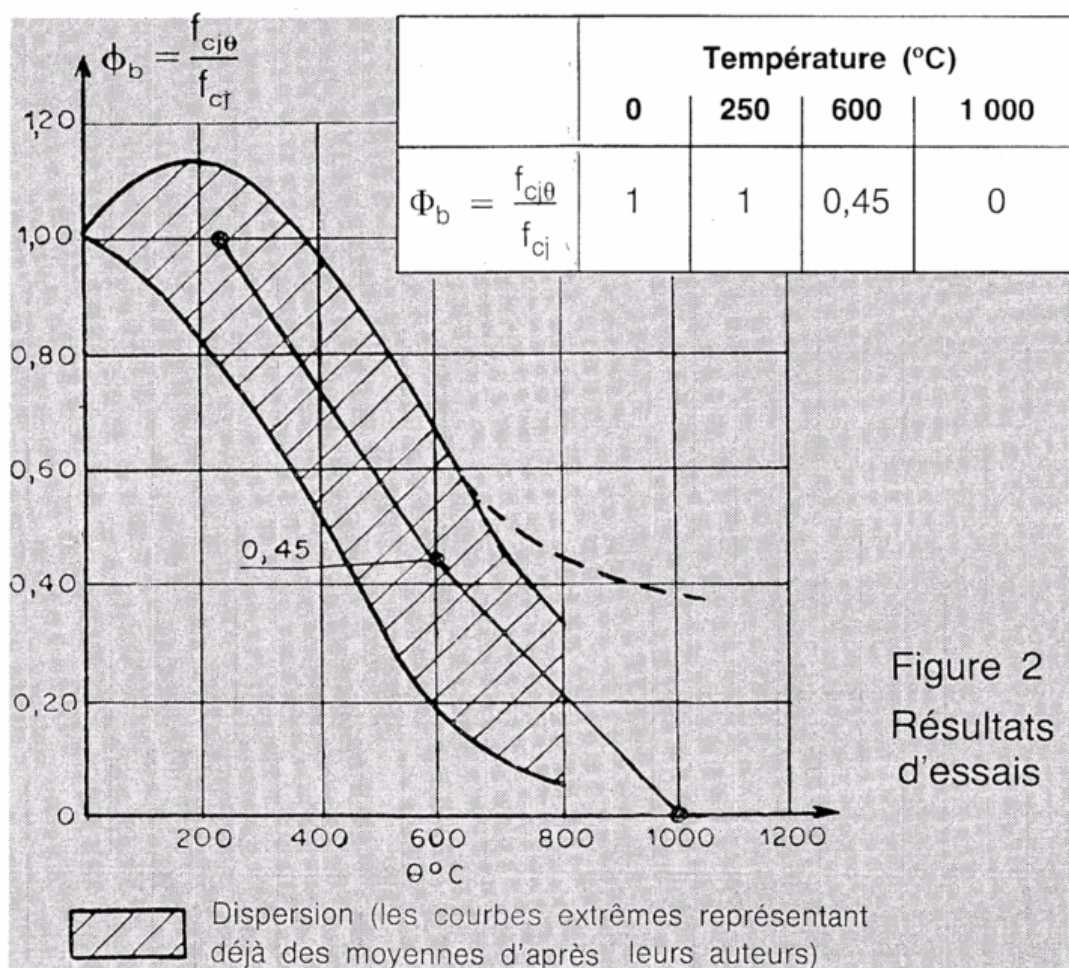


Gráfico 5.8

5.5. EUROCODIGOS 1 Y 3

ACCIONES

Acciones térmicas y mecánicas: Parte 2-2 del Eurocódigo 1 de Acciones (ENV 1991-2-2).

-**Acción térmica** se define mediante las curvas temperatura-tiempo

- **nominal**, son curvas convencionales, curva normalizada ISO.

- **paramétrica**, determinada según modelos de incendio, parámetros específicos: la carga de fuego y el factor de aberturas del recinto.

-**Acciones mecánicas**

Valores característicos para las acciones y coeficientes para la combinación en situación accidental.

$$\Sigma (\gamma_{GA} \cdot G_k) + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) + \Sigma A_d(t)$$

G_k : el valor característico de las acciones permanentes

$Q_{k,1}$: el valor característico de la acción variable principal

$Q_{k,i}$: el valor característico del resto de las acciones variables

γ_{GA} : (=1) coeficiente para las acciones permanentes

$\psi_{1,1} \psi_{2,i}$: coeficientes de combinación.

$A_d(t)$: valor de cálculo de acciones derivadas de la exposición al fuego.

-Actuando simultáneamente mismas acciones que a temperatura ordinaria

-No dejar de incluir la sobrecarga de nieve, estudiarla en cada caso.

-No disminuciones de sobrecarga debidas a la combustión.

-Casos excepcionales acciones suplementarias, impacto por derrumbamiento.

Gráfico 5.9

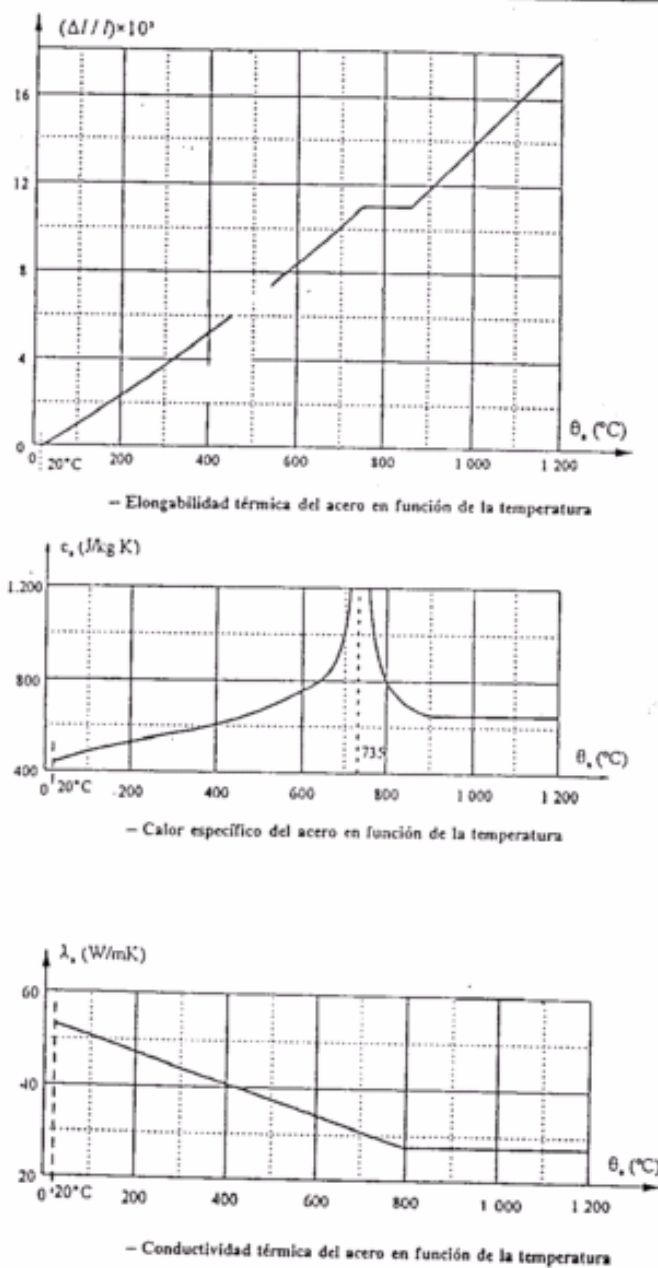


Gráfico 5.10

θ_a	$k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	$k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	$k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20°C	1,000	1,000	1,000
100°C	1,000	1,000	1,000
200°C	1,000	0,807	0,900
300°C	1,000	0,613	0,800
400°C	1,000	0,420	0,700
500°C	0,780	0,360	0,600
600°C	0,470	0,180	0,310
700°C	0,230	0,075	0,130
800°C	0,110	0,050	0,090
900°C	0,060	0,0375	0,0675
1000°C	0,040	0,0250	0,0450
1100°C	0,020	0,0125	0,0225
1200°C	0,000	0,0000	0,0000

Gráfico 5.11: Coeficientes de corrección con la temperatura de las características mecánicas de los aceros estructurales al carbono

5.6. EUROCODIGOS 2 Y 4

Resistencias de los materiales estructurales reducidas por el aumento de temperatura:

EUROCODIGO 2-Parte 1-2, Anejo A, tablas A.1 y A.3

Ejemplos:

Armadura pasiva a 400°C:	$f_y(\theta)/f_y(20^\circ) = 1$
Armadura pasiva a 500°C:	$f_y(\theta)/f_y(20^\circ) = 0.780$
Hormigón a 550°C:	$f_c(\theta)/f_c(20^\circ) = 0.525$

Gráfico 5.12

- R(3) The relation between the fire resistance with respect to insulation and the effective slab thickness h_e is given in Table 4.7 for common levels of fire resistance, where h_3 is the thickness of the mortar layer if any on top of the concrete slab.

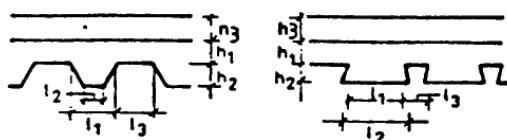


Fig.4.6; Cross sectional slab dimensions

Required fire resistance min.	Minimum effective thickness h_e mm
30	60 - h_3
60	80 70 - h_3
90	100 80 - h_3
120	120 100 - h_3

Table 4.7; Effective thickness as function of fire duration.

- R(4) The thickness h_3 of the mortar layer should not be larger than 20 mm for the purpose of the calculation of h_e .

