

9 ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS. FACHADAS

9.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se van a describir las fachadas como elemento de cerramiento de un edificio, sus características básicas, tipos más comunes y funciones.

9.2 DEFINICIÓN Y FUNCIONES DE LOS CERRAMIENTOS

Se entiende como cerramiento lo que limita y cierra un edificio, básicamente las fachadas y la cubierta o terrado. Las fachadas son los cerramientos verticales, mientras que las cubiertas son el cerramiento horizontal (explicadas en otro capítulo). También se puede considerar como cerramiento las divisiones de un local efectuadas por tabiques o mamparas fijas. Este aspecto de los cerramientos no se va a desarrollar en este capítulo.

Así pues, los siguientes apartados se centran en las fachadas, las cuales forman parte de la envolvente protectora que protege el interior del edificio de las inclemencias climatológicas.

Las fachadas deben proporcionar el ambiente interior deseado mediante la colocación del adecuado aislante térmico, así como poseer una protección acústica conveniente. Además, un buen comportamiento ante el fuego completa la lista de las funciones de las fachadas.

Son la cara visible de una construcción, con lo que el componente estético adquiere mayor importancia. En su diseño se debe transmitir la imagen deseada por la empresa.

9.3 CLASIFICACIÓN PREVIA

Las fachadas pueden clasificarse de forma genérica en dos grandes grupos:

- Fachadas ligeras
- Fachadas pesadas

- Fachadas ligeras
Son las de poco peso y precisan de una estructura auxiliar que las sustente. Pueden quedar encajadas entre forjados de cada dos pisos y entre cada dos pilares (paneles) o estar suspendidos inmediatamente delante del plano en el que están alineados los forjados y los pilares.
- Fachada pesada
Son las de mayor peso. Son fachadas a base de elementos autoportantes, ya sean materiales de obra de fábrica o paneles prefabricados. Ellas mismas soportan su propio peso debiéndose sujetar (no sustentar) en la estructura para que no se puedan caer.

9.4 TIPOS Y ÁMBITOS DE APLICACIÓN

Aparte de la clasificación genérica anterior de las fachadas (ligeras o pesadas), éstas también se pueden clasificar en función de los materiales usados para su construcción. Siguiendo este último criterio, se pueden clasificar según el uso de los siguientes materiales:

- Obra de fábrica
 - Bloque
 - Cerámico
 - Hormigón
 - Mampostería (piedra)
- Hormigón
 - *In situ*
 - Prefabricado
 - Placas planas
 - Placas nervadas
 - Placas alveolares
- Metálicas
 - Chapa
 - Simple
 - *Sandwich*
- Acristalados
 - Muros cortina

Seguidamente se comentan más profundamente cada uno de los tipos de fachadas en función de la clasificación realizada según el material usado para su construcción.

9.4.1 Fachadas de obra de fábrica

Son aquellas fachadas formadas por muros que utilizan obra de fábrica para su realización. Esta obra de fábrica puede ser de bloques cerámicos, bloques de hormigón o mampostería (piedra natural).

En cualquiera de los casos, estas fachadas no son de carga (no soportan las cargas del edificio), pues si así fuera formarían parte de la estructura del edificio (no necesitando pilares).

Su ejecución en obra se basa en piezas individuales unidas mediante mortero de cal o de cemento.

Los bloques cerámicos son piezas paralelepípedas rectangulares formadas a partir de arcillas. Estas piezas pueden ser macizas o agujeradas aligerando su peso propio (ver Fig. 9.1).

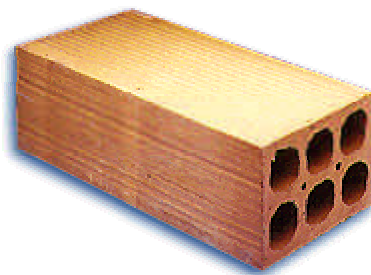


Fig. 9.1. Bloque cerámico agujereado

Los bloques de hormigón presentan la diferencia con los cerámicos que están formados a partir de hormigón (tal y como su nombre indican). En la figura 9.2 se aprecia la forma de los bloques de hormigón. En el mercado los hay de diversos tamaños y grosores.

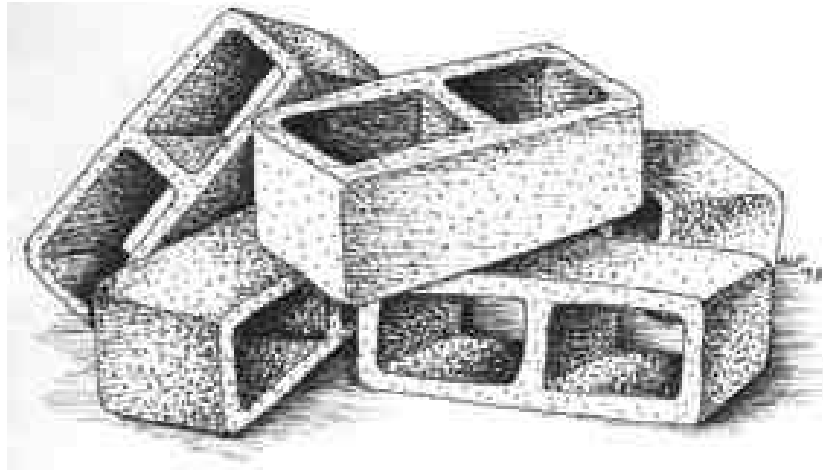


Fig. 9.2. Bloque de hormigón

Las fachadas de mampostería se basan en la utilización de piedras irregulares unidas entre ellas mediante mortero. Dan una línea irregular a la fachada dotándola de un toque tradicional. Se acostumbran a usar para decoración, siendo poco prácticas en cuanto a rapidez de construcción y a economía.

En la figura 9.3 se aprecia la forma final de una fachada de bloque cerámico.



Fig. 9.3. Fachada de bloque cerámico

9.4.2 Fachadas de hormigón

Las fachadas de hormigón son aquellas que utilizan de material base el hormigón armado (hormigón con barras de acero), no incluyéndose en este apartado los bloques de hormigón. Se pueden separar entre aquellas que son *in situ* y las que son prefabricadas.

Fachadas de hormigón in situ

Son aquellas en que el cerramiento de hormigón se realiza en la misma obra. Consta de un encofrado a dos caras situado en el lugar donde irá la pared de cerramiento, un armado interior y un posterior vertido del hormigón. Cuando el hormigón está seco se puede retirar el encofrado, quedando la fachada terminada.

Es una solución muy poco usual hoy en día, realizándose en casos muy excepcionales. Encarece mucho el producto porque su realización es completamente manual, lo cual siempre es más caro que la producción en serie industrializada.

Fachadas de hormigón prefabricado

Estas fachadas se forman a partir de placas prefabricadas de hormigón a medida. Estas placas se conforman en fábrica con lo que su producción es mucho más industrializada (más económico). De hecho, tal y como salen de fábrica son colocadas en obra.

