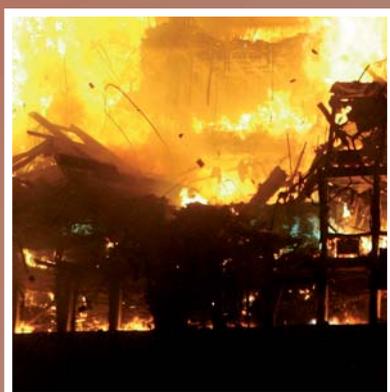
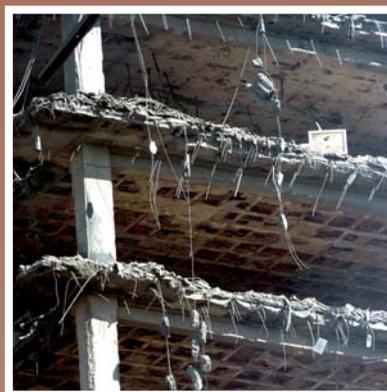


SEGURIDAD FRENTE AL FUEGO UTILIZANDO HORMIGÓN



PTEH

ANDECE
Asociación Nacional
de Prefabricados y
Derivados del Cemento

ANEFOP
ASOCIACIÓN NACIONAL ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE HORMIGÓN PREPARADO

ANFAH

IECA
INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO
Y SUS APLICACIONES

PLATAFORMA TECNOLÓGICA ESPAÑOLA DEL HORMIGÓN

Instituto
para la Promoción
de Armaduras
Certificadas

IP/C

EL **HORMIGÓN** OFRECE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD FRENTE AL **FUEGO** PARA LAS PERSONAS, LAS PROPIEDADES Y EL MEDIO AMBIENTE^(*)

- El hormigón no es combustible, por tanto no se suma a la carga de fuego del edificio, **no alimenta el fuego** ni contribuye a que el incendio se extienda.
- El hormigón **ofrece una elevada resistencia** al fuego. Las estructuras de hormigón soportan incendios severos **sin colapsar**.
- El hormigón **protege a los usuarios de los edificios y a los bomberos**. Permite la evacuación del edificio y los trabajos de control y extinción del incendio en condiciones de estabilidad estructural.
- El hormigón empleado en los elementos de compartimentación **limita el área afectada por el incendio**, facilitando la extinción del mismo y limitando los daños.
- El hormigón **no produce humo ni gases tóxicos** reduciendo el riesgo de las personas y de polución medioambiental, y contribuyendo a una construcción más sostenible.
- Las estructuras de hormigón **ofrecen una elevada robustez** en su comportamiento frente al fuego, facilitando la lucha contra el incendio en condiciones de estabilidad estructural, reduciendo el riesgo de colapso aún en condiciones de fuegos muy severos y **evitando los elevados daños, propios y colaterales**, que producen el derrumbamiento de un edificio.

^(*) Nota: Textos extraídos del documento "Seguridad y protección completa frente al fuego con hormigón" de la Plataforma Europea del Hormigón.

- El hormigón **reduce las consecuencias** del incendio. Evita pérdidas humanas y patrimoniales.
- El hormigón resiste al fuego sin necesidad de protección alguna, por tanto **ofrece seguridad frente al fuego de modo permanente** (incluso durante la construcción) y continuo sin puntos débiles.
- El hormigón, al no necesitar de capas de protección, **evita los elevados costes de mantenimiento** de las mismas, incluyendo los costes de accesibilidad a todos los puntos de la estructura a lo largo de toda la vida de servicio del edificio.
- Después del incendio el hormigón **es fácilmente reparable** y facilita la vuelta a la actividad del edificio incendiado, reduciendo las consecuencias de éste.
- El hormigón **no se degrada por efecto del agua** utilizada durante la extinción del incendio.
- El hormigón **ofrece resistencia pasiva frente al fuego** y por tanto es ésta una resistencia última, inherente al material estructural, capaz de ofrecer la estabilidad estructural y evitar el colapso del edificio incluso en condiciones de incendios muy severos.
- El hormigón utilizado como pavimento en túneles no desprende gases tóxicos, no alimenta el incendio, ofrece una superficie de rodadura capaz para los servicios de bomberos y de salvamento, y resiste la acción del fuego incluso en incendios muy severos.

