

Capítulo 8 – Conclusiones

La presente tesina tiene como objetivo principal recopilar y estudiar la información más relevante y útil para el proyecto, análisis y construcción de forjados mixtos de chapa colaborante. El trabajo se ha complementado con un ejemplo en el que se lleva a cabo un análisis comparativo entre dos soluciones estructurales para un forjado de piso de un edificio genérico: la solución de forjado mixto de chapa colaborante y la solución de forjado reticular, de uso muy extendido en nuestro país.

Si la utilización del forjado mixto de chapa colaborante no es muy frecuente en nuestro país, es más por una falta de costumbre y poca popularidad, debido a la falta de información de esta tipología constructiva y a la poca flexibilidad al cambio que ofrece en general el sector de la construcción.

El cálculo y comprobación de este tipo de forjados se realiza con una formulación desarrollada a partir de las bases de cálculo ya conocidas del hormigón y del acero.

La realización de un caso concreto de proyecto ha permitido aplicar las formulaciones expuesta en la tesina. Aunque las conclusiones extraídas del ejemplo no pueden ser extrapolables a todo tipo de forjados mixtos de chapa colaborante, sí es posible trazar las líneas de aplicación de este tipo de forjados, y que se exponen a continuación.

Del estudio de los forjados mixtos de chapa colaborante en cuanto al análisis, proyecto y puesta en obra, y apoyándonos en el ejemplo realizado en el Capítulo 7, se extraen las siguientes conclusiones:

Datos de partida para el análisis:

- La comprobación de estos forjados exige su conocimiento experimental. Los datos empíricos que se deben utilizar para sus comprobaciones no son fáciles de encontrar en los principales proveedores de chapas colaborantes para forjados.
- La comprobación frente a los Estados Límite de Servicio necesita del estudio del forjado en fase de construcción. Dicha comprobación es tediosa puesto que los cálculos deben llevarse a cabo teniendo en cuenta los anchos eficaces de las chapas de los elementos que conforman la chapa, puesto que estamos en presencia de secciones transversales de Clase 4 –secciones ligeras-.

Poner al alcance del proyectista esta información previa, necesaria para la comprobación de la chapa en Estado Límite de Servicio, mediante tabulación de los datos geométricos de la chapa (altura de la greca, embuticiones) y de los correspondientes parámetros resistentes (sección eficaz, módulo resistente, inercia, área), sería de gran interés y de una enorme utilidad práctica.

Cálculo y comprobación:

- La comprobación de la flecha cuando el forjado actúa como encofrado perdido se realiza considerando únicamente el peso propio de la chapa y el peso propio del hormigón fresco, sin tener en cuenta ninguna sobrecarga adicional. Por el contrario, la comprobación de la chapa en esta situación de ejecución frente al Estado Límite Último

de flexión se realiza considerando una sobrecarga, de valor menor que la considerada en la situación persistente de proyecto de la estructura. A nuestro entender parece razonable considerar una cierta sobrecarga de ejecución para llevar a cabo el control de deformabilidad de la chapa.

- El dimensionamiento de forjados mixtos con conectadores hace que éstos puedan ser considerados tanto en la comprobación resistente de la chapa como de las vigas secundarias sobre las que descansan la propia chapa. No se ha podido encontrar información relevante relativa al comportamiento resistente de los conectadores en la interfase –hormigón, chapa colaborante, perno conectador, viga secundaria- cuando aquellos se ven sometidos a esfuerzos rasantes en direcciones ortogonales.
- La utilización de puntales o apeos provisionales en la construcción de forjados mixtos es de obligada consideración cuando la situación de proyecto lo requiera, especialmente cuando las acciones y las longitudes de los vanos a salvar sean grandes. El modo de tratar y comprobar esta situación no está definida en ningún sitio.

En general puede concluirse que falta por desarrollar estudios de interacción de los elementos conectadores entre los forjados mixtos y las vigas secundarias. El trato que se le da a éstos es independiente, a sabiendas de que los conectadores trabajan para ambos elementos estructurales –viga y chapa-, desconociendo una respuesta realista que tuviera en cuenta la interacción entre ambos esquemas resistentes.

