Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ARQUITECTURA TÈCNICA
PROJECTE FINAL DE CARRERA

COMPORTAMIENTO DEL FUEGO SEGÚN TIPOLOGÍA DE FORJADO

Proyectistas: Galán Esmeralda, David; Launes Pino, Francesc-Xavier
Directores: Bosch González, Montserrat; Massaguer Mir, Sebastià
Convocatoria: junio 2011

INDICE

1.- Introducción

2.- Objetivo del proyecto

3.- Conceptos generales

3.1.- Teoría del Fuego
- 3.1.1.- Dinámica del fuego
- 3.1.2.- Combustión y fuego
- 3.1.3.- Propagación del incendio

3.2.- Materiales
- 3.2.1.- Acero
- 3.2.2.- Madera
- 3.2.3.- Revestimientos
- 3.2.4.- Fibras y Textiles
- 3.2.5.- Plásticos y Cauchos

3.3.- Introducción al Código Técnico
- 3.3.1.- Definición del C.T.
- 3.3.2.- La necesidad del C.T.
- 3.3.3.- Contenido
- 3.3.4.- Cumplimiento

4.- Desarrollo del Proyecto

4.1.- Introducción cronológica a los forjados
- 4.1.1.- Forjados losa Maciza
- 4.1.2.- Forjado Unidireccional
- 4.1.3.- Forjado Reticular
- 4.1.4.- Forjado de chapa colaborante

4.2.- Forjados de hormigón
- 4.2.1.- Forjados losa Maciza
  - 4.2.1.1 Tipología
  - 4.2.1.2 Ejecución
  - 4.2.1.3 Resistencia al fuego
  - 4.2.1.4 Ejemplo práctico
- 4.2.2.- Forjado Unidireccional
  - 4.2.2.1 Tipología
  - 4.2.2.2 Ejecución
  - 4.2.2.3 Resistencia al fuego
- 4.2.3.- Forjado Reticular
  - 4.2.3.1 Tipología
  - 4.2.3.2 Ejecución
  - 4.2.3.3 Resistencia al fuego
- 4.2.4.- Forjado de chapa colaborante
  - 4.2.1.1 Ejecución
  - 4.2.1.2 Resistencia al fuego
  - 4.2.1.3 Ejemplo práctico

4.3.- Revestimientos
- 4.3.1.- Mortero de yeso

4.3.2.- Mortero de perlita y vermiculita.
4.3.3.- Mortero de lana de roca
4.3.4.- Paneles rígidos
4.3.5.- Paneles rígidos
4.3.6.- Nuevos materiales

5.- Aplicación informática

6.- Ejemplo Práctico

6.1.- Método analítico
6.2.- Aplicación informática

7.- Conclusiones

8.- Bibliografía

9.- Agradecimientos

10.- Anexo (Ver anexo adjunto)

1 INTRODUCCIÓN

Nuestra intención era realizar un proyecto final de carrera dedicado a la investigación del comportamiento de los forjados más utilizados en construcción y nos propusieron realizar un estudio en el Laboratorio del Fuego.

El trabajo pretende desarrollar un estudio sobre el comportamiento de los forjados durante la acción del fuego. Tratamos de estudiar en un mismo documento los forjados más utilizados en España y la diferenciación del comportamiento que tienen ya sea por dimensionado o por materiales de protección pasiva frente al fuego. Se pretende con la investigación una doble función, conocer de forma simplificada el comportamiento de los forjados y todos sus materiales frente al fuego y un desarrollo de los nuevos materiales y protecciones que aparecen en el mercado para combatir los efectos que pueden sufrir.

El trabajo se puede considerar dividido en dos grandes partes, la primera es la más teórica, donde explicamos los objetivos y los conceptos generales (como se comporta el fuego, los problemas que este causa, las diferentes estructuras que podemos encontrar y su puesta en obra…) y la segunda parte del trabajo se dedica al desarrollo del proyecto, concretamente al comportamiento de los forjados y recubrimientos. Ante la información contrastada con Bomberos de la necesidad de herramientas que simplificaran el cálculo y aportaran la visión del cambio prescriptivo en prestacional se valoró para diseñar un software informático que cubriera estas necesidades, por tanto una parte del proyecto se dedicó a desarrollar una aplicación informática creada por nosotros, sencilla y rápida de utilizar para un cálculo aproximado de la resistencia de los forjados con la aplicación del nuevo Código Técnico de la Edificación.

El Código Técnico de la Edificación, pretende ser una herramienta de unificación de normativas para un uso no exclusivo de profesionales del sector, con lo cual intentamos mediante este estudio y la aplicación informática desarrollada, mejorar la comprensión de éste y facilitar su uso.

El estudio se ha realizado con la ayuda del departamento de Bomberos de la Generalitat de Cataluña (División de Grupos Operativos Especiales) y del Laboratorio del Fuego de L'EPSEB.

2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Como se ha explicado en la introducción, este trabajo surge de la propuesta del Departamento de Bomberos de la Generalitat de Cataluña como idea para desarrollar un catálogo de forjados diferenciándolos por su comportamiento frente el fuego. A partir de esta propuesta nos hemos marcado como objetivo estudiar más profundamente los forjados de hormigón armado, ya que estamos en un país donde el hormigón es predominante, en consecuencia creemos que es necesario profundizar en este tipo de construcción.

En primer lugar, cuando planteamos el proyecto, observamos en el reciente código técnico unas carencias importantes; el CTE es de complicada comprensión, aparte de tener interpretaciones ambiguas; también hace referencia al diseño de nuevas edificaciones pero no al cálculo de edificaciones existentes; y no hace referencia a los forjados de chapa colaborante, que actualmente se utilizan con frecuencia.

Los objetivos marcados:

El principal objetivo es analizar y estudiar a través del trabajo de búsqueda, el comportamiento de los forjados con el fuego, en primer lugar el aspecto básico de si un forjado afectado aguantará o colapsará, y en el caso de que aguante si tendrá suficiente resistencia para la que fue calculada, y finalmente que podemos hacer en caso contrario. Como objetivo secundario analizamos diferentes tipos de revestimientos y su resistencia al fuego.

Con el objetivo de suplir las carencias del CTE, hacemos uso de un cálculo inverso de éste para saber la resistencia al fuego (según CTE) de forjados existentes. Esto puede ser necesario en el cambio de uso de un edificio (en donde pueden variar las exigencias de resistencia al fuego) o en la reforma de uno existente.

Para completar el proyecto con los forjados de chapa colaborante hemos hecho uso de la “guía para la comprobación de la resistencia al fuego de estructuras”, haciendo también un cálculo inverso para hallar la resistencia al fuego.

Durante la realización de proyecto, comprobando la resistencia al fuego mediante el nuevo Código Técnico, nos dimos cuenta de la necesidad de una herramienta que facilitara y simplificara el cálculo y decidimos desarrollar un programa de cálculo informático para hallar la resistencia al fuego de cada tipo de forjado de hormigón.

Pretendemos con éste programa, crear una herramienta de fácil y rápida consulta. Para lograr la máxima compatibilidad posible decidimos hacer éste en formato Web que con la tecnología actual, es accesible desde cualquier dispositivo móvil u ordenador, ampliando su uso a prácticamente cualquier situación.

3 CONCEPTOS GENERALES

3.1 Teoría del Fuego

El fuego se define como un proceso de combustión caracterizado por una reacción química de oxidación (desde el punto de vista del combustible) de suficiente intensidad para emitir luz, calor y en muchos casos llamas. Esta reacción se produce a temperatura elevada y evolución de suficiente calor como para mantener la mínima temperatura necesaria para que la combustión continúe.

A temperaturas elevadas aumenta rápidamente la velocidad de oxidación, produciendo cantidades cada vez mayores de calor por unidad de tiempo, hasta alcanzar el nivel en que se sostiene a sí misma en el medio de reacción, por el calor que produce.

Por inflamar o permitir la propagación de la llama, hay que calentar el material combustible hasta una temperatura mínima, por debajo de esta no se podrá quemar. Pero esta temperatura varía mucho entre unas substancias y otras, así, por ejemplo, hay algunas substancias, como el alcohol, que se inflaman (inician la combustión) con una temperatura relativamente baja, en cambio hay de otras, como la madera, que necesitan temperaturas más elevadas por quemar. La combustión posterior depende del calor que las llamas devuelvan al combustible pirolizado y evaporizado.

No todos los incendios se desarrollan del mismo modo, aunque todos pueden pasar por cuatro etapas:

- Etapa incipiente: Se caracteriza porque no hay llamas, hay poco humo, la temperatura es baja; se genera gran cantidad de partículas de combustión. Estas partículas son invisibles y se comportan como gases, subiendo capa el techo. Esta etapa puede durar días, semanas e incluidos años.

- Etapa latente: Todavía no hay llama o calor significativo; empieza a aumentar la cantidad de partículas hasta hacerse visibles; ahora las partículas se denominan humo. La duración de esta etapa también es variable.

- Etapa de llama: Según se desarrolla el incendio, se llega en su punto de ignición y empiezan las llamas. Baja la cantidad de humo y aumenta el calor. Su duración puede variar, pero generalmente se desarrolla la cuarta etapa en cuestión de segundos.

- Etapa de calor: En esta etapa se genera gran cantidad de calor, llamas, humo y gases tóxicos.

3.1.1 Dinámica del fuego

Los estudios sobre incendios, así como su proceso, son muy escasos. Este hecho queda retratado en la poca presencia universitaria de esta disciplina. Se le da más importancia a la prevención, que al estudio del fenómeno en sí.

La legislación actual no se basa en la información sobre el fenómeno, sino en sus consecuencias, la magnitud del desastre.

Esto se ha traducido en muchas incongruencias, como que según ciertas normativas de protección contra incendios de obligado cumplimiento, se tenga que recubrir con pinturas/cementos retardantes las vigas de madera, por el simple hecho de que la madera es una materia combustible, sin entrar en consideraciones sobre la diferente combustibilidad que presenta la madera en función de su perfil, sección, tipo,..etc.

Todos tenemos un conocimiento intuitivo de lo que es la velocidad de Propagación de un incendio y se estima la mayor o menor rapidez con que el mismo se propaga, pero no existe en la actualidad una fórmula para medir esa velocidad, a fin de realizar comparaciones.

Es natural que si se desconocen las causas y circunstancias que desencadenan los incendios, no se podrán tomar las adecuadas medidas para prevenirlos, ni las más apropiadas técnicas de protección, así como los más eficaces métodos de control y extinción.

Clasificación de los incendios por su naturaleza.

Clasificar un incendio después de terminar su investigación, es establecer la categoría a la que pertenece. La manera de cómo ocurre o se desencadena la fuente de calor y/o la forma en que los incendios se propagan, los mismos se clasifican en dos categorías:

Incendios de causalidad conocida:

- Naturales: Generados por procesos que ocasionalmente se pueden dar en la naturaleza, sin que intervengan otros factores.

- Accidentales o fortuitos: Son aquellos incendios en los que la fuente de calor que los origina se debe a un hecho no previsto, bien por un fallo en las instalaciones, maquinarias o enseres presentes en el sistema incendiado, o bien por negligencia humana.

- Intencionados: Son aquellos incendios, en los que la fuente de calor es aportada al sistema por la persona o personas, de forma voluntaria y con la intención de obtener un beneficio de cualquier tipo, o bien causar un daño a las personas o cosas, o ambas a la vez.

Incendios de causalidad desconocida:

- Incendios desconocidos: El incendio se clasifica como de naturaleza desconocida cuando se desconoce el origen y la causa que lo desencadena. Es natural que si se desconoce el origen del fuego, no se podrá determinar la causa. Pero en más de una ocasión localizado el inicio del fuego no se puede determinar con certeza la causa del mismo.

3.1.2 Combustión y fuego

Actualmente el proceso de combustión se define como una reacción irreversible entre un combustible y un oxidante, iniciada por una energía de activación, en la que siempre se desprende calor y en algunos casos luz.

En función de la velocidad con que transcurren las combustiones, las mismas se clasifican en:

- Combustiones lentas: Se producen sin emisión de luz y con poca emisión de calor. Se dan en lugares con escasez de aire, combustibles muy compactos o cuando la generación de humos enrarece el ambiente. Pueden ser muy peligrosas, puesto si existe una corriente de aire puede acelerarse el proceso.

- Combustiones rápidas: Se producen con fuerte emisión de luz y calor. Si son muy instantáneas pueden dar lugar a explosiones. Los resultados de toda combustión rápida son: humo, llama, calor y gases.

El humo aparece por una combustión incompleta, en la que las pequeñas partículas que no han ardido se hacen visibles. El humo puede ser también inflamable, cuando la combustión incompleta se debe principalmente a la falta de comburente, con lo que en el mismo pueden encontrarse partículas de inflamables que ante la presencia posterior de una fuente de calor y aire, puede combustionar.

El humo puede adquirir diferentes colores durante la combustión, indicativo de las condiciones en que se está produciendo la combustión y de que materiales están ardiendo. Así un color negro o gris oscuro, evidencia una falta de oxígeno, es decir una desproporción entre el combustible y comburente. Un color blanco o grisáceo, evidencia una combustión libre. Algunos colores indican la presencia de producto tóxicos: amarillento, óxidos de nitrógeno,...etc.

La llama es el gas incandescente producido durante una combustión rápida.

Por norma general, la combustión ocurre casi siempre en fase gaseosa. Los cuerpos sólidos y líquidos emiten vapores al calentarse, siendo éstos los que arden. Así, se denomina temperatura de ignición o punto de encendido, la temperatura mínima a la cual, bajo condiciones de ensayo determinadas, un material desprende la cantidad suficiente de gases inflamables para producir su inflamación en presencia de una fuente de calor. Si se retira la fuente de calor se apaga. Si continúa aplicándose la fuente de calor sobre la leña, llega un momento que los vapores emitidos arden y la energía emitida es suficiente para continuar generando más vapores, susceptibles de inflamarse aunque se retire la fuente de calor. Se dice que se ha llegado a la temperatura de inflamación: la temperatura mínima por

encima de la cual una mezcla de vapores inflamables, en presencia de aire, arde sin necesidad de una fuente de ignición externa.

En los sólidos, la propagación de un frente de llama, a lo largo de los mismos sin aporte externo de calor, se denomina auto propagación de la llama. Los gases, son el producto resultante de la combustión. En función del tipo de combustible y de las condiciones en que se realiza la combustión, se desprenden unos gases u otros. El gas que más comúnmente se desprende en las combustiones es el CO2, en equilibrio siempre con el CO. En las combustiones de PVC, se desprende HCl; si lo que arde son materiales con alto contenido de nitrógeno como lanas, puede desprenderse HCN; al combustionar hidrocarburos, junto al CO2, se desprende vapor de agua. Calor, es la energía que se emite en toda reacción exotérmica de combustión.

Como toda reacción irreversible, la combustión puede transcurrir más lenta o más rápida. Cuando más velozmente transcurre la reacción más rápidamente se libera la energía, con lo que se produce luz, el fuego. Para que se origine el fuego deben darse cuatro factores simultáneamente:

Un combustible en presencia de comburente, una fuente de calor susceptible de alcanzar la temperatura de ignición del combustible y la reacción en cadena.

Es lo que se denomina el tetraedro del fuego.

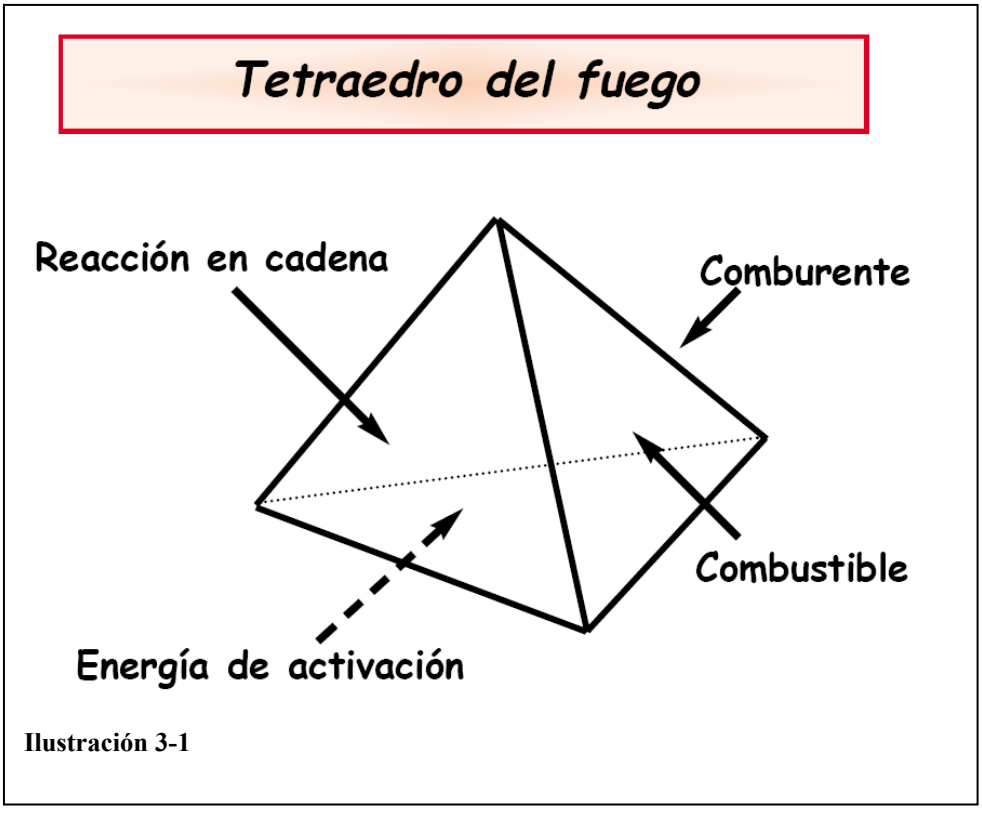


Ilustración 3-1

Si han de concurrir cuatro circunstancias para que se desencadene un incendio, cualquier proceso que elimine una de ellas detendrá el fuego, en consecuencia habrá principalmente cuatro técnicas de extinción fundamentalmente:

- Sofocación: Cuando se impide que el comburente esté en contacto con el combustible. Mantas, agua en disolventes más pesados, espumas....etc.
Existen productos químicos que se emplean como sofocantes, tales como los bicarbonatos de sales alcalinas y fosfatos amónicos.

- Refrigeración o enfriamiento: Disminuir o eliminar la fuente de calor. El más comúnmente empleado es el agua, por su fácil disposición, y por la cantidad de calor que es capaz de absorber.

- Inhibición o rotura de la reacción en cadena: Consiste en impedir la transmisión de calor de unas partículas a otras de combustible, interponiendo catalizadores entre ellas. La reacción de combustión se desarrolla a nivel molecular a través de un mecanismo químico de radicales libres. Si estos son neutralizados, la combustión se detiene, extinguiéndose el fuego. Algunos polvos químicos tienen la propiedad de liberar bajo efectos térmicos, radicales libres que al combinarse con los generados por combustión, detienen la reacción en cadena. Los halones, actualmente prohibidos, son los principales productos neutralizantes de la reacción en cadena de la combustión.

- Dilución o des alimentación: es la retirada o eliminación del elemento combustible. El fuego siempre necesita nuevo combustible para propagarse. Si se elimina o retira el combustible de las proximidades de la zona del incendio, el fuego se extingue. Cortar el flujo de fluidos o gases combustibles que descargan en la zona de fuego, es una alternativa para sofocar un incendio. En una fuga de gas, la des alimentación será en muchos casos poder cerrar la válvula de paso.

La combustión que desprende fuego, es más completa cuanta menos cantidad de llama produce y más incompleta cuando más cantidad de llama genera. Llama y humo, son dos conceptos que se diferencian físicamente por la distinta temperatura a la que se encuentran, pero que no difieren desde el punto de vista químico. El humo no es más que la "llama enfriada" al encontrase más alejada de la fuente de calor, y al enfriarse deja de emitir luz. Según el tipo de combustible, los fuegos se clasifican en cuatro clases, que se corresponden con las cuatro primeras letras del alfabeto:

-Fuegos clase A: Son los producidos o generados por combustibles sólidos: madera, carbón, paja,...etc.

-Fuegos clase B: Son los originados por combustibles líquidos: gasolinas, aceites,..etc.

-Fuegos clase C: Producidos cuando combustionan sustancias gaseosas: Butano, gas ciudad,....etc.

-Fuegos clase D: Son los producidos o generados por metales combustibles, tales como el potasio, magnesio, polvo de aluminio, zirconio,..etc.

En función del sistema donde se genera el incendio, los mismos se clasifican en:

-Incendios forestales, Incendios industriales e Incendios urbanos.

3.1.3 Propagación de incendio

En función de la velocidad y de la trayectoria seguida por el incendio, el mismo se propaga en el escenario donde se desarrolla. Esta propagación del incendio, la forma en que transcurre y el volumen abarcado, consecuencia de la distribución del combustible, todo ello en un determinado tiempo, constituye la dinámica del incendio.

La propagación del incendio ocurre en cinco fases diferenciadas: ignición, desarrollo, combustión súbita generalizada (flashover), pleno desarrollo y declive.

Así se tiene:

a) Fase de ignición: Período en el que se inicia el fuego.

b) Fase de desarrollo: Básicamente es el desarrollo de la ignición en el que el crecimiento inicial del fuego va en función del propio combustible.

El fuego se describe en esta fase en función de la energía desarrollada en la combustión. En este momento existe suficiente cantidad de oxígeno y de combustible como para poder mantener la combustión y, como consecuencia, el desarrollo del incendio. Estos fuegos, en los que existe suficiente cantidad de oxígeno como para poder mantener la combustión se denominan como “de combustible controlado”.

c) Pleno desarrollo: Durante esta fase, el fuego se encuentra en toda su plenitud. Habitualmente, es en estos momentos cuando se produce una polimerización del combustible mientras arde, de tal forma que desaparece el oxígeno del recinto (como consecuencia del consumo del mismo durante la combustión) si no existe un aporte adicional externo. Previamente al pleno desarrollo del incendio pueden ocurrir fenómenos de combustión generalizada, como el flashover que se verá más adelante, haciendo que el pleno desarrollo se alcance rápidamente.

d) Decaimiento: Tiene lugar conforme va desapareciendo la cantidad de combustible disponible.

En la fase inicial, la elevación de la temperatura es gradual en función del tiempo. El calor en el escenario se propaga fundamentalmente por radiación, excepto en el lugar donde se está generando el incendio, donde existe una pequeña transmisión de calor por convección.

Transcurrido un tiempo, el incendio alcanza el máximo desarrollo, se consiguen las temperaturas más altas y el calor se transmite tanto por convección como por radiación.

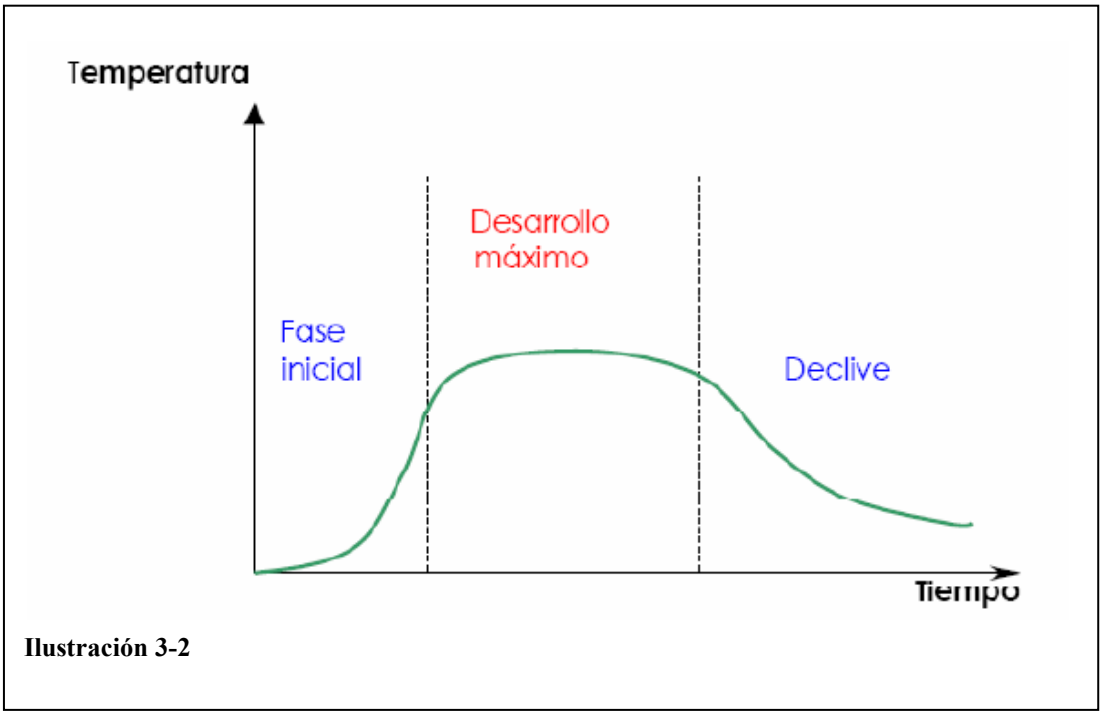


Ilustración 3-2

A partir de este momento el incendio entra en una fase de decaimiento, donde disminuye la temperatura del escenario. Este decaimiento puede deberse bien a que se ha consumido toda la materia combustible, bien a que la presencia del comburente se ha reducido drásticamente o ambas cosas a la vez.

Cuando el decaimiento del incendio es una consecuencia de la disminución del combustible, el incendio tiende a extinguirse generalmente con una propagación convencional, pero si el decaimiento es consecuencia de la reducción de la presencia del comburente en el escenario, el incendio entra en una fase de “asfixia”, que a veces consigue la extinción del mismo.

Pero puede ser que durante esta fase de “asfixia”, se presenten “inputs” en el escenario que modifiquen drásticamente esta propagación, dando lugar a fenómenos como la explosión de humo (backdraft).

Esto modifica drásticamente la propagación del incendio, entrando el mismo en una dinámica mucho más severa, que la que hubiera seguido el incendio de no haberse producido una disminución del comburente.

Los efectos multiplicadores (tráiler) están presentes en muchos escenarios de incendios:

Los depósitos de combustibles de vehículos en garajes, un incendio convencional, donde ante determinadas circunstancias se desencadena al poco tiempo una explosión de polvo,…etc.

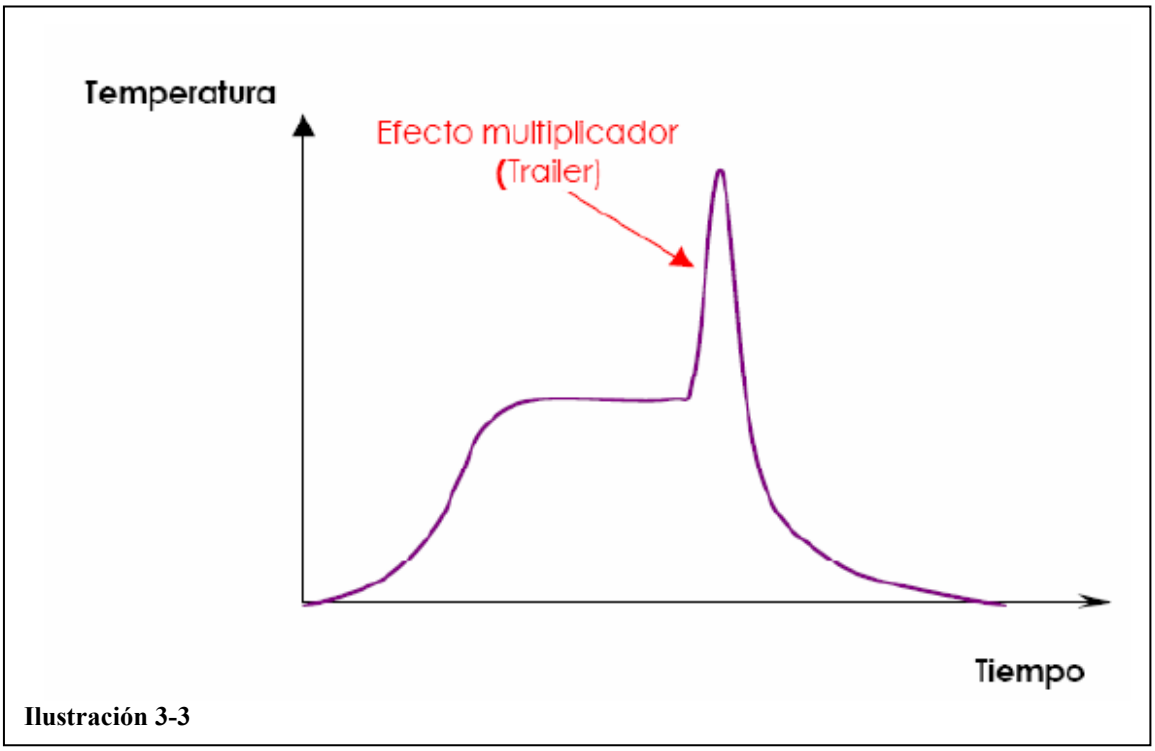


Ilustración 3-3

Muchas veces el propio fenómeno es el incendio en sí que transcurre a muy altas velocidades, como ocurre en las explosiones o en las deflagraciones.