El fuego daña, en general, a todos los materiales habitualmente empleados en la construcción. Aquellos que son combustibles se suman a la carga de fuego que configura el contenido del edificio y se consumen a lo largo del incendio. Los que no son combustibles se ven sometidos a un proceso de disminución de su capacidad resistente y de su rigidez, así como a deformaciones impuestas por la elevada temperatura que provoca el fuego.

La resistencia al fuego es una prestación que ofrecen los materiales no combustibles que, además, son capaces de soportar elevadas temperaturas manteniendo un grado de resistencia tal que permite que las estructuras con ellos construidas no colapsen.

La Tabla 1, extraída del documento “Seguridad y protección completa frente al fuego con hormigón” de la Plataforma Europea del Hormigón, refleja el comportamiento en condiciones de incendio de los materiales más habitualmente utilizados en la construcción de las estructuras de los edificios.

Para el comportamiento mecánico de las estructuras frente al fuego, en términos de estabilidad estructural, tiene una importancia primordial la fila que se refiere a “Conductividad del calor”.

Refiriéndonos a los materiales de carácter estructural más habituales y no combustibles, es decir el acero y el hormigón, la diferencia de conductividad del calor, muy alta para el acero y muy baja para el hormigón, determina comportamientos absolutamente diferentes de ambos materiales frente al fuego.

El hormigón estructural, armado y pretensado, combina el material acero de las armaduras y el material hormigón que conforma el elemento estructural y que, mediante el espesor del recubrimiento, protege al acero del exterior.

El acero, como material con alta conductividad térmica, se calienta de modo inmediato, de modo que expuesto directamente al incremento de temperaturas producido por el fuego adquiere, inmediatamente y en toda su sección, la temperatura que se alcanza en el incendio. La sección de hormigón no se comporta de la misma manera, calentándose mucho más lentamente. Su sección interior alcanza temperaturas inferiores a las que, en ese instante, se alcanzan en el incendio.

La Tabla 2, deducida del documento “Méthode de prévision par le calcul du comportement au feu des structures en béton (x PP92701/A1, Décembre 2000)”, indica la evolución en el tiempo de la temperatura que se desarrolla en un incendio, de acuerdo con la curva de fuego normalizado, así como la temperatura que alcanzaría durante el mismo un acero estructural sin protección y un acero para hormigón en el interior de una losa de hormigón de 10 cm de espesor a diversas profundidades, medidas desde la superficie exterior que sufre el incendio. Si en esta losa se dispusiera una armadura de acero, a las diversas profundidades a las que nos referimos las llamaríamos “recubrimientos” y las temperaturas indicadas serían las temperaturas que alcanzaría el acero de la armadura dispuesta, en función del recubrimiento.

La Tabla 3, deducida del Eurocódigo 2: “Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design” (ENV 1992-1-2), indica la pérdida de resistencia del acero de la armadura (f_{yk}) de

TABLA 1 - Análisis comparativo del comportamiento de los materiales frente al fuego

	Madera	Acero	Hormigón
Resistencia al fuego sin protección	Muy baja	Baja	Alta
Combustibilidad	Alta	Ninguna	Ninguna
Contribución a la carga de fuego	Alta	Ninguna	Ninguna
Conductividad del calor	Baja	Muy alta	Muy baja
Incorpora protección frente al fuego	Muy baja	Baja	Alta
Posibilidad de reparación después del fuego	Ninguna	Baja	Alta
Protección para los usuarios durante la evacuación y los bomberos	Baja	Baja	Alta

TABLA 2 - Temperaturas - Tiempos

Tiempo t (minutos)	Temperatura alcanzada (°C)			
	En el incendio	En el acero estructural sin protección	En la armadura con un recubrimiento r (mm)	
			r = 30	r = 45
30	815	815	205	140
60	925	925	370	270
90	990	990	490	350
120	1030	1030	570	425
150	1070	1070	620	490
180	1100	1100	660	510

TABLA 3 - Pérdidas de resistencia - Temperatura

Temperatura (°C) T (°C)	Pérdida de resistencia (%)	
	Acero armadura	Hormigón
20	0	0
400	15	15
500	30	30
600	60	40
700	85	60

un hormigón armado y de la resistencia a compresión del propio hormigón con árido silíceo (f_{ck}), en función de la temperatura alcanzada por el material. Como puede observarse, la resistencia de ambos materiales se reduce al 70% de la que inicialmente tenían a 20°C cuando alcanzan una temperatura de 500°C.