De la fábrica se transportan a la obra, y allí se montan como un *puzzle*, una al lado de la otra, con la ayuda de una grúa

■ Ventajas principales

- Ahorro de tiempo debido a la sencillez de la puesta en obra.
- Organización más eficaz y controlada del proceso constructivo.
- Mejor calidad del producto final debido al control realizado en fábrica.

En la actualidad, el uso de elementos prefabricados de hormigón en fachadas es muy común en todo el mundo. Al utilizar elementos prefabricados en los proyectos (gracias a su gran variedad), se cuenta con una gran flexibilidad en el diseño aprovechando controles de calidad en su fabricación, además de optimizar los tiempos de ejecución.

Las características más destacadas de los elementos prefabricados de hormigón para fachadas son los siguientes:

- La prefabricación es un sistema que permite realizar, por medio de elementos estandarizados fabricados de antemano, un montaje que se realiza según un plano establecido.
- La prefabricación, partiendo de la definición anterior, trata de un módulo fabricado que unido a otros forman un conjunto.
- Las placas prefabricadas permiten gran variedad de acabados superficiales, permitiendo la posibilidad de personalizarlos al gusto del proyectista o cliente para cada obra.
- Los elementos prefabricados para fachadas presentan gran homogeneidad en toda la pieza.
- Bajo mantenimiento: una vez que la pieza está preparada y puesta en obra, su mantenimiento en el tiempo es muy escaso (no hace falta pintar cada cierto tiempo como en las fachadas más tradicionales ni tampoco reparar desperfectos debido a su gran calidad).
- Las placas prefabricadas de hormigón presentan una gran resistencia a la intemperie.
- Recorte en tiempo de ejecución. Tal y como antes ya se ha apuntado, el prefabricado permite un ahorro en tiempo muy importante, siempre y cuando se prevea dentro de un programa de obra. Necesita de un planteamiento de toda la estrategia de la obra antes de iniciar el edificio. El prefabricado no puede ser algo que se ponga después del diseño. El prefabricado tiene que ser planteado desde el concepto del edificio al inicio del proyecto para que todo vaya en consecuencia, para que no se presenten problemas de unión o impermeabilización si no se conoce, diseña o prevé desde el inicio el sistema de fijación de los prefabricados (por ejemplo).

- Repercusión del aspecto económico a largo plazo: es una ventaja siempre y cuando se entienda el aspecto de costo, costo - beneficio, y de economía a largo plazo como algo que se va ahorrando poco a poco. Los costes iniciales resultan más elevados que otros tipos de fachadas más tradicionales (p.ej. fábrica de obra), pero no es necesario estar todos los años manteniéndolas con reparaciones y pinturas.
- Así pues, se necesita una programación previa y calendarización, pues los elementos fabricados acostumbran a tener un tamaño considerable y según como esté la ejecución de la obra no pueden entrar en ella. En ese caso, se perdería la principal ventaja que presenta el sistema prefabricado, la rapidez.

Aparte de las características vistas hasta el momento, las fachadas prefabricadas de hormigón presentan una serie de limitaciones:

- Se debe prever un edificio que permita la modulación, es decir, que se pueda colocar un elemento repetitivo aunque existan pequeños ajustes (estos deben ser pequeños), en caso contrario se encarece la obra considerablemente.
- La especificidad del proceso: una obra que utiliza prefabricados debe considerarse distinta desde su inicio, debido al aspecto de la modulación y la coordinación con otros aspectos de la obra. Esta modulación y la coordinación de los procesos de la obra van a tener que ver con los sistemas de transporte y de colocación. El conocimiento de las reglas, normas y limitantes de los prefabricados en cuanto a tamaño, peso, formas, tecnología, técnicas y anclajes resulta fundamental para obtener un óptimo rendimiento al prefabricado.
- Reparación de las piezas: debido a que durante el transporte pueden sufrir daños, o en el momento de colocarlas se rompe o se cae y se despostilla, una vez colocadas debe verse la forma de repararlas. Al terminar su reparación, la pieza debe verse como si nunca hubiese estado dañada.
- El costo inicial es mayor. Las piezas, dependiendo de su complejidad, de su volumen concreto y del proceso que siguen, tienen un costo. A éste se le debe sumar el costo del transporte, lo que provoca que la mayoría de veces esta solución sea cara. Compensando este mayor costo, se encuentra la rapidez de ejecución, con lo que la obra se adelantará la fecha de entrega y antes se podrá empezar a producir en su interior.
- El prefabricado necesita mano de obra calificada, sobre todo en la cuestión de juntas, en el diseño para perder esas irregularidades que se pueden suscitar en la colocación (que siempre existen de cualquier manera) y ese tipo de aspectos que se deben tener en cuenta muy detenidamente en el diseño mismo de la pieza.
- El transporte de piezas excesivamente grandes puede ocasionar la necesidad de transportes especiales, con el consecuente aumento de costos.

Siguiendo la clasificación del apartado 9.4, las fachadas prefabricadas de hormigón pueden utilizar los siguientes tipos de placas:

- Planas
- Nervadas
- Alveolares

Las placas planas son aquellas que no presentan ningún saliente en su forma final, siendo completamente lisas.

Dos ejemplos de placas planas de hormigón prefabricado se pueden observar en las figuras 9.4 y 9.5.



Fig. 9.4. Fachada de paneles planos de hormigón prefabricado



Fig. 9.5. Detalle de colocación de paneles planos de hormigón prefabricado

Las placas nervadas tienen nervios de hormigón armado al final de la placa (en la junta con la siguiente placa) que sirven para unir entre ellas las prácticas y dar más rigidez al conjunto (ahorrando armado interior).

En la figura 9.6 se aprecia un ejemplo de fachada formada por placas prefabricadas nervadas de hormigón armado.

Las placas alveolares son aquellas que, en lugar de ser una placa maciza de hormigón armado, presentan agujeros longitudinales en su interior aligerando su peso propio (ideal en caso de no querer sobrecargar la estructura).

Un ejemplo de fachada utilizando placas alveolares prefabricadas de hormigón armado se observa en la figura 9.7.

En la figura 9.8 se aprecian distintas soluciones de colocación de las placas alveolares respecto a los pilares de la estructura.