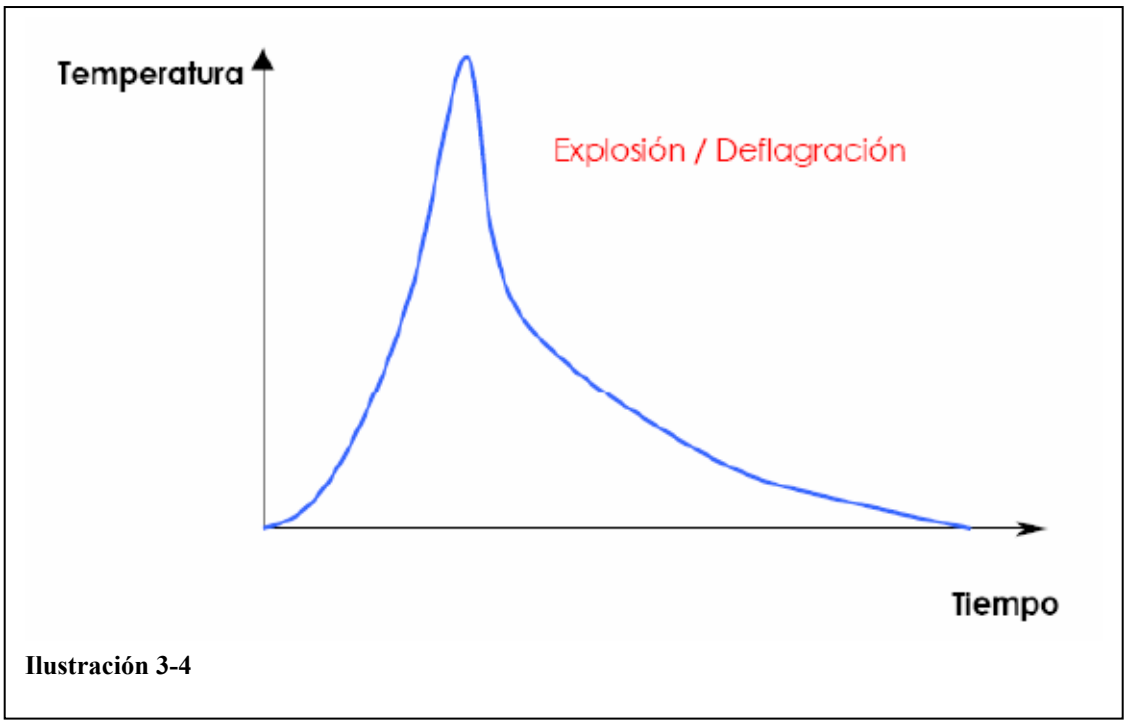


Ilustración 3-4

3.2 Materiales

Actualmente, con la gran cantidad de instalaciones que transcurren por los edificios, se crean muchos agujeros y conductos que atraviesan los muros y elementos cortafuegos, de esta manera se debe disponer de sistemas o productos, que cuando reciban un incremento de temperatura este aumenten de volumen y obstaculicen el paso impidiendo que el fuego pase a través de ellos.

En las consideraciones sobre el diseño estructural y el coste de los edificios hace falta destacar dos efectos, el primero es el efecto de dilatación general, y el segundo el efecto de continuidad y coacción ejercido por un elemento sobre otro. Si el incendio queda localizado en una parte del edificio, aquella parte estará sometida a l esfuerzo debido al cambio de temperatura, mientras que el resto no, debido a esto, surgirán esfuerzos térmicos considerables debidos a la coacción producida de los elementos del borde. Si el incendio abraza un piso cuncreto de un edificio de varios niveles, la dilatación del forjado por el calor hará que los pilares estén sometidos a esfuerzos de tracción o cortante.

También es muy posible que los pilares sufran daños durante el enfriamiento de un incendio. Durante el incendio, las losas y las vigas se dilatan y si existe alguna coacción, se presentará la fluència debida a la compresión a la que estará sujeta al hormigón. Tras enfriarse, pueden presentarse fisuras debidas a la retracción y en casos extremos pueden fissurarse los pilares. Por estas razones, es útil limitar las dimensiones horizontales máximas de una estructura mediante las juntas de dilatación, que sean capaces de absorber las diferencias métricas debidas a los cambios de temperatura.

En los incendios de laboratorio, cuando se realizan ensayos de viguetas, estas solamente están apoyadas sobre dos puntos, estos ensayos por lo tanto no son totalmente reales, puesto que en un forjado las puntas de las viguetas restan empotrades al forjado, dando un aumento de la resistencia que en los assaigs no se tiene en cuenta.

El comportamiento de la estructura de un edificio durante un incendio real, depende no solamente del comportamiento teórico de cada elemento, sino de la eficacia de los detalles. Para obtener el nivel óptimo de resistencia al fuego, todas las barras principales de la armadura, tienen que estar correctamente anclades. En las vigas, tanto la armadura superior como inferior, deben ser continúas con solapamientos efectivos sobre los anclajes. Aunque teóricamente el acero de la cara inferior pueda quedar sometida a compresión, en condiciones de un incendio pueden desarrollarse tracciones que provoquen una ruptura prematura si no se cuenta con los solapes apropiados. También es posible que se produzcan errores prematuros debidos al desprendimiento del hormigón que cubre la armadura. Si el recubrimiento es de más de 4 cm de hormigón es recomendable que se utilice tela metalica de alambre a una distancia de 2,5 cm. de la superficie por poder mantener el hormigón en su lugar. Comentar que, los tipos de áridos que haya en la mezcla también influirán en la reacción que tendrá el hormigón como respuesta enfrente del fuego. Así entonces una mezcla rica en carbonatos y arena fina tendrá una reacción parecida, en cambio un mezcla rica en silicatos (habitual) tendrá una resistencia menor enfrente del fuego.

Hay temperaturas a las cuales llegan los materiales que, son importantes, como por ejemplo la temperatura de 300ºC del hormigón, lo es por dos razones, la primera porque es la temperatura bajo la cual se presenta una coloración rosada, y la segunda porque es la temperatura bajo la cual el efecto del calor sobre la resistencia del hormigón es insignificante en términos estructurales. La coloración rosada denominada anteriormente, puede

identificarse prácticamente en todos los tipos de hormigón y se mantiene tras el enfriamiento. Con algunos tipos de áridos, algunas veces ses requerido un ojo experto y una buena iluminación para descubrirlo. Entonces, la resistencia del hormigón disminuye a medida que la temperatura se eleva tanto así como al enfriarse. Podríamos afirmar que un hormigón que no sobrepasa la temperatura de 300ºC, conserva una resistencia del 75%.

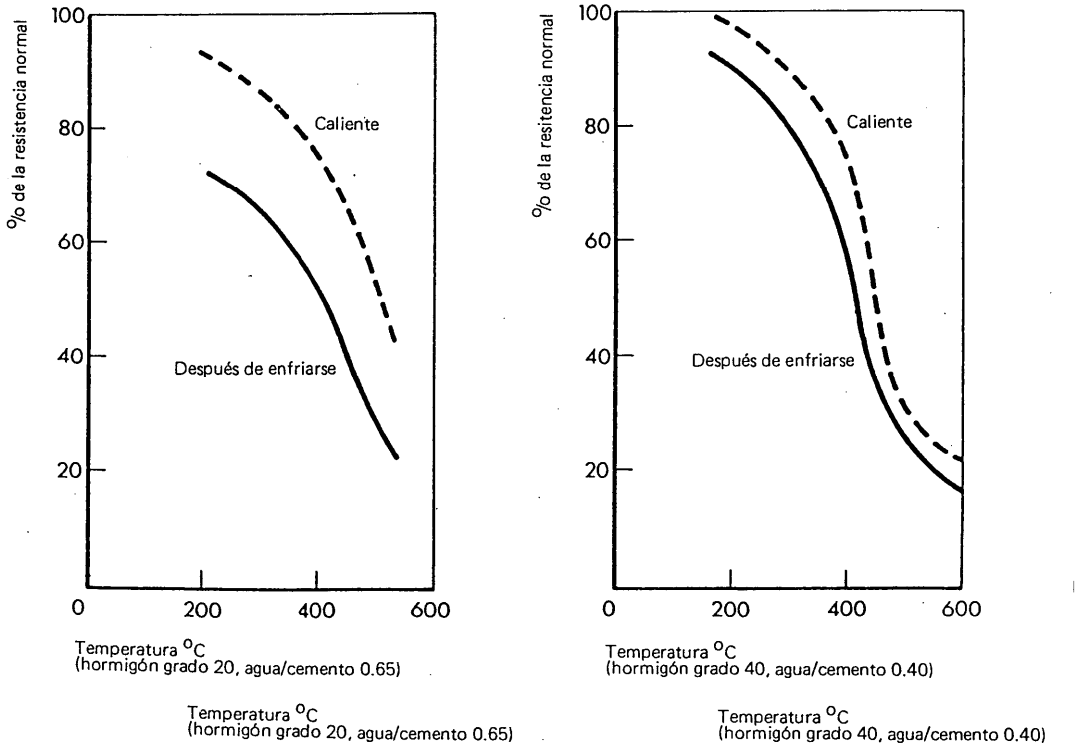


Ilustración 3-5

Después de extraer el hormigón coloreadp de rosa, se puede suponer que el hormigón restante tiene una resistencia media no inferior al 80% de su resistencia anterior al incendio, el cual debe sustentar sobradament la resistencia de proyecto. El efecto de las altas temperaturas sobre la resistencia de la influencia de las armaduras normales, durante la aplicación de calor y tras el enfriamiento. Entonces una bajada en la resistencia de la ifluencia de la armadura, al 33% del valor normal, probablemente da como resultado un colapso durante un incendio, o al menos una deformación importante. Si este efectos no son visibles en un edificio después de un incendio, nos da la certeza que la temperatura del acero durante el incendio no ha pasado de los 600ºC. Podríamos concluir, que la armadura sometida a flexión que no muestra señales de una deformación visible importante, probablemente no haya sufrido una reducción permanente de su resistencia residual. Con respecto a los aceros pretensados, hace falta comentar que pueden afectar a otras propiedades.

Los elementos estructurales del hormigón se pueden ver afectados por fisuración, los humos del incendio, si contienen ácido clorhídrico, como los que emite el PVC. Podemos observar tres maneras de degradación.

- Del árido: Es debido al estallar y fracturar las partículas del árido como resultado de cambios físico y químicos bajo temperaturas elevadas. Generalmente esta afecta a poca extensión y sólo se limita a la superficie.

- Explosivo: Este se debido a los esfuerzos de tracción causados por el vapor de agua inducido internamente, y por las fuerzas de retracción debido a la elevación de temperatura. Los esfuerzos de tracción causados por el movimiento del vapor de agua, dependen en gran parte al contenido de humedad y esta depende de la edad del hormigón. Esta degradación, es el responsable de que las armaduras puedan quedar vistas, pudiendo llegar en secciones pequeñas de hormigón, a crear agujeros que debilitan la sección de forma radical.

- Desprendimientos: son los referenciados a capas o trozos de hormigón de medidas diversas, que se originan como resultado de una exposición al fuego bastante larga. Se produce por rupturas o fissuras del hormigón y es más probable que pase cuando haya deformación.

Las fisuras son provocadas por tensiones inducidas internamente, que resultan de la diferencia de dilatación térmica, asociada con la distribución irregular de la temperatura sobre una sección transversal y por esfuerzos de tracción debidos a la dilatación diferencial entre el hormigón y la armadura. Estos esfuerzos también, a su manera, pueden dar origen a degradación explosiva o al desprendimiento de capas de hormigón.

Los vapores de ácido clorhídrico que aparecen cuando se quema PVC, reaccionan con la pasta de cemento endurecida del hormigón, dando origen a la formación de cloruro de calcio. Una penetración profunda de este, puede constituir un riesgo para la armadura, pero este fenómeno solamente sucede cuando hay grandes cantidades de PVC que queman o cuando los vapores ácidos puedan afectar sobre el hormigón durante un largo periodo de tiempo.

Existen oportunidades de rehabilitación cuando hay un buen margen de resistencia estructural al fuego, y las estructuras de hormigón son, como indican, propicias a la rehabilitación, incluido después de haber sufrido un incendio de intensidad total. Hay por lo tanto, suficientes datos que hacen referencia a la viabilidad de varias técnicas por determinar el daño ocasionado por el fuego y la posterior reparación en obra de la estructura malograda. Por ejemplo, en un caso, se demuestra como las vigas de cubierta de naves industriales pueden mejorarse con la rehabilitación. La posibilidad de que no haya daño irreparable en estructuras de cubierta de este tipo depende, por lo tanto del margen de resistencia estructural al fuego excedente, de la existencia de dispositivos automáticos, como por ejemplo regadores de agua o ventilación controlada y de su funcionamiento. Todavía cuando los regadores no consigan un éxito cumplido, las posibilidades de rehabilitación serán buenas si la estructura es de hormigón.

El trabajo de recuperación de la estructura ha de estar precedido por una meticulosa inspección y evaluación del daño sufrido. En este contexto, es esencial conseguir una estrecha coordinación de manera especial entre el propietario del edificio, el projectista de la estructura, el especialista a quien se consultará y la constructora que llebará a término la reparación. La naturaleza y localización precisa de los elementos estructurales afectados por el fuego, con la debida atención a su función en el sistema estructural, son de primordial importancia en la evaluación de la situación. Además, se deben determinar las dimensiones originales de los elementos malogrados y los datos característicos de los materiales utilizados, por ejemplo, el tipo de árido, resistencia del hormigón, tipo de acero. Se debe registrar la extensión del daño mediante información exacta sobre la primera y así como

mediante esquemas y fotografías. Se debe hacer una lista de preferencia, poniendo por separado cada elemento integrado, con toda la información obtenida de los planos de construcción y de otros documentos, así como los valores determinados por examen de la misma estructura conjuntamente con la extensión y naturaleza del daño. Basándose en los resultados de la inspección y evaluación de este último, se decidirá si es suficiente con un restablecimiento de las condiciones existentes antes del incendio, si debe reforzarse la estructura o si por el contrario se debe restaurar totalmente. Si se decide restaurar totalmente conservando las dimensiones originales con la resistencia del hormigón y de la armadura anteriores, ajustándola de nuevo por sustentar las mismas cargas de trabajo que antes, se ha de investigar si se necesario efectuar un nuevo análisis estructural. Será necesario realizar este análisis, como mínimo de las características especiales, si se altera el sistema estructural, si se refuerzan los elementos, si se modifican las cargas o dimensiones, o si se reduce la capacidad de la carga de los elementos individuales.

Habrán de darse instrucciones detalladas para el trabajo de reparación y restauración. Es importante especificar con precisión la naturaleza, extensión y secuencia de las operaciones que se deben realizar, así como proporcionar una buena descripción de todo el apuntalamiento, al igual que de otras medidas para salvaguardar la estructura. En el hormigón, es obvio que se empieza mirando la profundidad y coloración de las zonas afectadas, por esto pueden necesitarse muestras desprendidas con un cincel o testigos cilíndricos de diámetro pequeño. Se eliminará el hormigón rosado, el restante y la armadura serán embebidas no habrán soportado temperaturas superiores a los 300ºC y como se ha comentado anteriormente, este prácticamente no habrá sufrido daños estructurales. La armadura que haya quedado expuesta por degradación y que se encuentre dentro del hormigón rosado se habrá de estudiar más a fondo. Puede suponerse que quedan expuestas por degradación durante el incendio, cuando una o más barras aparecen fuertemente pandeadas entre los estribos o uniones, si por el contrario, las barras no se ven pandeadas, el indicio de que la degradación tuvo lugar tras la exposición a temperaturas elevadas. En el primer caso es posible que la temperatura del acero haya superado los 600 ºC, pero en el segundo caso esto no es posible. En todos los casos en los que exista duda, ha de efectuarse ensayos sobre muestras representativas del acero extraidas de las zonas ligeramente armadas o de superficies en que su reposición se pueda hacer fácilmente con los solapes adecuados.

Los ensayos de compresión sobre los testigos cilíndricos obtenidos del hormigón son de menor valor que las indicaciones obtenidas del examen de coloración rosada. No obstando, pueden ser de utilidad cuando hay hormigón muy armado o cuando hay duda de la resistencia conseguida en el proyecto inicial. La tensión del acero pretensado, o en las vaines del postensado expuestas por degradación, debe suponerse generalmente, que es nulo. Por otros aceros pretensados pueden estimarse las pérdidas adicionales mediante la evaluación de la temperatura máxima que llegó el acero.

Antes de proceder a la reparación de los elementos que hayan sido expuestos a los gases de combustión que contengan ácido clorhídrico, debe precisarse hasta qué profundidad ha penetrado los iones cloro, y por lo tanto, si hay riesgo para la armadura. Por esta información se puede usar un método que se basa en la utilización de indicadores nitratos y cromados de plata.

3.2.1 Acero

Desde el punto de vista estructural, en base a estadísticas de colapsos hechos en estructuras metálicas, el fuego aparece como uno de los agentes principales de dicho colapso (seguramente porque cuando más se construyó este tipo de estructura, no había consideración por el fuego) lo que demuestra que los efectos del fuego deben ser estudiados en fase de proyecto, como actualmente es, puesto que además, tiene como objetivo, el mantener las personas en vida. Se debería prestar más atención a todos aquellos sistemas que disminuyeran o atacaran el fuego, en vez de resistir sus efectos. En general, los espesores óptimos resultan ser inferiores al grueso que marca las normas actuales, #así entonces, decimos que predomina la intencionalidad de salvar vidas. Esta inexactitud, también es posible en buena medida a las posibles diferencias que haya entre los mismos materiales que tengan comportamientos ligeramente diferentes ante los diversos fuegos. Lamentablemente, el tiempo de resistencia al fuego, tal y como se formula actualmente, es engañoso, porque hace referencia a unas condiciones de temperatura que no se producen en la práctica, entonces, la duración de un incendio real, suele ser mayor que el tiempo que marca el elemento estructural estrictamente necesario para que se mantenga en pie a lo largo del incendio, de aquí la tendencia natural a sobrevalorar los valores exigidos por la resistencia al fuego.

En general, se considera que un elemento constructivo pierde la capacidad resistente o funcional bajo la acción de un incendio, como consecuencia de la pérdida, en el primer caso, de ciertas características de capacidad, y en el segundo, de su capacidad de aislamiento térmico o de estanqueidad a las llamas, o por la emisión de gases inflamables, tóxicos, etc. En el caso del acero solamente puede verse afectado, el primer caso, la pérdida de resistencia o capacidad y deformación, puesto que se dejan los otras aspectos a otros elementos constructivos más apropiados. Se considera que se produce el estado límite de agotamiento bajo la actuación de un incendio, cuando la pieza o estructura en acción, sometida a incrementos de temperatura derivados de la exposición a el incendio, y por el resto de acciones, agota su máxima capacidad resistente como resultado de los siguientes fenómenos:

-Transformación de la estructura a un mecanismo

-Inestabilidad elástica e inelástica.

Hay varios tipos de fórmulas y teorías, que describen los criterios de deformación excesiva, coeficientes de ponderación... (ref. la seguridad de las estructuras de acero ante un incendio) que aquí no explicaremos. Tan sólo definimos la temperatura crítica, esta es la temperatura a la cual el material deja de hacer sus funciones sean las que sean.

Si empezamos a poner datos reales, podríamos decir que la densidad del acero, es independiente de la temperatura, y es aproximadamente de 7850 Kg/M3. A continación se presenta un gráfico que contiene la deformación-tensión para diferentes temperaturas, entre 20 y 600 ℃. Este gráfico corresponde al acero A-52, mediante una simple formula, obtenemos el acero que deseamos.

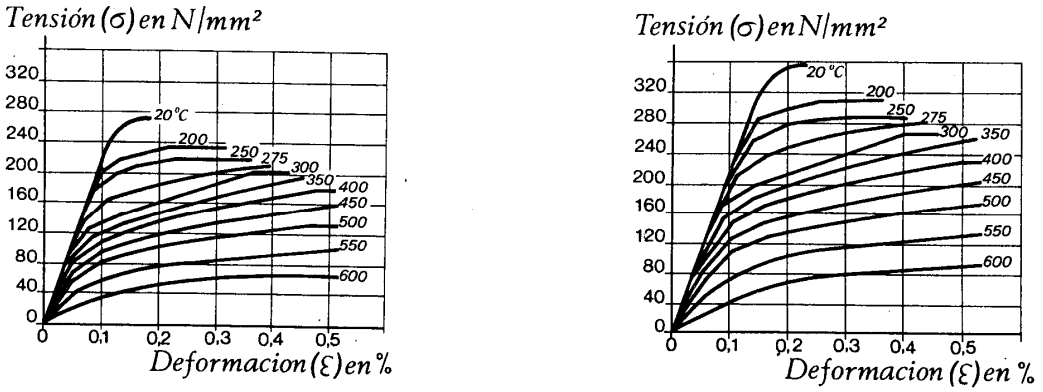


Ilustración 3-6

En el siguiennte gráfico se muestra la relación que hay entre la temperatura y el tiempo en un incendio, y los efectos que tiene en el acero.

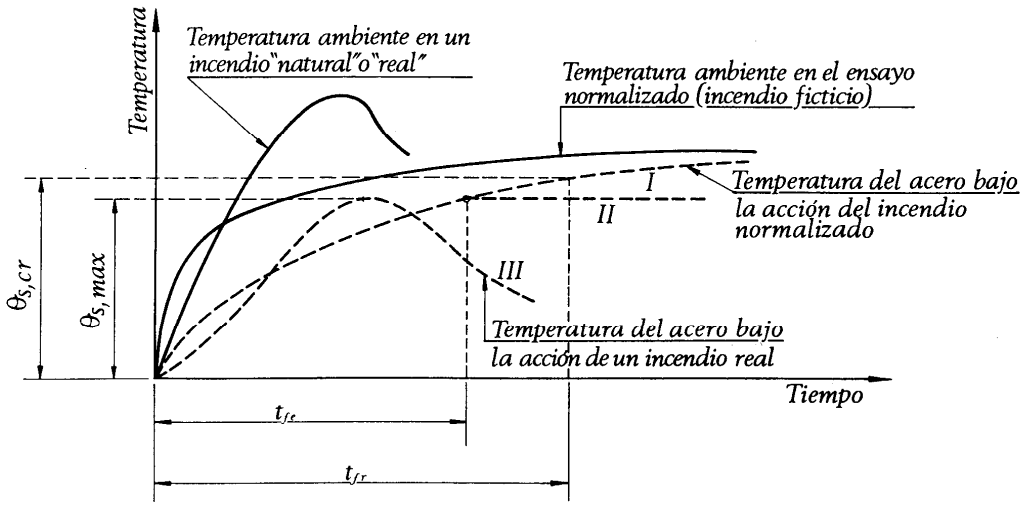


Ilustración 3-7

De este gráfico podemos deducir como primera conclusión y la más importante, que la temperatura del acero sube prácticamente igual que incrementa la temperatura del habitáculo, por lo tanto, el acero tiene un calor específico muy pobre, con lo cual el calor le afecta rápidamente y con consecuencias nefastas.

Entre los grupos de metales de construcción, los aceros, aleaciones de aluminio, hierro fundido, etc.. son los utilizados preferentemente. De estos, el acero posee una alta capacidad de resistencia estructural y una calidad uniforme, debido a los controles de calidad vigentes. No obstante, la primera calidad de los materiales que nos planteamos en este trabajo, es la influencia respecto al fuego. El material adecuado será aquel que conserve su forma y resistencia en presencia de temperaturas ascendentes y que su conductividad térmica sea baja. El acero, es uno de los elementos más generalizados en construcción, en cambio, es vulnerable al fuego. En presencia de este pierde rápidamente la forma y consistencia y los espacios utilizables que forman las estructuras, provocan colapso, sin dar tiempo a veces a la actuación de los sistemas de extinción que puedan intervenir.

En presencia de un incendio, un aumento de temperaturas de hasta 500ºC, hace que el acero con el elevado coeficiente de dilatación que tiene, una viga proporcional de 12 m de longitud hace que se alargue 74 mm. La viga todavía no se ha deformado o pandeado, pero la dilatación puede originar que se desplacen sus bases y se produzca el hundimiento de la estructura. Cuando los apoyos o extremos no pueden expandirse libremente, se provoca una compresión de unos 1200 Kg/cm2 por un aumento mínimo de 50ºC sobre la temperatura existente, Entre 315-420 ºC elacero ya se empieza a debilitar. Una de las características del acero estructural sometido a temperaturas de incendio, consiste en que no solamente se anula gradualmente su resistencia, sino también debido a las tensiones internas, experimenta violentas torsiones y flexiones que originan daños a otros elementos próximos por tracción y cortante. La acción de temperaturas sobre los perfiles, debilitará antes los perfiles laminados menores, que otras de mayor volumen por una misma temperatura.

La libre expansión de temperaturas en los incendios, obedece a varios factores no privativos de la menor o mayor rapidez de intervención de los servicios contra incendios. En un mismo incendio con idéntico grado de combustión de materiales, pero en diferentes posiciones, distribución u otras, hace que el incendio tenga diferentes actitudes y propagación.

El aluminio común, empleado como elemento de estructuras ligeras, pierde consistencia y rigidez entre 100-315ºC. Entre los 600-700ºC, la capacidad de resistencia del acero se reduce alrededor de un 30%. A temperaturas superiores, se deforman incluido por su propio peso. A continuación se presenta una tabla y su correspondiente gráfico sobre la resistencia de los materiales metalicos cuando estos se ven afectados por el fuego.

	Temperaturas y resistencias de los materiales(ºC)							
	100	200	300	400	500	600	700	800
	%resistencia por relación a la temperatura base.							
acero	109	125	121	97	57			
Hierro forjado	104	112	112	96	76	42	25	15
Hierro fundido	100	100	99	92	76	42		
Acero estructural	103	132	122	86	49	28		

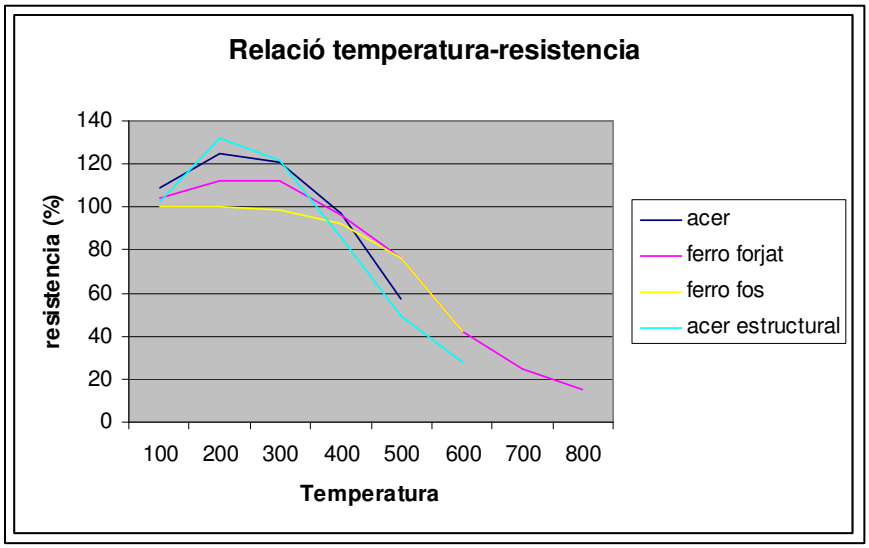


Ilustración 3-8

A simple vista, lo que parece más curioso, es que a cierto calentamiento hay materiales que aumentan su resistencia; pero hay un punto clave, alrededor de los 400° y sobre todo de los 500 ºC que la resistencia baja de manera drástica.

3.2.2 Madera

La madera es uno de los materiales más comunes del entorno humano. Casas, estructuras de edificios, muebles y bienes de consumo están fabricados en madera.

Las construcciones antiguas tienen la madera como elemento estructural, aunque en España, se encuentra en desuso como material de estructura, en otros países con una amplía tradición en la madera, poseen legislaciones extensas por su uso en la construcción.

La madera y sus derivados son fácilmente combustibles y cuando entran en contacto con superficies a alta temperatura o quedan expuestos en una radiación de calor, llamas o cualquier otro fuente de ignición, se producen procesos de carbonización, calentamento al rojo, ignición o combustión, dependiente de las condiciones del proceso.

La madera es en apariencia, un material contradictorio, siendo altamente combustible, compite en resistencia y estabilidad con el acero (elemento no combustible). Esta estabilidad es debida principalmente a que la madera es muy pobre al conducir el calor. Ante un incendio, la madera resiste condiciones durísimas, mientras su estructura se mantiene invariable en el lugar. Tras el incendio, queda sustentado el techo y queda afectada solamente la capa superficial. En iguales condiciones, la estructura metalica queda inutilizada completamente.

Para ampliar su ámbito de aplicación, es necesario mejorar sus propiedades contra la combustión. Las unidades estructurales fabricadas en madera suelen tratarse con agentes ignífugos (p.ej. mediante saturación, impregnación o recubrimiento superficial) para conseguir que sean menos combustibles.

Los incendios con temperaturas de hasta 1000ºC y llamas en más de dos horas, se ha comprobado que la madera estructural que no ha entrado en contacto con el fuego, resiste bien la temperatura, carbonizandose superficialmente. La estabilidad de este elemento se compran fácilmente. Por efecto del calor la madera se deshidrata, el que hace aumentar su resistencia. Por cada 1% de pérdida de humedad aumenta en 4% la resistencia a compresión y en un 2% la resistencia a flexión, porcentajes de estabilidad que compensan en parte las pérdidas a la misma, por disminución de sección, producto de la combustión.