Por otra parte la combinación de cargas con que se comprueba la resistencia al fuego de una estructura es, en general, la correspondiente a la situación accidental, con todos los coeficientes de mayoración iguales a la unidad, y, además, con el valor de la sobrecarga frecuente (caso de la sobrecarga determinante) y el valor casi permanente de las demás sobrecargas concomitantes con la determinante. Se trata, en consecuencia, de un estado de cargas inferior a aquel que se ha utilizado para el dimensionado de la estructura en los diferentes Estados Límite Últimos. Es habitual considerar que la totalidad de las cargas (valores ponderados), representa el 70% del valor mayorado utilizado para asegurar la resistencia de la estructura en los Estado Límite Últimos.

Las razones anteriormente expuestas son la base del dimensionado de las estructuras frente a la acción del fuego. De acuerdo con la Instrucción EHE, que es un reglamento de obligado cumplimiento en España, y también de acuerdo con el Eurocódigo 2: "Design of concrete struc-

tures – Part 1-2: General rules – Structural fire design". Se utiliza un procedimiento simplificado de dimensionado consistente en disponer secciones de hormigón con dimensiones adecuadas a la resistencia al fuego requerida, que se indican en unas tablas de uso directo. Las mismas tablas indican el recubrimiento de cálculo que debe tener la armadura dispuesta así como las precauciones a considerar según el fuego alcance al elemento de hormigón en una, dos, tres o las cuatro caras.

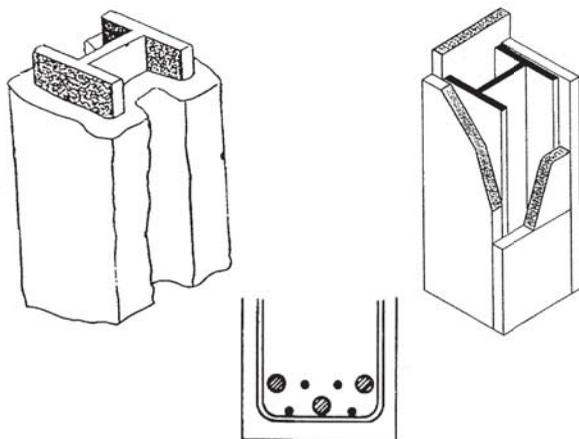
Con todo ello se pretende, en general y de modo resumido, que el centro de gravedad de la armadura de acero dispuesta se sitúe coincidiendo con la isoterma 500, posición interior a la sección de hormigón donde la temperatura máxima durante el incendio no supera los 500°C y, por tanto, se puede contar con una capacidad de la sección resistente, durante el incendio, del orden del 70% de la capacidad de dicha sección a 20°C. De este modo, se mantiene la estabilidad estructural durante el incendio evitando el colapso de la misma y el derrumbamiento del edificio.

La acción del fuego, como situación accidental, exige de las estructuras una capacidad resistente que permita desalojar a las personas del edificio incendiado y actuar a los bomberos para extinguir el incendio, todo ello en condiciones de estabilidad estructural para evitar la pérdida de vidas humanas. La hipótesis de considerar la

posibilidad de colapso estructural y el derrumbamiento del edificio es inadmisibles porque conlleva un alto riesgo de que se produzcan víctimas entre los usuarios del edificio, los bomberos y las personas afectadas en el área donde los efectos colaterales del derrumbamiento del edificio se hacen notar; así como de que las pérdidas patrimoniales originadas por el derrumbamiento del edificio superen las correspondientes al propio edificio. Es decir, **el dimensionado de la resistencia al fuego de una estructura pensando únicamente en que se mantenga estable el tiempo suficiente para evacuar el edificio es insuficiente e irresponsable**. Las temperaturas del incendio correspondientes a las especificaciones actuales de resistencia al fuego (en términos de integridad estructural) deben ser resistidas por la estructura sin pérdida de la estabilidad estructural para evitar, así, el colapso estructural que produce el derrumbamiento del edificio.