Fig. 9.6. Detalle de fachada de paneles nervados de hormigón prefabricado



Fig. 9.7. Detalle de colocación de paneles alveolares de hormigón prefabricado

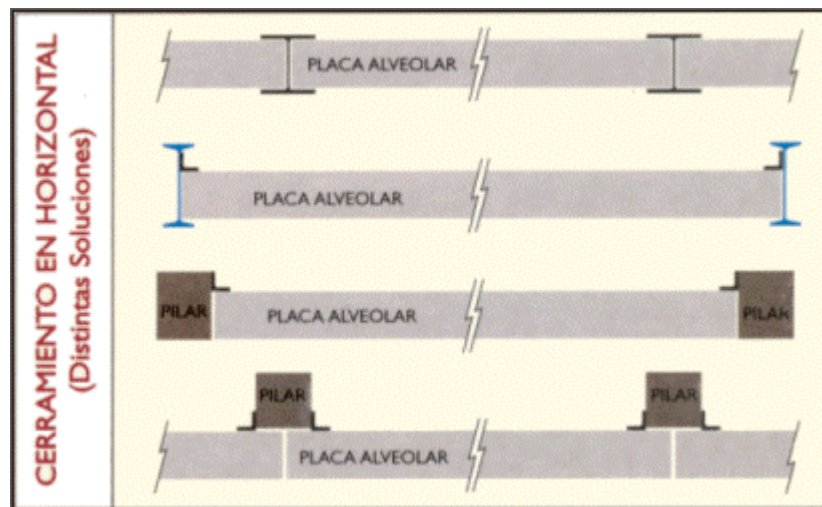


Fig. 9.8. Distintas colocaciones las placas alveolares respecto a los pilares de la estructura

9.4.3 Fachadas metálicas

Las fachadas metálicas están formadas por paneles de chapa metálica, normalmente grecada, unidos entre sí. Estos paneles se fijan a la estructura del edificio mediante un entramado metálico (estructura auxiliar).

Las chapas metálicas pueden ser de distintos materiales (aleaciones de acero, aluminio, etc.), y en función de sus capas en los paneles se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Paneles de chapa simple
- Paneles tipo *sandwich*

Paneles de chapa simple

Son paneles constituidos por una sola chapa grecada (Fig. 9.9), colocada directamente sobre la estructura auxiliar del edificio y fijada a ella mecánicamente.

Este cerramiento puede admitir superficies traslúcidas o transparentes, las cuales pueden ser puntuales o continuas, ajustadas a las placas grecadas entre las que van intercaladas.

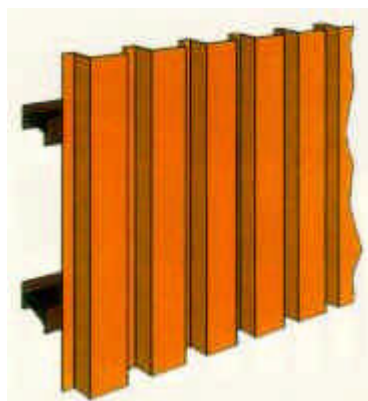


Fig. 9.9. Chapa simple grecada

En la figura 9.10 se observa el gráfico de una chapa simple con el entramado metálico posterior y los pilares a los cuales va todo sujeto. Además, se refleja un muro de fábrica de obra en la parte inferior, el cual es muy común en edificios industriales para evitar posibles golpes de maquinaria móvil de la fábrica en las partes bajas de las fachadas.

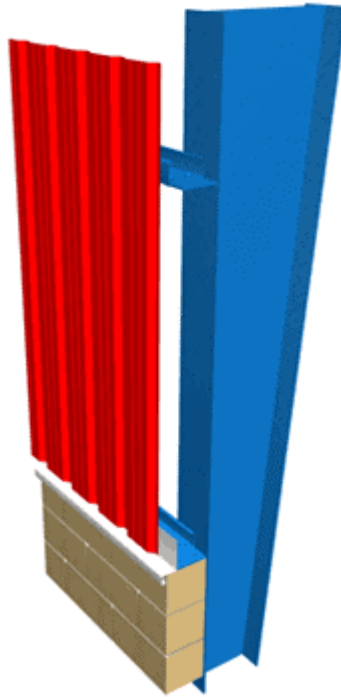


Fig. 9.10. Detalle panel chapa grecada simple con su unión a la estructura

Paneles metálicos tipo sandwich

Se define como fachada sandwich tradicional la construida por cuatro componentes básicos: chapa interior vertical fijada a la estructura horizontal auxiliar mediante fijación mecánica, estructura auxiliar horizontal, aislamiento y chapa exterior vertical fijada a la estructura adicional mediante fijación mecánica. Este cerramiento puede admitir superficies traslúcidas o transparentes, puntuales o continuas, ajustadas a las placas grecadas entre las cuales van intercaladas.

El panel tipo *sandwich* se puede construir en la misma obra (*in situ*), o bien montarlo prefabricado. En caso de formarlo en la misma obra, primero se realiza la estructura auxiliar, después se fija a ella la chapa grecada interior, posteriormente se coloca el aislante por la parte de fuera y finalmente se cierra todo mediante la chapa metálica exterior. Si el panel viene prefabricado, tan sólo es necesario sujetarlo a la estructura auxiliar de forma mecánica.

Así pues, los paneles Sándwich prefabricados se fabrican en continuo por inyección de poliuretano entre dos paramentos metálicos de chapa de acero galvanizada o prelacada (normalmente). El perfil exterior puede ser liso, grecado, nervado o micronervado (el más usual es el grecado).

Estos paneles representan un ahorro en el tiempo total de colocación e implican el disponer de aislamiento térmico sin necesidad de añadir ningún otro elemento.

En la figura 9.11 se observa el gráfico de un cerramiento metálico tipo *sandwich* con el entramado metálico posterior y los pilares a los cuales va todo sujeto.

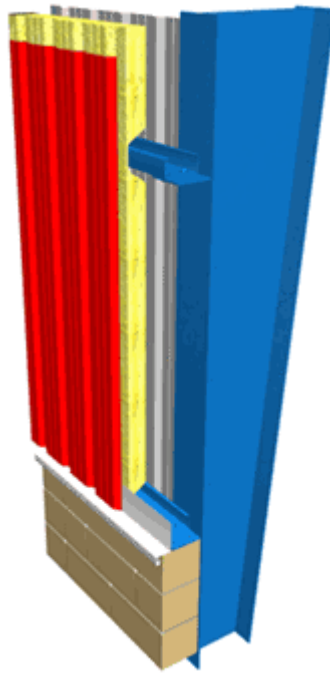


Fig. 9.11. Detalle panel *sandwich* con su unión a la estructura

En la figura 9.12 se puede apreciar el aspecto externo de una fachada realizada mediante panel metálico tipo *sandwich*.



Fig. 9.12. Fachada de panel metálico *sandwich*

9.4.4 Fachadas acristaladas

De fachadas acristaladas se distinguen dos tipos diferentes. El primero es el realizado mediante carpintería entre forjados, con lo que el cristal queda dentro del edificio (el más usual). El segundo es el llamado *muro cortina*. Éste se basa en un entramado de metálico (normalmente aluminio) sobre el cual se colocan las piezas de cristal. Los muros cortina se montan por fuera del edificio. El entramado metálico permite alcanzar grandes alturas, fijándose a la estructura del edificio por fuera. Este apartado se centra en los muros cortina debido a su mayor complejidad de comprensión.

Normalmente, los muros cortina no se usan para fachadas de edificios destinados a zona de producción, pero sí es bastante habitual utilizarlos para zonas de oficinas.