Comment:

Regarding insulation capacity the thickness of the mortar layer h_3 may be considered. Of course for the purpose of load bearing capacity, this layer is not allowed to be taken into account.

Gráfico 5.13

5.7. CAPACIDAD RESISTENTE

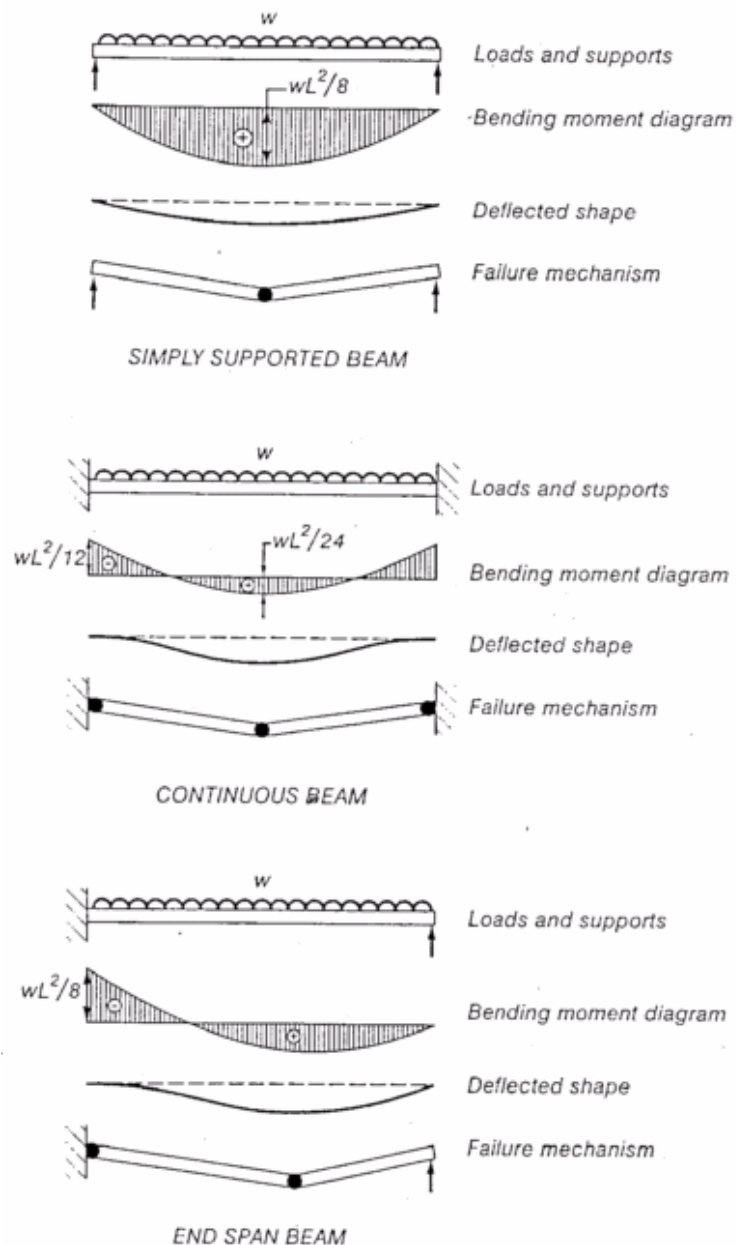


Gráfico 5.14

5.8. PROTECCION

Valores característicos de propiedades convencionales de materiales de protección genéricos.

Material	λ_{pk} W/(m°K)	C_{pk} J/(kg°K)	ρ_{pk} kg/m ³	ρ_k % peso
Hormigón de densidad normal con árido silíceo (¹)	1.50	900	2200	0
Hormigón de densidad normal con árido calizo (²)	1.25	900	2200	0
Fábrica de ladrillo cerámico con mortero de cemento	1.15	1000	1450	0
Hormigón ligero, según su densidad	0.80 (³)	850	1600	2
	0.65	850	1300	2
	0.50	800	1000	2
	0.35	800	700	2
Placas de yeso	0.20	1300	800	20
Mortero de vermiculita	0.17	1100	800	2
Placas de base silicatada en general	0.15	1100	400	3
Placas de perlita o vermiculita	0.15	1100	400	15
Fibra mineral proyectada	0.12	1000	200	0

5.9. EAE

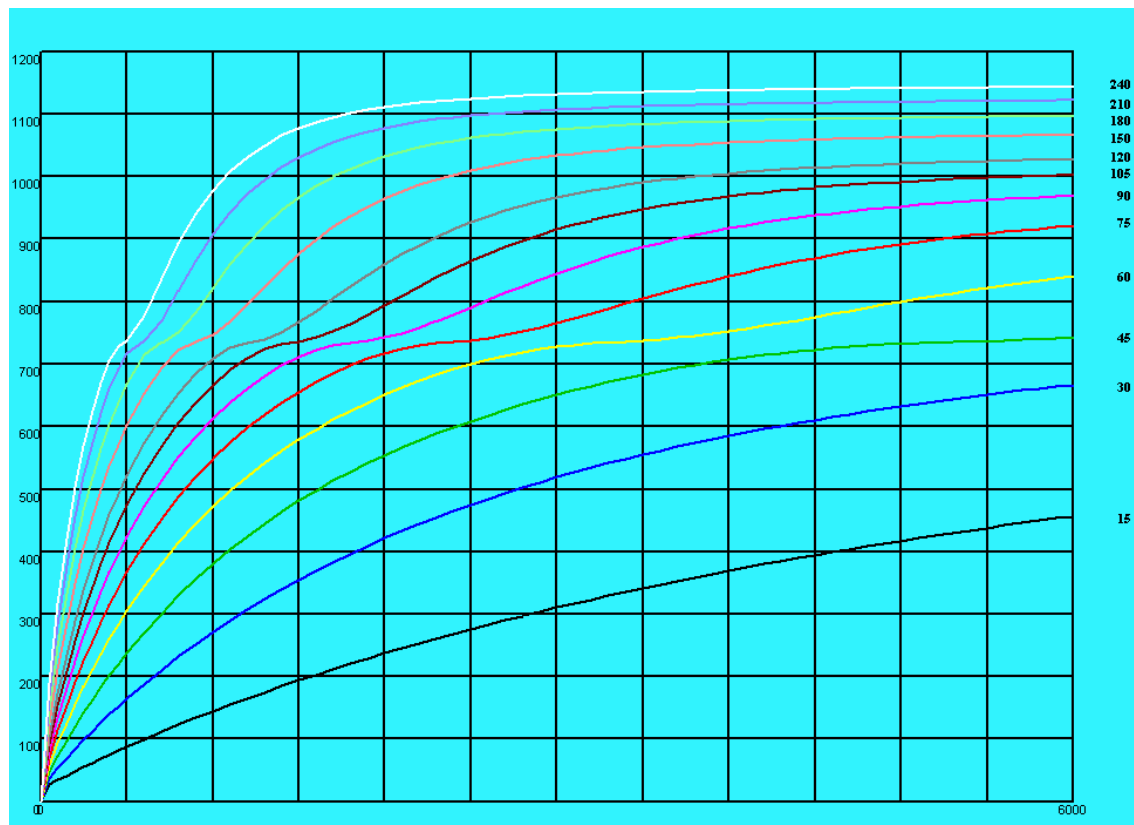


Gráfico 5.15. En ordenadas: temperaturas del acero θ_a , $0 \leq \theta_a \leq 1200$ °C. En abscisas: variable s , $0 \leq s \leq 6000$ W/(m³ °K). Cada curva corresponde al valor indicado de t , en minutos.

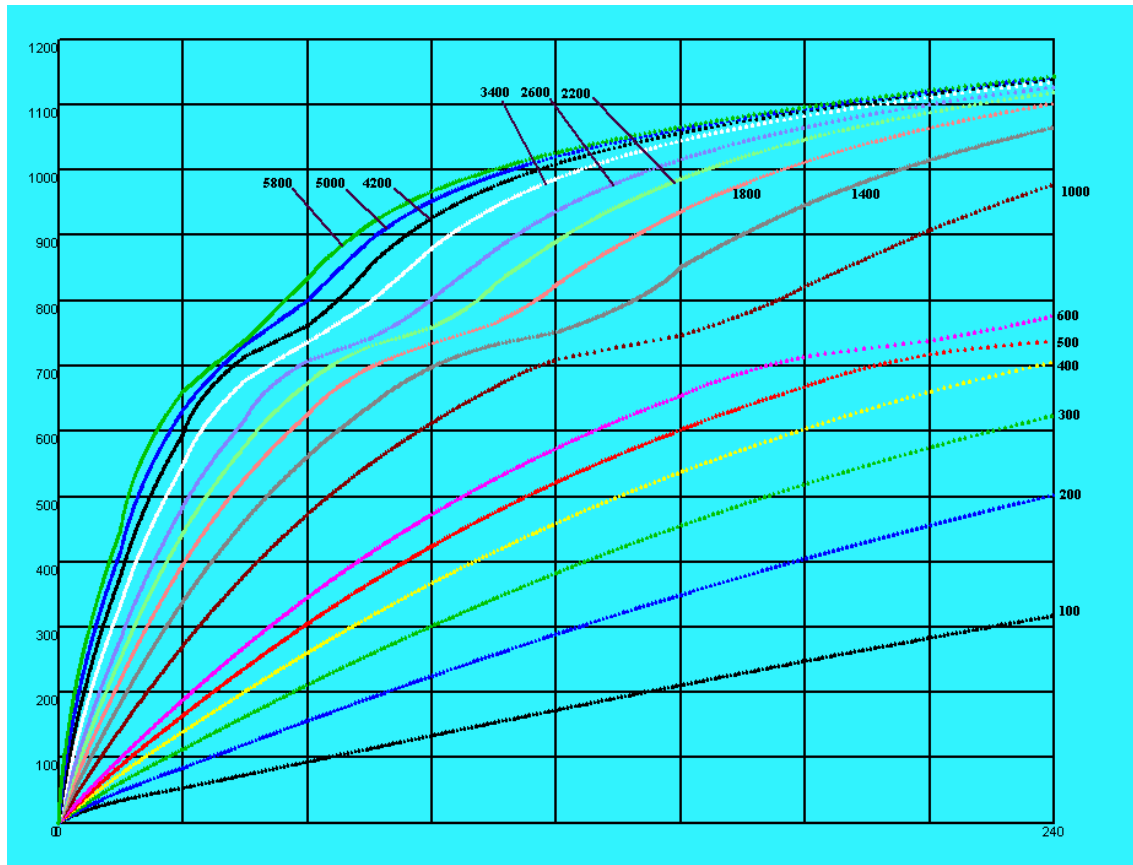


Gráfico 5.16: En ordenadas: temperaturas del acero θ_a , $0 \leq \theta_a \leq 1200$ °C. En abscisas: tiempo t , $0 \leq t \leq 240$ minutos. Cada curva corresponde al valor indicado de s , en $W/(m^3 \text{ } ^\circ K)$.