En este sentido la resistencia última de la estructura, tras la que sobreviene el colapso de la misma, depende de la resistencia esencial o intrínseca del material constituyente, es decir aquella que aporta el material sin considerar el efecto reductor de las temperaturas ocasionado por los medios de extinción (sprinklers, etc.), por las protecciones que se colocan sobre la estructura (pinturas, gunitados, etc.), o por la acción directa de los equipos de extinción, ya que todo esto puede fallar en mayor o menor medida en el momento del incendio (aleatorio). Desde este punto de vista la continuidad del hormigón en una estructura es absoluta y asegura el buen comportamiento, sin fallos, de las estructuras de hormigón que constatan los Servicios de Bomberos.

FIGURA 1



La consideración de los datos recogidos en las Tablas 2 y 3 lleva a la conclusión de que el dimensionado de las estructuras frente al fuego pasa por la necesidad de proteger al acero en cualquier tipo de estructura y que el hormigón es una buena protección de dicho acero. La Figura 1 recoge diversas protecciones del acero, incluida la que ofrece el hormigón en el caso de las estructuras de hormigón estructural.

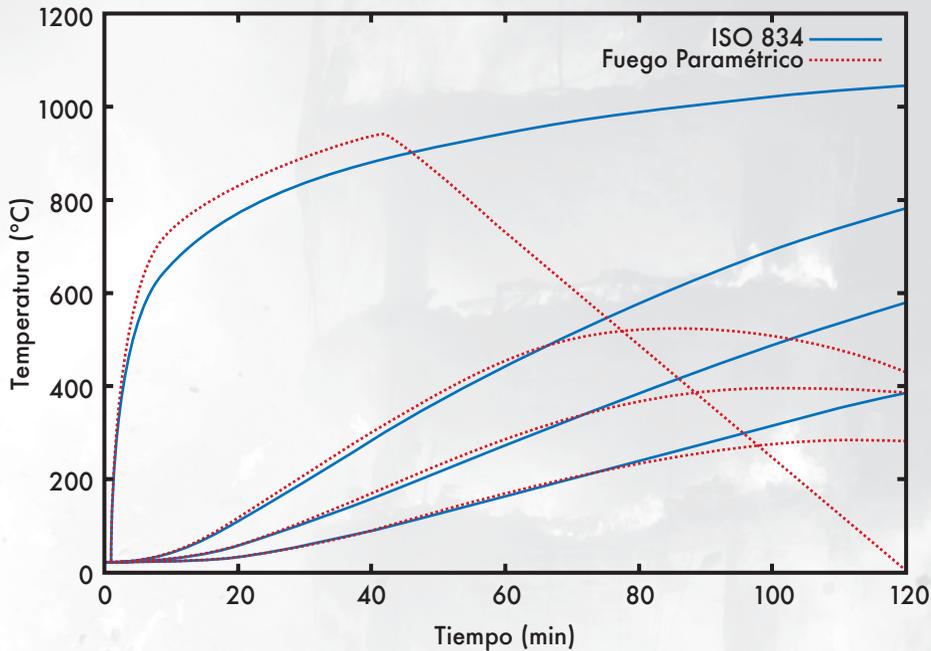
Proyectar en condiciones de fuego es proyectar las protecciones del acero. El hormigón protege el acero de modo eficaz, continuo, permanente, sin la existencia de puntos débiles mal protegidos y es una protección que no envejece, no se deteriora y no necesita de un mantenimiento específico para que cumpla su función protectora.

La Figura 2 muestra la curva de temperatura del fuego normalizado (ISO 834) utilizada para el dimensionado de las estructuras frente al fuego y las curvas de temperatura correspondientes a diversos redondos de armadura de acero dispuestos en el interior de la sección de hormigón estructural con diversos recubrimientos. Se observa la gran diferencia entre la temperatura del incendio y, en consecuencia, de la cara de la sección de hormigón y la temperatura en los redondos, más baja, para el mismo tiempo de fuego normalizado, cuanto mayor es el recubrimiento, debido al efecto protector del hormigón.

En la misma Figura 2 se indica, de puntos, la curva de temperaturas correspondientes a un fuego paramétrico (deducido de fuegos reales). Los fuegos reales tienen final, el fuego normalizado no tiene final. No obstante la rama inicial de crecimiento de la temperatura en los fuegos reales es similar, y en ocasiones superior, a la correspondiente al fuego normalizado.