El ciclo de carbonización de la madera es lento y constando siendo el desarrollo de la temperatura por conducción y convención. Por término medio, la carbonización adelanta 0,7 mm por minuto (estudio del centro técnico du Bois de París). La carbonización disminuye al aumentar el nivel de la capa carbonitzada. El cálculo permito, en la mayoría de los casos, es prever el tiempo de permanencia de estructuras de madera, el que facilitará una evacuación sistemática de personas, útiles u otras precediendo a la extinción.

La característica más importante de la combustibilidad de los diferentes tipos de madera es la temperatura de ignición. Su valor depende principalmente de algunas propiedades de la madera y las condiciones en que se realiza la prueba, como densidad, humedad, dimensión y forma de la muestra de madera y de la fuente de ignición, tiempo e intensidad de la exposición y en torno al ensayo. La práctica demuestra que los productos limpios y secos presentan un punto de ignición extremadamente bajo, mientras que en recintos con una ventilación insuficiente, se han registrado incendios por ignición espontánea. Se ha demostrado empíricamente que en un contenido mayor de humedad aumenta la temperatura de ignición y reduce la velocidad de combustión de la madera. La

descomposición térmica de la madera es un proceso complejo que consta de las fases siguientes:

-La descomposición térmica con pérdida de masa se inicia entre los 120 y 200ºC en esta fase se liberan el contenido de humedad y se produce la degradación de los materiales no combustibles en la área de combustión.

-Entre 200 y 280ºC se produce principalmente reacciones endotérmicas y se absorbe la energía calorífica de la fuente de ignición

-Entre 280 y 500ºC las reacciones exotérmicas de los productos en descomposición se aceleran constantemente dando lugar al proceso primario y al mismo tiempo, se desarrollan fenómenos de carbonización. En este rango de temperaturas tiene lugar ya una combustión sostenida. Tras la ignición, la combustión no es constante debido a la capacidad de las capas carbonizadas de aislar el calor. Por lo tanto, el calentamento de las capas más profundas es limitado y lento. Al aumentar la superficie de productos de descomposición combustibles, se completa la combustión.

-A temperaturas superiores a 500ºC, la madera carbonizada forma residuos. Al calentarse al rojo, se producen cenizas que contienen materiales inorgánicos sólidos, y concluye el proceso.

3.2.3 Revestimientos

Hasta la llegada de los servicios contra incendios, los elementos estructurales de un edificio deben protegerse no únicamente de las temperaturas existentes, sino también de los gases de combustión que pueden actuar sobre los materiales por corrosión y otras influencias químicas que los deterioran. Los revestimientos son tratamientos especiales de aplicación sobre estructuras, cómo pueden fibras artificiales, yesos, cerámicas...

Por revestimientos de elementos combustibles o fácilmente inflamables, estos materiales mantienen durante un tiempo específico la temperatura por debajo del grado o punto de inflamación. Si los materiales son incombustibles (acero, aluminio...) se dispone de un espacio de tiempo por no experimentar elevaciones importantes de temperatura en su masa. Así se evita momentáneamente, distorsiones estructurales y se facilita la intervención de los servicios contra incendios.

En construcción, se utiliza como revestimientos antitérmicos de materiales y estructuras una serie de productos que se describen a continuación.

- Amianto: Denominación común de ciertas variedades fibrosas y flexibles de silicatos minerales. Existen dos tipos de amianto en general, el serpentina y el anfolic. En este las fibras son débiles y no pueden hilarse, aunque son las más resistentes a los agentes químicos y al calor. El amianto serpentina posee fibras fuertes y flexibles que le permite hilarlas fácilmente. El amianto, es inatacable por los ácidos, resistente al fuego y mal conductor del calor, se utiliza en varias aplicaciones, como material de construcción mezclado con otros productos que le confieren una excelente resistencia mecánica, en la fabricación de fibrocementos, material ligero no combustible, mal conductor del calor e impermeable, constituido por amianto y cemento. Se utiliza para la fabricación de placas y paneles, piezas moldeadas... para recubrimentos de techos, tabiques y paredes. Los tejidos de amianto altamente resistentes al fuego, se empleen por piezas de equipo de protección y telas, juntas estanques para vapor, filtros para ácidos y otras aplicaciones. El polvo del

amianto es tóxico por inhalación, su tolerancia es de 2 millones de partículas por 2100 millones de partículas por m3.

- Mica exfoliada: La mica, pertenece a un grupo de silicatos de composición química variable, aunque de propiedades físicas y estructurales similares. Todas tienen una excelento exfoliación. La mica, material no combustible, tiene una resistencia al calor de hasta 600ºC. Como aislante, posee un gran número de aplicaciones industriales.

- Vermiculita: Es un material que por su aspecto se parece a la mica. Es un silicato hidratado de aluminio, hierro y magnesio. Sometidos a tratamientos térmicos controlados, la Vermiculita se expande exfoliándose a 700 ºC con capacidad de expansión de 6 a 20 veces e incluso más. En este proceso térmico, se desarrolla entre las paredes internas del material un extraordinario aumento de volumen de celulas microscópicas cerradas, reteniendo aire inmóvil y deshidratado. Para el aislamiento térmico, la Vermiculita expandida mantiene una capacidad aislante de entre -200ºC y 1200 ºC. Su conductivitat térmica es de 0,053 Kcal m/m2hºC para una temperatura media de 20ºC. Su resistencia al fuego es excelente, con un punto de fusión de 1370 ºC . El aislamiento térmico se utiliza a granel o adicionado, vertiendo el material entre tabiques o secciones a compartimentar. Como agregados para hormigones ligeros, con yeso, también pueden ser proyectadas.

- Perlita: Es un material (cristal de roca) del grupo de las riolites, y de origen volcánico. Su estructura la forman pequeñas bolas de vidrio que contienen aire en oclusión. Este material posee la propiedad de expandirse considerablemente enfrente de altas temperaturas, quedando unos granos emblanquecidos compuestos por infinidades de celulas vacías, en que el volumen llega a 20 veces el inicial. Expandida, la Perlita conserva su inercia química original (no combustible) cogiendo un grand poder aislamiente térmico y antifuego. En construcción, este material se utiliza como árido aislante y ligero. Sus principales aplicaciones son:

- Morteros aislantes
- Revoco de paredes interiores, mortero transpirable
- Hormigones ligeros
- Recubrimiento deestructuras metalicas
- Mezclas con yeso o escayola
- Material de reyeno
- Pavimentos flotantes
- Prefabricados de hormigón.

De ciertos derivados de la perlita, como la perlesca, la protección antifuego es de 1 hora por cada cm de espesor de recubrimiento de estructuras metálicas.

- Silicato de calcio: puede resistir temperaturas elevadas hasta 1100 ºC. Estos materiales poseen una excelente resistencia mecánica y sus coeficientes de conductividad se encuentran en función de la densidad. Los productos corrientes de silicato de calcio van de 180 Kg/m3 a 230 Kg/m3. Por ejemplo, un material de este tipo de 200 Kg/m3 poner un coeficiente de conductivitat de 0.0895 a una temperatura de 500 ºC. El silicat de calcio, como base de materiales aislantes, se utiliza también en forma de polvo, como cemento calorífico.

- Vidrio celular: Denominado comercialmente foamglass. Es un vidrio expandido o espuma obtenida por una emulsión de vidrio. Este, con la adición del carbono puro, se caliente a temperaturas suficientes para que el carbono reblandezca. Al gasificarse produce una masa vidriosa de pequeñas celulas cerradas, en la que forman un ligero vacío. Este aislante en forma de bloques resistentes y ligeros forman un auténtico vidrio, siendo por lo

tanto no combustible, resistente a los ácidos y vapores e inalterable. Su límite de temperatura se encuentra a los 550 ºC. Se utiliza en construcción en forma de placas, paneles y otras aplicaciones.

- Fibra de vidrio: Se obtiene por estrusion del vidrio fundido a través de pequeños agujeros a grandes velocidades. La fibra de vidrio posee una baja conductivitat térmica y elevada resistencia estructural a tracción. Es impermeable a los gases e inerte enfrente a todos los productos químicos excepto a los ácidos fluorhídricos, fosfórico y soluciones alcalinas fuertes y calientes. No combustible y no tóxico, buen aislante térmico. En construcción se utiliza para la fabricación de paneles prefabricados.

-Poliestireno expandido: Resina termoplastica sintetica de peso molecular variable, que depende del grado de polimerización. Se utilitza ampliamente en construcción, con fines decorativoss, paneles i revestimentos. El poliestireno posee una resistencia al fuego relativa aun que no contribuye a una propagación rapida del incendio. En principio la baja densidad de estos materiales, facilidad de utilización y colocación así como bajos costes, lo han hecho muy utilitzado en recubrimentos. Estos aislantes no se recomiendan a usos exteriores, aún que, existen cualidades modificadas, estables a la luz. Es atacado por disolventes de hidrocarburos, pero resistente a los ácidos orgánicos i alcalinos. Es combustible y no autoextinguible. No tóxico.

- Poliuretano expandido: Espumas flexibles y rígidas. La densidad varia entre 0,03 a 0,8 Kg/l. La conductividad térmica es baja, hasta 0,11; retardador de la llama y aislante excelente. Temperatura límite de utilitzación :200 ºC. Sus usos són aislante de estructuras ligeras.

- Cloruro de polivinilo (Expandido): Las espumas de PVC poseen masas volumínicas que varien entre 400 i 100 Kg/m3. Son dimensionalmente estables. Resistentes al tiempo y a la humedad. La majoria de ácidos, gases e hidrocarburos de petrolio. Temperatura límite de uso: 80 ºC. Su utilitzación es en forrar paredes, revestimentos, tuberias, protección de cables...

3.2.4 Fibras y Téxtiles

La mayoría de los textiles fabricados a base de fibras que se encuentran en el entorno humano son combustibles. La ropa, el mobiliario y el entorno habitable están constituidos en su totalidad o en parte por textiles, que representan un peligro tanto durante su producción, procesado y conservación así como durante su utilización.

Las materias primeras de los textiles pueden ser naturales o artificiales; las fibras sintéticas pueden utilizarse solas o mezcladas con fibras naturales. Químicamente, las fibras naturales de origen vegetal (algodón, cáñamo, yute, lino) están formatos por celulosa, que ses combustible, y presentan una temperatura de ignición relativamente alta (aprox. 400ºC). Una característica positiva de su combustión es que, cuando se eleva su temperatura, se carbonizan pero no se funden. Esto resulta especialmente beneficioso por el tratamiento médico de las quemaduras.

Las características de riesgo de incendio de las fibras basadas en proteínas de origen animal (lana, seda..l) todavía son más positivas que las de las fibras vegetales, puesto que presentan una temperatura más alta de ignición (500-600ºC) y, en iguales condiciones, su combustión es menos intensa.

Cada vez adquieren mayor importancia las aplicaciones textiles de la industria de los plásticos, que aprovecha algunas propiedades mecánicas extremadamente positivas de los productos poliméricos. Entre las características de las fibras sintéticas acrílicas, de poliester y termoplásticas (nailon, polipropileno, polietileno), las relativas a la combustión son las menos positivas. La mayoría de estas fibras, a pesar de su elevada temperatura de ignició (aprox. 400-600ºC), se funden cuando se exponen en el calor, entran fácilmente en ignición, queman con intensidad, gotean o se funden durante la combustión y liberan una cantidad considerable de humo y gases tóxicos. Estas propiedades pueden mejorarse si se mezclan con fibras naturales, dando lugar a los denominados tejidos con mezcla de fibra. También pueden tratarse con agentes ignífugos. En la fabricación de textiles por la industria y de ropa ignífuga ya se están utilizando muchos productos inorgánicos de fibras no combustibles (fibras de vidrio y metálicas).

En los textiles, las propiedades de seguridad más importantes son las relacionadas con la capacidad de ignición, la propagación de la llama y la generación de calor y de productos de combustión tóxicos. Por su determinación, se han desarrollado métodos especiales de ensayo. Los resultados obtenidos se aplican en los lugares donde se utilizan estos productos (vivienda, mobiliario, tapizados de vehículos, ropa, alfombras, cortinas, ropa de protección contra el calor y las inclemencias) y sirven por elaborar la normativa de seguridad contra los riesgos derivados de su uso. Una tarea fundamental de los investigadores industriales es desarrollar textiles que soporten altas temperaturas mediante un tratamiento ignífugo (difícilmente combustibles, con un tiempo de ignició prolongado, baja velocidad de propagación de la llama, baja velocidad de liberación de calor) y con una producción reducida de productos de combustión tóxicos, a finales de reducir los accidentes por incendio debidos a la combustión de este tipo de materiales.

3.2.5 Plásticos y cauchos

Los plásticos son compuestos orgánicos macromoleculars fabricados sintéticamente o mediante la modificación de materiales naturales. La estructura y forma de estos materiales macromoleculares, que son el resultado de reacciones de polimerización, poliaddición o policondensación, influyen considerablemente en sus propiedades. Las cadenas moleculares de los termoplásticos (poliamidas, policarbonatos, poliesters, poliestiréno, cloruro de polivinilo, polimetil-metacrilato, etc.) son lineales o ramificadas, los elastómeros (neopreno, polisulfuros, isoprenos, etc.) presentan ligeros enlaces cruzados, mientras que los plásticos termoendurecidos (polialquilos, resinas epoxi, poliuretanos, etc.) presentan fuertes enlaces cruzados.

El caucho natural se utiliza en la industria del mismo nombre como materia primera, y se somete a un proceso de vulcanización. Los cauchos artificiales, la estructura de los cuales es similar a la del caucho natural, son polímeros y copolímeros del butadieno.

El uso de los productos plásticos y del caucho ses cada vez más frecuente en todos los campos de la vida cotidiana. La gran variedad y las excelentes propiedades técnicas de estos materiales permiten su aplicación a áreas tan diversas como estructuras de edificios, mobiliario, ropas, mercancías y piezas para vehículos y maquinaria.

Normalmente, los plásticos y el caucho, al igual que los materiales orgánicos, se consideran material combustible. Por analizar su comportamiento en un incendio se utilizan una serie de parámetros que pueden determinarse con métodos especiales. Teniendo en cuenta estos parámetros (combustibilidad, capacidad de ignición, capacidad de producción de humos, propensión a la producción de gases tóxicos y el goteo en la combustión), se

definen sus ámbitos de aplicación y se establecen las condiciones de seguridad necesarias ante incendios.

En muchos casos, la temperatura de ignición de los plásticos es superior a la de la madera o otros materiales, pero la mayoría de las veces estos entran en ignición con mayor facilidad y su combustión se realiza con más rapidez e intensidad. Los incendios de materiales plásticos suelen ir acompañados de un desagradable fenómeno de liberación de grandes cantidades de un humo muy denso que puede limitar la visibilidad y dar lugar a gases tóxicos (ácido clorhídrico, fosfeno, monóxido de carbono, cianuro de hidrógeno, gases nitrosos, etc.). Los materiales termoplásticos se funden durante la combustión, después se fluidifican y, según su ubicación, (p.ej. si se encuentran en o sobre un techo) producen goteo en la zona de combustión y pueden provocar la ignición de los materiales combustibles que se encuentren debajo de ellos.

La optimización de las características de combustión es uno problema complejo y un tema clave de la química de los plásticos. Los agentes ignífugos inhiben la combustibilidad, la ignición es más lenta, la velocidad de combustión disminuye y la propagación de la llama se hace más lenta pero, por otro lado, aumentan la cantidad y densidad del humo y la mescla de gas producida es más tóxica.

3.3 Introducción al Código Técnico

3.3.1 Definición del Código Técnico

Es un instrumento normativo que fija las exigencias básicas de calidad de los edificios y sus instalaciones para dar cumplimiento a los requisitos básicos de las obras de edificación relativas a seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley de Ordenación de la Edificación.

-Las exigencias básicas deben cumplirse en el proyecto, la construcción, el mantenimiento y la conservación de los edificios y sus instalaciones.
-Los requisitos básicos relativos a la funcionalidad y los aspectos funcionales de los elementos constructivos se regirán por su normativa específica.
-Las características de las instalaciones se siguen rigiendo por las disposiciones reglamentarias correspondientes del Ministerio de Industria.
-Las exigencias del CTE se aplicarán sin perjuicio de la obligatoriedad del cumplimiento de la normativa de prevención de riesgos laborales que resulte aplicable.

3.3.2 La necesidad del Código Técnico

El sector de la edificación es uno de los principales sectores económicos con importantes repercusiones en el conjunto de la sociedad y en los valores culturales que entraña el patrimonio arquitectónico. Sin embargo, hasta la promulgación de la LOE el sector había carecido de una regulación acorde con esta importancia.

La sociedad española demanda cada vez más calidad en los edificios, lo que significa la satisfacción de los requisitos básicos que se refieren, tanto a la seguridad como a aspectos vinculados al bienestar de las personas.

El CTE se configura como un nuevo marco normativo estructurado que identifica, ordena y completa la reglamentación técnica existente y que pretende facilitar su aplicación y cumplimiento, todo ello en armonía con la normativa europea. Además, mediante un enfoque basado en prestaciones, se tratará de fomentar la innovación y el desarrollo tecnológico en la edificación.

3.3.3 Contenido

El código se divide en dos partes, ambas de carácter reglamentario.

La primera (Parte I) contiene las disposiciones y condiciones generales de aplicación del CTE y las exigencias básicas que deben cumplir los edificios. Las exigencias básicas son aquellas que deben cumplirse en el proyecto, la construcción, el mantenimiento y la conservación de los edificios y sus instalaciones para alcanzar las prestaciones que satisfagan los requisitos básicos de la LOE.

La segunda está formada por los denominados Documentos Básicos, en adelante DB, para el cumplimiento de las exigencias básicas del CTE. Estos Documentos, basados en el conocimiento consolidado de las distintas técnicas constructivas, se actualizarán en función de los avances técnicos y las demandas sociales y se aprobarán reglamentariamente.

Los DB contienen:

a) La caracterización de las exigencias básicas y su cuantificación, en la medida en que el desarrollo científico y técnico de la edificación lo permite, mediante el establecimiento de los niveles o valores límite de las prestaciones de los edificios o sus partes, entendidas dichas prestaciones como el conjunto de características cualitativas o cuantitativas del edificio, identificables objetivamente, que determinan su aptitud para cumplir las exigencias básicas correspondientes; y

b) unos procedimientos cuya utilización acredita el cumplimiento de aquellas exigencias básicas, concretados en forma de métodos de verificación o soluciones sancionadas por la práctica. También podrán contener remisión o referencia a instrucciones, reglamentos u otras normas técnicas a los efectos de especificación y control de los materiales, métodos de ensayo y datos o procedimientos de cálculo, que deberán ser tenidos en cuenta en la redacción del proyecto del edificio y su construcción.

Se han desarrollado seis DB, uno para cada uno de los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad. El DB de Seguridad Estructural se subdivide en otros Documentos de carácter específico que tratan diferentes tecnologías.

Los Documentos Básicos son los siguientes:

-DB SE Seguridad estructural

-DB SE-AE Acciones en la edificación

-DB SE-A Estructuras de acero

-DB SE-F Estructuras de fábrica

-DB SE-M Estructuras de madera

-DB SE-C Cimentaciones

-DB SI Seguridad en caso de incendio

-DB SU Seguridad de utilización

-DB HS Salubridad

-DB HE Ahorro de energía

3.3.4 Cumplimiento

Para justificar que un edificio cumple las exigencias básicas que se establecen en el CTE podrá optarse por:

1- Adoptar soluciones técnicas basadas en los DB, cuya aplicación en el proyecto, en la ejecución de la obra o en el mantenimiento y conservación del edificio, es suficiente para acreditar el cumplimiento de las exigencias básicas relacionadas con dichos DB; o

2- soluciones alternativas, entendidas como aquéllas que se aparten total o parcialmente de los DB. El proyectista o el director de obra pueden, bajo su responsabilidad y previa conformidad del promotor, adoptar soluciones alternativas, siempre que justifiquen documentalmente que el edificio proyectado cumple las exigencias básicas del CTE porque sus prestaciones son, al menos, equivalentes a los que se obtendrían por la aplicación de los DB.

La aparición del CTE en la escena reglamentaria española supone una serie de cambios en algunos aspectos y ninguno en otros. A continuación se describen.

Junto con el CTE aparecen o aparecerán una serie de documentos que lo complementan y que no son de obligado cumplimiento: los Documento Reconocidos (cabe destacar el Catálogo de elementos constructivos).

El CTE recoge el contenido, convenientemente actualizado y reestructurado, de las Normas Básicas de la Edificación (NBE) que desaparecen como tales, salvo la NBE CA-88, que mientras no se apruebe y publique la parte del CTE relativa (DB HR), seguirá vigente.

Las NBE que estaban desarrollándose en el momento de la aprobación de la LOE así como las revisiones en curso de otras NBE existentes han sido adecuadamente incorporadas en los apartados pertinentes del CTE.

Otras reglamentaciones técnicas de carácter básico, como las Instrucciones de hormigón EHE y EF, coexistirán con el CTE y en principio serán referencias externas al mismo.

Las normativas reglamentarias de seguridad industrial dependientes de otros departamentos ministeriales, que afectan a las instalaciones que se incorporan en los edificios, tendrán también su tratamiento específico, de forma que se consideren las competencias relativas a su elaboración y aplicación.

4 DESARROLLO DEL PROYECTO

El desarrollo de este proyecto incluye una breve introducción cronológica a los forjados y un posterior análisis de los forjados de hormigón, que incluye una descripción del sistema, la ejecución del mismo y el cálculo de la resistencia al fuego, incluyendo en algunos casos un ejemplo práctico del calculo.

4.1 Introducción cronológica a los forjados

En este apartado situaremos cronológicamente los forjados, haciendo hincapié en los forjados desarrollados posteriormente.

Durante muchos años tan solo se utilizaron los forjados de madera, pero con el uso de procesos industriales para la obtención de aceros y hormigón, han coexistido y coexisten en el tiempo.

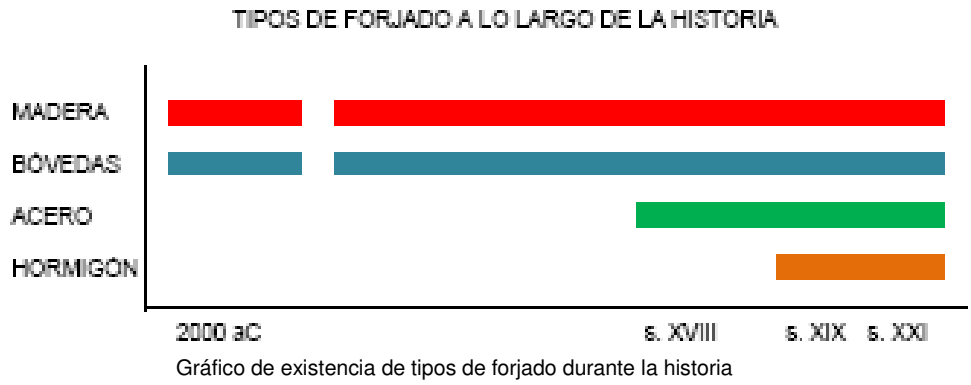


Gráfico de existencia de tipos de forjado durante la historia

Ilustración 4-1

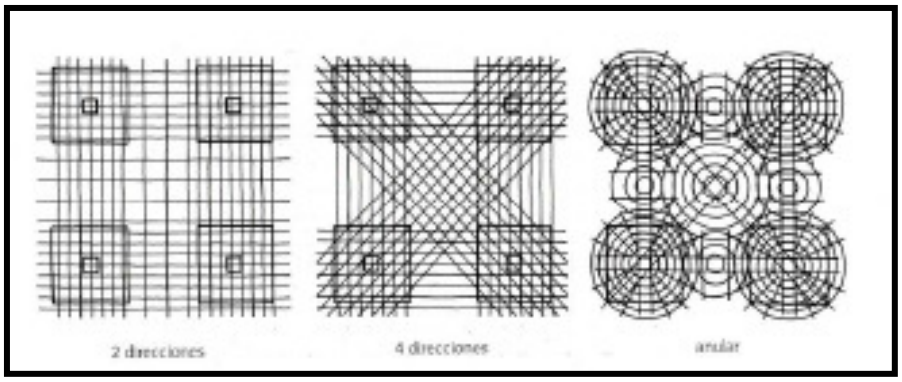
En 1780, llega acero a la construcción, en sus comienzos, el acero se usaba en combinación con la piedra, el ladrillo y los forjados de madera indistintamente.

La industrialización del cemento dio lugar al hormigón armado. Entre 1880 y 1890, una vez visto su funcionamiento resistente, sus ventajas como material constructivo y su coste, es cuando aparecen innumerables patentes destinadas a la explotación comercial, primero de elementos y posteriormente de sistemas completos de hormigón armado.

4.1.1 Forjado losa maciza

Cuando se comenzó a construir con hormigón, los forjados se construían como losas de hormigón macizas que se apoyaban en muros de carga y vigas

La construcción de losas macizas de hormigón apoyadas sobre muros de carga, luego sobre vigas metálicas, y después, sobre vigas de hormigón se inició en los EEUU a partir de **1906**, sin ningún tipo de análisis estructural, tan sólo se basó en pruebas de carga, pero 7 años después ya habían levantado más de 1000 edificios con forjados de losa maciza No sabían cómo calcular las losas ni qué criterios utilizar para armarlas, por eso aparecen disposiciones de la ferralla de lo más dispares.



Ejemplos de disposición de armaduras

Ilustración 4-2

En los años 50 se introdujo el postensado en el campo de las losas macizas. Sus inicios fueron lentos, pero en la actualidad se emplea el postensado en losas cuyas necesidades son de amplias luces y bajo canto de forjado actualmente se suelen usar en forjados de aparcamientos, hoteles, oficinas, y en general, en aquellos forjados cuya carga de servicio es superior a 4 KN/m_2.

De las losas de hormigón macizas los forjados evolucionaron en dos sentidos: los unidireccionales, utilizados por su sencillez y que para luces pequeñas y poca carga son adecuados, y en bidireccionales, que permiten una mayor distancia entre apoyos y cargas de mayor entidad.

4.1.2 Forjado unidireccional

En España se produjo una gran expansión de los forjados de hormigón reproduciendo el mecanismo de los forjados de madera y metálicos. La sencillez del sistema unidireccional es lo que popularizó tanto el uso de este sistema.

En España, en el periodo comprendido entre los años 40 y 70, la población emigró de los pueblos a las ciudades creando una necesidad construcción muy grande en un corto periodo de tiempo, por eso, se pretendía colocar el mínimo hormigón y otros materiales

caros para el momento. Para ello se buscaban tipos de aligeramientos baratos, que aunque necesitaban de más mano de obra el coste total era más barato al colocar la menor cantidad de hormigón.

Los forjados realizados a base de vigas hormigón armado resistentes, cuyas formas eran bien diversas, utilizaban aligeramientos cerámicos y un relleno de cascotes, carbonilla o algún tipo de hormigón pobre.

Cuando se empezó a utilizar este tipo de forjado, todo se construía in situ. Los nervios eran de hormigón armado y formaban parte del propio forjado. Para ello se necesitaba encofrar toda la superficie del forjado, colocar los aligeramientos y posteriormente toda la armadura.

La imaginación de los constructores hizo aparecer las semivigas prefabricadas. Con ello se ahorraba superficie de encofrado, pues sobre ellas y mediante el uso de un par de sopandas se permitía colocar los aligeramientos sin necesidad de encofrar toda la superficie. Además, estas semivigas ya contenían la armadura de flexión positiva necesaria y era una operación menos a realizar.

Más adelante, estas vigas se sustituyeron por las vigas pretensadas. Esto hizo que ajustaran más los cantos de los forjados.

Junto con este tipo de forjados evolucionaron las vigas, que pasaron de ser descolgadas a planas, permitiendo que toda la superficie inferior estuviera en el mismo plano

En la actualidad, este tipo de forjados se realizan mediante el uso de vigas prefabricadas de una gran calidad, con una sección habitual en forma de doble T, y colocando una losa de compresión con armadura de reparto. Además de un zuncho perimetral que le proporciona un mayor monolitismo y una mayor rigidez horizontal al conjunto.

.

4.1.3 Forjado reticular

El forjado reticular pertenece a las losas de hormigón armado no homogéneas, aligeradas y armadas en dos direcciones ortogonales. Este tipo de forjado deriva de las losa macizas continuas que se empotraban elásticamente en un emparrillado de vigas formando gran rigidez, y que junto a los soportes forman unos pórticos cruzados ortogonalmente que responden muy bien a todo tipo de acciones.

Con la desaparición paulatina de los ábacos y capiteles se consiguió una homogeneidad en las losas macizas. Esta gran mejora en la plenitud inferior de los forjados trajo consigo un problema para las tabiquerías. Al intentar reducir al máximo los cantos de forjado, las flechas eran excesivas para los tabiques, y estos acababan rompiéndose por la compresión que producían las losas sobre ellos, o por la propia deformación del forjado donde apoyaban los tabiques. Para evitar este problema en los forjados de losa maciza era necesario aumentar el canto del forjado, y por tanto, el coste volvía a ser más elevado, tanto en el propio forjado como en pilares y cimentaciones que debían soportar más carga. Así, intentando reducir las cargas de peso propio y controlando las deformaciones, se pasó a construir los forjados reticulares con aligerantes, tanto perdidos como recuperables.

Los forjados reticulares son más complejos de construir que las losas macizas, pero la reducción de hormigón y acero aventajaban al coste de manipulación de casetones de aligeramiento y a la complejidad del ferrallado.