5.10. INVESTIGACIONES RECIENTES

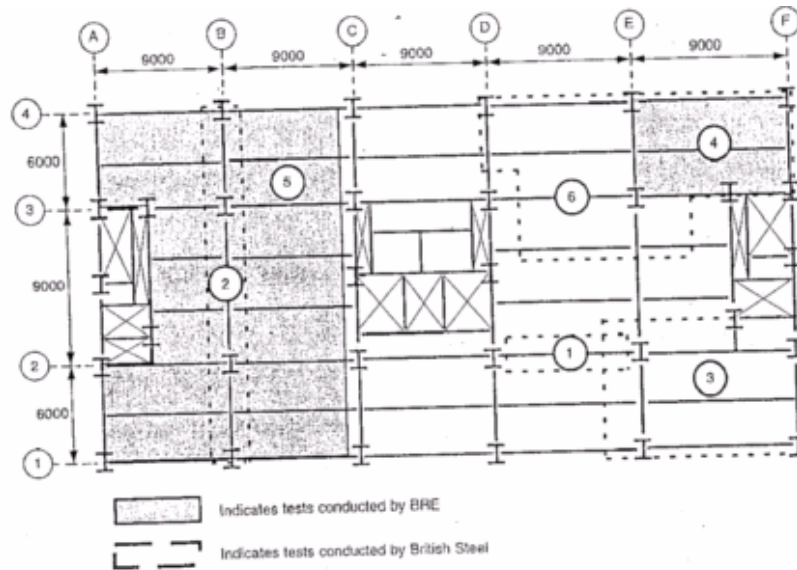


Fig 2. Plan showing location of fire tests

5 crujías iguales con vigas principales de 9m de largo

2 crujías de 6m y en el centro una de 9m



Forjado mixto de chapa plegada de 0,9mm espesor, capa de hormigón ligero y malla de refuerzo, espesor total 130mm

Estructura arriostrada planos correspondientes a 3 núcleos de escaleras.

Vigas de acero doblemente apoyadas

Carga aplicada 5,48kN/m² mediante sacos de arena

The behaviour of full-scale steel-framed buildings subjected to compartment fires

Gráfico 5.17

El efecto de membrana en los forjados mixtos
y el efecto de los elementos de borde hace que la capacidad resistente última sea mucho mayor que la prevista.

-La capacidad resistente del forjado mixto sometido a un fuego intenso se ve reducida en un primer momento por el fallo de la adherencia de la chapa metálica y una reducción del efecto de membrana debido a la deformación de la estructura metálica.

-Mientras que las uniones de la estructura metálica se mantengan intactas, el forjado mixto dañado por el fuego puede aún **resistir una carga mayor que la carga última de cálculo** aunque las deformaciones de la estructura hagan el forjado inservible.

-Efecto de los elementos fríos sobre los calientes:

-Las zonas afectadas por el fuego pueden utilizar a los elementos fríos adyacentes para reconducir las cargas por itinerarios distintos de los iniciales a temperatura ordinaria; efecto de arriostamiento, tanto más beneficioso para la estructura cuanto más pequeño sea el recinto de incendio.

-Efecto beneficioso proporcionado por las losas de forjado sobre la viga metálica:

- aumento de rigidez, que disminuye las deformaciones
- la continuidad en su plano, que supone una importante coacción a la dilatación térmica, contribuye a que no aumenten las deformaciones.

-La consideración de elementos aislados de acero resulta excesivamente conservador.

Gráfico 5.18

6. REALIZACIONES

6.1. PREÁMBULO

Los elementos metálicos de las estructuras mixtas se prefabrican en taller y se ensamblan en obra. Como en otras estructuras prefabricadas, también en las estructuras mixtas interesa reducir a un mínimo los tiempos de montaje. Por este motivo, en muchos casos resulta ventajoso adoptar separaciones relativamente grandes entre las vigas metálicas de un forjado mixto, con el fin de reducir a un mínimo el número de elementos estructurales y de las uniones a ejecutar en obra. Esta idea básica, que también puede tener otras ventajas, incluidas las estéticas en caso de estructuras vistas ya que permite obtener soluciones ordenadas y limpias, aparentemente es incompatible con la solución de los forjados mixtos de chapa colaborante. La experiencia demuestra que la disponibilidad en el mercado de chapas colaborantes disminuye considerablemente para forjados mixtos con luces superiores a 3,5 m, aproximadamente. Se pueden identificar dos factores principales que impiden el empleo de muchas de las chapas grecadas comerciales en forjados con luces superiores al valor citado:

- Su capacidad portante no es suficiente para resistir el peso del hormigón fresco durante la fase de construcción. En algunos casos, el factor limitativo viene dado por las deformaciones inducidas por el hormigón fresco que pueden superar los límites admisibles.
- En muchos casos es la resistencia de la conexión acero-hormigón frente a los esfuerzos rasantes, proporcionada por el rozamiento o las indentaciones, la que limita la resistencia última de un forjado mixto de chapa colaborante y por tanto su luz o las sobrecargas que se le pueden aplicar.

En el caso de que la resistencia o la rigidez de las chapas grecadas resulte insuficiente para la fase de construcción, es necesario disponer apoyos provisionales intermedios. Alternativamente, también es posible efectuar el hormigonado en dos fases, de modo que el hormigón de la segunda fase actúe sobre una sección mixta en vez de sobre la chapa grecada sola. Obviamente, ambas medidas tienen un coste económico y complican la ejecución, de modo que su adopción se debe decidir para cada caso, en función de los parámetros específicos de una obra.

Si la conexión mecánica proporcionada por el rozamiento (debido a la forma de las grecas) o por las indentaciones resulta insuficiente, ésta se puede mejorar disponiendo anclajes finales en las secciones de apoyo de las chapas. Estos anclajes pueden estar constituidos por pernos conectadores por lo que en el caso de un forjado mixto de chapa colaborante con viga mixta acero-hormigón esta medida no tiene ningún coste adicional.

Si el anclaje final está proporcionado por pernos conectadores, el mecanismo de resistencia del forjado mixto se aproxima al de un arco con tirante inferior. El arco de compresión se forma dentro de la capa de hormigón, mientras que el tirante está constituido por la chapa grecada. Este mecanismo de resistencia sólo se puede formar si la transmisión de las fuerzas a través del nudo arco-tirante es posible. A estos efectos, los pernos conectadores se deben soldar a través de la chapa grecada, uniéndola con la viga metálica en la que se apoya. Para esta disposición, la resistencia del anclaje final viene determinada por la resistencia frente a la presión lateral (aplastamiento) de la chapa grecada.

La resistencia de un forjado mixto de chapa colaborante frente a momentos flectores se puede incrementar disponiendo una armadura adicional en los nervios. La disposición de esta armadura también incrementa la resistencia del forjado mixto en caso de incendio y, además, proporciona una resistencia adicional frente a los esfuerzos rasantes longitudinales, estando la otra parte de

estos equilibrada por la chapa. A efectos de cálculo, estas dos partes se pueden suponer proporcionales a los correspondientes momentos estáticos con respecto al eje neutro de la sección mixta fisurada. Según lo anterior, la resistencia de un forjado mixto con chapa colaborante frente a los esfuerzos rasantes es la suma de las resistencias parciales proporcionadas por el rozamiento, las indentaciones, los anclajes finales y las armaduras adicionales.

Adoptando medidas del tipo arriba mencionado que mejoren el comportamiento de los forjados mixtos de chapa colaborante en la fase de construcción, frente a cargas estáticas, o también en caso de incendio, es posible ampliar su ámbito de aplicación. En la mayoría de los ejemplos de aplicación que se presentan a continuación se ha adoptado alguna o algunas de estas medidas, convirtiendo la solución mixta en una solución particularmente atractiva, desde el punto de vista económico, frente a otras posibles soluciones estructurales.

6.2. REMODELACIÓN DEL EDIFICIO DE LA CALLE ALBASANZ 26-28, MADRID, PARA BIBLIOTECA, SALÓN DE ACTOS Y SERVICIOS COMUNES DEL C.S.I.C.