Los trabajos de en cristallado se efectúan al exterior del edificio (es como una piel que recubre la estructura). La pared cortina resiste a las fuertes ráfagas de viento, presenta un buen acabado estético y da libertad de ejecución a formas irregulares para el vidrio.

Se pueden obtener dos tipos de acabados en función de la colocación del cristal respecto al entramado de aluminio; el primero es que el cristal se coloca entre los perfiles de aluminio del entramado (viéndose desde fuera la carpintería de aluminio), y el segundo es que el cristal se coloca por delante del entramado de aluminio, con lo que desde fuera no se puede ver la carpintería de aluminio.

El muro cortina puede ser térmico o no (en función de las capas de vidrio), pero lo más usual es que sea de vidrio doble o triple. Se utiliza normalmente el vidrio simple para las marquesinas, donde el aislamiento térmico carece de importancia.

En la figura 9.13 se muestra un muro cortina con entramado de aluminio visto desde fuera.



Fig. 9.13. Fachada muro cortina con carpintería vista

En la figura 9.14 se presenta un detalle de unión de la carpintería de aluminio, en este caso carpintería vista.



Fig. 9.14. Detalle de carpintería de aluminio vista para muro cortina

En la figura 9.15 se muestra la fachada muro cortina de un edificio con la carpintería no vista. Las líneas que se observan son las juntas entre los cristales, no la perfiles de aluminio.



Fig. 9.15. Muro cortina con perfiles no vista

Por último, en la figura 9.16 se puede apreciar un edificio industrial con la zona de oficinas acristalada.



Fig. 9.16. Edificio industrial con zona de oficinas acristaladas

10 EL SISTEMA ESTRUCTURAL

10.1 INTRODUCCIÓN

En la presente lección se explican las distintas tipologías estructurales que pueden aparecer en la construcción industrial. Se dan sus características, se muestran imágenes de ejemplos y se realiza una comparación entre ellas para saber cuándo es aconsejable utilizar una tipología u otra.

En ningún momento se tratará el cálculo de estructuras, pues se entiende que ello no es el objetivo de esta asignatura. La lección es meramente descriptiva para que un Ingeniero Industrial en Organización sea capaz de reconocer los diferentes tipos de estructura que se puede encontrar en el mundo industrial.

10.2 DEFINICIÓN Y FUNCIONES DE UNA ESTRUCTURA

Estructura es el *conjunto de elementos resistentes de un edificio capaces de mantener sus formas y cualidades a lo largo del tiempo, bajo la acción de cargas y agentes exteriores a que vayan a estar sometidos.*

Así pues, la función de una estructura es la de resistir la acción de las cargas y agentes exteriores a los cuales puede verse sometido un edificio, sin que para ello pierda las formas y las cualidades para las cuales ha sido diseñado.

10.3 ELEMENTOS DEL SISTEMA: SUELO-CIMENTACIÓN Y ESTRUCTURA

Ninguna estructura puede estudiarse por sí sola ni por separado del resto del sistema al que pertenece. Este sistema está formado por el suelo sobre el que se asienta la construcción, por la cimentación y por la propia estructura, dado que entre estos elementos existe siempre una interacción. De hecho, la función de la cimentación es la de transmitir los esfuerzos de la estructura al suelo.

Las características del suelo, conjuntamente con el tipo de estructura, marcan la cimentación necesaria. También puede darse el caso en que el suelo y la cimentación condicionen la estructura. Este sistema estructural formado por estos tres elementos es fundamental en el proyecto del edificio, y aunque no sea objeto de este curso entrar en su cálculo, sí es de importancia sentar unos criterios básicos que puedan permitir elegir el tipo y material adecuado para obtener la solución idónea del entramado estructural. En la figura 10.1 se puede apreciar el esquema de un sistema estructural y los subsistemas que lo componen.

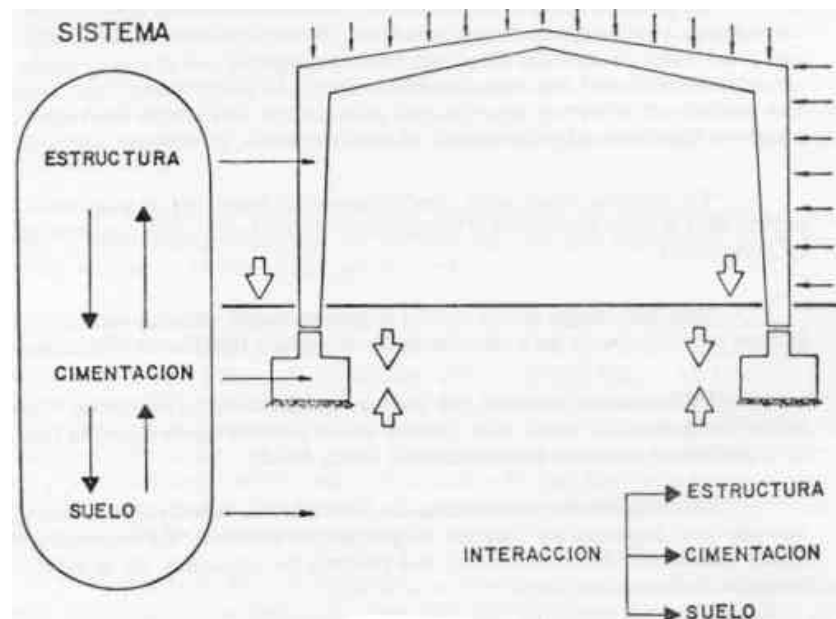


Fig. 10.1. Sistema estructural

10.4 SUBSISTEMAS ESTRUCTURALES

Tal y como anteriormente se ha indicado, un sistema estructural está formado por los subsistemas estructura, cimentación y suelo. Esta lección, debido a su gran variedad y complejidad, se centra en el subsistema estructura.

La estructura de un edificio es una parte muy importante de éste que condiciona muchas veces su morfología final. En el caso de construcciones industriales, por sus especiales características, el valor de la estructura todavía aumenta más, ya que con gran frecuencia la solución que se proponga, además de estar basada en las consideraciones, ya conocidas, pertenecientes a la implantación del proceso industrial, viene también determinada por las posibilidades que los materiales disponibles ofrecen para realizar la estructura precisa según la implantación.

Cualquier construcción debe alcanzar una finalidad, que no es sólo que la obra resista, sino que además cumpla con unas determinadas funciones.

De manera general, las finalidades funcionales primarias de una estructura, o en general de una construcción, pueden agruparse de la forma siguiente:

- *Aislar un determinado volumen del exterior*
Defender el volumen interior de un edificio de los agentes naturales exteriores, tales como viento, lluvia, nieve, ruidos, temperaturas, vista de otras personas, etc. Así, desde el punto de vista estructural, pertenecen a este grupo los muros de cierre y las cubiertas.
- *Sostener cargas fijas o móviles*
Establecer plataformas que permitan el paso de personas o vehículos, etc. Así nacen los pisos de los edificios, los puentes, viaductos, pasarelas, etc.
- *Contener empujes horizontales*
Establecer paramentos que soporten los empujes de tierras, de aguas o de otros materiales líquidos, áridos o análogos; y así también nacen las presas, las paredes de depósitos, de silos, muros de contención, etc.