4.1.4 Forjado chapa colaborante

En 1950, en EE.UU., se realiza la primera patente de este tipo de forjado, la conexión entre ambos materiales se realiza por medio de unas pletinas de acero dispuestas transversalmente y soldadas en la cresta de la chapa grecada; posteriormente se sustituyen éstas por un mallazo soldado también en la parte superior de la chapa. Investigaciones posteriores desarrollaron nuevas formas para garantizar la perfecta conexión entre ambos materiales (venciendo el esfuerzo rasante), introduciendo embuticiones o indentaciones en las caras laterales.

En Europa la introducción del forjado colaborante se sitúa a finales de la década de los sesenta. Las investigaciones para solucionar el problema principal del forjado colaborante, el esfuerzo rasante, siguieron desarrollándose y alrededor de la mitad de los ochenta la American Society of Civil Engineers publica “Specifications for the Design and Construction of Composite Slabs”. A su vez se publica la Norma Británica BS-5950-82. Ambas han sido y siguen siendo referencia para este tipo de sistema.

4.2 Forjados de hormigón

4.2.1 Forjado losa maciza

La losa maciza es un forjado formado por la armadura de acero y hormigón, la colocación de la armadura de acero es básicamente en dos direcciones y trabajan conjuntamente con el hormigón consiguiendo así que la capacidad mecánica y resistente de la losa sea asumida por todo el conjunto de la losa consiguiendo así una absorción de la carga multidireccional, en este sistema se solucionan los encuentros estructurales mediante refuerzos de armado, ya sea en los pilares (para la absorción de los esfuerzos al punzonamiento o los esfuerzos de momentos negativos) como en los perímetros y huecos creando así zunchos.

Estructuralmente se estudian los forjados de losa maciza según el canto necesario en el cálculo estructural:

El cálculo de la losa maciza se hace simplificando éste, en pórticos bidireccionales de manera que nos dará la cuantía de acero necesaria entre vanos en las dos direcciones, y de igual manera en el cálculo de esfuerzos negativos llegando incluso a la necesidad de capiteles en estas zonas (generalmente pilares). Según las solicitaciones de carga se puede disponer de jácenas o vigas, tanto de hormigón armado como con perfiles metálicos que se pueden combinar con la losa o estar embebidos en ella.

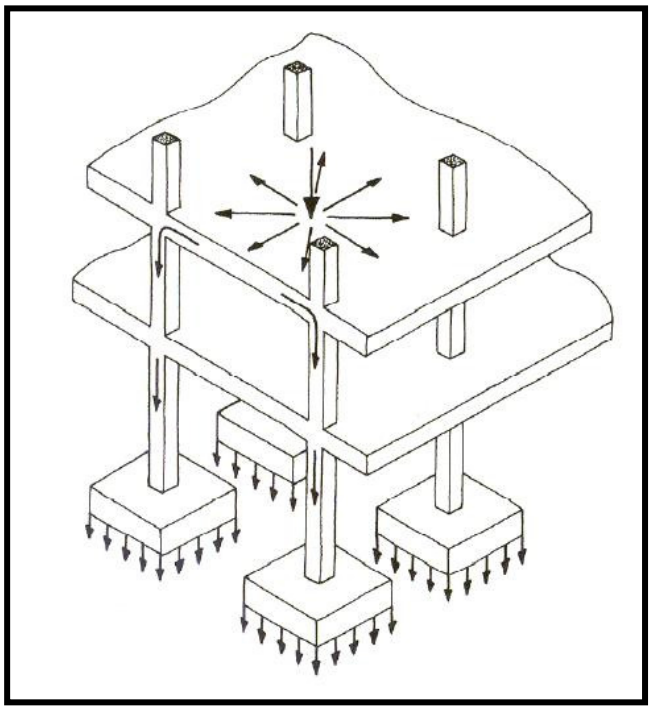


Ilustración 4-3

Distribución de cargas en forjado de losa maciza

La desventaja de estos forjados es el elevado peso propio de éstos, lo que provoca sobrecargas, para soportar estos esfuerzos se refuerza el forjado mediante vigas (planas, de canto o pretensadas),

4.2.1.1 Topología

Clasificaremos éstos forjados según el tipo de armado o refuerzo:

- **Losas macizas** (estas se pueden reforzar mediante vigas pretensazas que suelen ir embebidas en el forjado):

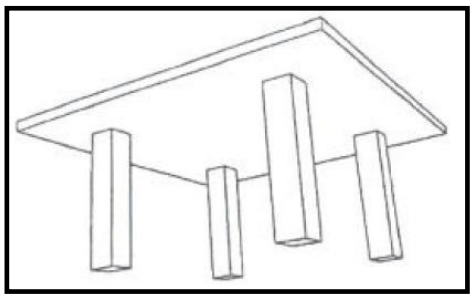


Ilustración 4-4

- **Losas macizas con ábacos**, éstos se ejecutan para mejorar la resistencia al punzonamieto:

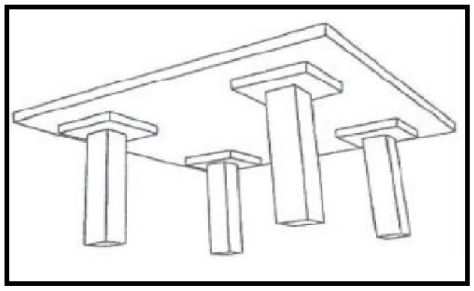


Ilustración 4-5

- **Losas macizas reforzadas con vigas planas**:

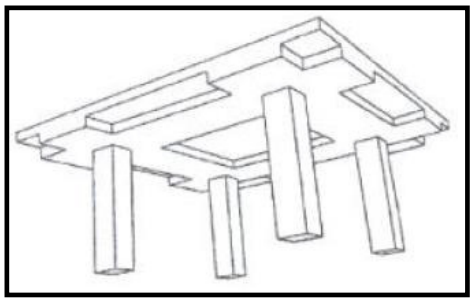


Ilustración 4-6

- **Losas macizas reforzadas con vigas de canto**:

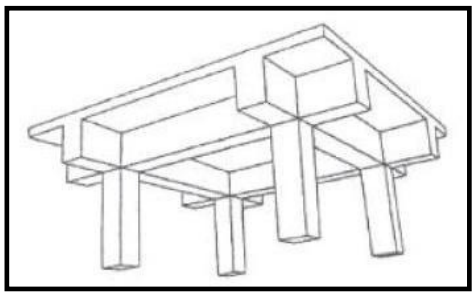


Ilustración 4-7

4.2.1.2 Ejecución

La ejecución de éstos forjados es prácticamente la misma, solo varia en función de si existen o no refuerzos; como vigas planas, de canto… y en el encofrado de éstos.

Losa maciza convencional:

Se ejecuta el replanteo, para posteriormente montar el encofrado horizontal mediante puntales, sopandas, portasopandas, tableros... Una vez completado el encofrado horizontal se procede a encofrar verticalmente todo el perímetro, así como los distintos huecos, mediante tabicas.

Ej Ejecución de encofrado horizontal

Ilustración 4-8

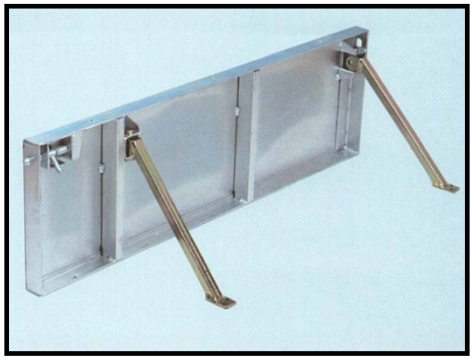


Ilustración 4-9

Ilustración 4-10

Varios ejemplos de tabicas perimetrales.

Una vez finalizado procedemos a la colocación de los refuerzos de acero, que se colocan en ambas direcciones, superior, inferior y refuerzos de éstas.

Tanto para la colocación de la armadura inferior como superior necesitaremos la previa colocación de separadores; ya sea para conseguir el recubrimiento mínimo de las armaduras (caso de la armadura inferior y perimetral), o simplemente para el montaje (el caso de la armadura superior)

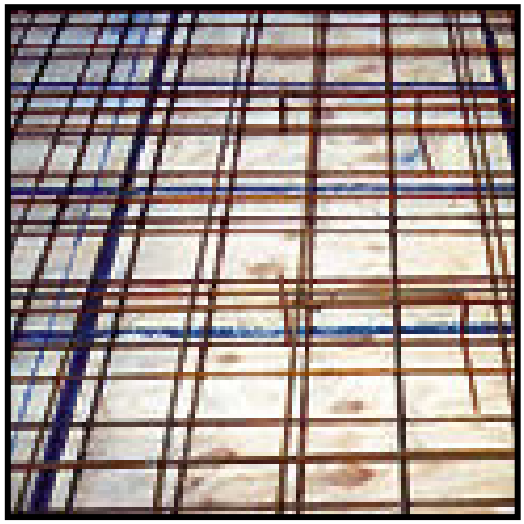


Ilustración 4-11

Ejemplo de armadura superior, inferior y separadores.

A posteriori procedemos al vertido del hormigón (ya sea mediante cubilote o con bomba), teniendo en cuenta el vibrado de éste.

Se pueden sacar el encofrado parcialmente para ser utilizado en otro sitio, hoy en día puede variar el tiempo de fraguado mediante la utilización de aditivos (aireantes, aceleradores de fraguado, fluidificantes…).

Ilustración 4-12

Ejemplo del desmontaje parcial del encofrado.

Para una óptima posterior utilización del encofrado, una vez desmontado el encofrado procederemos a la limpieza de éste y a la aplicación de desencofrante.

Operario aplicando desencofrante.

Ilustración 4-13

Losa maciza con refuerzos estructurales:

La ejecución solo variará en la colocación del encofrado, procederemos primero al montaje del encofrado de los refuerzos, tanto horizontalmente como perimetralmente llegando éste a la cota inferior de la losa final.

Ejemplo de encofrado de viga.

Ilustración 4-14

Una vez puestos los refuerzos metálicos procederemos al hormigonado dejando la armadura situada encima del hormigón vista. El resto de encofrado lo montaremos en toda la superficie del forjado rodeando perimetralmente los refuerzos estructurales hormigonados previamente.

Una vez hormigonada toda la losa nos quedará la superficie prevista, siendo el resto de ejecución igual al de la losa maciza.

En el caso de que el refuerzo estructural sea superior a la cota de acabado de la losa, hormigonaremos la losa entera, incluidos los refuerzos, dejando la armadura vista superiormente, una vez haya fraguado, encofraremos la parte superior y hormigonaremos los elementos restantes.

En el caso de que el refuerzo estructural sea mayor que el grosor de la losa, por la parte inferior, encofraremos el refuerzo hasta la cota inferior de la losa, dejando la armadura superior vista, seguidamente encofraremos la losa y hormigonaremos todo el conjunto.

4.2.1.3 Resistencia al fuego

Para hacer un cálculo de la resistencia al fuego de forjados de losa maciza, recurrimos a la legislación vigente, en este caso el Código Técnico de la Edificación (CTE), según los parámetros de cálculo de la resistencia al fuego llegaremos a definir los factores que influyen en ésta.

Para la aplicación del CTE recurriremos a las tablas que en ella aparecen, para ello aplicaremos la fórmula de la distancia mínima equivalente al eje **am**

$$a_m = \frac{\sum \left[A_{si} f_{yki} (a_{si} + \Delta a_{si}) \right]}{\sum A_{si} f_{yki}}$$

Asi: área de cada una de las armaduras *i*, pasiva o activa;

asi: distancia del eje de cada una de las armaduras *i*, al paramento expuesto más próximo, considerando los revestimientos en las condiciones que mas adelante se establecen;

fyki: resistencia característica del acero de las armaduras *i.*;

Δasi: corrección debida a las diferentes temperaturas críticas del acero y a las condiciones particulares de exposición al fuego, conforme a los valores de la tabla C.1.

Tabla C.1. Valores de Δa_{si} (mm)

μ_{fi}	Acero de armar		Acero de pretensar			
	Vigas[1] y losas (forjados)	Resto de los casos	Vigas[1] y losas (forjados)		Resto de los casos	
			Barras	Alambres	Barras	Alambres
≤ 0,4	+10	0	0	-5	-10	-15
0,5	+5		-5	-10		
0,6	0		-10	-15		

Ilustración 4-15

(1) En el caso de armaduras situadas en las esquinas de vigas con una sola capa de armadura se reducirán los valores de Δasi en 10 mm, cuando el ancho de las mismas sea inferior a los valores de **bmin** especificados en la columna 3 de la tabla C.3.

μfi :el coeficiente de sobredimensionado de la sección en estudio, definido en el apartado 6 del SI6, el coeficiente que habremos aplicado en el cálculo de la estructura.. Las correcciones para valores de μfi inferiores a 0,6 en vigas, losas y forjados, sólo podrán considerarse cuando dichos elementos estén sometidos a cargas distribuidas de forma sensiblemente uniforme. Para valores intermedios se puede interpolar linealmente.

Una vez hallada la distancia mínima equivalente al eje **am** entramos en la tabla C4. y mediante las características de el forjado a estudiar

Tabla C.4. Losas macizas

Resistencia al fuego	Espesor mínimo h_{min}(mm)	Distancia mínima equivalente al eje a_m (mm) [1]		
		Flexión en una dirección	Flexión en dos direcciones l_y/l_x [2] ≤ 1,5	Flexión en dos direcciones 1,5 < l_y/l_x [2] ≤ 2
REI 30	60	10	10	10
REI 60	80	20	10	20
REI 90	100	25	15	25
REI 120	120	35	20	30
REI 180	150	50	30	40
REI 240	175	60	50	50

(1) Los recubrimientos por exigencias de durabilidad pueden requerir valores superiores.
(2) l_x y l_y son las luces de la losa, siendo $l_y > l_x$.

Ilustración 4-16

Debemos tener en cuenta que si la losa debe cumplir una función de compartimentación de incendios (criterios **R**, **E** e **I**) tal y como indica en la tabla su espesor deberá ser al menos el establecido, pero cuando se requiera únicamente una función resistente **R** basta con que el espesor sea el necesario para cumplir con los requisitos del proyecto a temperatura ambiente. Con lo que la tabla quedaría de la siguiente manera:

Tabla C.4. Losas macizas

Resistencia al fuego	~~Espesor mínimo h_{min}(mm)~~	Distancia mínima equivalente al eje a_m (mm) [1]		
		Flexión en una dirección	Flexión en dos direcciones l_y/l_x [2] ≤ 1,5	Flexión en dos direcciones 1,5 < l_y/l_x [2] ≤ 2
R 30		10	10	10
R 60		20	10	20
R 90		25	15	25
R 120		35	20	30
R 180		50	30	40
R 240		60	50	50

(1) Los recubrimientos por exigencias de durabilidad pueden requerir valores superiores.
(2) l_x y l_y son las luces de la losa, siendo $l_y > l_x$.

Ilustración 4-17

A efectos constructivos debe tenerse en cuenta lo siguiente:

Para losas macizas sobre apoyos lineales (tales como vigas o muros de carga) y en los casos de resistencia al fuego R 90 o mayor, la armadura de negativos deberá prolongarse un 33% de la longitud del tramo con una cuantía no inferior a un 25% de la requerida en extremos sustentados.

Para losas macizas sobre apoyos puntuales y en los casos de resistencia al fuego R 90 o mayor, el 20% de la armadura superior sobre soportes deberá prolongarse a lo largo de todo el tramo.

En el caso que estemos estudiando **Losas macizas reforzadas con vigas de canto** estudiaremos éstas mediante el cálculo establecido en el CTE.

Necesitaremos el ancho mínimo de la viga **bmin.** , en el caso que ésta sea de ancho variable, que sería el siguiente:

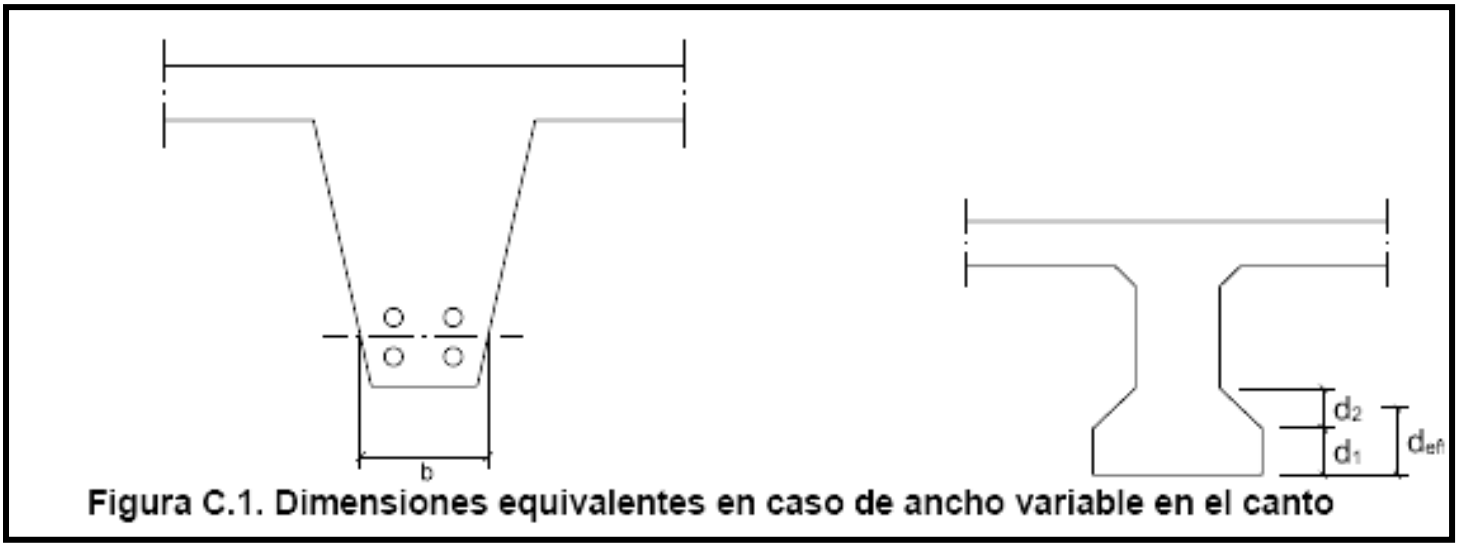


Figura C.1. Dimensiones equivalentes en caso de ancho variable en el canto

Ilustración 4-18

Se considera como anchura mínima b la que existe a la altura del centro de gravedad mecánico de la armadura traccionada en la zona expuesta, según se indica en la figura C.1.

En el caso de vigas expuestas por tres caras, igual que en el caso de losas armadas continuas necesitaremos la distancia mínima equivalente **am** siendo en este caso la equivalente al eje de la armadura inferior traccionada; en el caso de que además la viga está expuesta en todas sus caras deberá verificarse, además de las condiciones de la tabla C.3, que el área de la sección transversal de la viga no sea inferior a 2(bmín)².

Tabla C.3. Vigas con tres caras expuestas al fuego(1)

Resistencia al fuego normalizado	Dimensión mínima $b_{mín}$ / Distancia mínima equivalente al eje a_m (mm)				Anchura mínima(2) del alma $b_{0,mín}$ (mm)
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	
R 30	80 / 20	120 / 15	200 / 10	-	80
R 60	100 / 30	150 / 25	200 / 20	-	100
R 90	150 / 40	200 / 35	250 / 30	400 / 25	100
R 120	200 / 50	250 / 45	300 / 40	500 / 35	120
R 180	300 / 75	350 / 65	400 / 60	600 / 50	140
R 240	400 / 75	500 / 70	700 / 60	-	160

(1) Los recubrimientos por exigencias de durabilidad pueden requerir valores superiores.
(2) Debe darse en una longitud igual a dos veces el canto de la viga, a cada lado de los elementos de sustentación de la viga.

Ilustración 4-19

A efectos constructivos debe tenerse en cuenta lo siguiente:

Para una resistencia al fuego R 90 o mayor, la armadura de negativos de vigas continuas se prolongará hasta el 33% de la longitud del tramo con una cuantía no inferior al 25% de la requerida en los extremos.

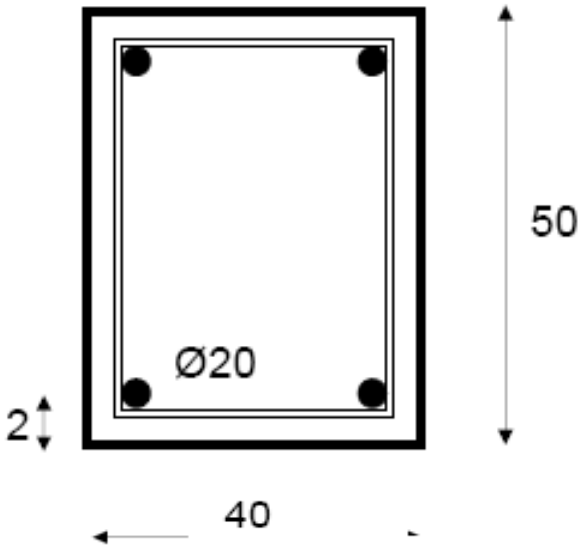
En el caso de **Losas macizas reforzadas con vigas planas** con macizados laterales mayores que 10cm se pueden asimilar a losas unidireccionales.

4.2.1.4 Ejemplo práctico

Procederemos a realizar un ejemplo de aplicación del código técnico

VIGA DE HORMIGÓN ARMADO

$$a_m = \frac{\sum [A_{si} f_{yki} (a_{si} + \Delta a_{si})]}{\sum A_{si} f_{yki}}$$



Cotas en mm.

La primera incógnita seria la **Δasi**. Supondremos un coeficiente de sobredimensionado **μfi** de **0,5**, por tanto como se trata de Acero de armar para una viga, nos da un valor de corrección de valor **+5**

Tabla C.1. Valores de Δa_{si} (mm)

μ_{fi}	Acero de armar		Acero de pretensar			
	Vigas[1] y losas (forjados)	Resto de los casos	Vigas[1] y losas (forjados)		Resto de los casos	
			Barras	Alambres	Barras	Alambres
≤ 0,4	+10	0	0	-5	-10	-15
0,5	+5		-5	-10		
0,6	0		-10	-15		

Por lo tanto si aplicamos la fórmula de la distancia mínima equivalente:

(A*f*(20+5)+A*f*(20+5)) / (A*f + A*f) = 25 mm.

Finalmente entramos en la tabla de CTE C.3.

Mediante la dimensión mínima de la viga y la distancia mínima equivalente hallamos la Resistencia al fuego

Tabla C.3. Vigas con tres caras expuestas al fuego[1]

Resistencia al fuego normalizado	Dimensión mínima $b_{mín}$ / Distancia mínima equivalente al eje a_m (mm)				Anchura mínima[2] del alma $b_{0,mín}$ (mm)
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	
R 30	80 / 20	120 / 15	200 / 10	-	80
R 60	100 / 30	150 / 25	200 / 20	-	100
R 90	150 / 40	200 / 35	250 / 30	400 / 25	100
R 120	200 / 50	250 / 45	300 / 40	500 / 35	120
R 180	300 / 75	350 / 65	400 / 60	600 / 50	140
R 240	400 / 75	500 / 70	700 / 60	-	160

[1] Los recubrimientos por exigencias de durabilidad pueden requerir valores superiores.
[2] Debe darse en una longitud igual a dos veces el canto de la viga, a cada lado de los elementos de sustentación de la viga.

4.2.2 Forjado unidireccional bovedillas

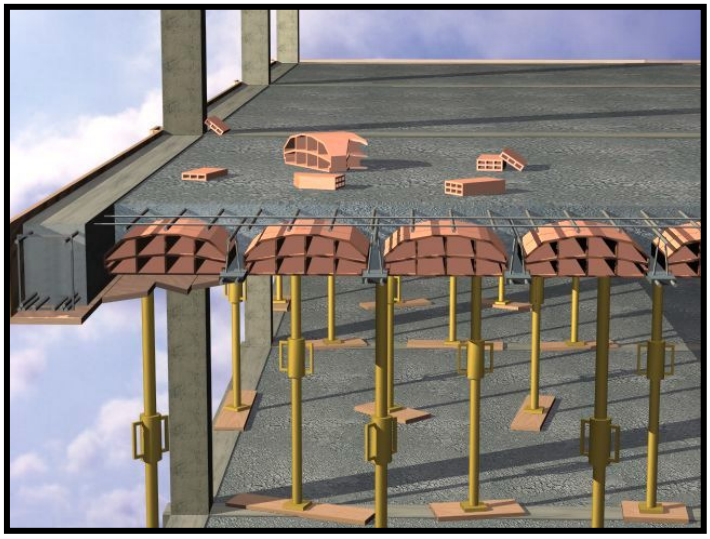


Ilustración 4-20

El uso de forjados unidireccionales mediante algún tipo de bovedilla empezó a ser necesario con los primeros asentamientos urbanos; para salvar y cubrir los espacios que el hombre necesitaba para vivir.

Los forjados unidireccionales se caracterizan por resistir la flexión en una sola dirección, de manera que la carga, tanto el peso propio como las sobrecargas de uso las soportan las bovedillas, que transmiten la carga a las viguetas, que a su vez la transmiten a un elemento lineal resistente, como podría ser un muro de carga, una viga de hormigón… De manera que el cálculo de éstos forjados se realiza dependiendo de estas premisas.

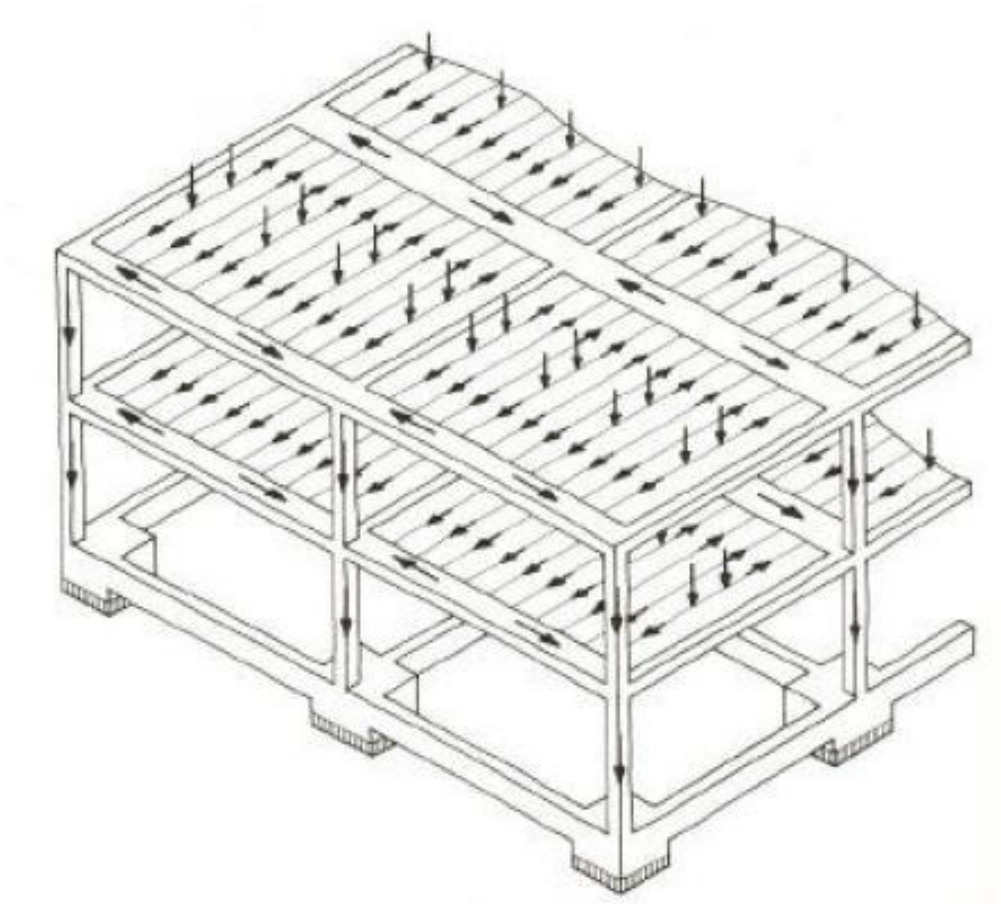


Ilustración 4-21

El forjado unidireccional se puede considerar como prefabricado e in situ ya que dependiendo tanto de los elementos portantes o de homogeneización (vigas principales, capa de compresión) como de los elementos resistentes intermedios (viguetas, bovedillas) lo podríamos clasificar de las dos maneras.

La diferencia de estos forjados entre sí, depende básicamente del tipo de elemento resistente (viguetas) y del elemento intermedio (bovedilla).

Debido a la popularidad y antigüedad en el uso de éstos tipos de forjados, existen infinidad de tipos de éstos, tanto de bovedillas como de viguetas, incluso combinaciones entre sí.

4.2.2.1 Topología

Tal y como se ha comentado anteriormente existen infinidad de tipologías de éste tipo de forjado, por lo cual, a continuación mostramos una parte de los múltiples tipos y combinaciones.

Según el tipo de vigueta: Según el tipo de bovedilla:

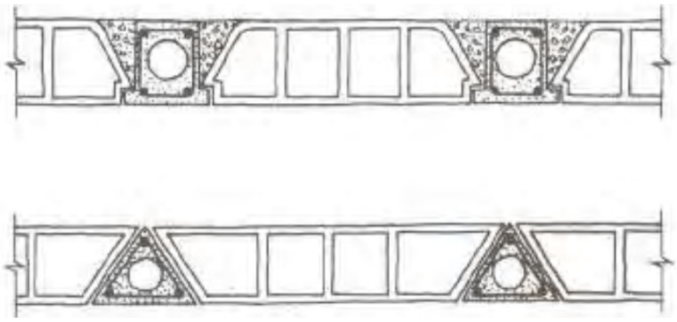
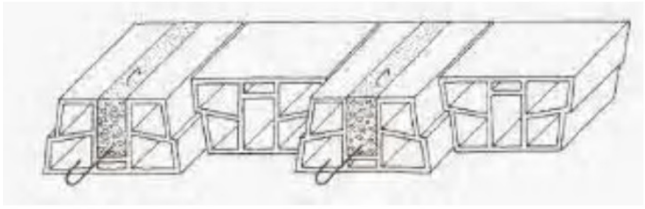


Ilustración 4-22

Viguetas armadas bovedilla cerámica o de hormigón

Ladrihierro.