6.2.1. SITUACIÓN

Desde el punto de vista estructural, en la transformación del edificio sito en la Calle Albasanz nº 26-28 de Madrid para biblioteca, salón de actos, así como para servicios comunes y generales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, se pueden distinguir cuatro actuaciones principales:

- A nivel de la Planta Sótano Primero se añade un forjado nuevo (Figura 1). De este modo, este forjado abarca una franja de 7,2 m de ancho y 28,8 m de largo. La cota de la cara superior del nuevo forjado es la -3,90 (Figura 2).
- Sobre el anfiteatro actual, a nivel de la Planta Baja, se prevé un nuevo forjado (Figura 3). Su geometría en planta viene determinada por la geometría del anfiteatro existente por lo que su anchura máxima es de 21,6 m. La cara superior de este forjado está situada a la cota -0,55 m (Figura 2).
- También en la Planta Baja, se añade un voladizo de 2,8 m de ancho al forjado existente del nivel -0,25 m (Figuras 2 y 3). Esta nueva galería se une con el forjado del mismo nivel, situado a ambos lados del anfiteatro existente.
- Debido al cambio de uso del edificio y la construcción de los nuevos forjados citados, es necesario reforzar algunos de los pilares de los pórticos existentes. No obstante, por motivos obvios, el refuerzo de la estructura existente está fuera del alcance de la presente contribución.

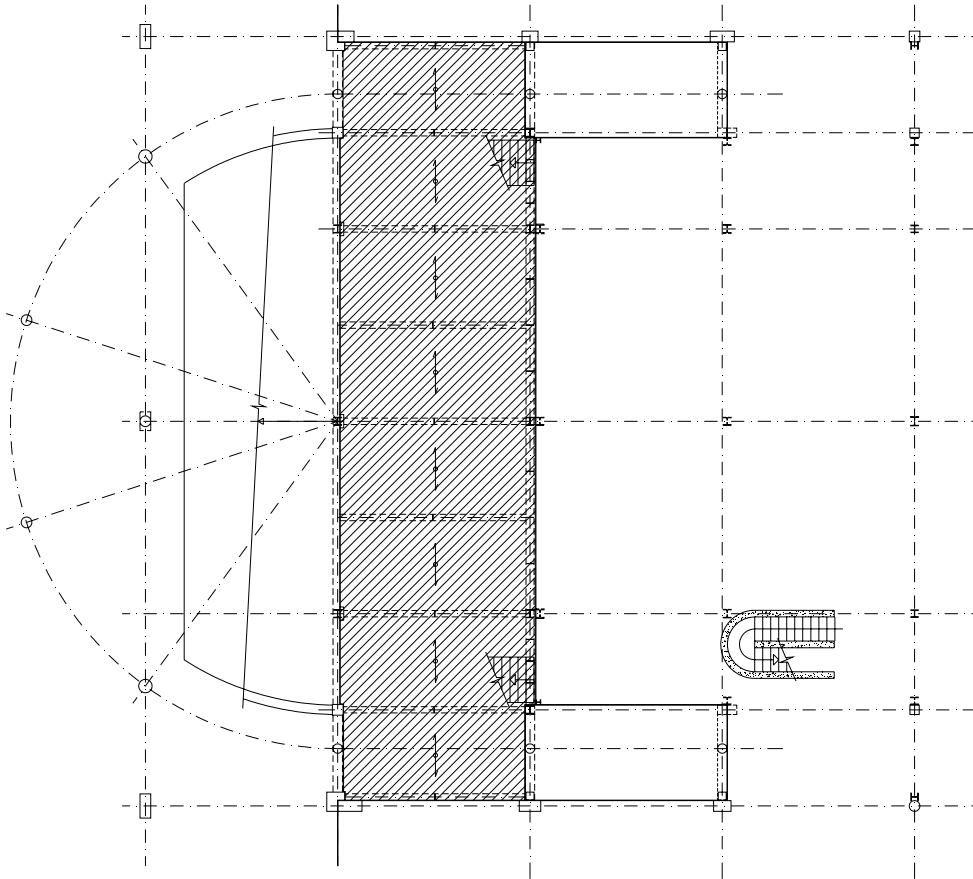


Figura 1: Nuevo forjado en Planta Sótano Primero

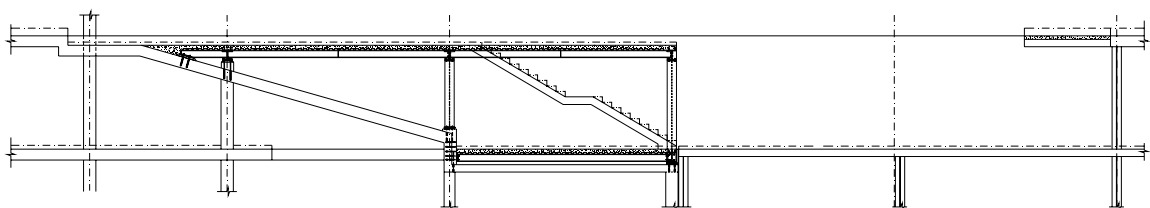


Figura 2: Estado reformado del anfiteatro

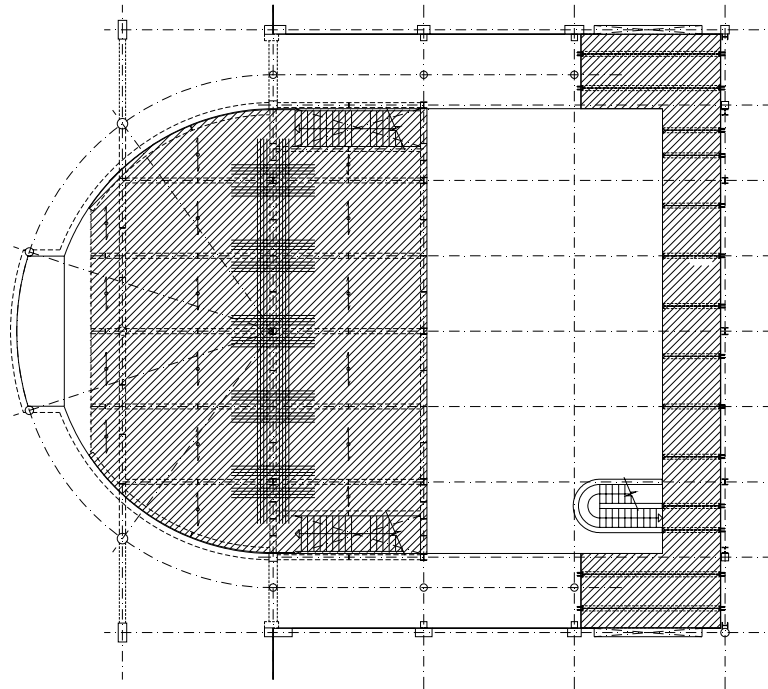


Figura 3: Nuevo forjado y galería en Planta Baja

6.2.2. IDEAS ESTRUCTURALES

La concepción de la solución estructural se basa en las siguientes ideas y consideraciones:

- El peso propio del forjado nuevo debe minimizarse para reducir a un mínimo el refuerzo necesario de la estructura existente. Por este motivo, se plantea una solución con un forjado mixto de chapa colaborante y con vigas mixtas.
- Las uniones se conciben como uniones atornilladas para facilitar el montaje en obra.
- Se buscan separaciones relativamente grandes entre elementos, con el fin de reducir el número de uniones a efectuar en obra. De este modo resultan luces relativamente grandes, particularmente para el forjado mixto. Para prevenir los posibles problemas de conexión entre chapa y hormigón, se toman las medidas necesarias para que se pueda establecer un mecanismo arco con tirante inferior. Los pernos conectadores de las vigas mixtas proporcionan el anclaje final para la chapa grecada, necesario a estos efectos.
- La seguridad estructural del forjado mixto en caso de incendio se alcanza colocando una armadura pasiva suficiente (en caso de incendio no se cuenta con la contribución de la chapa grecada).
- Los pilares necesarios para apoyar el nuevo forjado de la Planta Baja se apoyan directamente sobre la losa del anfiteatro existente y están alineados con los pilares existentes de las plantas inferiores, con el fin de asegurar una transmisión directa de las cargas.

6.2.3. HIPÓTESIS

- El valor nominal del peso propio de los elementos no portantes (revestimientos, acabados, instalaciones, etc.) es de $1,5 \text{ kN/m}^2$. Se asume que la propiedad asegure que este valor no sea superado en ningún momento del futuro periodo de servicio de la obra, tampoco en el marco de futuras reformas.
- Debido a que no se puede excluir que, en algún momento del futuro periodo de servicio de la obra, en la sala de lectura se vayan a colocar estanterías de libros, el forjado correspondiente se dimensiona como si estuviera destinado a un uso como biblioteca. Eso significa que el valor característico de la sobrecarga es de $7,5 \text{ kN/m}^2$. Se asume que la propiedad asegure que este valor no sea superado en ningún momento del futuro periodo de servicio de la obra.

6.2.4. CONCEPCIÓN ESTRUCTURAL

El forjado mixto de chapa colaborante de la Planta Baja transmite las cargas a las correas que también son mixtas y cuya separación es de 3,6 m (Figura 3). A su vez, las correas introducen las cargas en las jácnas que, conjuntamente con los pilares metálicos nuevos conforman unos pórticos alineados con los pórticos de la estructura existente. La separación entre pórticos, y por tanto la luz de las correas, es de 7,2 m. Por los motivos arriba mencionados, para la disposición de los pilares nuevos se ha elegido la misma modulación que para los pilares existentes, por lo que su separación también es de 7,2 m. Los apoyos extremos de las jácnas están constituidos por los pilares existentes (reforzados). Además, el forjado mixto se une mediante anclajes post-instalados con el extremo superior del forjado del anfiteatro existente (Figura 2). Por estos dos motivos, las posibles fuerzas horizontales que actúan sobre el sistema (por ejemplo las fuerzas de desvío debidas a las imprecisiones de ejecución), bien en sentido longitudinal, bien en sentido transversal del edificio, se introducen en los forjados existentes. Debido a la rigidez y la resistencia en su plano de éstos, la estabilidad de los pórticos nuevos queda asegurada sin la necesidad de disponer una diagonalización adicional.