Aparte de estas funciones mencionadas, evidentemente una estructura debe desempeñar una función estructural o estática, siendo capaz de resistir las cargas del propio edificio que sustenta.

Cuando se considera la resistencia de la construcción, se debe tener en cuenta que se refiere, en general, a que no basta con que se aleje el peligro de rotura de la estructura, sino que también es necesario lograr que las construcciones sean estables e inmóviles. Las construcciones no deben admitir ningún movimiento ni resultar deformables; la función estática de la construcción es siempre esencial, al menos durante el tiempo mínimo que se le pida de vida útil. Por consiguiente, en el estudio de la estructura, y de manera general, se debe tener en cuenta que todos los materiales de los que esté realizada la construcción se mantengan en perfecto estado frente a todo género de agentes exteriores, así como que conserven sus condiciones de estabilidad estática conjuntamente con los de su resistencia.

Aparte de lograr que la estructura cumpla con las funciones descritas, se debe tener en cuenta que en su diseño existen una serie de factores muy importantes que también influyen. Estos son los siguientes:

- *Factor económico*
Existen siempre unas condiciones o limitaciones de tipo económico después de cumplir todas las demás. Siempre hay que elegir aquella solución que ofrezca los mejores resultados desde este punto de vista, ya que con gran frecuencia suele ser el de más importancia.
- *Factor tiempo*
Dentro de las condiciones económicas se debe considerar la eficacia de los materiales disponibles. Este punto se refiere a que, para un caso determinado, pueden emplearse dos o más materiales, siendo todos ellos igualmente válidos desde el punto de vista técnico, pero uno de ellos da lugar a que se pueda finalizar la construcción en un plazo de tiempo inferior a los demás (lo cual en muchas ocasiones implica un ahorro económico debido a que se puede empezar antes la actividad deseada en el edificio); en ese caso y sobretodo en construcciones industriales, debe emplearse el material que da lugar a la terminación de la obra en un tiempo menor.
- *Factor estético*
En las estructuras de tipo industrial, el factor estético, en general, no es de gran importancia, pero en ocasiones puede interesar considerarlo, con lo que puede influir en la elección de un determinado tipo estructural.
- *Factor disponibilidad*
Igualmente, y de forma importante en determinadas regiones, para elegir la solución de estructura se debe tener en cuenta las disponibilidades de materiales o de mano de obra capacitada para su ejecución; así por ejemplo, hay lugares en los que de manera obligada las estructuras a realizar deberán ser de madera por ser el único material disponible.
- *Factor utilidad*
Las características propias de cada material influyen en el tipo estructural que se debe elegir. La piedra, tanto natural como artificial, es apta para resistir la compresión y no lo es para la tracción y por consiguiente, puede ser buen material para aquellos tipos estructurales que es estabilicen por su propio peso y mala para otros tipos de sollicitación. Por el contrario, cuando el problema estructural a resolver es el de resistir esfuerzos de flexión o de tracción, el material natural por excelencia es el acero o, en su defecto, el hormigón armado.

A estos factores se le tiene que añadir el que se podría llamar *factor compatibilidad*, el cual establece las mutuas exigencias o influencias de unos factores con otros. Todos ellos pueden hacer el sistema incompatible en el sentido de que, en muchas ocasiones, es imposible satisfacer todos los factores plenamente, con lo que es necesario conformarse con resolver el problema aproximadamente. Por ello se tiene que limitar al mínimo los inconvenientes y sacrificar, en parte, condiciones menos importantes. Tan sólo puede pretenderse que la resolución del sistema se efectúe con el mínimo error.

10.5 TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES Y ÁMBITOS DE APLICACIÓN

De forma muy esquemática, se han dividido las distintas tipologías estructurales en:

- Estructuras de fábrica de obra
- Estructuras de hormigón
- Estructuras metálicas
- Estructuras mixtas

Aunque existen más tipos de estructuras, sólo se han considerado estos cuatro por ser los más habituales actualmente en el mundo de la construcción. Seguidamente se entra más en profundidad en cada uno de ellos.

10.5.1 Estructuras de fábrica de obra

Los principales materiales usados para este tipo de estructuras son los bloques cerámicos (vulgarmente conocidos como ladrillos) y los bloques de hormigón.

■ BLOQUES CERÁMICOS

Los bloques cerámicos son piedras artificiales que se fabrican con arcilla moldeada, entrando para su formación elementos como el agua y el fuego. Este material presenta unas características de resistencia y de morfología que lo hacen apto para su empleo en todo tipo de construcción. Se pueden usar como elemento estructural y como simple cerramiento.

En la antigüedad clásica, el bloque cerámico se empleaba en su variedad de ladrillo totalmente macizo, uniéndolos entre sí mediante un mortero de cal o de cemento natural para así formar las fábricas (muros de obra), que todavía resisten a pesar de los miles de años que han transcurrido desde la fecha de su construcción. Hoy se fabrican también esos ladrillos macizos (Fig. 10.2), así como también ladrillos huecos de distintas tipologías, los cuales han aligerado su peso aunque no han servido para dotar de unas características de aislamiento térmico y acústico que serían muy deseables.



Fig. 10.2. Ladrillos macizos

Los bloques cerámicos poseen unas buenas características de resistencia a la compresión, pero no así a la flexión ni a la tracción y, en general, su resistencia queda condicionada a la del mortero que se utiliza para crear la fábrica. Se emplean actualmente muy poco para construir estructuras resistentes (básicamente en viviendas) y únicamente se utiliza el bloque cerámico de manera extensiva para la formación de muros de simple cerramiento, o sea, de compartimentación entre dos medios distintos.

■ BLOQUES DE HORMIGÓN

Otro material utilizado en la construcción industrial, de características análogas a las del bloque cerámico, son los bloques de hormigón (ver Fig. 10.3 y 10.4). Estos, tal y como su nombre indica, están hechos de hormigón.

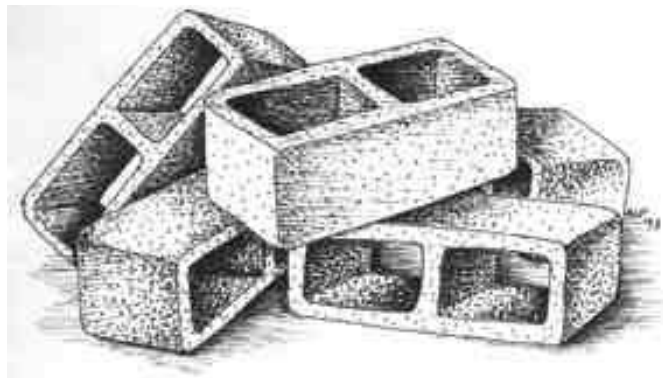


Fig. 10.3. Bloques de hormigón



Fig. 10.4. Paredes de bloque de hormigón

En general, tienen como ventaja frente al bloque cerámico su mayor economía, pero, sin embargo, las fábricas que se construyen con ellos no llegan a tener las calidades estructurales que se obtienen con los bloques cerámicos. A cambio presentan como ventaja una más rápida ejecución.