Viguetas armadas



bovedilla cerámica

Ilustración 4-23

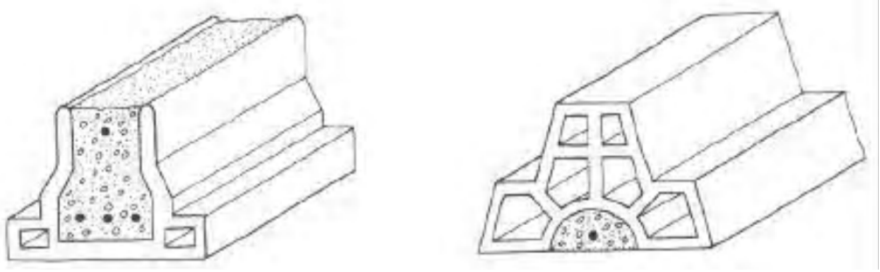
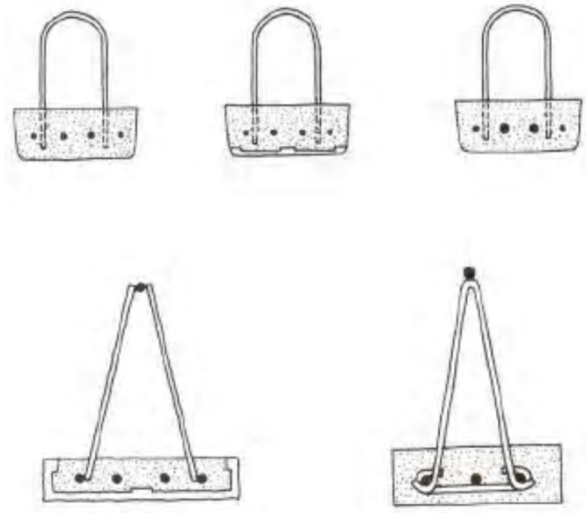


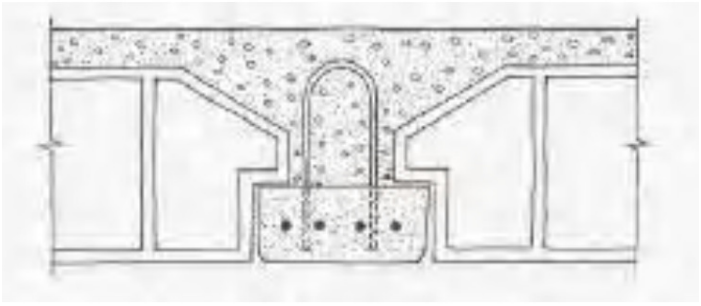
Ilustración 4-24

Viguetas armadas bovedilla cerámica



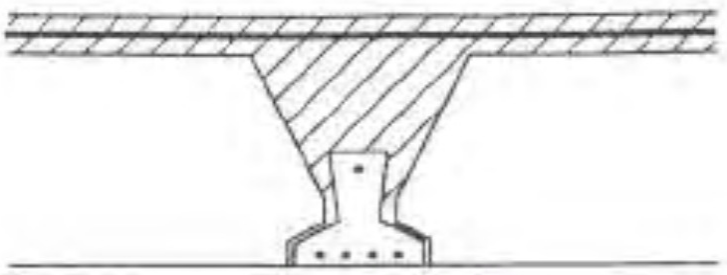
Viguetas armadas (semiresistentes).
Las viguetas semiresistentes absorben los esfuerzos positivos, es necesario ejecutar los refuerzos de negativos.

Ilustración 4-25



Viguetas armada (semiresistente) bovedilla cerámica

Ilustración 4-26



Viguetas pretensada (semiresistente) bovedilla cerámica

Ilustración 4-27

4.2.2.2 Ejecución

La ejecución varía ligeramente según la tipología de viguetas y bovedillas.

En primer lugar procederemos al replanteo del forjado y, posteriormente a la ejecución o colocación de los elementos resistentes, ya sea, mediante el encofrado de vigas y jácenas o la colocación de perfiles metálicos; si el elemento resistente es un muro de carga puede que no sea necesario este paso.

En función de la tipología, procederemos al encofrado horizontal de toda la superficie o al montaje de correas de apoyo;

Encofrado horizontal:

Se ejecuta como si de una losa maciza se tratase, encofrando previamente la superficie mediante encofrado horizontal y posteriormente los perímetros mediante tabicas.

Este modo de ejecución es imprescindible si ejecutamos los nervios “in situ”, no obstante también se puede utilizar si las viguetas son prefabricadas, ya sea para facilitar el montaje posterior del entrevigado o por seguridad. Se encuentra con frecuencia, ya que; el trabajo no es mucho mayor, aumenta tanto la seguridad como la ejecución durante el montaje del entrevigado.

Una vez ejecutado el encofrado se procede, según replanteo, al reparto de las bovedillas en el caso de que los nervios sean ejecutados “in situ”, en caso de que sean prefabricadas, primero colocaremos éstas para un mejor encaje de las bovedillas.

Ilustración 4-28

Ejemplo de forjado unidireccional mediante encofrado horizontal. Nervios “in situ” y entrevigado de hormigón y porexpan. Foto:parking”Nou Hospital de Reus”

Ilustración 4-29

.Ejemplo de forjado unidireccional con vigetas prefabricadas y bovedillas cerámicas.
Correas de apoyo con tablones de madera.

Montaje de correas de apoyo

Una vez encofrados los elementos necesarios, procedemos al montaje de las correas de apoyo que pueden ejecutarse con tablones, sopandas u otro elemento resistente, teniendo especial cuidado en el arriostramiento de éstas.

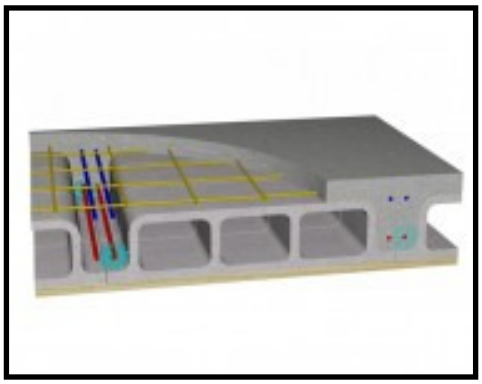
Después del montaje de las correas de apoyo procedemos a la colocación de las viguetas prefabricadas y, posteriormente las bovedillas.

Tanto si ejecutamos todo el encofrado horizontal como si utilizamos correas de apoyo se debe tener especial cuidado en el tapado de las bovedillas de los extremos, ya sea; mediante una pieza específica de bovedilla o mediante otro elemento que cumpla esta función, en caso contrario, se estaría produciendo una carga no prevista y un mayor consumo de hormigón.

Ejemplo de forjado unidireccional mediante encofrado horizontal. Viguetas prefabricadas y entrevigado de hormigón. Bovedillas de extremo

Ilustración 4-30

Posteriormente procederemos al armado del forjado. En primer lugar colocaremos la armadura de los zunchos y de los nervios y, posteriormente colocaremos los refuerzos negativos y la armadura de reparto necesarias.



Ejemplo de forjado unidireccional in situ mediante bovedillas de hormigón que cumplen la función de encofrado.

Ilustración 4-31

Por último procederemos a hormigonar, procurando repartir correctamente el hormigón para no sobrecargar el apuntalamiento inferior;

En primer lugar vertiremos el hormigón en los nervios.

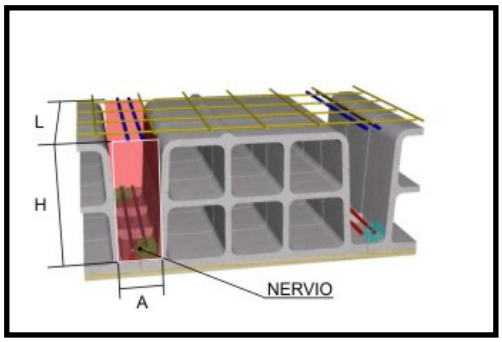


Ilustración 4-32

En segundo lugar hormigonamos la capa de compresión.

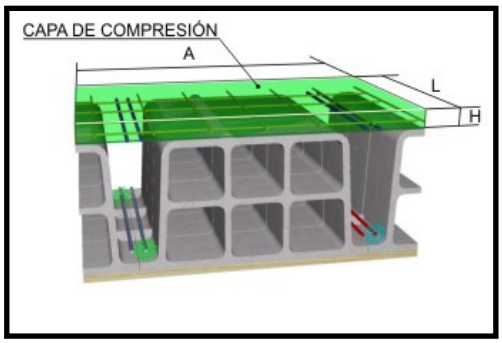


Ilustración 4-33

Iremos hormigonando por vanos, o sea, no hormigonaremos todos los nervios del forjado y después la capa de compresión, sino que, trabajaremos por zonas realmente acabadas, vibrando cada zona y dejándola terminada, incluyendo el posterior regleado.

Ilustración 4-34

Ejemplo de forjado unidireccional in situ mediante bovedillas de hormigón terminado.

Es importante la organización de los equipos y la planificación de trabajos, para que éstos sean continuos durante el vertido de hormigón.

Finalmente se procederá al desencofrado.

4.2.2.3 Resistencia al fuego

En este caso el cálculo de la resistencia al fuego es diferente en función de los tipos de casetones, según si hablamos de elementos de entrevigado cerámicos y de hormigón o tenemos otros materiales. En cualquiera de los casos empezaremos calculando la distancia mínima equivalente (**am**) :

$$a_m = \frac{\sum \left[A_{si} f_{yki} (a_{si} + \Delta a_{si}) \right]}{\sum A_{si} f_{yki}}$$

Ilustración 4-35

Asi: área de cada una de las armaduras *i*, pasiva o activa;

asi: distancia del eje de cada una de las armaduras *i*, al paramento expuesto más próximo, considerando los revestimientos en las condiciones que mas adelante se establecen;

fyki: resistencia característica del acero de las armaduras *i*.;

Δasi: corrección debida a las diferentes temperaturas críticas del acero y a las condiciones particulares de exposición al fuego, conforme a los valores de la tabla C.1.

Tabla C.1. Valores de Δa_{si} (mm)

μ_{fi}	Acero de armar		Acero de pretensar			
	Vigas[1] y losas (forjados)	Resto de los casos	Vigas[1] y losas (forjados)		Resto de los casos	
			Barras	Alambres	Barras	Alambres
≤ 0,4	+10	0	0	-5	-10	-15
0,5	+5		-5	-10		
0,6	0		-10	-15		

Ilustración 4-36

(1) En el caso de armaduras situadas en las esquinas de vigas con una sola capa de armadura se reducirán los valores de Δasi en 10 mm, cuando el ancho de las mismas sea inferior a los valores de **bmin** especificados en la columna 3 de la tabla C.3.

μfi :el coeficiente de sobredimensionado de la sección en estudio, definido en el apartado 6 del SI6, el coeficiente que habremos aplicado en el cálculo de la estructura.. Las correcciones para valores de μfi inferiores a 0,6 en vigas, losas y forjados, sólo podrán considerarse cuando dichos elementos estén sometidos a cargas distribuidas de forma sensiblemente uniforme. Para valores intermedios se puede interpolar linealmente.

Necesitaremos la **bmin** en este caso de los nervios asimilándolos a las vigas, en el caso que ésta sea de ancho variable, que sería el siguiente:

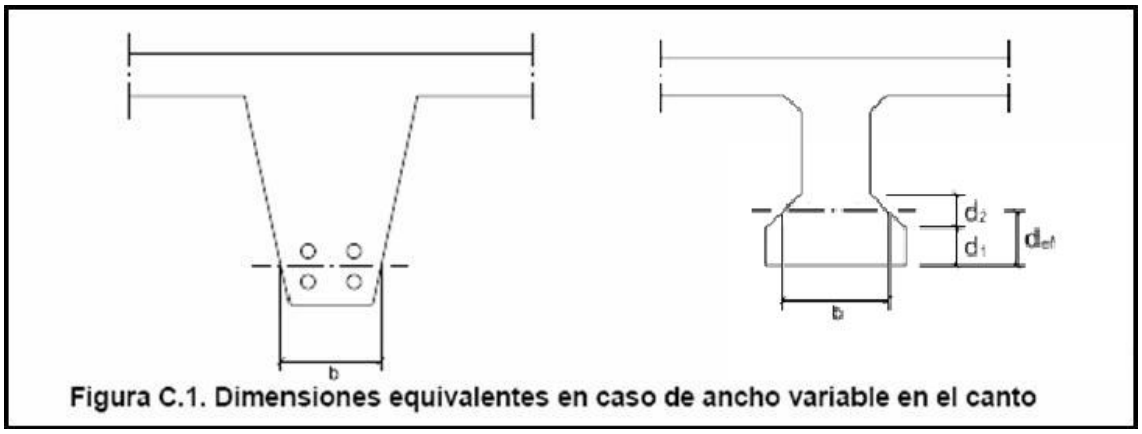


Figura C.1. Dimensiones equivalentes en caso de ancho variable en el canto

Ilustración 4-37

Se considera como anchura mínima b la que existe a la altura del centro de gravedad mecánico de la armadura traccionada en la zona expuesta, según se indica en la figura C.1.

En los forjados unidireccionales es muy común encontrar la forma de la derecha de la figura C.1. en este caso el ancho mínimo sería el indicado por **def** , coincidiendo con la fórmula **def= d1+0,5d2.**

En primer lugar miraremos el cálculo si nuestro forjado no dispone de casetones cerámicos o de hormigón, asimilamos el cálculo a las vigas con tres caras expuestas al fuego

Mediante los datos proporcionados y la distancia mínima equivalente (**am**) procederemos a entrar en la tabla C.3.

Tabla C.3. Vigas con tres caras expuestas al fuego(1)

Resistencia al fuego normalizado	Dimensión mínima $b_{mín}$ / Distancia mínima equivalente al eje a_m (mm)				Anchura mínima(2) del alma $b_{0,mín}$ (mm)
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	
R 30	80 / 20	120 / 15	200 / 10	-	80
R 60	100 / 30	150 / 25	200 / 20	-	100
R 90	150 / 40	200 / 35	250 / 30	400 / 25	100
R 120	200 / 50	250 / 45	300 / 40	500 / 35	120
R 180	300 / 75	350 / 65	400 / 60	600 / 50	140
R 240	400 / 75	500 / 70	700 / 60	-	160

(1) Los recubrimientos por exigencias de durabilidad pueden requerir valores superiores.
(2) Debe darse en una longitud igual a dos veces el canto de la viga, a cada lado de los elementos de sustentación de la viga.

Ilustración 4-38

Línea de resistencia al fuego, comprobamos la anchura mínima del alma.

A efectos constructivos debe tenerse en cuenta lo siguiente:

Para una resistencia al fuego R 90 o mayor, la armadura de negativos de vigas continuas se prolongará hasta el 33% de la longitud del tramo con una cuantía no inferior al 25% de la requerida en los extremos.

Si disponemos de elementos de entrevigado cerámicos o de hormigón, y la resistencia al fuego es ≤ a 120 asimilamos nuestro forjado a una losa maciza y entraríamos a la tabla C.4.

Tabla C.4. Losas macizas

Resistencia al fuego	Espesor mínimo h_{min}(mm)	Distancia mínima equivalente al eje a_m (mm) [1]		
		Flexión en una dirección	Flexión en dos direcciones	
			l_y/l_x [2] ≤ 1,5	1,5 < l_y/l_x [2] ≤ 2
REI 30	60	10	10	10
REI 60	80	20	10	20
REI 90	100	25	15	25
REI 120	120	35	20	30
REI 180	150	50	30	40
REI 240	175	60	50	50

[1] Los recubrimientos por exigencias de durabilidad pueden requerir valores superiores.
[2] l_x y l_y son las luces de la losa, siendo $l_y > l_x$.

Ilustración 4-39

Si el forjado tiene función de compartimentación de incendio deberá cumplir también con el espesor **hmin** establecido en la tabla.

4.2.3 Forjado reticular

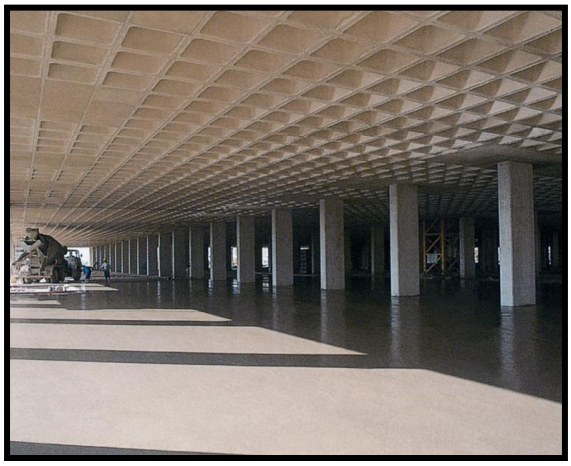


Ilustración 4-40

El Forjado reticular es un forjado de hormigón armado formado por nervios bidireccionales que soportan la carga, entre estos nervios se pueden poner casetones huecos, que quedan en el forjado o casetones recuperables, de manera que entre los nervios no hay nada. En este sistema se solucionan los encuentros estructurales mediante el macizando (dejando de poner casetones) únicamente las zonas de apoyos (pilares, zunchos …) .

Estructuralmente se pueden estudiar los forjados reticulares según las dos direcciones del armado y teniendo en cuenta las características principales de estos forjados que son:

-Canto total del forjado

Normalmente se expresa mediante la expresión *A+b*, siendo *A* la altura de los casetones y *b* la altura de la capa de compresión.

-Altura del casetón de aligeramiento o bloques aligerantes (*A*)

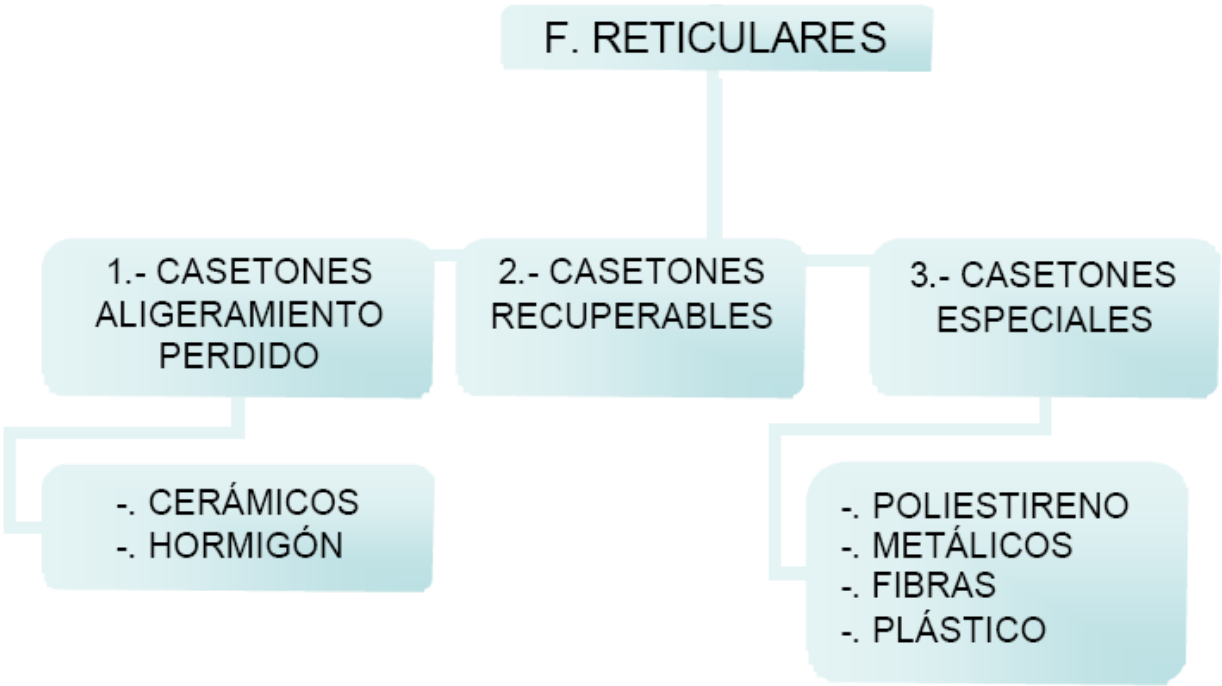
-Separación entre ejes de nervios

-Espesor básico de los nervios, aunque en los forjados reticulares de casetones recuperables tienen un alma de espesor variable.

-Espesor de la capa de compresión.

4.2.3.1 Topología

La tipología de los forjados reticulares varia en función del elemento aligerante



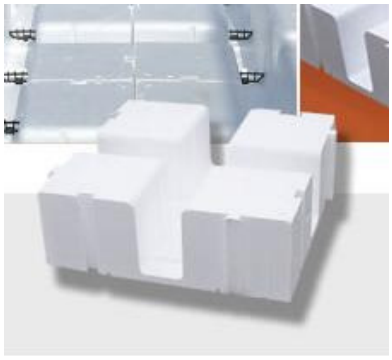


Ilustración 4-41

4.2.3.2 Ejecución

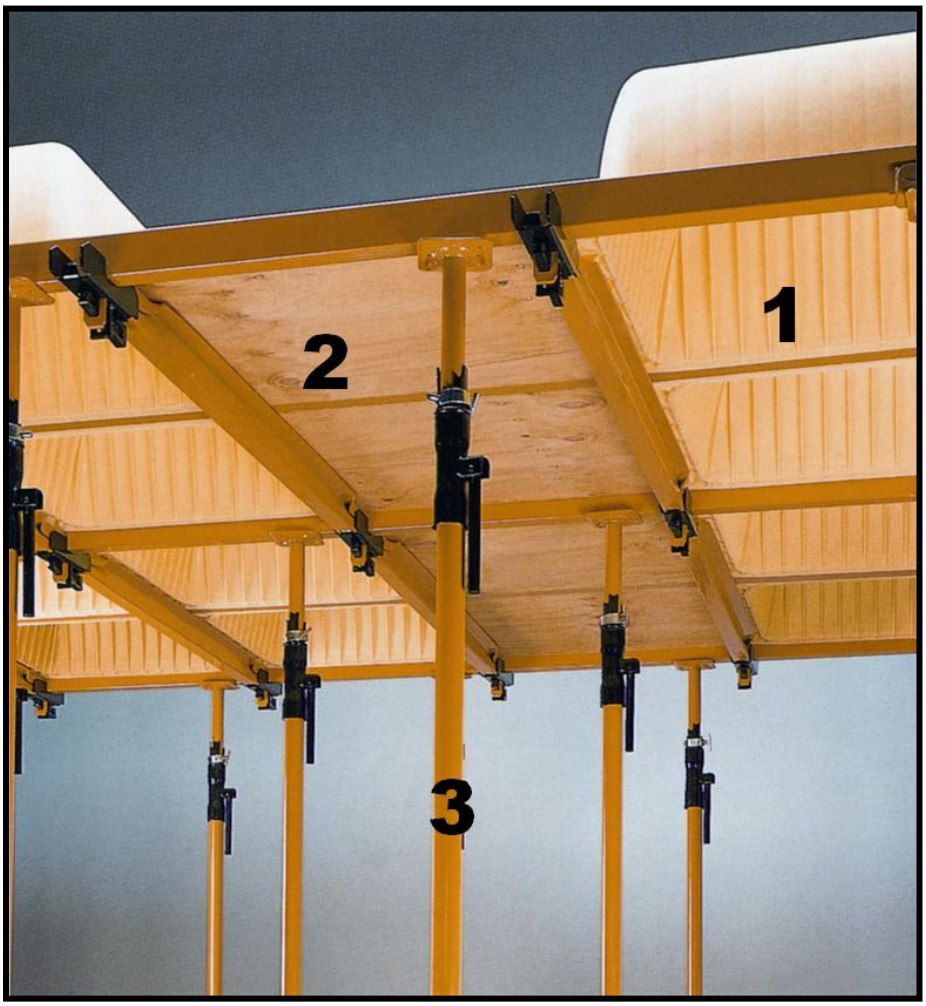
El sistema de ejecución cambia únicamente en el encofrado, en función de si utilizamos casetones recuperables o perdidos.

Bloques perdidos:

Se procede a ejecutar el encofrado horizontal convencional con puntales, tableros, sopandas…

Bloques recuperables:

Se procede a encofrar mediante un encofrado horizontal específico con cubetas recuperables y el encofrado tradicional en los macizados; una vez se proceda a desencofrar se obtendrán los casetones recuperables y se dispondrá al lavado para un posterior uso, repitiendo esta operación hasta que los casetones están suficientemente dañados para su reposición



1-Cubetas o bloques recuperables.

2-Encofrado horizontal de tableros.

3-Puntales

Ilustración 4-42

Una vez encofrado procederemos a la colocación de los casetones (si son recuperables ya van incluidos como hemos visto anteriormente) según planos teniendo en cuenta los elementos portantes como las vigas y riostras o los pilares en donde se dejará un macizado (zona sin casetones) para la resistencia al punzonamiento, así como recercados de huecos o la zona perimetral para el zuncho etc..

Forjado reticular de casetones recuperables

Ilustración 4-43

Forjado reticular de bloques perdidos.

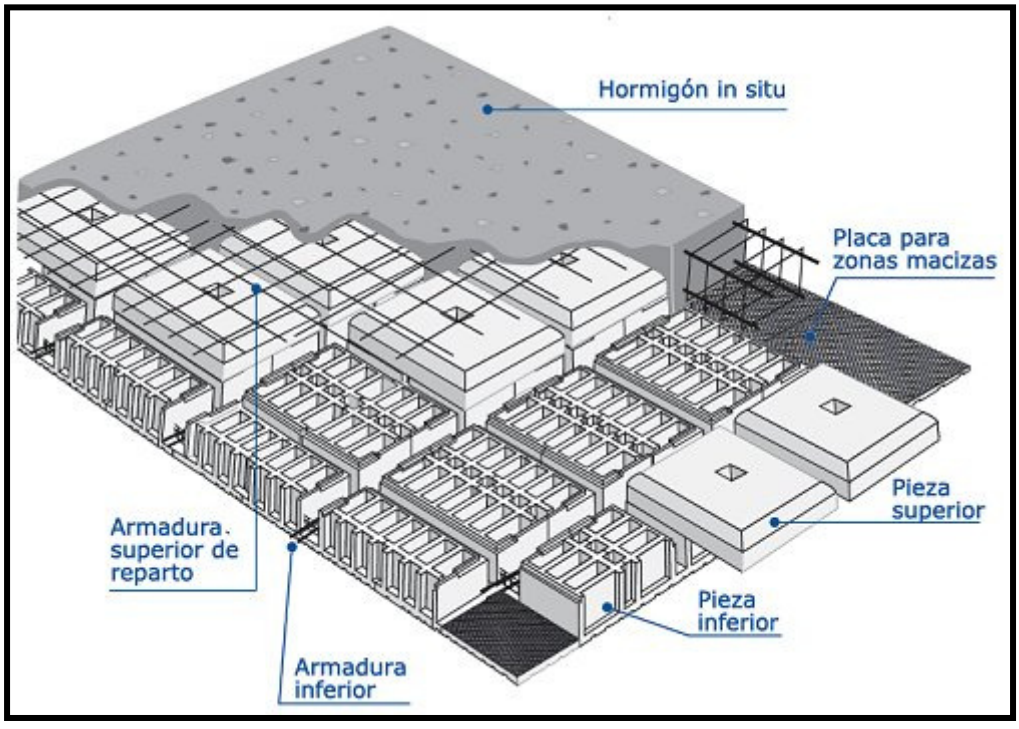


Ilustración 4-44

Una vez montado procedemos a colocar el acero necesario teniendo en cuenta los recubrimientos (mediante separadores o barras de acero que cumplan esa función). Finalmente procederemos al proceso de hormigonado del forjado.

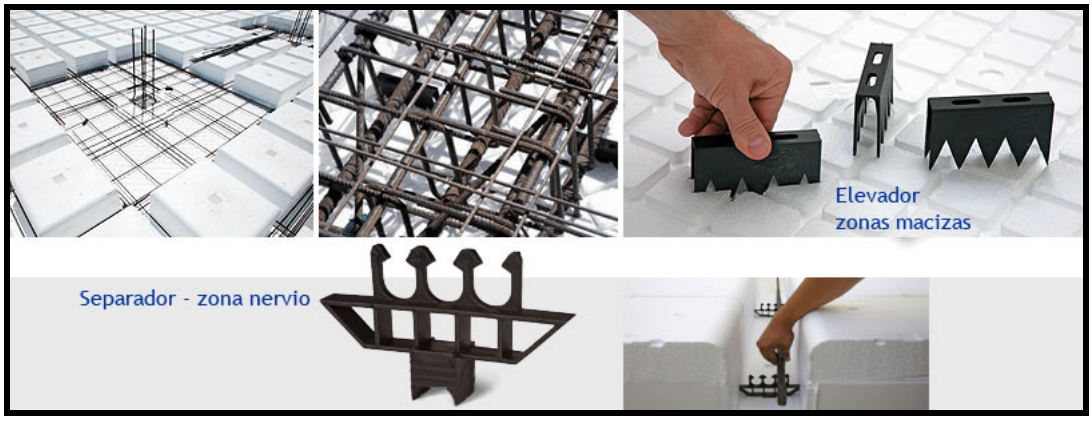


Ilustración 4-45

separadores de varios tipos en casetones especiales.