El forjado de la Planta Sótano también está constituido por un forjado mixto de chapa colaborante, correas y jácnas mixtas (Figura 1). En un lado, las jácnas están unidas con los pilares que soportan el forjado nuevo de la Planta Baja, por lo que deben salvar una luz de 7,2 m. En el otro lado no se dispone ninguna jácna debido a que las correas, que salvan una luz de 7,2 m y están separadas 3,6 m, se unen directamente con el muro vertical que delimita la losa inclinada del anfiteatro existente en su parte inferior. A través de este muro, las cargas se transmiten a los pilares existentes (reforzados) de las plantas inferiores.

6.2.5. ELEMENTOS ESTRUCTURALES

6.2.5.1. Forjado mixto en Planta Sótano Primero

Las jácnas, de 7,2 m de luz, están constituidas por perfiles laminados HEA 320, de acero S 355 J0. Estos perfiles se unen con el hormigón del forjado mixto de chapa colaborante mediante unos pernos conectadores de 19 mm de diámetro, dispuestos en dos filas y con una separación en el sentido del eje del perfil de 0,15 m (Figura 4). De esta manera, las jácnas están formadas por unas vigas mixtas hormigón – acero. Las vigas metálicas se deben fabricar con una contraflecha, con el fin de compensar las deformaciones debidas a las cargas permanentes.

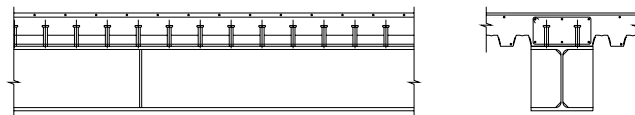


Figura 4: Jácenas mixtas del forjado en Planta Sótano Primero

Las correas que salvan una luz de 7,2 m están separadas 3,6 m. Están concebidas como vigas mixtas con un perfil laminado HEA 240 de acero S 355 J0. La conexión entre acero y hormigón es total (2 conectadores de diámetro 19 mm cada 0,15 m). También en este caso, las vigas metálicas se deben fabricar con una contraflecha.

El forjado mixto de chapa colaborante está constituido por una chapa grecada y una losa de hormigón de 0,16 m de espesor. El valor característico de la resistencia del hormigón es de 30 N/mm². Durante el hormigonado, la chapa debe ser apeada. En el estado final, el forjado funciona como un arco de compresión con un tirante inferior, constituido por la chapa. La transmisión de las fuerzas entre este arco y el tirante queda asegurada por los pernos conectadores de las correas del forjado. La fisuración en la zona de los momentos negativos (sobre las correas) se controla mediante la disposición de una armadura mínima (malla de $\phi 8$ a 0,15 m).

6.2.5.2. Forjado mixto en Planta Baja

El sistema del forjado de la Planta Baja es análogo al sistema del forjado de la Planta Sótano. Consecuentemente, los elementos estructurales también lo son. La mayor diferencia estriba en que el forjado abarca dos crujías, por lo que la jácena del pórtico intermedio es más solicitada y las correas están formadas por vigas mixtas continuas de dos vanos de 7,2 m de luz cada uno.

Con el fin de garantizar la seguridad estructural de la jácena más solicitada, ésta se concibe como una viga mixta continua con conexión total. A estos efectos se disponen tres filas de conectadores (tres conectadores de 19 mm de diámetro cada 0,15 m). Los momentos negativos en la zona sobre los pilares se resisten disponiendo una armadura superior en el sentido del eje de la viga. En el caso de las correas también se dispone una armadura superior en la zona de los momentos negativos (en la zona de apoyo formado por la jácena). En ambos casos, la armadura superior se concentra en sendas franjas correspondientes al ancho eficaz de la losa (Figura 3).

Al igual que en el caso del forjado mixto de la Planta Sótano, la chapa grecada del forjado mixto de la Planta Baja debe ser apeada durante el vertido de la capa de hormigón de 0,16 m de espesor. El mecanismo de resistencia en el estado final es el mismo que en el caso anterior, y la fisuración en la zona de los momentos negativos (sobre las correas) se controla mediante la disposición de una armadura mínima (malla de $\phi 8$ a 0,15 m). La resistencia en caso de incendio se controla mediante la disposición de una armadura pasiva de $\phi 10$ a 0,15 m (una barra por onda de la chapa grecada elegida).

6.2.5.3. Galería

El voladizo de la nueva galería está concebido como una estructura mixta, con unos perfiles HEA 200, acero S 355 J0, en ménsula, unidos mediante anclajes post-instalados al borde del forjado existente. Sobre estos perfiles se apoya una chapa grecada que forma un forjado mixto con el hormigón vertido in situ, de 0,16 m de espesor. Esta capa de hormigón se conecta con los perfiles en ménsula (un conectador de 19 mm de diámetro cada 0,20 m), de modo que éstos también son mixtos. Los momentos negativos correspondientes a estas vigas en ménsula se resisten mediante unas barras corrugadas post-instaladas en el forjado existente.

6.3. ACCESO AL NUEVO HEMICICLO DE LA ASAMBLEA E EXTREMADURA, MÉRIDA.

6.3.1. SITUACIÓN

La construcción de un nuevo Hemiciclo de la Asamblea de Extremadura en Mérida incluía la realización de un acceso desde la Asamblea actual (Figura 5). La zona en la que se debía implantar este acceso contiene algunas ruinas de origen romano. Se debía evitar cualquier interferencia entre el nuevo acceso y estas ruinas que, además, debían ser accesibles para visitas.



Figura 5: Acceso al nuevo Hemiciclo desde la actual Asamblea de Extremadura

6.3.2. CONDICIONANTES

Aparte de los condicionantes mencionados en relación con las ruinas romanas, en la concepción de la estructura del acceso al nuevo Hemiciclo se tenían que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Por motivos de coherencia formal con el resto de la estructura nueva, el arquitecto deseaba un forjado mixto para la estructura de acceso, visible desde el espacio situado por debajo del forjado.
- La adopción de una solución mixta también era necesaria por motivos de plazos de ejecución.
- El canto total del forjado estaba limitado a 600 mm.
- Para evitar posibles interferencias entre las cimentaciones de la estructura de acceso y las ruinas romanas, el forjado mixto debe transmitir sus reacciones a las cimentaciones de los edificios que une. La correspondiente orientación de las vigas conduce a luces para éstas de hasta 18 m, aproximadamente (Figura 6).

- El solado del forjado está constituido por una capa de mortero de 30 mm de espesor y losas de granito de 50 mm de espesor.
- El forjado soporta el cerramiento de cristal del acceso. Las deformaciones (diferidas) deberán limitarse para evitar que se produzcan daños en el acristalamiento.

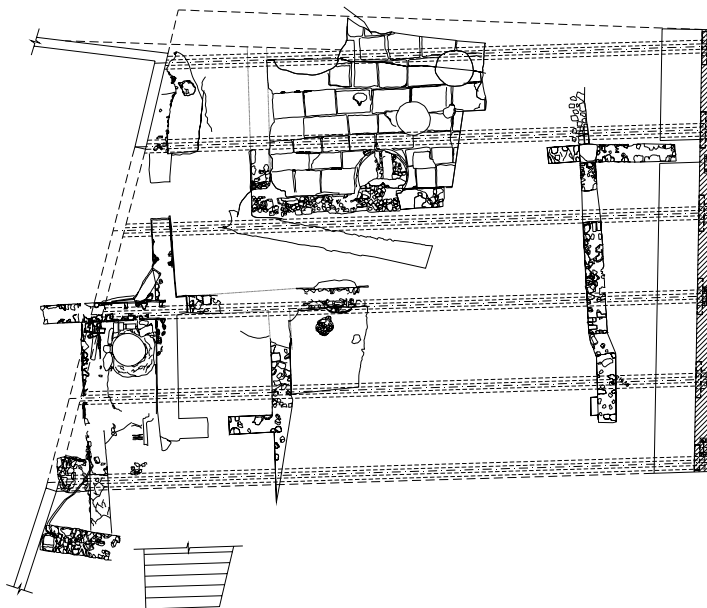


Figura 6: Planta de forjado

6.3.3. IDEAS ESTRUCTURALES

Partiendo de los condicionantes arriba mencionados, la concepción de la estructura del forjado se basa en las siguientes ideas principales:

- Por falta de información sobre las características y el estado de conservación del muro del edificio de la Asamblea existente, se opta por independizar la estructura del acceso de la estructura existente. A estos efectos se plantea un muro de apoyo con una sección en L, adosado al muro existente (Figura 7).
- Las vigas del forjado y el muro de apoyo forman una estructura integral. De esta manera, las vigas mixtas están parcialmente empotradas en el muro lo que permite reducir las deformaciones del forjado.
- El peso propio del hormigón del forjado actúa sobre las vigas metálicas, con el fin de reducir las deformaciones diferidas.
- La limitación del canto total del forjado a 600 mm conduce a una separación relativamente pequeña entre las vigas. Para mejorar el aspecto estético del forjado se adopta una sección

transversal de las vigas que permita reducir el ancho de sus alas inferiores, evitando un efecto “bosque”.