Respuesta frente al fuego:

- La respuesta estructural de los forjados mixtos de chapa colaborante frente al fuego viene controlada, no tanto por el propio forjado mixto en sí, es decir, el binomio chapa-hormigón, sino por el entramado de vigas de acero que sustenta dicho forjado (vigas principales y secundarias).

La posibilidad de combinar el forjado mixto de chapa colaborante, entendiendo éste como el binomio chapa-hormigón, con otro tipo de sustentación (por ejemplo, vigas prefabricadas o incluso vigas de hormigón armado “in situ”), podría ser una posible opción que desde el punto de vista de la protección frente a fuego trabajaría de forma eficiente. Asimismo, otra posible opción sería dimensionar un forjado mixto tipo *slimfloor*. Se deben abrir campos de estudio para estas posibilidades.

Plazos de ejecución y costes:

- Si no se tienen en cuenta otros factores distintos de los estrictamente económicos del propio forjado, el forjado mixto de chapa colaborante resulta más caro que el forjado de construcción tradicional.
- El forjado mixto de chapa colaborante permite una ejecución más rápida que el forjado tradicional.
- La reducción en el tiempo de ejecución permite reducir el coste final del forjado mixto, en cuanto que se reducen el número de horas de trabajo de operarios.
- La construcción de edificios proyectando forjados mixtos permite reducir la altura del edificio, pues el canto de dichos forjados disminuye (en el ejemplo, un 11%). Asimismo esta disminución de altura por forjado repercute reduciendo los costes de cerramiento e instalaciones. Por otra parte, se consigue aligerar el conjunto de la estructura, proyectándose cimentaciones de menor tamaño y por lo tanto, menor coste.

- El peso propio medio de un forjado mixto disminuye de manera significativa con respecto al peso propio de un forjado tradicional de hormigón armado (en el ejemplo realizado el peso propio del forjado mixto es de 2,10 kN/m² mientras que el del forjado reticular es de 6,15 kN/m², lo que supone una diferencia del 60%). Esta diferencia de peso repercute directamente en las dimensiones de la cimentación y por tanto, en el coste de la misma.
- El coste de un forjado mixto depende básicamente del coste de acero estructural empleado en el entramado de vigas principales y secundarias sobre el que apoya el forjado en sí; la optimización de dicho entramado de acero es obligada si se pretende que la solución mixta sea competitiva desde el punto de vista económico. Cuando el criterio de dimensionamiento de dicho entramado sea el criterio resistente, puede ser de interés emplear aceros de mayor límite elástico (355 MPa o superior).
- El incremento de coste de un forjado mixto respecto a un forjado tradicional en cuanto al material empleado (en el ejemplo, un 12%) se ve posteriormente reducido si se consideran otros parámetros o variables que entran en juego en la ejecución y en el coste de una obra de edificación. No deberían obviarse los efectos beneficiosos que, desde el punto de vista económico, supone el proyectar forjados mixtos: reducción del tamaño de la cimentación, reducción del coste de cerramientos e instalaciones, reducción del tiempo de ejecución, lo cual supone poder amortizar más rápidamente la obra, especialmente en zonas urbanas en donde el coste por metro cuadrado de suelo sea elevado.

Un forjado mixto de chapa colaborante es competitivo en la construcción actual, especialmente para luces que empiezan a ser importantes. Cuando la puesta en obra de un forjado de construcción tradicional resulta difícil, son innegable las ventajas que el forjado mixto supone.

La información disponible en estos momentos sobre forjados mixtos de chapa colaborante es insuficiente, no existiendo normativa nacional que los regule. La única referencia de aplicación directa a esta tipología constructiva aparece en el capítulo 9 del Eurocódigo 4. La documentación sobre la puesta en obra de esta tipología constructiva se ofrece fundamentalmente por parte de los proveedores de los materiales principales de los forjados mixtos, en especial los de chapas y conectadores.

Si se quiere avanzar en la utilización de esta tipología constructiva en el mundo de la edificación, es imprescindible desarrollar una norma propia acorde al sistema reglamentario vigente en España que sentara las bases de proyecto y puesta en obra de una manera clara y precisa.