Ilustración 4-46

Ejemplo de forjado reticular con casetones recuperables con las armaduras puestas y a punto de hormigonar.

Ilustración 4-47

Ejemplo de forjado reticular con casetón perdido durante el hormigonado mediante bomba .Observamos tres operarios; uno vertiendo el hormigón, otro distribuyéndolo y un tercero vibrando.Foto: “nou hospital de reus”

4.2.3.3 RESISTENCIA AL FUEGO

En este caso el cálculo de la resistencia al fuego es diferente según si hablamos de casetones recuperables o disponemos de elementos de entrevigado cerámicos o de hormigón. En cualquiera de los casos empezaremos calculando la distancia mínima equivalente (**am**) :

$$a_m = \frac{\sum \left[A_{si} f_{yki} (a_{si} + \Delta a_{si}) \right]}{\sum A_{si} f_{yki}}$$

Ilustración 4-48

Asi: área de cada una de las armaduras *i*, pasiva o activa;

asi: distancia del eje de cada una de las armaduras *i*, al paramento expuesto más próximo, considerando los revestimientos en las condiciones que mas adelante se establecen;

fyki: resistencia característica del acero de las armaduras *i*.;

Δasi: corrección debida a las diferentes temperaturas críticas del acero y a las condiciones particulares de exposición al fuego, conforme a los valores de la tabla C.1.

Tabla C.1. Valores de Δa_{si} (mm)

μ_{fi}	Acero de armar		Acero de pretensar			
	Vigas[1] y losas (forjados)	Resto de los casos	Vigas[1] y losas (forjados)		Resto de los casos	
			Barras	Alambres	Barras	Alambres
≤0,4	+10	0	0	-5	-10	-15
0,5	+5		-5	-10		
0,6	0		-10	-15		

Ilustración 4-49

(1) En el caso de armaduras situadas en las esquinas de vigas con una sola capa de armadura se reducirán los valores de Δasi en 10 mm, cuando el ancho de las mismas sea inferior a los valores de **bmin** especificados en la columna 3 de la tabla C.3.

μfi :el coeficiente de sobredimensionado de la sección en estudio, definido en el apartado 6 del SI6, el coeficiente que habremos aplicado en el cálculo de la estructura.. Las correcciones para valores de μfi inferiores a 0,6 en vigas, losas y forjados, sólo podrán considerarse cuando dichos elementos estén sometidos a cargas distribuidas de forma sensiblemente uniforme. Para valores intermedios se puede interpolar linealmente.

Necesitaremos la **bmin** en este caso de los nervios asimilándolos a las vigas, en el caso que ésta sea de ancho variable, que sería el siguiente:

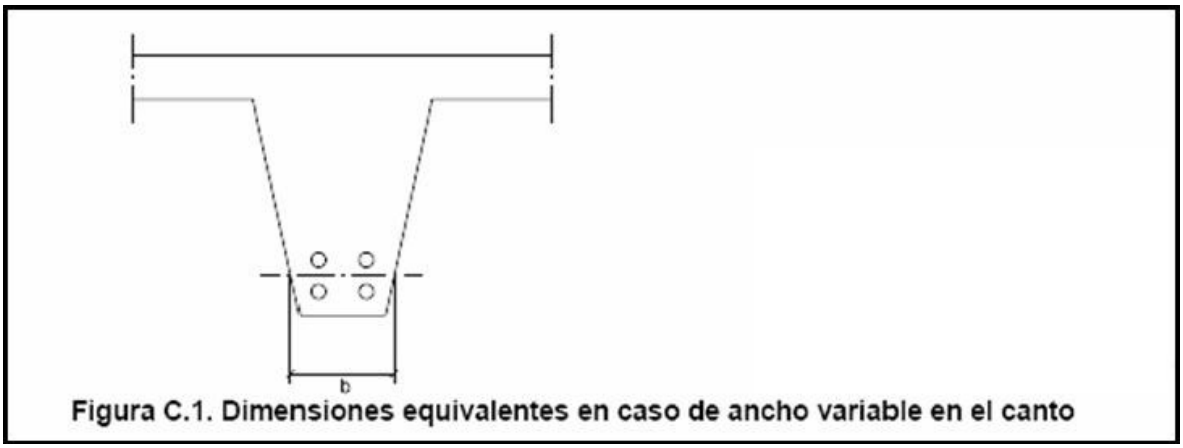


Figura C.1. Dimensiones equivalentes en caso de ancho variable en el canto

Ilustración 4-50

Se considera como anchura mínima b la que existe a la altura del centro de gravedad mecánico de la armadura traccionada en la zona expuesta, según se indica en la figura C.1.

Con estos datos pasamos a entrar en la tabla C.5 del CTE.

Tabla C.5 Forjados bidireccionales con casetones recuperables

Resistencia al fuego	Anchura de nervio mínimo $b_{mín}$ / Distancia mínima equivalente al eje a_m [(1)] (mm)			Espesor mínimo h_{min} (mm)
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	
REI 30	80 / 20	120 / 15	200 / 10	60
REI 60	100 /30	150 / 25	200 / 20	70
REI 90	120 / 40	200 / 30	250 / 25	80
REI 120	160 / 50	250 / 40	300 / 35	100
REI 180	200 / 70	300 / 60	400 / 55	120
REI 240	250 / 90	350 / 75	500 / 70	150

(1) Los recubrimientos por exigencias de durabilidad pueden requerir valores superiores.

Ilustración 4-51

En el caso de disponer de elementos de entrevigado cerámicos o de hormigón y revestimiento inferior, para resistencia al fuego R 120 o menor bastará con que se cumpla el valor de la distancia mínima equivalente al eje de las armaduras establecidos para losas macizas.

Si el forjado tiene función de compartimentación de incendio deberá cumplir también con el espesor **hmin** establecido en la tabla.

Tabla C.4. Losas macizas

Resistencia al fuego	Espesor mínimo h_{min}(mm)	Distancia mínima equivalente al eje a_m (mm) [(1)]		
		Flexión en una dirección	Flexión en dos direcciones	
			l_y/l_x [(2)] $\leq 1,5$	$1,5 < l_y/l_x$ [(2)] ≤ 2
REI 30	60	10	10	10
REI 60	80	20	10	20
REI 90	100	25	15	25
REI 120	120	35	20	30
REI 180	150	50	30	40
REI 240	175	60	50	50

(1) Los recubrimientos por exigencias de durabilidad pueden requerir valores superiores.
(2) l_x y l_y son las luces de la losa, siendo $l_y > l_x$.

Ilustración 4-52

4.2.2 Forjado de chapa colaborante

Ilustración 4-53

El forjado de chapa colaborante también conocido como mixto está formado básicamente por un perfil de chapa grecada de acero sobre el que se vierte el hormigón y un mallazo de reparto con el fin de evitar la fisuración por los efectos de retracción o temperatura. La forma de greca de las chapas mejora la adhesión de éstas al hormigón.

El perfil colaborante es capaz de soportar el hormigón vertido, la armadura metálica y las cargas de ejecución. Una vez fraguado el hormigón, ambos materiales quedan interconectados de manera que los esfuerzos rasantes son absorbidos. El hormigón es vertido sobre la chapa nervada comportándose como un forjado unidireccional en donde la armadura necesaria que trabaja a tracción para soportar los momentos positivos es la propia chapa, colaborando el hormigón como bloque comprimido.

La sección de hormigón se ve complementada en la parte superior con un mallazo como armadura para repartir cargas y absorber esfuerzos de retracción y temperatura. En las zonas de momentos negativos es preciso incorporar, normalmente, la armadura necesaria en barras corrugadas, pudiendo o no, si hay continuidad considerar a la chapa dentro del bloque comprimido.

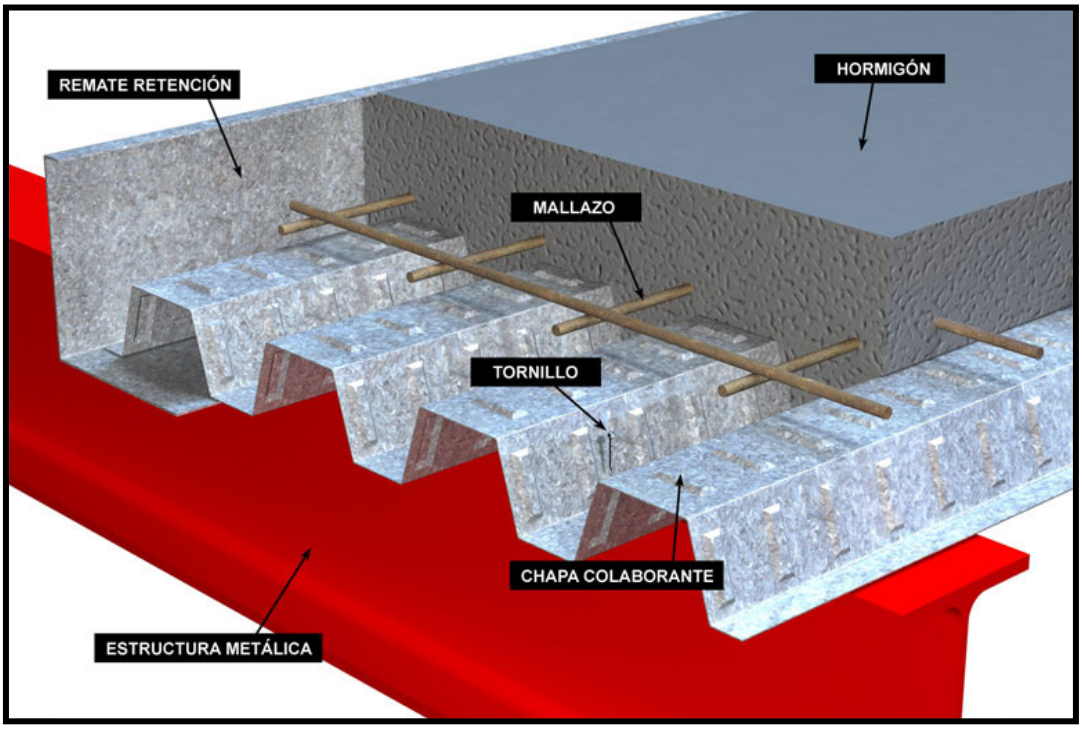


Ilustración 4-54

La chapa grecada es la parte fundamental del forjado de chapa colaborante, existe una gran variedad de chapas grecadas en el mercado diferenciadas por la forma, el canto, la separación de las grecas, el ancho y las hendiduras. Las hendiduras, indentaciones o embuticiones cumplen la función de las corrugas en las barras corrugadas, por tanto, aumentan la adherencia entre el acero y el hormigón, influyendo el tamaño, la posición, el ángulo, la longitud y la orientación de éstas.

Fotos donde se observan diversas hendiduras.

Ilustración 4-55

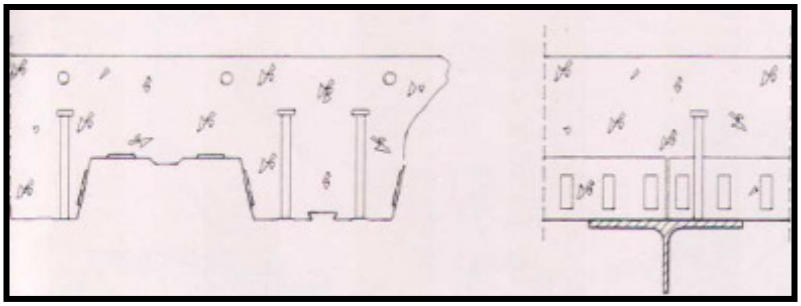
Otros elementos que podemos encontrar en un forjado de chapa colaborante son los elementos de fijación a la estructura existente, para evitar el desplazamiento bajo la acción del viento o durante la fase de hormigonado. Normalmente se suele hacer mediante tornillos, tiros o clavos y conectores.

Para la fijación el método más utilizado son los tiros, ya que son de ejecución más rápida, mediante una pistola de aire comprimido.

Ilustración 4-56

Pistola para la fijación de clavos

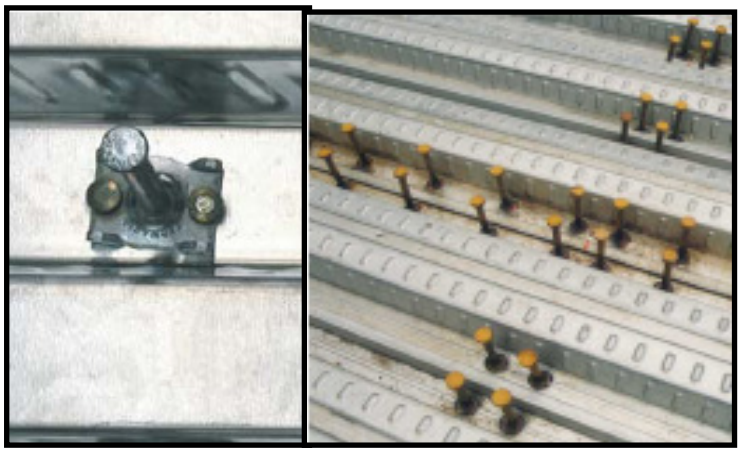
El uso de conectores permite constituir la 'viga mixta' y optimizar así la estructura soporte. Tienen por objetivo transmitir los esfuerzos entre la losa y la estructura permitiendo que trabajen conjuntamente.



Detalle de conectores unidos a viga

Ilustración 4-57

Los conectores pueden ir soldados o fijados mediante clavos



Fotos de conectores fijados mediante clavos (izquierda) y soldados (derecha)

Ilustración 4-58

Las funciones que cumplen los forjados de chapa grecada son múltiples, ya sea; durante el montaje, el hormigonado o el acabado:

- Durante el montaje:

Montaje y acopio: Dado el peso de la chapa, resulta de montaje relativamente fácil por personal especializado, y gracias a la forma resulta de fácil acopio.

Arriostramiento de la estructura: una vez montado, arriostra todo el sistema estructural que, normalmente suele mediante perfileria metálica.

Plataforma de trabajo: Cuando está finalmente montado y arriostrado, sirve de plataforma de trabajo segura tanto para el montaje del hierro como para acopio de materiales ligeros.

Apuntalamiento: En la mayoría de los casos no es necesario apuntalar, por lo cual, facilita el montaje, el paso de personas y el acopio.

- Durante el hormigonado:

Encofrado: La chapa grecada cumple la función de encofrado perdido, facilitando también el vertido del hormigón.

Apuntalamiento: Durante el hormigonado, en la mayoría de los casos no es necesario apuntalar.

Remates: Existen multitud de remates comercializados, tanto perimetrales, como específicos para soluciones concretas.

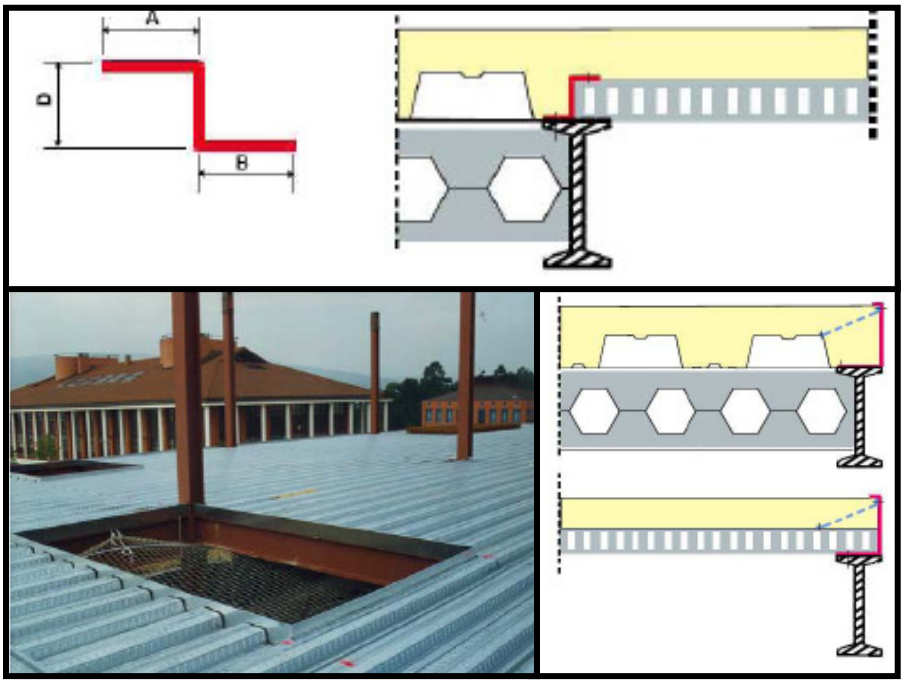


Foto y detalles de remates de chapa

Ilustración 4-59

- Acabado:

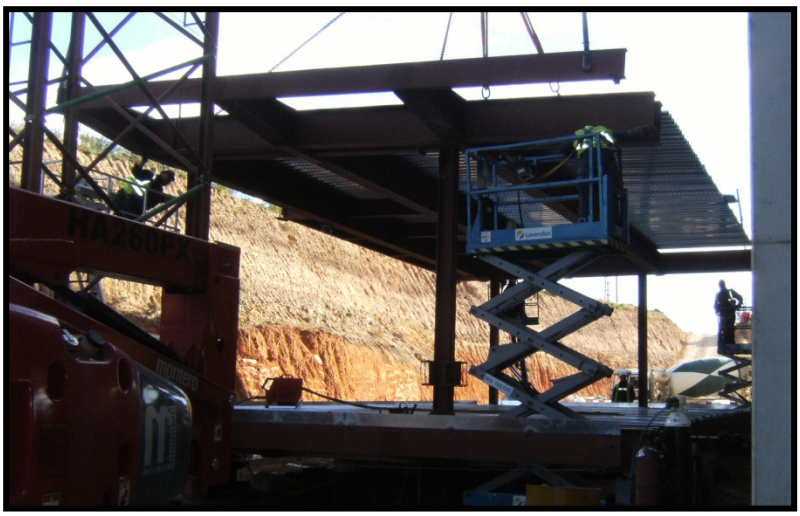
Grosor: Debido a la reducción de grosor con respecto a los forjados tradicionales logramos una altura total menor

Instalaciones: Debido a la forma grecada 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.

4.2.4.1 Ejecución

Una vez acabada la estructura donde irá apoyada la chapa procedemos al montaje de ésta mediante el izado de las chapas y el montaje respetando el orden de montaje indicado en los planos que, por lo general se inicia partiendo de una esquina del edificio.

Deben utilizarse plataformas iniciales en el principio del montaje para colocar las primeras chapas, después ya se utilizan éstas para continuar montando. En caso de que fuera necesario se apuntala. Se coloca cada plancha en su posición y se fija antes de continuar con la siguiente solapando los nervios laterales. A medida que se vaya avanzando se van fijando las chapas a la estructura mediante los tiros, tornillos o conectores a manera de ir asegurando el espacio de trabajo.



Montaje de forjado de chapa colaborante.
Foto: voladizo hospitalización "nou hospital de reus"

Ilustración 4-60

Ya sea durante la colocación de la chapa o cuando se finaliza, se procede a colocar todos los remates, tanto perimetrales como específicos.

A continuación se colocan las armaduras y seguidamente el mallazo, cuidando el modo de orientar la cuadrícula y finalmente se colocan las armaduras de negativos. Previo al hormigonado, se riega toda la superficie luego se efectúa el vertido y se realiza el vibrado, teniendo en cuenta que la altura de vertido no sea superior a 1m.

Foto de hormigonado de forjado de chapa colaborante.

Finalmente se efectúa el acabado del forjado , ya sea, mediante regleado, fratasado…

4.2.4.2 Resistencia al fuego

Dada la inexistencia de una normativa estatal específica para el cálculo de este tipo de forjado, la justificación de cálculo se basa en el libro "Guía para la comprobación de la resistencia al fuego de estructuras", editado por ASCEM (Asociación para la Construcción de Estructuras Metálicas) y avalado y reconocido por la Generalitat de Cataluña.

Los estudios de cálculo de la guía se han realizado siguiendo los parámetros de cálculo y comprobación establecidos principalmente por la norma experimental ENV1994-1-2 que recoge el Eurocódigo 4 Parte 1-2 (versión AENOR 1996) y otras publicaciones y normativas de diferentes países.

En esta guía y concretamente en el capítulo 5. Cálculo estructural, es donde se hace referencia al cálculo y comprobación de este tipo de forjados.

En éste caso el cálculo se realiza para ajustar la resistencia al fuego de un forjado proyectado mediante la aportación de refuerzos en éste.

Los forjados de chapa colaborante están diseñados con una cuantía mínima de armadura de reparto (normalmente en forma de mallas electrosoldadas), colocada en toda la superficie del forjado para contrarrestar los efectos de la fisuración y retracción en el proceso de secado y para distribuir pequeñas cargas localizadas.

En el caso de losas continuas añaden armaduras en la parte superior del forjado, en las zonas de apoyos intermedios para absorber los momentos negativos que se producen. Ambas armaduras contribuyen de manera positiva a la resistencia al fuego.

En una situación normal, a temperatura ambiente, los esfuerzos de tracción en las zonas de momentos positivos son absorbidos por la chapa metálica, por lo cual, el aumento de temperatura en caso de incendio disminuirá rápidamente sus propiedades mecánicas.

La colocación de armaduras adicionales al centro de los nervios proporcionará un aumento de la resistencia en situación de incendio. La Resistencia al fuego depende de las cantidades de las diferentes armaduras y de su ubicación. El recubrimiento mínimo de las armaduras a ser suficiente para garantizar que la temperatura no alcance valores del orden de 500 º C en pequeños períodos de exposición al incendio.

La armadura colocada en los nervios del forjado sólo contribuye a aumentar la resistencia al fuego con respecto al criterio de resistencia

Nuestro objetivo es el cálculo de la resistencia al fuego de forjados existentes, por lo tanto, en el estudio de éstos no es posible hacer un cálculo inverso, dado que, los refuerzos encontrados pueden ser los de cálculo o en algún caso no encontrarse refuerzos positivos debido a que la chapa ya absorbe las solicitaciones de cálculo de resistencia al fuego.

Realizaremos el cálculo en función del *grosor eficaz mínimo (*heff*)*, dado que es el concepto ms restrictivo y de un cálculo relativamente sencillo.

El primer paso es la obtención de todos los datos necesarios para el cálculo del **heff** mediante las figuras siguientes que representan una sección transversal del forjado.

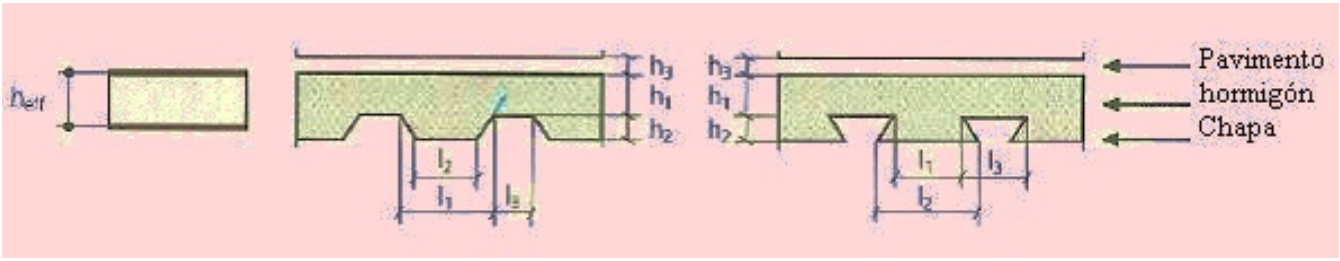


Ilustración 4-61

Figura 5.4.11 Dimensiones de la sección de forjado de la "Guía para la comprobación de la resistencia al fuego de estructuras"

Con los datos obtenidos calcularemos el h_{eff} mediante las funciones siguientes:

$h_{eff} = h_1 + 0.5\ h_2\ ((l_1+l_2)/(l_1+l_3))$ si $h_2/h_1 \leq 1{,}5$ i $h_1 > 40$mm.;

$h_{eff} = h_1 \times (1+0.75\ ((l_1+l2)/(l_1+l_3)))$ si $h_2/h_1 > 1{,}5$ i $h_1 > 40$mm.

En el caso de que $l_3 > 2l_1$ debe de utilizarse $h_{eff}=h_1$.

El parámetro h3 se refiere a la altura de pavimento, pero a modo de cálculo no debe ser un valor superior a 20 mm.

En la guía disponemos de la siguiente tabla:

Resistencia al fuego normalizado	Grosor eficaz mínimo (mm)
R30	**Heff = 60 - h_3**
R60	**Heff = 80 - h_3**
R90	**Heff = 100 - h_3**
R120	**Heff = 120 - h_3**
R180	**Heff = 150 - h_3**
R240	**Heff = 175 - h_3**

Tabla 5.4.1 Grosores eficaces mínimos de la "Guía para la comprobación de la resistencia al fuego de estructuras"

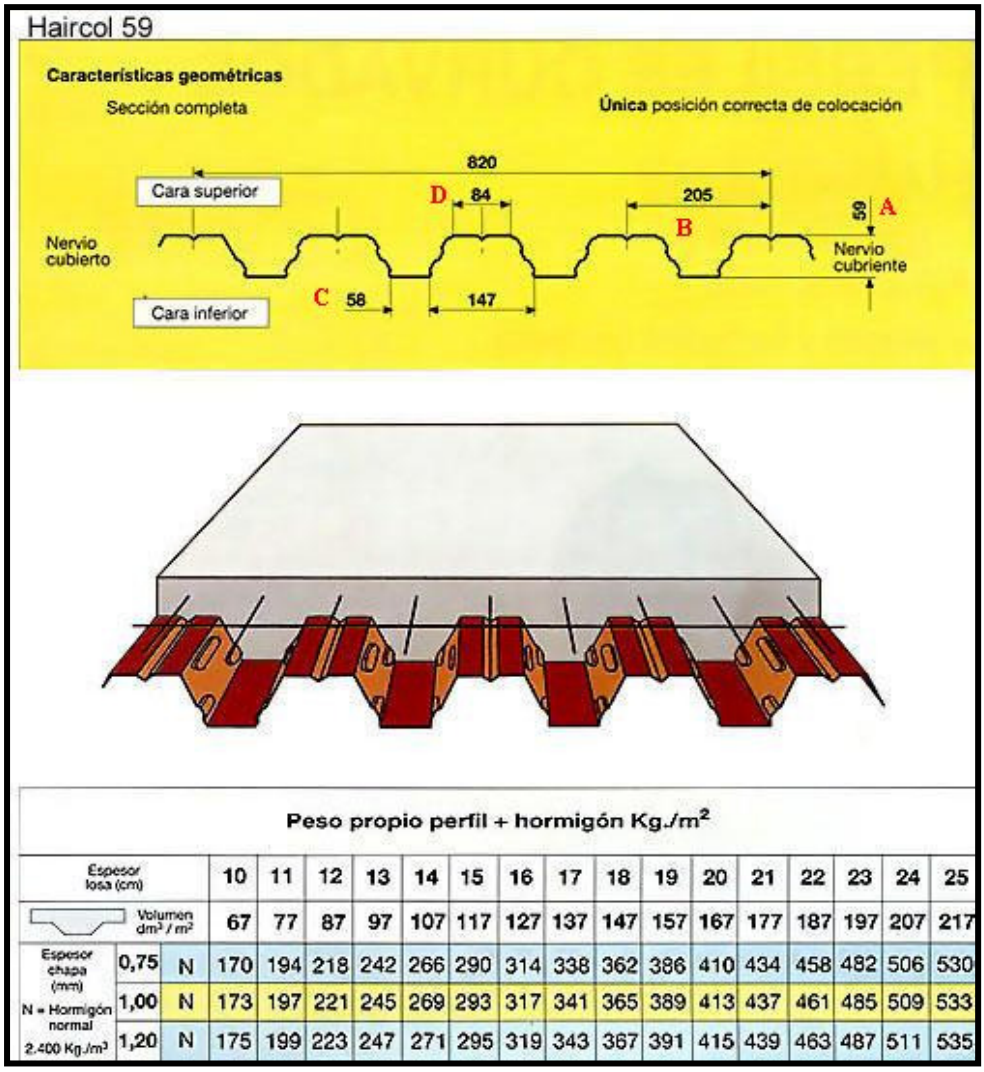
Que modificaremos de la siguiente manera para el cálculo inverso:

Resistencia al fuego normalizado	Grosor eficaz mínimo (mm)
R30	**Heff + $h_3 \geq 60$**
R60	**Heff + $h_3 \geq 80$**
R90	**Heff + $h_3 \geq 100$**
R120	**Heff + $h_3 \geq 120$**
R180	**Heff + $h_3 \geq 150$**
R240	**Heff + $h_3 \geq 175$**

Por lo tanto, substituyendo las incógnitas, encontraremos el intervalo de la tabla con lo que hallaremos la resistencia al fuego.