Figura 7: Muro de apoyo adosado al edificio de la Asamblea existente

6.3.4. CONCEPCIÓN ESTRUCTURAL

El forjado mixto de chapa colaborante se apoya en 6 vigas metálicas, separadas 2,29 m y con luces comprendidas entre 15 m y 17,8 m, aproximadamente (Figura 6). Las vigas metálicas tienen una sección en cajón de canto 460 mm y con un ancho de 150 mm. El ala superior sobresale a ambos lados del cajón, con el fin de evitar el pandeo lateral durante la fase del hormigonado y para facilitar la colocación de los pernos conectadores (Figura 8). Mediante esta conexión, las vigas metálicas se convierten en vigas mixtas en el estado final de la estructura.

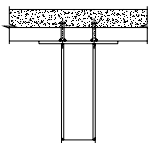


Figura 8: Sección de las vigas mixtas

Las ondas de las chapas grecadas están orientadas en sentido perpendicular a los ejes de las vigas metálicas. El espesor del forjado mixto es de 0,14 m y el hormigón empleado tiene una resistencia característica de 30 N/mm². La fisuración del hormigón se controla mediante la disposición de una armadura mínima, una malla de $\phi 5$ a 0,25 m.

Durante la fase del hormigonado, la estructura no está apeada. Consecuentemente, el sistema estático de las vigas metálicas es el de unas vigas biapoyadas. En el estado final, las vigas están empotradas en el muro de apoyo. El desvío de las fuerzas en la zona del nudo viga–muro es relativamente complejo. Para racionalizar los detalles constructivos necesarios a estos efectos, se opta por un empotramiento total para las condiciones en servicio y un empotramiento parcial para las condiciones en rotura. Para el dimensionado de este empotramiento se deben tener en cuenta las cargas que actúan sobre la estructura mixta, en el presente caso las cargas permanentes y las sobrecargas de uso.

6.4. MEJORA Y AMPLIACIÓN DEL ESTADIO MUNICIPAL DEL CHAPÍN, JEREZ

6.4.1. SITUACIÓN

La mejora y ampliación del estadio de Chapín se realizó con ocasión de los Campeonatos Mundiales de Juegos Ecuestres, Jerez 2002. El estadio existente data del año 1988, y sólo su tribuna principal disponía de una cubierta. Las gradas existentes están constituidas por pórticos de hormigón *in situ*, separados 6 metros, y por elementos prefabricados de hormigón conformando las plataformas para el público. La extensión del estadio requería la construcción de una nueva cubierta con una pasarela de mantenimiento integrada y de una nueva crujía en todo el perímetro del estadio. También se han reorganizado las vías de acceso para el público añadiendo nuevas escaleras, losas y pasarelas (Figura 9). Asimismo, un centro deportivo y un hotel han sido integrados en el estadio.



Figura 9: Ampliación del estadio de Chapín.

Izquierda: Pórtico tipo con inversión de las fuerzas. Derecha: Vista interior

6.4.2. CONDICIONANTES Y SUS CONSECUENCIAS PARA LA ESTRUCTURA

En la mayoría de los edificios, la principal dificultad para el ingeniero estructural consiste en la traducción geométrica de los requisitos arquitectónicos y funcionales en una estructura eficaz. En el presente caso, aparte de estos requisitos normales, también era necesario tener en cuenta algunos condicionantes particulares.

- La extensión de la estructura existente implica un cambio importante del sistema estático. Este cambio sugiere la necesidad de una intervención máxima, incluyendo demoliciones amplias con el fin de obtener la necesaria libertad para la adopción de una solución funcional y fiable.
- El estadio tenía que mantenerse en uso durante las obras. Esta condición sugiere la necesidad de una intervención mínima, evitando en la medida de lo posible la demolición de los elementos existentes.
- La inamovible fecha de inauguración también sugiere una intervención mínima, así como la minimización del tiempo de ejecución a través de la selección de las soluciones estructurales y de los métodos de construcción adecuados.

La combinación de estos condicionantes contradictorios tiene consecuencias importantes en relación con la selección de los materiales de construcción, la concepción global de la estructura y de los detalles constructivos, así como en relación con los métodos de fabricación y de montaje.

Concretamente, a partir de los condicionantes anteriores se han establecido las ideas básicas según las que se debía regir la concepción de la estructura (la enumeración se limita a aquellas ideas estructurales que afectan a la concepción del forjado mixto):

- La intervención debía tener un efecto mínimo sobre la estructura existente.
- La solución adoptada debía facilitar la prefabricación en taller.
- La solución adoptada también debía fomentar la facilidad y la rapidez del montaje lo que, en el caso de una estructura metálica o mixta, implica la realización de uniones soldadas en taller y atornilladas en obra.
- La separación entre los elementos metálicos y sus luces debían ser relativamente grandes para limitar el número de uniones a realizar en obra y para mejorar el aspecto visual de la estructura.
- Cada elemento debía contribuir a la estabilidad estructural de modo que la solución adoptada fuera robusta.

6.4.3. CONCEPCIÓN ESTRUCTURAL

6.4.3.1. Estructura global

La estructura de la nueva cubierta está constituida por vigas cajón de acero con una longitud total de 22,8 m y una sección transversal constante (1.400 mm · 300 mm) en la zona del voladizo (17,75 m). Cada una de estas vigas se apoya en un pilar metálico (biela de compresión) que introduce las reacciones directamente en el pórtico existente de hormigón armado, y en un elemento traccionado (tirante) conectado con la estructura de la nueva crujía, con forma de cercha, a su vez conectada con la estructura de hormigón. En el caso de succión del viento, se produce una inversión del flujo de las fuerzas, con tracción en el pilar de acero y compresión en el denominado "tirante" (Figura 9.a). Los paneles de la cubierta están apoyados en las vigas principales, salvando una luz de 6 m. De esta manera se evita la disposición de una estructura secundaria, obteniendo una solución extraordinariamente limpia (Figura 9.b). La estabilidad fuera del plano de los marcos metálicos se alcanza a través de su interacción con, respectivamente, la pasarela de mantenimiento y los perfiles transversales en los extremos superior e inferior de los tirantes, así como el forjado de la crujía nueva.

Los pórticos existentes se han tenido que reforzar debido al muy considerable incremento de los esfuerzos, en comparación con su situación original, inducidos por la cubierta nueva. A estos efectos se han adherido chapas de acero en la cara exterior de los pilares existentes, y láminas de fibra de carbono en las vigas inclinadas.

6.4.3.2. Forjado mixto

A priori, la solución más lógica para el forjado mixto de la nueva crujía consistiría en disponer a sus dos lados unas jácenas laterales, paralelas a la fachada, y una correa intermedia entre cada pareja de cordones horizontales de las cerchas que conectan los tirantes de la cubierta con la estructura de hormigón (Figura 10). De este modo, aparecería un forjado mixto continuo con vanos de 3 metros, aproximadamente. No obstante, el mismo forjado tiene una continuidad hacia el interior del estadio, hasta el borde del primer escalón del graderío (Figura 10). Aprovechando esta circunstancia, se ha optado por una orientación de los nervios de la chapa grecada perpendicular a la fachada, de modo que el forjado mixto de chapa colaborante es continuo sobre dos vanos de 4,8 m y de 1,4 m, aproximadamente. La disposición de este vano corto tiene un efecto sobre el vano largo asimilable al de un empotramiento, mejorando no solamente su capacidad portante sino también su comportamiento en servicio. Por este motivo, no es necesario disponer correas y

el aspecto del forjado mixto, visible desde el pasillo inferior, resulta acorde con los deseos arquitectónicos.

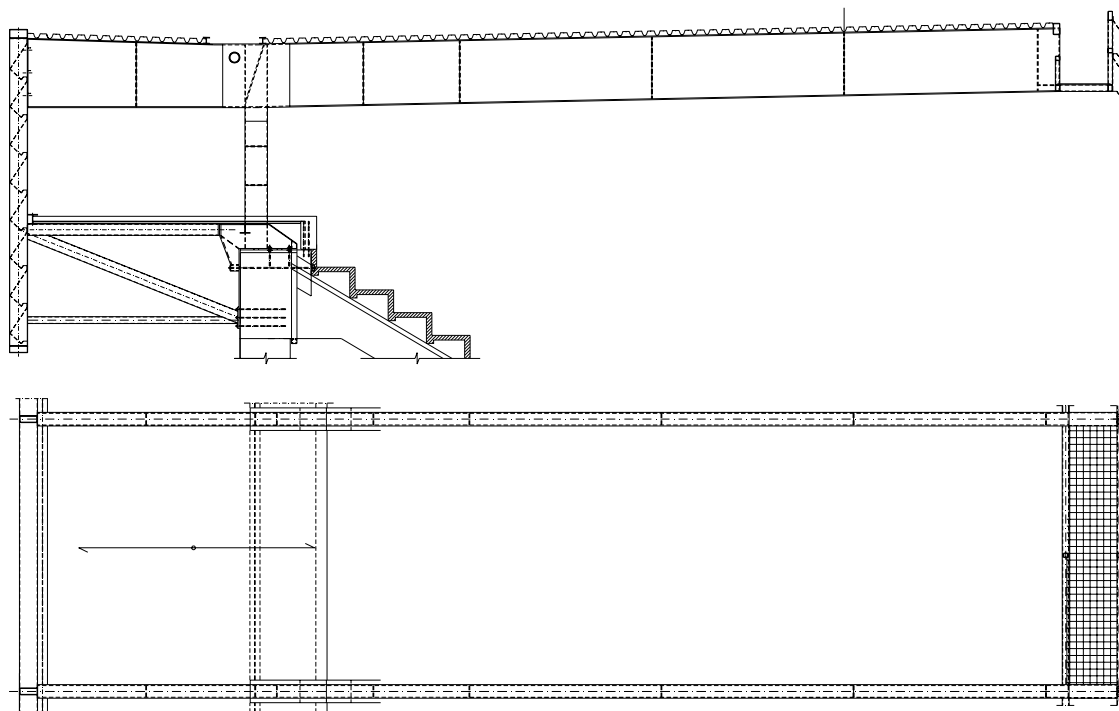


Figura 10: Nueva cubierta y crujía. a) Alzado. b) Planta

Las reacciones negativas que aparecen en el apoyo lateral del vano corto se introducen, a través de una viga de hormigón, unida monóticamente con la capa de hormigón del forjado mixto, en los pórticos existentes (Figura 11). Esta viga constituye, a la vez, el paramento vertical del escalón más alto del graderío. El apoyo intermedio del forjado mixto de chapa colaborante está constituido por un perfil metálico que salva la luz entre los aparatos de apoyo de dos pilares adyacentes de la cubierta nueva. Este perfil se une mediante conectadores con el hormigón del forjado, de modo que en su estado final también constituye una viga mixta.