Se utiliza con gran profusión en todo género de construcción pero su papel también queda limitado, en la mayoría de los casos, al de formación de muros no estructurales que separan ambientes diferentes.

10.5.2 Estructuras de hormigón

Otro material pétreo de gran importancia, en cuanto a sus posibilidades de empleo estructural, es el hormigón. Su aparición revolucionó completamente las técnicas de construcción y pronto se convirtió en uno de los materiales de mayor importancia para la construcción de estructuras, ya que tiene gran resistencia a la compresión. El problema de la poca resistencia a la tracción del hormigón se ve compensado con el hormigón armado, material que debe considerarse como totalmente diferente del hormigón, ya que en él se mezcla el hormigón capaz únicamente de resistir esfuerzos de compresión con barras de acero dispuestas convenientemente para que soporten los esfuerzos de tracción.

■ HORMIGÓN EN MASA

En el hormigón en masa no aparece ningún otro material que no sea el propio hormigón, es decir, no se incluye acero. De esta forma, tal y como se ha indicado antes, se consiguen unas muy buenas propiedades a compresión, pero unas propiedades casi nulas a tracción. Ello provoca que apenas se utilice para estructuras de edificios.

Desde el punto de vista constructivo, el hormigón se caracteriza por exigir un encofrado o molde en el cual se forma la pieza y una cimbra o apeo, que es el elemento sustentante de tal encofrado, de forma que el conjunto del encofrado sea capaz de soportar el peso del hormigón fresco y los empujes laterales que produce, de manera análoga a los que un líquido ejerce sobre las paredes del recipiente que lo contiene.

■ HORMIGÓN ARMADO (*IN SITU*)

El hormigón armado está formado por hormigón en masa y armadura de acero, lo cual provoca que aproveche las calidades del hormigón para la compresión y las del acero para la tracción.

El hormigón armado es uno de los materiales estructurales por excelencia que, conjuntamente con el acero, resuelve todos los problemas estructurales (ver Fig. 10.5). Además del hormigón armado, las variedades de hormigón pretensado o postensado (pretensando o postensando el acero) también ocupan un campo muy importante entre los materiales estructurales, que puede competir incluso, a veces con ventaja, con el acero estructural para la solución del problema de cobertura de grandes luces.

El hormigón pretensado se basa en tensar el acero del hormigón armado antes de hormigonar la pieza (viga, pilar, forjado, etc.), mientras que en el postensado se realiza este tensado una vez ya se ha hormigonado. En ambos casos se consiguen piezas de hormigón armado con acero tensado, lo que implica una mejora de las calidades de la pieza.



Fig. 10.5. Estructura de hormigón armado

Aparte de su buena resistencia estructural, sobre todo a las tensiones de compresión, hay que resaltar también como calidades del hormigón armado:

- Buena resistencia al desgaste.
- Gran resistencia al fuego, que lo hace un material muy valioso para determinados casos de edificios industriales así como de otra índole.
- Resistencia a la corrosión, ya que las armaduras de acero presentes en el hormigón armado quedan protegidas por el propio hormigón en masa y el peligro de corrosión es prácticamente nulo.

El hormigón armado presenta un comportamiento más complejo que la piedra o el bloque cerámico. Su economía, especialmente en grandes volúmenes, su fácil adaptación a formas variadas y el carácter de monolitismo que confiere a las estructuras que con él se realizan lo hacen insustituible en muchos casos y dan la solución más sencilla para obtener estructuras de formas complicadas.

En la figura 10.6 se pueden apreciar unas armaduras de acero preparadas para usar en el hormigón armado.



Fig. 10.6. Armaduras para hormigón armado

■ ESTRUCTURAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN

Las estructuras prefabricadas de hormigón son también estructuras de hormigón armado con la particularidad de que sus elementos (pilares, vigas, etc.) se pueden realizar en un taller. Debido a esta peculiaridad se ha creído oportuno separarlo del hormigón armado *in situ* (realizado en obra).

Las estructuras prefabricadas tienen la gran ventaja de salir de fábrica tal y como se van a instalar en obra. De esta manera se consigue que la calidad del material y de las piezas sea muy superior al hormigón en masa o hormigón armado que se tiene que hormigonar en obra, encofrar, vibrar, etc. (*in situ*). De este modo, la garantía de la calidad de la estructura es mucho mayor.

Además, se puede conseguir una producción más elevada y es mucho más sencillo realizar piezas estructurales pretensadas y postensadas, lo cual da unas características resistentes mejores a las piezas.

El problema que puede aparecer en las estructuras prefabricadas es el transporte, que puede ser muy costoso para piezas grandes (transportes especiales).

En la figura 10.7 se distingue una nave industrial y en la 8.8 un edificio de oficinas construyéndose, ambas usando estructura con pilares y vigas prefabricadas.



Fig. 10.7. Nave con estructura prefabricada



Fig. 10.8. Oficinas con estructura prefabricada

10.5.3 Estructuras metálicas

Dentro de los materiales metálicos, los más empleados para la construcción de estructuras son los aceros. La ventaja fundamental que tiene con respecto a todos los demás es su gran resistencia a la tracción y a la compresión, que da lugar a que también sea muy resistente a la flexión.

Los valores normales que se obtienen para su resistencia son tan elevados que las secciones necesarias para resistir unas determinadas sollicitaciones suelen ser en general muy pequeñas comparadas con cualquier otro material estructural, lo cual hace de los aceros un material muy apto para cumplir todas las condiciones que se requieren para la estructura de un edificio industrial (ver Fig. 10.9).



Fig. 10.9. Nave industrial con estructura metálica (perfiles con secciones pequeñas)

Además, se presta magníficamente a la prefabricación y, a diferencia del hormigón, que es un material que hay que formarlo mediante encofrados, el acero viene de las factorías siderúrgicas en forma de perfiles (Fig. 10.10). La unión entre los diferentes elementos o barras que constituyen la estructura puede hacerse por algunas de las técnicas de unión de metales que existen (soldadura, roblonado, etc.) y de esta forma puede llegar a construirse estructuras en las que se logre isostaticidad o hiperestaticidad, de acuerdo con los deseos del proyectista.