4.2.4.3 Ejemplo práctico

Procederemos a realizar un ejemplo de aplicación basándonos en un perfil de chapa comercial:



Peso propio perfil + hormigón Kg./m²

Espesor losa (cm)			10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Volumen dm³ / m²			67	77	87	97	107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	217
Espesor chapa (mm) N = Hormigón normal 2.400 Kg./m³	0,75	N	170	194	218	242	266	290	314	338	362	386	410	434	458	482	506	530
	1,00	N	173	197	221	245	269	293	317	341	365	389	413	437	461	485	509	533
	1,20	N	175	199	223	247	271	295	319	343	367	391	415	439	463	487	511	535

Canto del forjado = **14 cm**

Grueso pavimento = **4 cm**

Ilustración 4-62

En primer lugar procederemos a recopilar los datos necesarios:

h_1= 140 mm del Canto del forjado – (punto A) 59 mm = 81 mm.

h_2 = (punto A) = 59 mm.

h_3 = 40 mm. Como hemos mencionado anteriormente el valor máximo de h3 para el cálculo es de **20 mm.**

l_1 = (punto B) 205 mm - (punto D) = 121 mm.

l_2 = (punto C) 58 mm.

l_3= (punto D) 84 mm.

Comprobamos la ecuación a utilizar:

h_2/ h_1 = 59 mm/ 81 mm = 0.72; por tanto **h_2/ h_1≤ 1,5.** Utilizaremos la siguiente función:

heff = h_1 + 0.5 h_2 ((l_1+l_2)/ (l_1+l_3)) ;

heff = 81 + 0.5*59 ((121+58)/ (121+84))

heff = 106.66 mm.

Una vez calculada La altura equivalente utilizamos la fórmula:

Heff + h_3 = 106.66 mm + 20 mm = 126.66 mm.

Por tanto cumplimos:

126.66 ≥ 120.

Consultamos la tabla:

Resistencia al fuego normalizado	Grosor eficaz mínimo (mm)
R30	**Heff + h_3 ≥ 60**
R60	**Heff + h_3 ≥ 80**
R90	**Heff + h_3 ≥ 100**
R120	**Heff + h_3 ≥ 120**
R180	**Heff + h_3 ≥ 150**
R240	**Heff + h_3 ≥ 175**

Tenemos una **R 120.**

4.3 Revestimientos

En muchos casos para cumplir con las especificaciones de protección contra el fuego, es necesárea la contribución de alguno o diversos revestimientos de los forjados. A continuación enumeramos varios de éstos revestimientos.

4.3.1 Mortero de yeso

Mortero de Yeso es aquel elaborado a base de yeso, arena y agua. Es menos resistente que otros morteros pero endurece rápidamente y tiene una gran capacidad de absorción de agua.

En el DB-SI del código técnico, se establece el mortero de yeso como capa protectora de forjados de hormigón, siendo el aporte equivalente a espesor adicional de hormigón en el cálculo de la resisténcia al fuego de éste. Sólo se utilizará para aportaciones de resistencia al fuego menores de R120, siendo su grosor equivalente a 1,8 veces el espesor del hormigón. Para valores superiores a R120 la utilización de revestimiento de mortero de yeso para la protección pasiva contra incendios debe justificarse mediante ensayo.

4.3.2 Mortero de perlita y vermiculita

La perlita es una roca volcánica y vítrea, que contiene agua en el interior de su molécula, para su ejecución debe ser triturada y debe pasar por un proceso de expansión a una temperatura de 1200 ºC donde sigue conservando todas sus propiedades iniciales; no toxicidad, incombustible y ligereza.

Para su uso en la protección pasiva contra el fuego, el mortero de perlita está compuesto por áridos ligeros de perlita y vermiculita, ligantes hidráulicos, controladores de endurecimiento y material rodante de proyección.

Se aplica como el mortero proyectado, mediante una máquina mezcladora automática de proyección con bomba. Una vez proyectado, tiene un aspecto de color blanco marfil y tacto rugoso, y puede ser pintado posteriormente del color que se elija con pintura plástica o acrílica. Incluso se puede alisar con yeso y una lana.

En la protección de forjados de hormigón, la asociación a éste puede adquirir hasta una R-180, dependiendo del grosor de la proyección de este.

Ejemplo de proyección de mortero de perlita vermiculita en forjado de losa maciza.

Ilustración 4-63

4.3.3 Mortero de lana de roca

Es similar tanto en el uso como en la puesta en obra con el mortero de perlita vermiculita, se trata de un mortero mortero compuesto de lanas minerales y aglomerados hidráulicos inorgánicos.

Está exento de amianto y de productos nocivos, está formado por copos ligeros de color grisaceo. Es imputrescible e inatacable por roedores o parásitos. Es aplicable sobre gran número de superficies y formas arquitectónicas. Una vez aplicado puede pintarse.

En asociación con forjados de hormigón puede tener una resistencia al fuego de 240 minutos.

4.3.4 Paneles rígidos

En aplicaciones específicas de protección pasiva contra el fuego o de manera que el revestimiento sea de un buen acabado se recurre a los paneles rígidos, a modo de revestimiento directo o falso techo.

Existen dos tipos de paneles rígidos:

Panel de fibrosilicatos

Son paneles compuestos por silicatos cálcicos, reforzados con fibras inorgánicas resistentes al fuego. Estos paneles durante el proceso de fabricación se someten a tratamiento a alta temperatura, lo que les da una excelente estabilidad dimensional ante el fuego. Mecánicamente su comportamiento es muy bueno: por esta razón su instalación en obra puede realizarse mediante grapas, tornillos o clavos sin ningún problema.Son de acabado liso de color blanco marfil y el panel se puede pintar directamente para integrarlo en la estética del edificio.

Panel de cartón/yeso

Son paneles compuestos por un alma de yeso especial recubierta de láminas de fibra de vidrio incombustible, lo que les da una alta rigidez en su conjunto y los hace adecuados para aplicaciones a cualquier altura, són de acabado liso de color blanco. Los acabados con pinturas, alicatados o otros revestimientos no alteran su incombustibilidad.

Los paneles rígidos pueden llegar, en asociación a forjados de hormigón a una REI-180.

4.3.5 Pintura ablativa

La estabilidad ante el fuego de las estructuras de hormigón se obtiene mediante la limitación de la temperatura de los aceros y las armaduras que hay en el interior del hormigón. Para tener unos comportamientos correctos ante un fuego los aceros deberían tener unas distancias mínimas de 40 mm de la superficie, pero en la práctica en la mayoría de las obras están sólo recubiertos por unos 25 mm de hormigón.

Para que el acero no llegue a una temperatura crítica, es necesaria una protección posterior aplicando una capa protectora con productos contra el fuego para compensar la pérdida de resistencia al fuego provocada por los aceros más superficiales. Así evitamos el colapso prematuro de la estructura.

Podemos tratar los hormigones con aplicaciones de protección pasiva contra el fuego mediante morteros o mediante revestimientos cerámicos ablativos en forma de pasta fluida, aplicando esta mediante pistola de aire, dando un acabado similar a la pintura común.

En función del forjado en que se aplique obtenemos los siguientes resultados:

Forjados unidireccionales con bovedilla: hasta REI-120

Forjados reticulares: hasta R-240

Losa de hormigón: hasta REI-240

4.3.6 Nuevos materiales

Dadas las necesidades actuales de soluciones técnicas para los requerimientos de protección contra el fuego, se han desarrollado investigaciones con nuevos materiales. Haremos referència a un PFC de la EPSEB, en el cual, se investiga el comportamiento de revestimientos existentes en combinación de subproductos Industriales.

Los subproductos Industriales utilizados son Hidrato y Estéril de flotación, designados como (H) y (EF); El hidróxido de magnesio descompone entre 300ºC y 400ºC produciendo estos subproductos

Hidrato (H): Es un subproducto constituido principalmente por $Mg(OH)_2$, resultante de la atemperación con agua y almacenamiento a la intemperie de los polvos de ciclones recogidos en el sistema de depuración de los gases de combustión de la magnesita natural. Durante la atemperación con agua, el óxido de magnesio se hidrata dando lugar al Hidróxido, mientras que en el período de almacenamiento en la intemperie, el hidróxido cálcico reacciona con el CO_2 atmosférico, dando lugar al carbonato cálcico.

Estériles de flotación (EF): Es un subproducto de bajo contenido en magnesio formado principalmente por magnesita -$MgCO_3$- y dolomita -$MgCa(CO_3)_2$-. Se genera durante el proceso de flotación de la magnesita natural para el enriquecimiento de la misma antes de ser alimentada a los hornos de calcinación.

Para comprobar la idonieidad de estos subproductos se realizaron diversos ensayos el ensayos en el laboratorio del fuego de la EPSEB. Los ensayos han sido realizados mediante la técnica del DSC (calorimetría diferencial de barrido), que simplificando, se basa en la aplicación de calor en dos platos, uno de ellos con la muestra a analizar y el otro vacio; se calientan por igual, y la energía adicional necesárea para calentar el plato con la muestra es la que se grafía mediante un sistema de control (un ordenador). Con la gráfica resultante comprobamos las reacciones térmicas que se producen en el material.

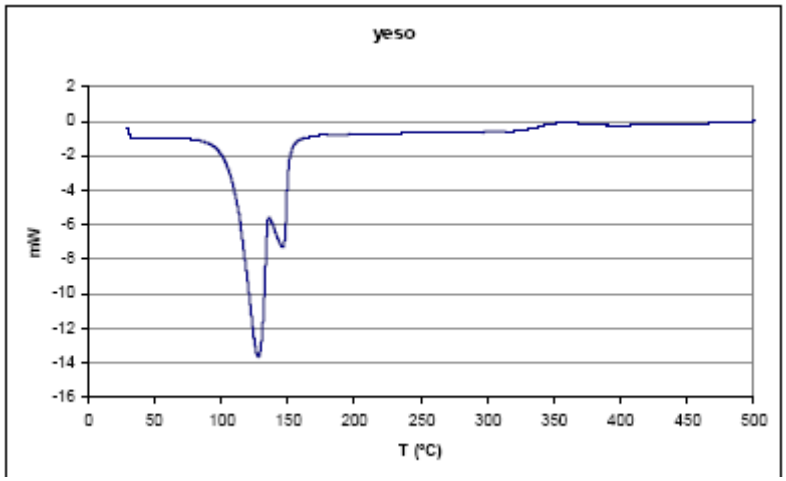
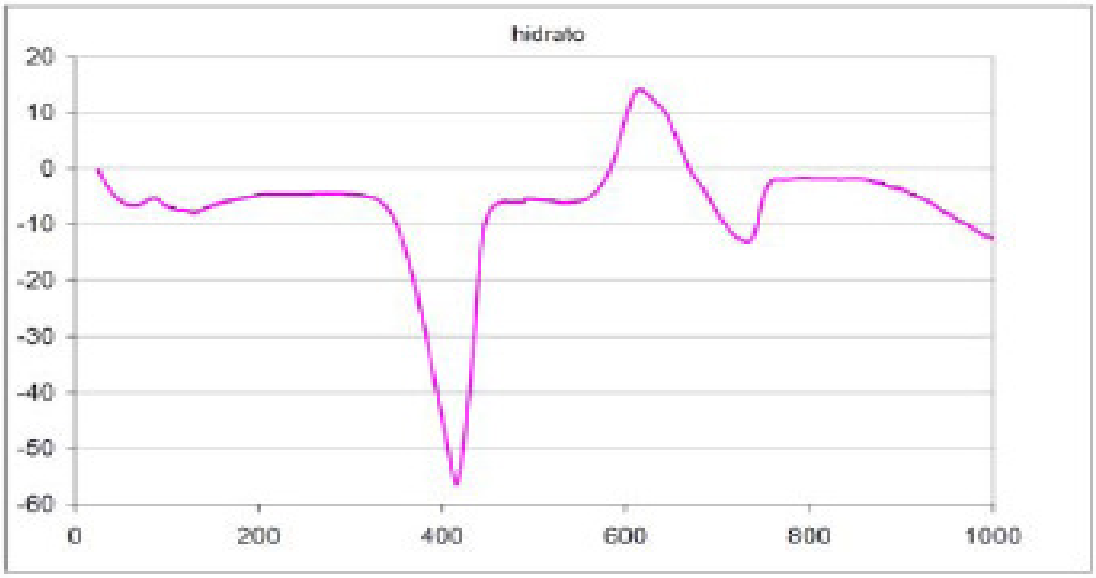


Ilustración 4-64

Grafica del DSC del yeso.

En las gráficas obtenidas observamos en el eje X, la temperatura por unidad de tiempo y, en el eje Y, la diferéncia de energia necessària para lograr la temperatura deseada. Las gráficas nos muestran las reacciones obtenidas siendo un pico hacia abajo, una reaccion endotèrmica (que absorve calor), y un pico hacia arriba reacción exotèrmica (produce calor).

DSC de hidrato y estèril:



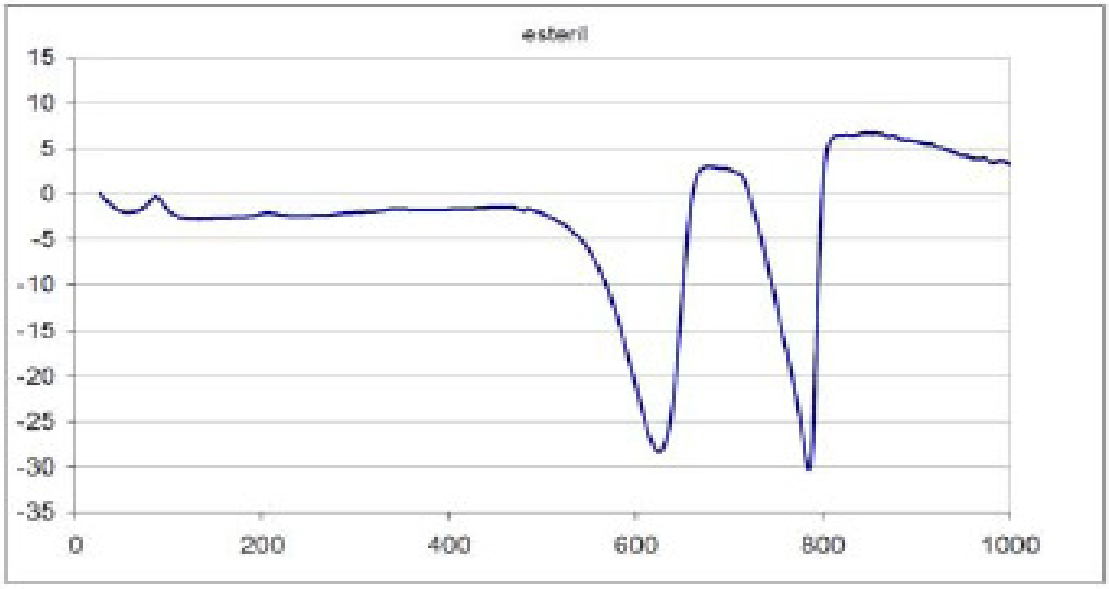


Ilustración 4-65

A continuación mostramos las gráficas correspondientes a los ensayos realizados:

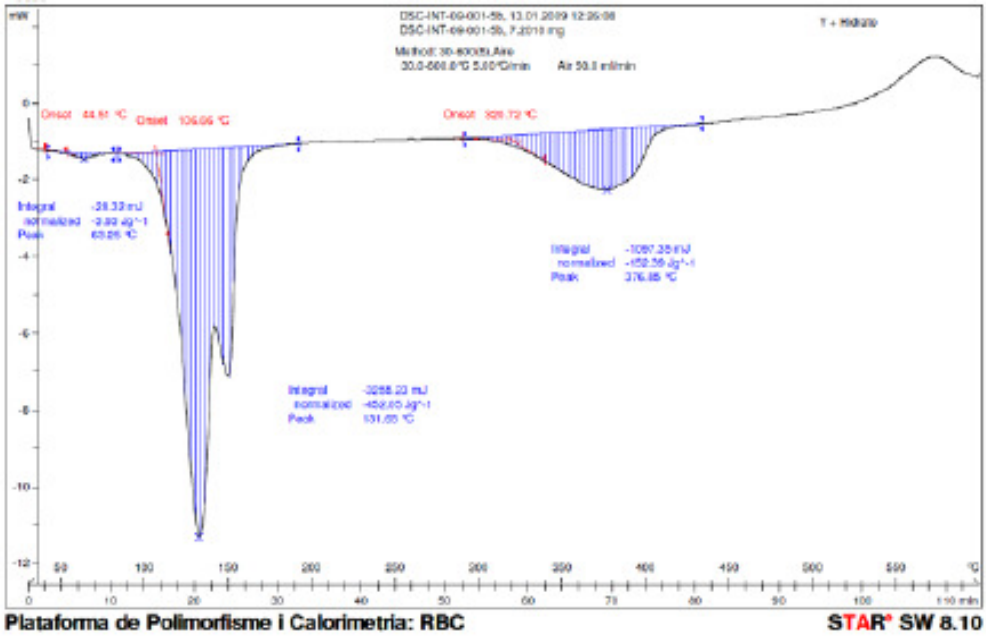


Ilustración 4-66

DSC Yeso + hidrato: observamos alrededor de 150 ºC, los picos endotérmicos del yeso y alrededor de los 400ºC el pico endotérmico del hidrato.

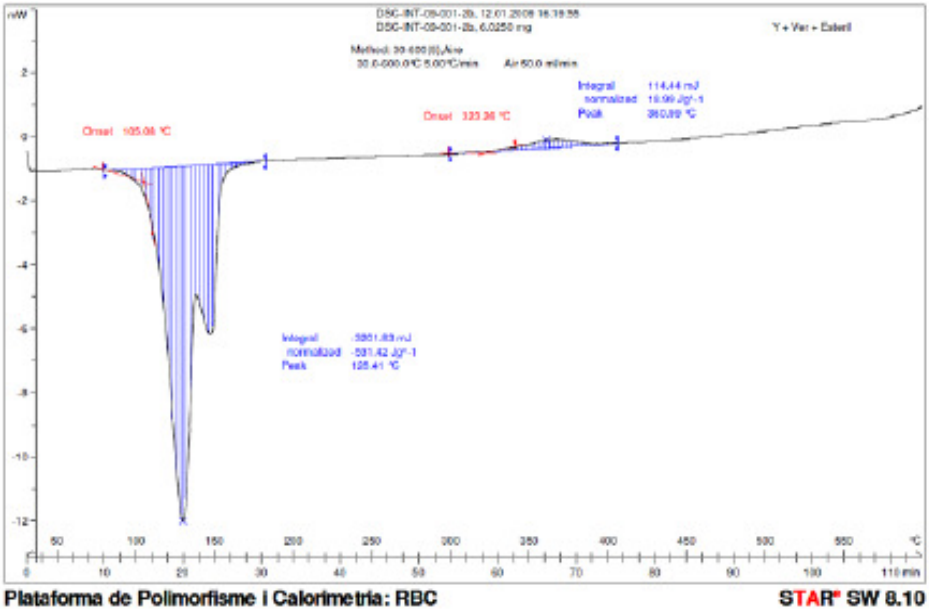


Ilustración 4-67

DSC Yeso + Vermiculita + estèril de floración: obtenemos una gràfica similar a la del yeso, ya que, la vermiculita no produce ningún pico significativo y el estèril de floración no alcanza la temperatura necesarea para mostrarse sus picos característicos (mas de 600ºC).

Mediante estos ensayos, se llega a la conclusión que la combinación de estos subproductos con productos existentes ralentizan la transmisión de la temperatura gracias a la absorción de temperatura extra que aportan y, en conseqüència, aumentan su funcionalidad como barrera protectora.

5 APLICACIÓN INFORMÁTICA

Durante la elaboración del proyecto, para y en respuesta a una demanda del Departamento de Bomberos de la Generalitat de Catalunya en concreto de la División de Grupos Operativos Especiales, de la creación de una aplicación informática sencilla y rápida de utilizar para elaborar un cálculo aproximado de la resistencia al fuego de los forjados.

Para la realización de la aplicación informática en primer lugar nos planteamos con que programa lo íbamos a elaborar. En los inicios del proyecto informático nos basamos en el Código Visual Basic, ya que este lenguaje es el más extendido, más fácil de utilizar con un entorno visual de programación y con muchos tutoriales y documentos de fácil acceso.

Pero en recomendación de algunos compañeros, decidimos realizarlo en JAVA, permitiendo de esta manera utilizar la aplicación en la nube “Internet” pudiendo de esta manera acceder desde cualquier dispositivo que disponga de acceso a Internet, sin la necesidad de descargar la aplicación en el ordenador.

Haremos un poco de introducción e historia del lenguaje de programación JAVA:

Java nace y da sus primeros pasos en 1991 formando parte de un proyecto de desarrollo de soporte software para electrónica de consumo (frigoríficos, lavadoras...), llevado a cabo por un equipo de SUN llamado Green Team. Este primer enfoque le da a Java una de sus más interesantes características: La portabilidad, dado que Java tenia que funcionar en numerosos tipos de CPUs, y por tanto se pensó para ser independiente de la plataforma sobre la que funcione. Esta característica es muy posiblemente la que ha permitido a Java convertirse actualmente en el lenguaje por excelencia para la creación de aplicaciones en Internet

Este salto de Java para convertirse en un lenguaje de programación para computadores se da definitivamente en 1995 cuando en la versión 2 del navegador web netscape se incluye un intérprete para este lenguaje, produciendo de este modo una auténtica revolución en Internet.

Con este nuevo enfoque Java sigue creciendo y saca su versión 1.1 en 1997 con muchas mejoras y adaptaciones, fruto de una revisión sustancial del lenguaje. Java 1.2 aparece a finales de 1998 y más tarde se rebautizará como Java 2.

Sun describe a Java como "simple, orientado a objetos, distribuido, interpretado, robusto, seguro, de arquitectura neutra, portátil, de altas prestaciones, multitarea y dinámico".

Aparte de ser estas características la lógica lista de piropos que un padre siempre daría a uno de sus hijos mas aplicados, efectivamente describen bastante bien a Java.

Java 2 es la tercera versión importante del lenguaje de programación Java. Parte de la versión 1.1 sin introducirle cambios sustanciales, simplemente ampliándolo.

Java presenta muchas características que lo diferencian de lenguajes similares como C++, empezando por las posibilidades de ejecución.

Básicamente un programa en Java puede ejecutarse como:

- Stand Alones: Aplicación independiente.

- Applet: Una aplicación especial que se ejecuta en el navegador del cliente.

- Servlet: Una aplicación especial sin Interfaz que se ejecuta en servidor.

Por otro lado un desarrollo en Java nunca empieza desde cero. Java implementa consigo un gran número de clases, incluidas gratuitamente en su entorno de desarrollo, para realizar muy variadas tareas que permiten al desarrollador centrarse en las características más inherentes a su proyecto.

Sun distribuye gratuitamente desde su página web, el entorno de desarrollo Java llamado indistintamente con estas siglas: JDK, SDK o J2SE. Este paquete incluye como hemos dicho las clases incluidas ya en java, es decir el API de Java. También incluye el compilador de Java y lo que permite a Java funcionar en nuestro ordenador: el JRE (Java Runtime Enviroment).

El JRE incluye los elementos necesarios para hacer funcionar programas java en nuestro ordenador. Principalmente nos instala la Maquina Virtual de Java y los plugins necesarios para el/los navegador/es instalados en nuestro sistema. El JRE también se puede descargar independientemente del entorno de desarrollo, pues se distribuye en un paquete llamado J2RE.

¿Y que es la Máquina Virtual de Java? Pues bien, como hemos comentado antes, Java está pensado para ser independiente de la arquitectura sobre la que funcione y la manera que tiene Java para conseguirlo es a través de la emulación de una máquina software sobre la que funcionan los programas compilados con Java.

Es decir, un programa compilado con Java no tiene código comprensible por ningún procesador, ese código solo lo entiende la Máquina virtual de Java y lo traduce a código que si pueda ser comprensible por el procesador sobre el que funciona y además lo puede hacer funcionar sobre el sistema operativo sobre el que está instalada. Por tanto lo único dependiente del Hardware es la máquina virtual, pues tiene que conocer lo que tiene por debajo para llevar a cabo la traducción, pero los programas en java siempre pueden funcionar sobre una maquina virtual esté donde esté instalada.

Esta es la página principal que se muestra en la pantalla cuando introducimos la direccion del programa, ya sea por introducción del la direccion donde se aloja la aplicación o picando sobre el enlace.

El Código Fuente del Programa es un primer código basado en HTML “lenguaje de Internet” Prova.jst (en esta página no hay codigo JAVA). Parte de presentación de datos, veáse annexo.

La pantalla principal del programa será esta:

Ilustración 5-1

La primera elección que tendremos que hacer es el tipo de forjado, ya sea Unidireccional, Bidireccional o Losa. (Solo debemos marcar una de las opciones).

A la hora de calcular la resistencia, no es necesario introducir todos los datos dependiendo del forjado que hayamos seleccionado, en el caso que falte o falle algún dato el programa visualizará un mensaje de error, solicitándonos los datos no especificados.

A continuación veremos que colocar en cada una de las casillas:

Ilustración 5-2

En la casilla número (1) Distancia mínima (Dm) es la distancia a eje de la barra corrugada desde la parte inferior del forjado. (Unidades en mm.)

En la casilla número (2) Ancho del nervio (Bm) dependiendo del tipo de forjado, en el caso de unidireccionales y reticulares es la distancia en horizontal que ocupa el hormigón entre los elementos aligerantes. (Unidades en mm.)

En la casilla número (3) / (4) longitud de los ejes “x” e “y” a los elementos de apoyo vertical de los forjados.

En la casilla número (5) tendremos el parámetro µ, por defecto siempre será 0.6, deberán ser valeros comprendidos entre 0 y 0.6 (no tiene unidades, valor adimensional)

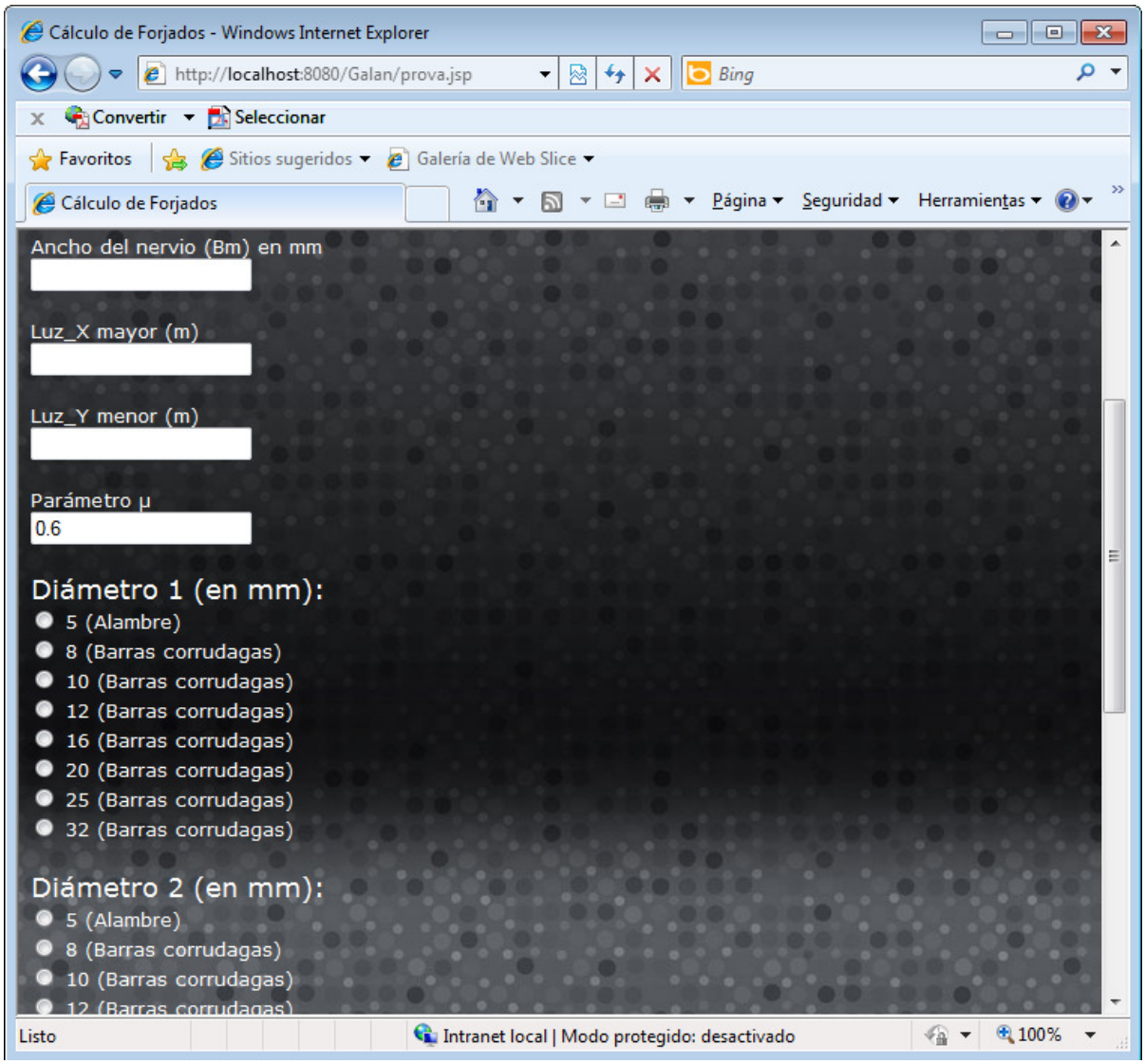


Ilustración 5-3

En el apartado de Diámetro 1, Diámetro 2 deberemos colocar al armado de nuestro forjado o elemento a estudiar comportamiento. Deberemos colocar como mínimo el apartado Diámetro 1, en el caso de tener acero de diferentes diámetros rellenaremos el apartado Diámetro 2.