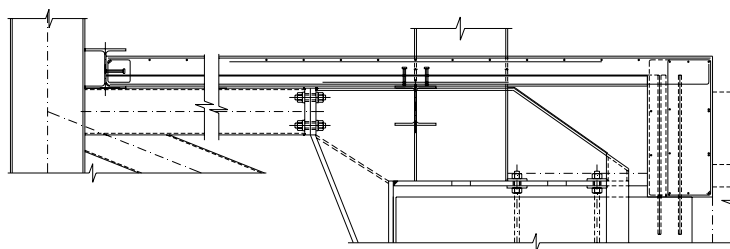


Figura 11: Detalles de apoyo del forjado mixto

La losa de hormigón del forjado mixto tiene un espesor de 0,16 m, con un valor característico de la resistencia del hormigón de 30 N/mm^2 . Durante la fase del hormigonado, el vano de 4,8 m de luz se debe cortar mediante un apoyo provisional intermedio. En la zona de los momentos negativos

sobre la viga mixta intermedia se dispone una armadura de refuerzo de $\phi 16$ a 0,2 m, además de la armadura mínima de control de la fisuración (malla de $\phi 8$ a 0,2 m). La resistencia en caso de incendio, finalmente, se alcanza al disponer una barra de acero de armar $\phi 16$ por cada onda de la chapa grecada.

6.4.4. ALGUNAS PARTICULARIDADES

6.4.4.1. Efecto arco

La conexión mecánica entre chapa y hormigón resulta insuficiente para asegurar su trabajo solidario en el vano de 4,8 m de luz. Para garantizar el correcto funcionamiento del forjado resulta por ello necesario movilizar el mecanismo del arco de compresión. No obstante, el perfil seleccionado por motivos arquitectónicos para la jácena adyacente a la fachada (HEA 220) no permite disponer los pernos conectadores de forma que se asegure la transmisión de las fuerzas a través del nudo arco-tirante (Figura 11). Consecuentemente, la propia jácena lateral debe resistir el empuje horizontal transmitido por el arco de compresión.

6.4.4.2. Juntas de dilatación

Al duplicar uno de cada cuatro pórticos de la grada existente, la separación entre juntas de dilatación en el estadio es de 24 m. Para evitar problemas de fisuración, se deben disponer las mismas juntas en el forjado mixto de la crujía nueva (Figura 12). En la zona de los aparatos de apoyo de los pilares de cubierta, la disposición de estas juntas requería una planificación particularmente cuidadosa de los detalles (Figura 13).

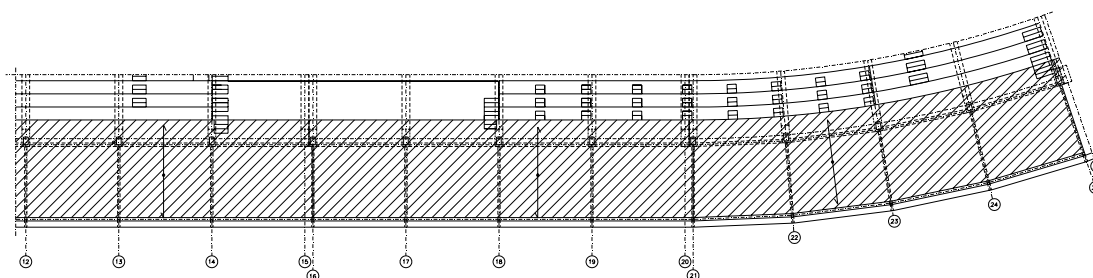


Figura 12: Disposición de juntas de dilatación en el forjado mixto de la crujía nueva



Figura 13: Junta de dilatación en la zona del aparato de apoyo de un pilar de cubierta

6.5. AMPLIACIÓN DEL RECINTO FERIAL DE VALENCIA

6.5.1. SITUACIÓN

Dentro de las obras de ampliación del recinto Ferial de Valencia destacan los ocho nuevos pabellones de exposiciones (Figura 14) conectados entre sí por calles interiores, con una superficie de forjado construida de casi 400.000 m². En una obra de estas dimensiones se ha utilizado en cada zona la tipología estructural más adecuada teniendo en cuenta que los plazos eran muy ajustados.



Figura 14: Ampliación del recinto ferial de Valencia

En los forjados de los niveles inferiores de los pabellones la solución estructural consistió en vigas prefabricadas continuas con sección en T invertida y placas alveolares.

Los forjados de las calles interiores se resolvieron mediante una losa maciza de hormigón armado y en los niveles superiores se dispuso un forjado mixto plano con losa alveolar embebida (*slim floor*).

Los pilares fueron prefabricados de hormigón armado hasta el nivel de exposición, desde este nivel y hasta la calle se utilizaron pilares metálicos y en las calles interiores pilares de hormigón armado “in situ”.

6.5.2. DESCRIPCIÓN DEL NIVEL DE EXPOSICIÓN

El nivel de exposición formado por una cuadrícula de 24 x 16 m se resuelve por medio de unas vigas principales mixtas armadas en la dirección de mayor luz con sección en doble T y canto 2,5 m, con grandes huecos necesarios para el paso de instalaciones. Transversalmente, y por la luz de 16 m se disponen vigas mixtas con sección en doble T y perfiles laminados especiales (Figura 15). El forjado mixto colaborante apoya en estas vigas secundarias con un entre-eje de 3,0 m.



Figura 15: Nivel de exposición

A continuación se muestran las vigas principales y secundarias (Figura 16).

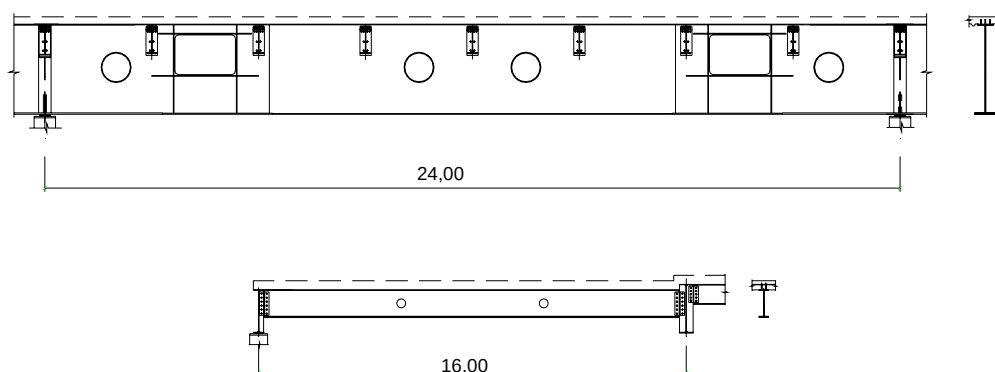


Figura 16: Vigas principales y secundarias del nivel de exposición

6.5.3. CONSIDERACIONES PARTICULARES

A continuación vamos a destacar algunos rasgos distintivos de esta obra:

- Durante la ejecución de las obras, el forjado mixto ha servido de acopio de las celosías metálicas de la cubierta y ha tenido que ser utilizado como plataforma de apoyo de grúas móviles (Figura 17) que transmitían cargas puntuales importantes.



Figura 17: Cargas provisionales sobre el forjado mixto

- El forjado del nivel de exposición exigía la disposición de huecos para arquetas de grandes dimensiones. Para ello, se dispusieron encofrados metálicos con la forma de la arqueta (Figura 18) y una vez fraguado el hormigón se cortaba la chapa, reparándola y protegiéndola con pintura de zinc.

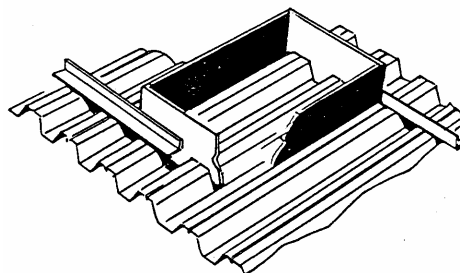


Figura 18: Huecos para arquetas

- Para evitar el gunitado de la chapa grecada como protección frente al fuego se dispuso una armadura inferior constituida por un mallazo realizado a “la medida” de la chapa, disponiendo la armadura principal a una distancia igual al paso entre grecas (Figura 19).

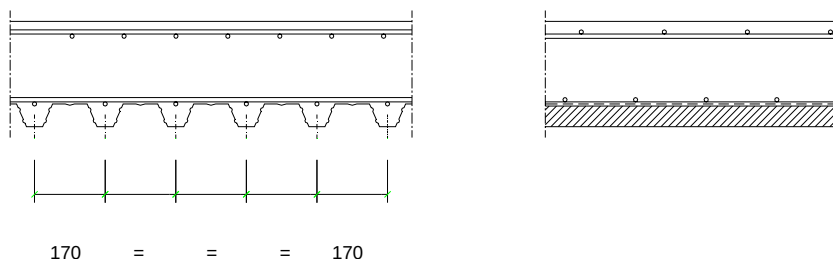


Figura 19: Armado inferior

- Los cambios de nivel y los bordes de forjado exigían la disposición de piezas de remate (Figura 20) y la definición cuidadosa de los detalles en proyecto.