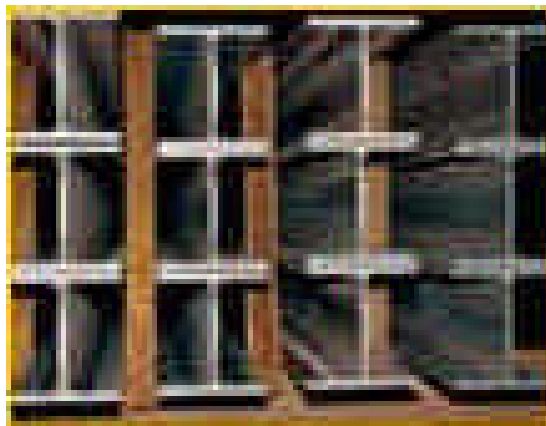


Fig. 10.10. Perfiles metálicos

La gran ventaja de la utilización del acero en las estructuras es su magnífica condición de resistencia mecánica, que lo hacen un material muy apto para salvar económicamente grandes luces, así como también para soportar fuertes cargas con secciones de piezas relativamente pequeñas comparadas con el hormigón, que es el otro material estructural importante.

Además, el acero es un material que admite deformaciones elásticas para un determinado campo de cargas y después de ello sufre deformación plástica hasta llegar a la rotura. Esta propiedad de deformarse primero elásticamente para luego pasar a una zona de deformación plástica lleva a una reducción sustancial de coste de las estructuras.

El problema de las estructuras metálicas es que el acero tiene poca resistencia a las temperaturas elevadas, o sea, al fuego. Al aumentar la temperatura de servicio en una estructura metálica, el valor del límite elástico disminuye muy rápidamente, y cuando se llega a temperaturas del orden de los 400 °C, pasa a ser muy pequeño. Al reducirse el valor del límite elástico, se llega inmediatamente a una disminución de la capacidad portante de la estructura, tanto si está solicitada por tracción como si es por esfuerzos de compresión. Esta poca resistencia a altas temperaturas puede combatirse mediante una protección adecuada de la estructura, con lo cual, aunque se logran resultados idóneos, hace que el coste de la misma pueda incrementarse indebidamente.

No obstante, y a pesar de su poca resistencia al fuego, el acero constituye el material estructural por excelencia para las estructuras de edificios industriales, en los cuales casi siempre hay que salvar grandes luces y soportar cargas fuertes.

En la figura 10.11 se puede apreciar una nave sin terminar usando estructura metálica, mientras que en la figura 10.12 se observa un ejemplo de nave industrial terminada con estructura metálica.



Fig. 10.11. Ejemplo estructura metálica inacabada

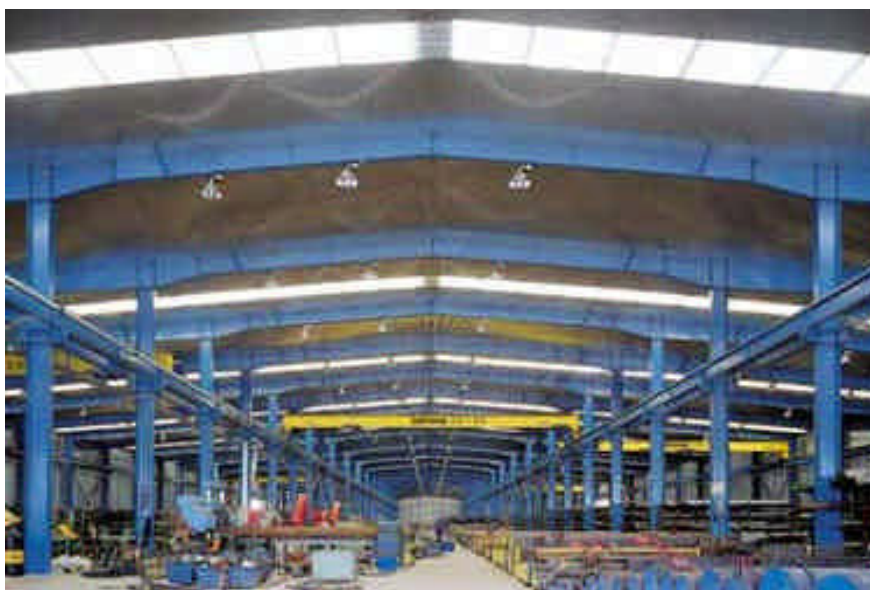


Fig. 10.12. Ejemplo nave con estructura metálica

10.6 ESTRUCTURAS MIXTAS

Las estructuras mixtas son aquellas que utilizan hormigón y perfiles de acero actuando como una sola pieza estructural. Esta combinación tiene aplicaciones en edificios comerciales, fábricas de varias plantas, puentes, etc. Estos materiales pueden utilizarse en sistemas estructurales mixtos como, por ejemplo, núcleos de hormigón envueltos en tubos de acero, así como en estructuras mixtas en las que elementos de acero y hormigón trabajan conjuntamente.

Estos materiales, aunque esencialmente diferentes, son totalmente compatibles y complementarios entre sí; tienen casi la misma dilatación térmica; tienen una combinación de resistencia ideal, ya que el hormigón es eficaz a compresión mientras que el acero lo es a tracción. Además el hormigón proporciona protección contra la corrosión y aislamiento térmico al acero a temperaturas elevadas y puede proteger las secciones delgadas de acero contra abolladuras y pandeo lateral por torsión.

Es una tendencia actual que los ingenieros y arquitectos cada vez proyecten más sistemas mixtos para producir estructuras más eficaces que las que se conseguirían con proyectos que utilizaban sólo uno de dichos materiales. La figura 10.13 muestra el edificio de una fábrica para la industria automovilística en Alemania.



Fig. 10.13. Nave con estructura mixta

Es necesario añadir que la combinación de núcleos de hormigón, pórticos de acero y forjados mixtos se ha convertido en el método estándar de construcción para edificios comerciales de varias plantas en bastantes países. Se ha avanzado mucho en lugares como, por ejemplo, Japón, donde el pórtico de acero/hormigón armado es el sistema estándar en edificios altos.

La razón principal de esta preferencia es que las secciones y elementos que se muestran en la figura 10.14 son los más idóneos para resistir cargas repetidas causadas por seísmos, que requieren gran resistencia y ductilidad.

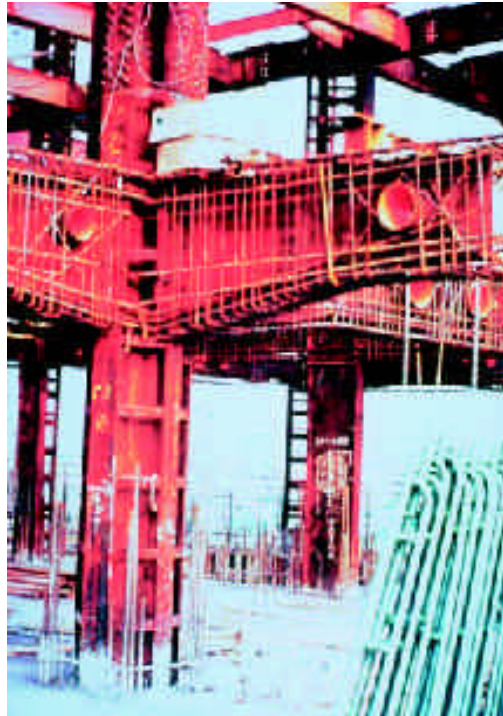


Fig. 10.14. Ejemplo estructura mixta

Los elementos mixtos individuales como, por ejemplo, las vigas aisladas, pilares y forjados, aunque de un alto nivel de calidad y resistencia, también suelen ser caros, especialmente en edificios con espacios reducidos entre pilares, vigas con luces por debajo de los 9 m y cargas bajas. Por otra parte, la construcción de forjados mixtos es muy competitiva si las luces aumentan hasta 12, 15 o incluso 20 m.