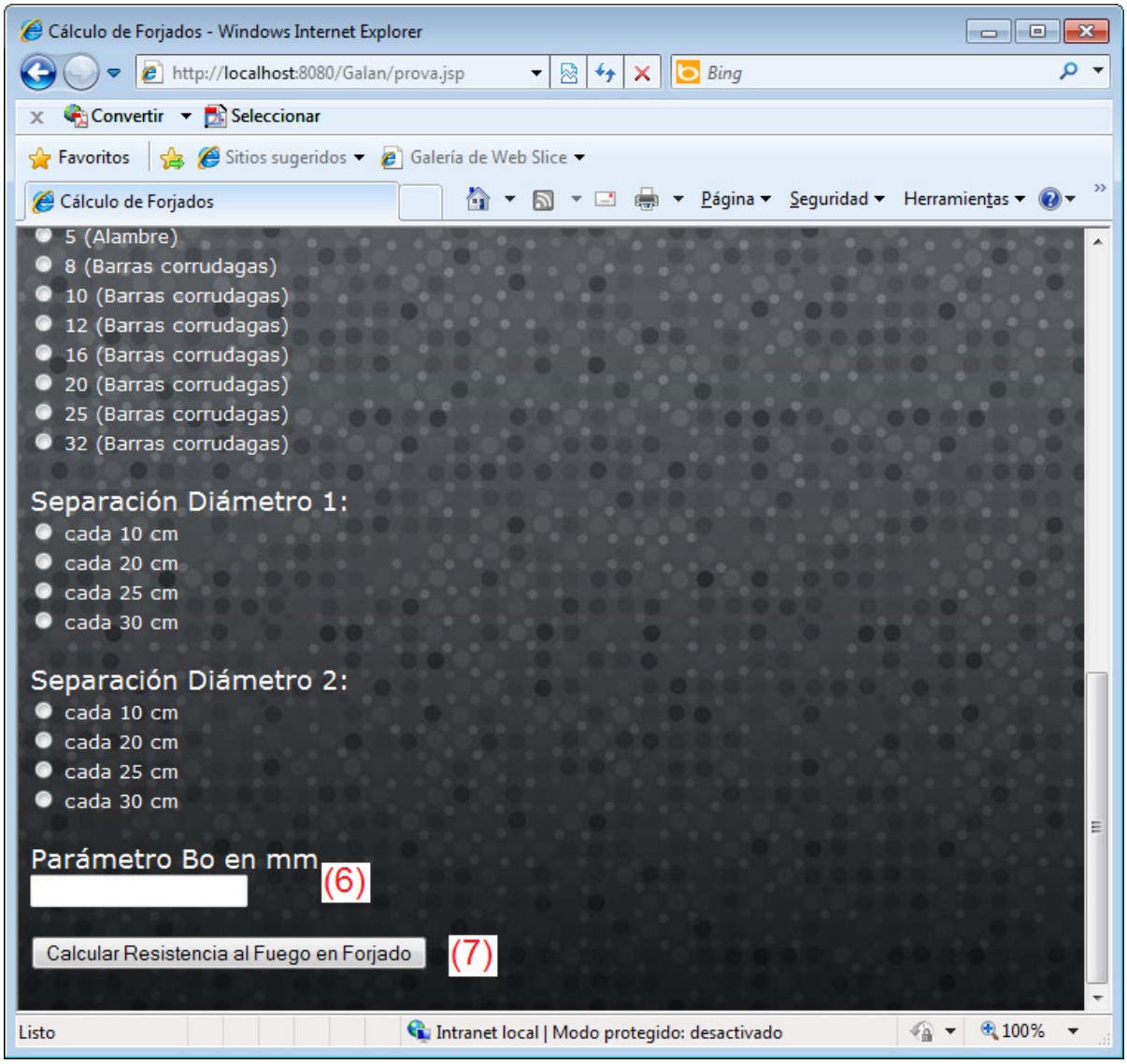


Ilustración 5-4

En la casilla 6 colocaremos la distancia Bo min. Por defecto aparecerá la misma que en la casilla Bmin, se trata de la distancia mínima del nervio en el eje horizontal. (Unidades en mm.)

Por último el botón (7) ejecuta el programa.

Nos llevará a una nueva página en la que aparecerá el resultado como podemos apreciar en la siguiente imagen:

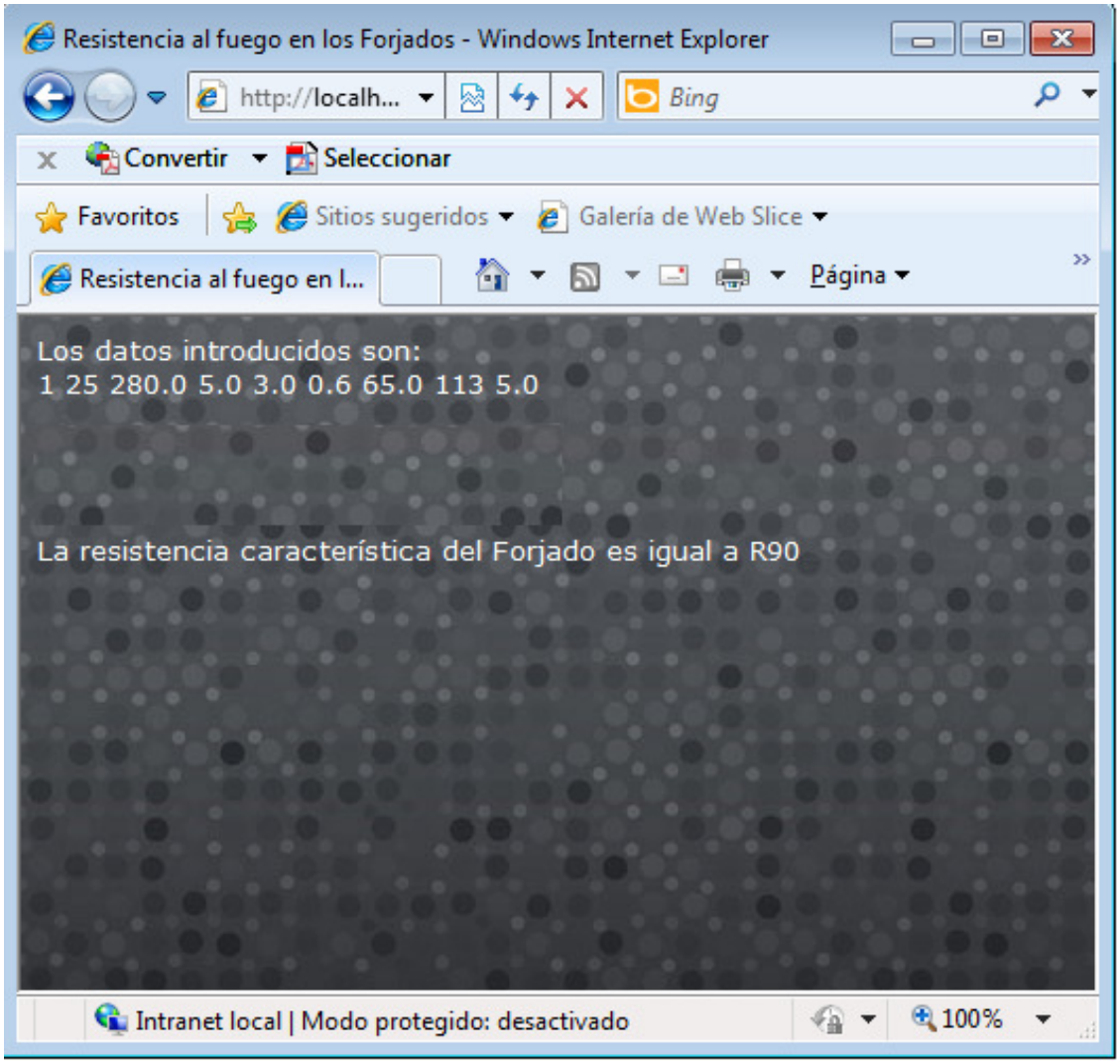


Ilustración 5-5

6 EJEMPLO PRÁCTICO

A continuación realizaremos un ejemplo práctico, el edificio a estudiar es el siguiente:

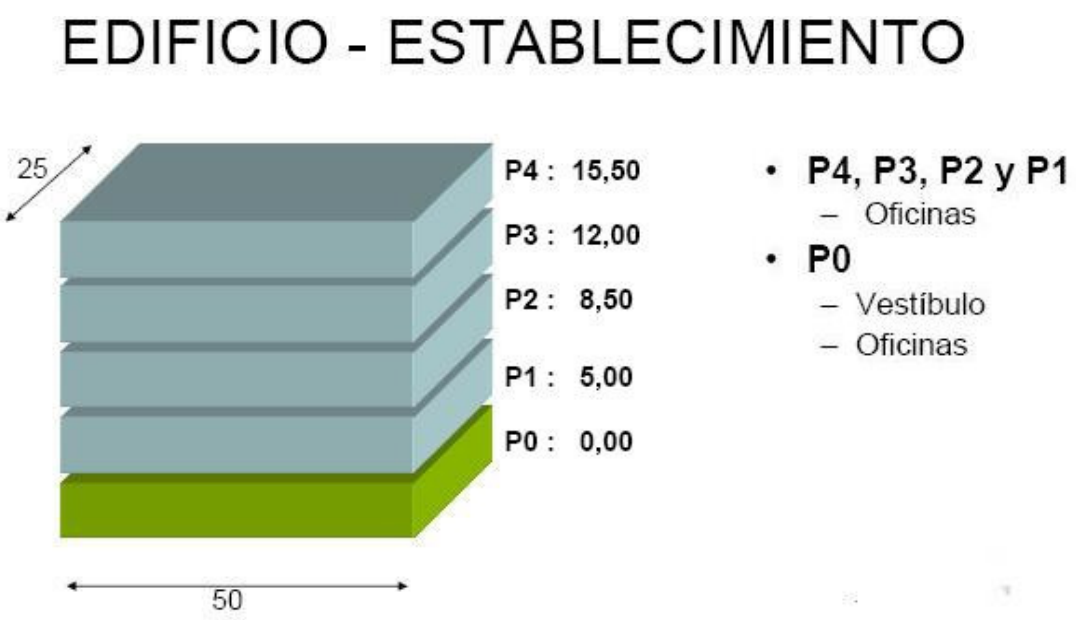


Ilustración 6-1

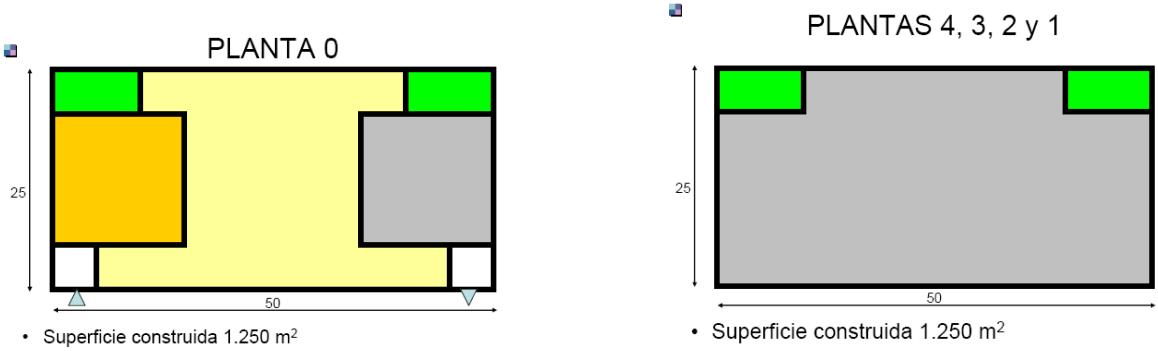


Ilustración 6-2

El edificio ha estudiar consta de cinco plantas, la planta 0, destinada al vestíbulo y las oficinas, y las plantas 1, 2, 3 y 4, destinadas únicamente a oficinas, por lo tanto, dada la altura de evacuación (entre 15 y 28 metros) y su uso (administrativo), las necesidades en cuanto a resistencia al fuego son, según el código técnico, R90, en caso de elementos estructurales y EI90 en el caso de sectorización de incendio.

A continuación realizaremos el cálculo mediante método analítico y mediante la aplicación informática desarrollada.

6.1 Método analítico

La estructura consta de vigas de hormigón armado y un forjado unidireccional de viguetas de hormigón pretensado;

VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO

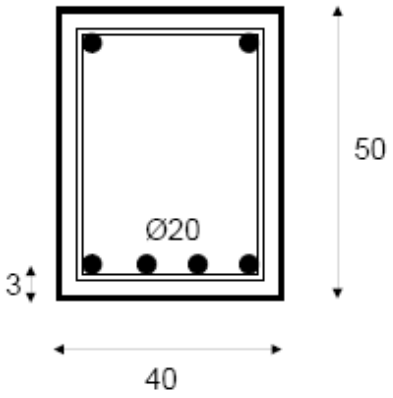


Ilustración 6-3

Si aplicamos la fórmula:

$$a_m = \frac{\sum \left[A_{si} f_{yki} (a_{si} + \Delta a_{si}) \right]}{\sum A_{si} f_{yki}}$$

En este caso la $a_{si}=0$

Tabla C.1. Valores de Δa_{si} (mm)

μ_fi	Acero de armar		Acero de pretensar			
	Vigas[1] y losas (forjados)	Resto de los casos	Vigas[1] y losas (forjados) Barras	Vigas[1] y losas (forjados) Alambres	Resto de los casos Barras	Resto de los casos Alambres
≤ 0,4	+10		0	-5		
0,6	+5	0	-5	-10	-10	-15
0,8	0		-10	-15		

[1] En el caso de armaduras situadas en las esquinas de vigas con una sola capa de armadura se incrementarán los valores de Δa_{si} en 10 mm, cuando el ancho de las mismas sea inferior a los valores de

$a_m=(4*A*f(30-0))/(4*A*f)=30$

Por lo tanto:

Tabla C.3. Vigas con tres caras expuestas al fuego[1]

Resistencia al fuego normalizado	Dimensión mínima b_{min} / Distancia mínima equivalente al eje a_m (mm)				Anchura mínima[2] del alma $b_{0,min}$ (mm)
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	
R 30	80 / 20	120 / 15	200 / 10	-	80
R 60	100 / 30	150 / 25	200 / 20	-	100
R 90	150 / 40	200 / 35	250 / 30	400 / 25	100
R 120	200 / 50	250 / 45	300 / 40	500 / 35	120
R 180	300 / 75	350 / 65	400 / 60	600 / 50	140
R 240	400 / 75	500 / 70	700 / 60	-	160

[1] Los recubrimientos por exigencias de durabilidad pueden requerir valores superiores.
[2] Debe darse en una longitud igual a dos veces el canto de la viga, a cada lado de los elementos de sustentación de la viga.

FORJADO UNIDIRECCIONAL

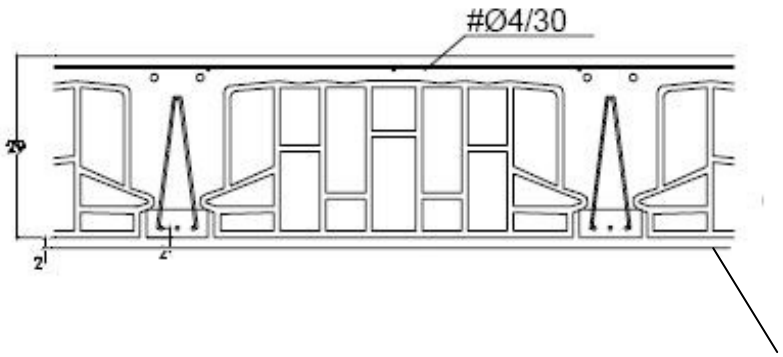


Ilustración 6-4

revestimiento de yeso proyectado (2cm.)

Si aplicamos la fórmula:

$$a_m = \frac{\sum \left[A_{si} f_{yki} (a_{si} + \Delta a_{si}) \right]}{\sum A_{si} f_{yki}}$$

En este caso la ▲asi=**-15**

Tabla C.1. Valores de Δa_{si} (mm)

μ_n	Acero de armar: Vigas[1] y losas (forjados)	Acero de armar: Resto de los casos	Acero de pretensar: Vigas[1] y losas (forjados): Barras	Acero de pretensar: Vigas[1] y losas (forjados): Alambres	Acero de pretensar: Resto de los casos: Barras	Acero de pretensar: Resto de los casos: Alambres
≤ 0,4	+10		0	-5		
0,6	+5	0	-5	-10	-10	-15
0,8	0		-10	-15		

[1] En el caso de armaduras situadas en las esquinas de vigas con una sola capa de armadura se incrementarán los valores de Δa_{si} en 10 mm, cuando el ancho de las mismas sea inferior a los valores de

En este caso, debido al revestimiento de yeso proyectado, el asi equivalente será el asi del forjado (20mm.) más el grosor de la capa de yeso x 1,8.

Por lo tanto asi= 20+(20 x 1,8)= **56**.

am=(3*A*f(56-15))/(3*A*f)= **41**

Tabla C.4. Losas macizas

Resistencia al fuego	Espesor mínimo h_{min}(mm)	Distancia mínima equivalente al eje a_m (mm) [1]		
		Flexión en una dirección	Flexión en dos direcciones l_y/l_x [2] ≤ 1,5	Flexión en dos direcciones 1,5 < l_y/l_x [2] ≤ 2
REI 30	60	10	10	10
REI 60	80	20	10	20
REI 90	100	25	15	25
REI 120	120	35	20	30
REI 180	150	50	30	40
REI 240	175	60	50	50

[1] Los recubrimientos por exigencias de durabilidad pueden requerir valores superiores.
[2] l_x y l_y son las luces de la losa, siendo $l_y > l_x$.

Por lo tanto nos da una REI 120, y superamos la necesidad REI 90

6.2 Aplicación Informática

Utilizaremos la aplicación informática para el ejemplo de la viga que hemos visto en el anterior apartado, deberemos introducir los datos en su casilla correspondiente:

Comprobaremos como el resultado concuerda con en el método analítico: R90

Ilustración 6-5

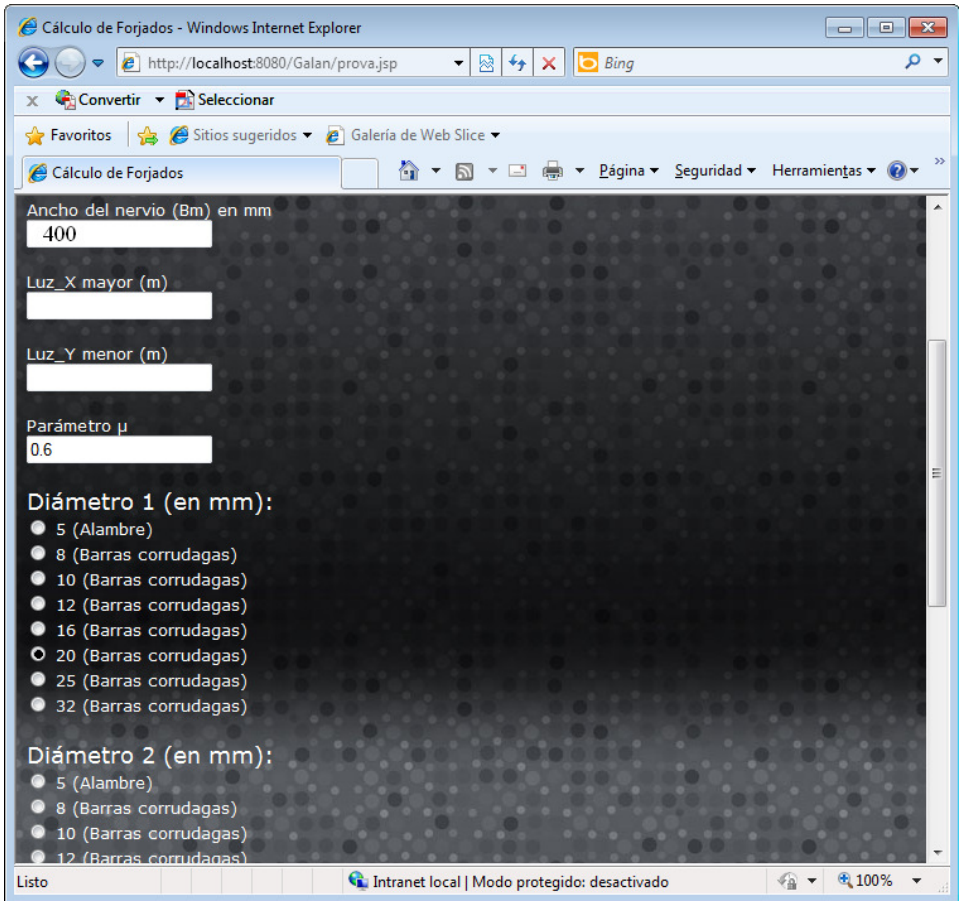


Ilustración 6-6

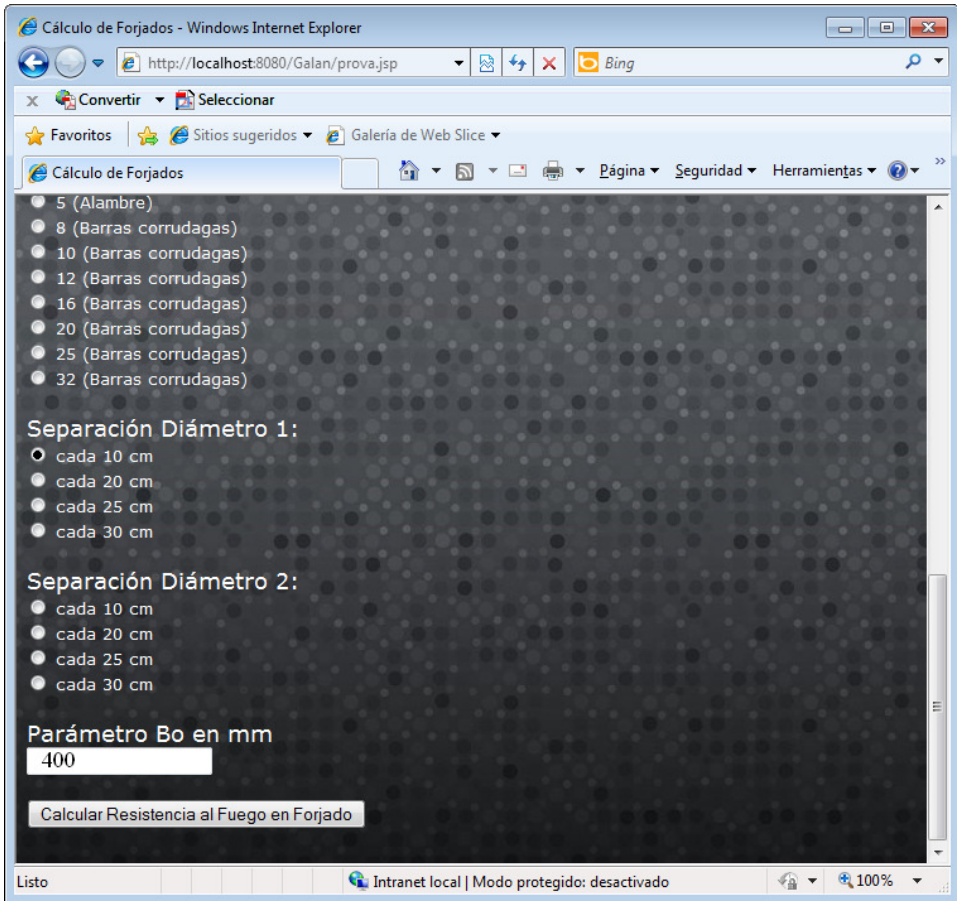


Ilustración 6-7

7 CONCLUSIONES

En nuestra opinión, con la introducción del nuevo Código Técnico se ha producido un cambio en la forma de construir en nuestro país, un cambio positivo, dando mayor responsabilidad en aspectos claves como accesibilidad, energía, sostenibilidad… Este nuevo Código intenta no dar soluciones a problemas constructivos sino dar criterios a los proyectistas para ejecutarlos.

El Código Técnico de la Edificación está en desarrollo continúo, dado que, durante la elaboración del proyecto ha habido varias modificaciones, no obstante tiene carencias, y no es de fácil entendimiento dada la infinidad de soluciones constructivas diferentes. Actualmente, por lo general, se le añaden elementos a los forjados existentes, para conseguir la resistencia al fuego deseada, no obstante, es posible que el forjado ya cumpla con las especificaciones necesarias.

Las exigencias de resistencia al fuego actuales nos fuerzan, en algunas ocasiones, al cambio de tipología de forjado, dado que, el estudio económico de éstos es lo que suele influir más, y actualmente se complica con el uso de diversos revestimientos o refuerzos que incrementan el coste.

Actualmente las casas comerciales suelen tener muy tipificadas las resistencias al fuego de sus productos, por lo que, en muchos casos, no se recurre al cálculo de éstas, lo que hace que no existan múltiples publicaciones al respecto.

A lo largo de este estudio, se han utilizado datos de cálculo de edificios existentes, partiendo de la premisa que han sido ejecutados en obra tal i como marca el proyecto, pero hemos podido comprobar en nuestra experiencia profesional, que esta premisa no seria del todo correcta, como por ejemplo: no cumplimiento de recubrimientos mínimos, insuficiencias de capacidades mecánicas (colocación de diferentes diámetros o insuficientes), hormigón de menos resistencia…, por lo cual, se hace más necesario aún el estudio de estas estructuras a posteriori con el objeto de poder ser complementadas con recubrimientos o elementos estructurales adicionales.

El presente proyecto tiene en cuenta el cálculo de resistencia al fuego del elemento, como parte individual de la estructura, no entra a valorar los enlaces de los pilares con las vigas o forjados ya que cada caso requiere un estudio de la estructura en su conjunto.

En este proyecto se ha expuesto una sistemática para poder determinar resistencia al fuego de forjados, sin entrar a valorar el entorno. Es probable que a las temperaturas críticas elevadas fallen antes vigas si es que no tienen una protección térmica adecuada. Tampoco se entra a valorar el efecto de las dilataciones térmicas, que pueden llegar a ser de algún centímetro si la temperatura alcanzada es elevada, aumentando los momentos flectores, y distorsiones en las vigas soportadas, pues se tendría que hacer un estudio pormenorizado en cada caso.

En el transcurso de proyecto y a petición del Departamento de Bomberos de la Generalitat de Catalunya se nos recomendó la creación de una aplicación informática, fácil e intuitiva, que ayude al técnico no acostumbrado a tratar habitualmente con el Código Técnico para poder encontrar de una forma rápida la resistencia al fuego y comprobado mediante una veintena de ejemplos calculados con un índice de efectividad aproximada de

un 90%, los errores están relacionados a la complejidad a la hora de programar las variables en lenguaje informático.

El programa se ha realizado en formato Java que se trata de un código abierto que puede ser modificado, con la intención de en el momento que sea revisado por un programador para verificar los posibles errores ser colgado en Internet con algún dominio de fácil acceso y permitir futuras ampliaciones o modificaciones del mismo.

Este proyecto podrá ser ampliado en un futuro centrándose en otros aspectos constructivos por ejemplo elementos verticales, tal como pilares o muros, o con los nuevos materiales que vayan surgiendo en el catálogo constructivo, ya sean de orden estructural o recubrimientos.

8 BIBLIOGRAFIA

Varios autores (2004), Guía para la comprobación de la resistencia al fuego de estructuras. ASCEM, España.

Código Técnico de la Edificación - http://www.codigotecnico.org –

P.Jiménez Montoya, A.Garcia i F.Morán. Hormigón armado. GG.

M.Vázquez. Resistencia de materiales. Editorial Urmo.

Antonio Ruiz Duerto, El hormigón material para la construcción resistente al fuego, Antonio Ruiz Duerto, CRONACOLOR SA.

J. Calavera Ruiz (1984), Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón armado para edificios

J. Calavera Ruiz (1988), Cálculo, construcción y patología de forjados de edificación.

J. Calavera Ruiz (2002), Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificación.

L.F. Rodríguez Martín (2005), Forjados

F.Regalado Tesoro (2003), Los forjados de los edificios: presente, pasado y futuro, CYPE Ingenieros

I.E. Torroja, Recomendaciones para la ejecución de forjados unidireccionales.

J. Detrell, Comportamiento al calor de los materiales textiles, Tecnitex Ingenieros SL

Orantes García, C. i Peña Aguado, S. (2009), Desarrollo de productos de protección pasiva frente al fuego que incorporan subproductos industriales. Proyecto de final de carrera EPSEB-UPC, 2009

Vicente Navarro, J (2009), La evolución de los forjados de edificación hacia unas técnicas más competitivas económicamente. Tesina de especialidad ETSECCPB-UPC,

Varios autores (2008), seguridad frente al fuego utilizando hormigón. Artículo plataforma tecnológica española del hormigón.

9 AGRADECIMIENTOS

Los autores de este proyecto desean expresar un agradecimiento a las siguientes persones que colaboraron en él:

Al Sr. Sebastià Massagè por brindarnos la oportunidad para realizar este proyecto y colaborar en todo el proceso de elaboración, revisión y culminación de este trabajo, implicando a varios miembros del departamento de bomberos.

A la Sra. Montse Bosch por el tutelaje recibido y la colaboración en los procesos de desarrollo y finalización de éste.

A título personal, queremos agradecer a todas las personas y familiares que han prestado el apoyo necesario para que este proyecto fuera posible.

10 ANEXO (Ver documento adjunto)