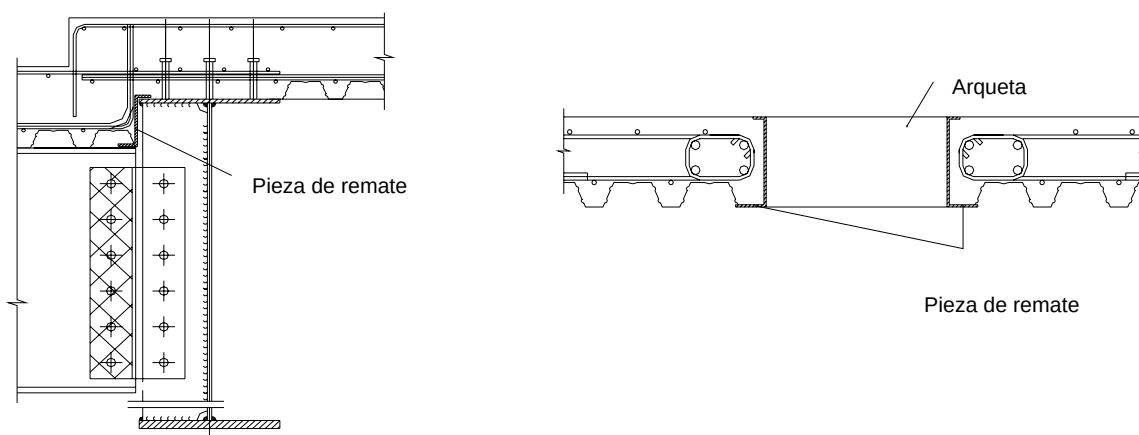


Figura 20: Detalles de la pieza de remate

- El encuentro de la chapa grecada con pilares de hormigón armado “in situ” era especialmente complicado y exigía la disposición de elementos metálicos secundarios (Figura 21) fijados al hormigón y sobre los que apoyaba la chapa.

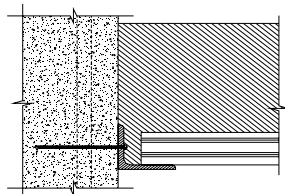
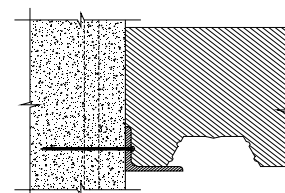

 Detalle de apoyo de chapa grecada
 perpendicular a la pantalla

 Detalle de apoyo de chapa
 grecada paralela a la pantalla

Figura 21: Detalles de apoyo

- En el caso en que los pilares eran circulares el encuentro (Figura 22) era particularmente complicado.

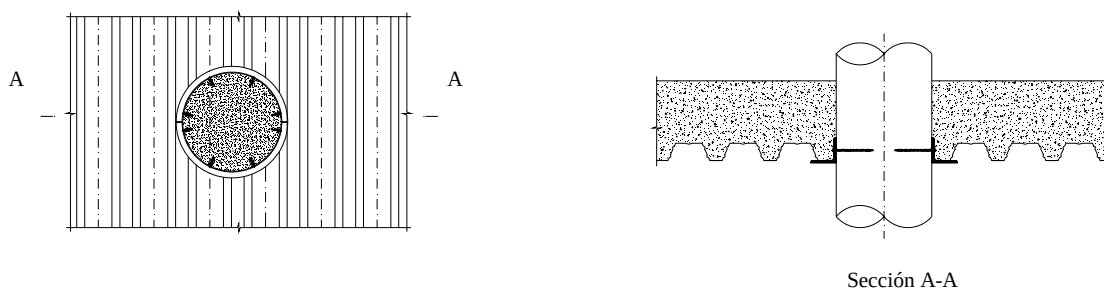


Figura 22: Encuentro de pilar circular de hormigón y forjado mixto

- En uno de los bordes de la sala de exposición la fachada alcanzaba una altura libre de hasta 12 m. Dadas las dimensiones reducidas del forjado mixto no era posible la fijación de la estructura vertical auxiliar de la fachada por medio de anclajes mecánicos, siendo preciso unir directamente la estructura principal y secundaria (Figura 23).

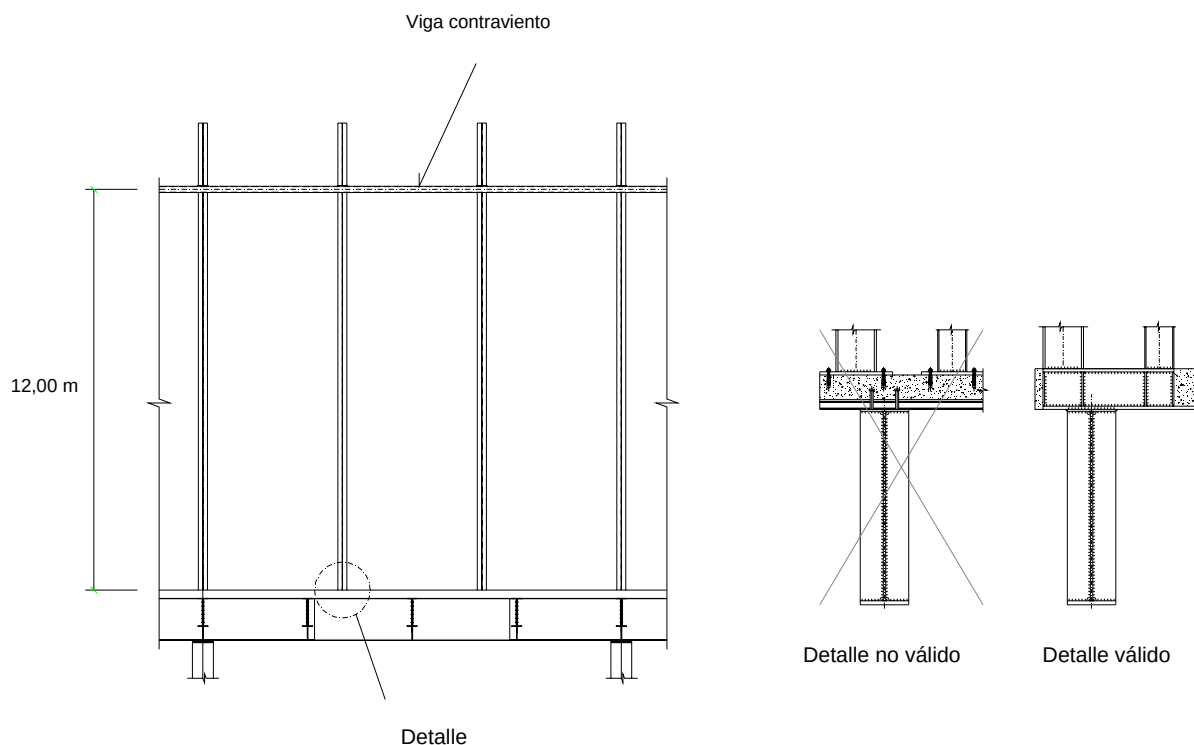


Figura 23: Fijación de la estructura auxiliar de fachada

6.6. EL EDIFICIO DE EMBARQUES PARA VUELOS INTERISLAS EN EL AEROPUERTO DE PALMA DE MALLORCA

6.6.1. SITUACIÓN

El edificio de embarques para vuelos interislas está formado por tres cuerpos, dos de ellos con forma sensiblemente rectangular, y el tercero un hall con forma triangular en planta (Figura 24). Los dos edificios anteriores están adosados a sendos lados del hall. También se incluía una pasarela peatonal que comunicaba el attillo con el exterior.



Figura 24: Edificio de embarques para vuelos interislas en Palma

6.6.2. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El hall se resolvió por medio de pórticos de una sola altura. Debido a la forma triangular en planta, el número de pilares era variable, y su altura varía entre 13 y 9 m (Figura 25). Los pilares y vigas metálicas están formados por perfiles laminados cerrados y las correas son vigas alveolares con aligeramientos circulares.



Figura 25: Hall de entrada

El altillo de planta sensiblemente rectangular está formado por pórticos metálicos separados 5,4 m y unidos por un forjado mixto de 0,18 m de canto (Figura 26).

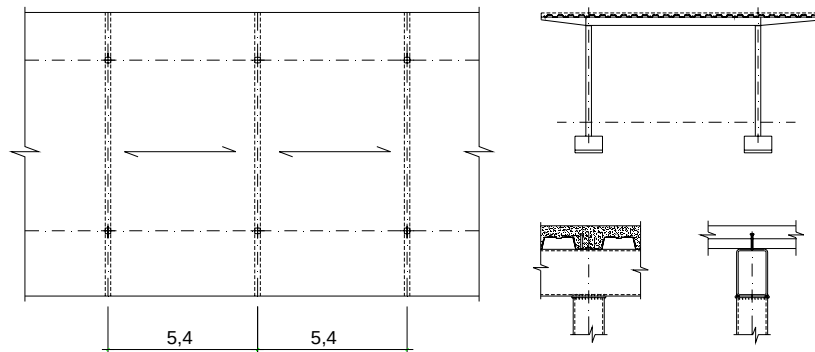


Figura 26: Altillo

La pasarela que comunica el altillo con el exterior tiene una sección transversal en forma de marco resuelto por medio de una celosía espacial con perfiles cerrados (Figura 27). El forjado se resuelve también por medio de un forjado mixto.



Figura 27: Pasarela de comunicación