Otro factor importante a considerar es que la utilización de secciones de acero laminado, chapas de acero perfilado y/o elementos mixtos prefabricados acelera la ejecución. Para obtener la máxima eficacia y economía, la fabricación de las uniones debe ser económica y fácil de montar en obra.

Cabe indicar que en la unión de los dos materiales que integran las secciones mixtas, acero y hormigón, éste último en cualquiera de las formas estructuralmente empleadas hasta el momento, en orden a una utilización conjunta, es una consecuencia lógica del intento de aprovechamiento de las características peculiares de dichos materiales, en la forma más adecuada, no sólo bajo el aspecto resistente sino también en el constructivo. Así, las cualidades del hormigón como material formáceo (lo cual permite su adaptación a superficies y volúmenes) y resistente a los esfuerzos de compresión, se ligan a las netamente resistentes del acero en tracción.

En la figura 10.15 se pueden apreciar varias secciones de viga mixta, pilares mixtos y forjado mixto.

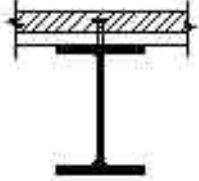
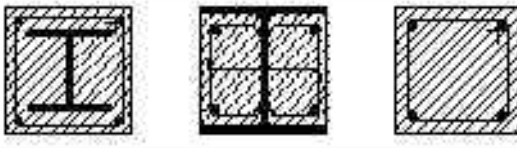

Viga mixta		Losa mixta con vigueta de acero
Pilar mixto		Elementos de acero recubiertos o rellenos de hormigón
Losa mixta		Encofrado perdido metálico + hormigón

Fig. 10.15. Secciones de elementos mixtos

Las ventajas principales que presentan las estructuras mixtas son las siguientes:

- La construcción mixta posibilita la utilización solidaria de hormigón y acero ofreciendo las ventajas de ambos materiales y ofrece gran versatilidad al proceso constructivo.
- Su utilización se centra en :
 - Puentes, viaductos y pasarelas.
 - Edificación, en forjados y soportes, principalmente en edificios con luces y sobrecargas de importancia. La rehabilitación y refuerzos de estructuras ha potenciado su uso (para estructuras deterioradas, cambios de uso, etc.).
- Características estructurales:
 - Reducción de canto en dinteles y más apreciable cuanto mayor sea la luz de la pieza.
 - Mayor esbeltez de soportes.
 - El incremento de rigidez mejora las condiciones de deformabilidad de la estructura.
- Punto de vista constructivo:
 - Gran diversidad de tipos constructivos (buena herramienta en manos del proyectista).

El proceso constructivo cobra en la construcción mixta una trascendencia superior a la normal.

10.7 CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DEL TIPO DE ESTRUCTURA

En el caso de construcciones industriales, la determinación de luces y de solicitaciones de la estructura viene marcada fundamentalmente por el proceso industrial. Éste tiene absoluta prioridad sobre la forma del edificio, con lo que consecuentemente también la tendrá sobre la forma de la estructura (alturas, luces, etc.)

Partiendo del concepto que la planta industrial es sólo un medio para la producción y que se deben minimizar los costes de producción, se llega a la conclusión que una forma de optimizar estos costes es reduciendo la inversión económica en la estructura (escoger la tipología más barata con las mismas prestaciones) y haciendo que el plazo de puesta en uso de la planta sea el menor posible (para empezar a producir lo antes posible).

Partiendo de esta base, se adjunta una tabla de comparación (Tabla 10.1) de los distintos tipos de estructuras que se pueden usar para realizar una nave industrial, indicando cuál de ellos es el más aconsejable en función de una serie de variables.

Los tipos de estructuras introducidos en la tabla son la estructura metálica, donde se diferencia el acero y el aluminio (menos común que el acero), estructura de hormigón, donde se diferencia el armado y el pretensado, y estructura mixta.

Las variables de entrada en la tabla son posibles casos que se pueden dar en el momento de diseñar la estructura de una implantación industrial. Son los siguientes:

- En caso de que la sollicitación predominante sea la tracción
- En caso de que la sollicitación predominante sea la compresión
- En caso de sollicitaciones fuertes y limitación de espacio para los perfiles
- En caso de sollicitaciones fuertes y/o grandes luces
- En caso de tiempo de construcción limitado
- En caso de luces pequeñas y sin limitación de espacio
- En caso de luces extremadamente grandes
- En caso de que la estructura se vea afectada a bajas temperaturas
- En caso de que la estructura se vea afectada a altas temperaturas
- En caso de que la estructura se pueda ver afectada a problemas de corrosión

Tabla 10.1

CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DE ESTRUCTURA						
CLASE DE ESTRUCTURA	ESTRUCTURA METÁLICA		ESTRUCTURA HORMIGÓN		ESTRUCTURA MIXTA DE ACERO-HORMIGÓN	
	ACERO	ALUMINIO	ARMADO	PRETENSADO		
CRITERIO						
SOLICITACIÓN PREDOMINANTE: - TRACCIONES	SÍ NO	-- --	NO SÍ	SÍ NO	SÍ NO	SÍ NO
SOLICITACIONES FUERTES Y LIMITACIÓN DE ESPACIO	SÍ	--	NO	ACEPTABLE	SÍ	
SOLICITACIONES FUERTES Y/O GRANDES LUCES	SÍ	--	POCO ACEPTABLES	ACEPTABLE	SÍ	
TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN LIMITADO	SÍ	--	EN GENERAL NO	SÍ (EN CASOS ESPECIALES)	NO	
LUCES PEQUEÑAS Y SIN LIMITACIÓN DE ESPACIO EN PLANTA	NO	--	SÍ	NO	NO	
LUCES EXTREMADAMENTE GRANDES	ACEPTABLE	SÍ	EN GENERAL NO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	
EL PROCESO IMPIDE: - BAJAS TEMPERATURAS	ACEPTABLE CON PRECAUCIÓN: ROTURA FRÁGIL	--	SÍ	ACEPTABLE	ACEPTABLE CON PRECAUCIÓN: ROTURA FRÁGIL DEL ACERO	
- ALTAS TEMPERATURAS	ACEPTABLE CON PROTECCIÓN	--	SÍ	ACEPTABLE	ACEPTABLE CON PROTECCIÓN DEL ACERO	
- CORROSIÓN	ACEPTABLE CON PROTECCIÓN	--	SÍ	ACEPTABLE	ACEPTABLE CON PROTECCIÓN DEL	