También se indica, de puntos, la curva de temperaturas de los redondos, interiores a la sección de hormigón estructural, sometidos a la acción del fuego paramétrico considerado. Se observa que, como la acción protectora del hormigón retrasa la subida de temperatura en las armaduras, el final del incendio puede limitar la temperatura en las armaduras acortándola y contribuyendo a que se mantenga la estabilidad estructural aún en fuegos muy severos.

FIGURA 2 - Comparación Curvas - Redondos intermedios



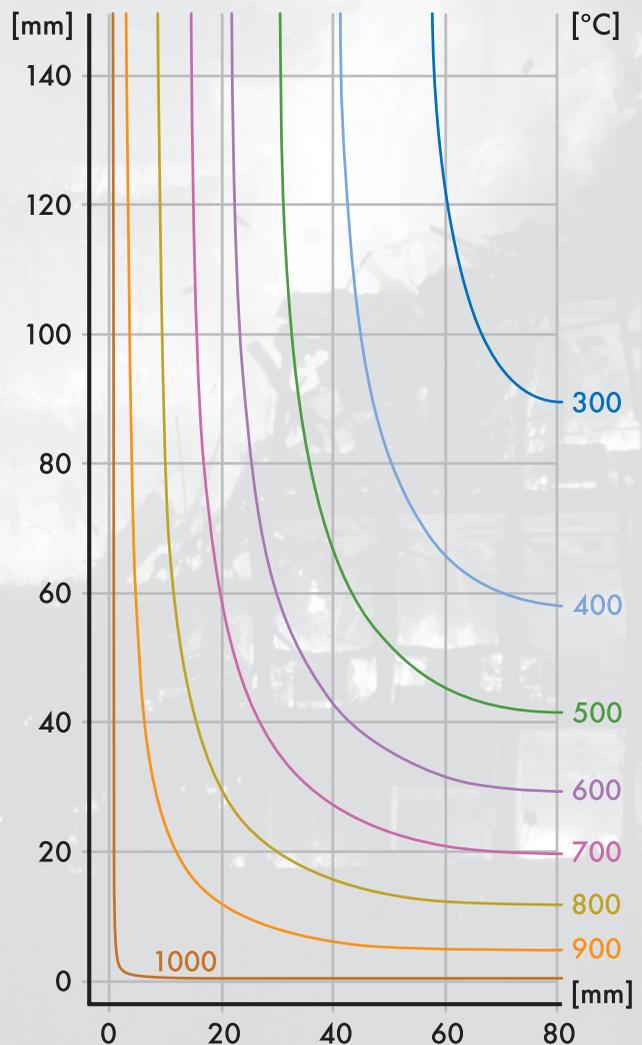
La Figura 3 muestra las líneas isotermales en el interior de una sección de hormigón estructural correspondiente a un nervio de 16 cm de anchura con un fuego por las tres caras que produce una temperatura de 1000°C en la superficie expuesta de dichas caras.

Las estructuras porticadas de hormigón, debido a su carácter hiperestático, permiten una cierta redistribución de esfuerzos cuando alguna sección suficientemente dañada plastifica. Esta redistribución colabora al mantenimiento de la situación de estabilidad estructural. Tal distribución se basa en que el fenómeno de plastificación no da lugar a problemas de inestabilidad en las zonas comprimidas de la sección de hormigón que, por su configuración geométrica, se mantiene muy alejada de ellos. Cuando las secciones comprimidas son chapas de acero el fallo por inestabilidad de la sección puede producir el colapso de la estructura antes de que se produzcan fenómenos de redistribución plástica.

Por todo lo expuesto el hormigón estructural es el material de construcción más indicado para realizar estructuras que de modo eficaz y competitivo aporten seguridad frente al fuego.

En definitiva, **el hormigón ofrece protección y seguridad frente al fuego para las personas, las propiedades y el medio ambiente.**

FIGURA 3





ANDECE
Paseo de la Castellana, 226
28046 - Madrid
Teléfono: 913238275
Email: andece@andece.org
www.andece.net



ANEFHOP
Bretón de los Herreros, 43
28003 - Madrid
Teléfono: 914416634
Email: anefhop@nauta.es
www.anefhop.com



ANFAH
Serrano, 240
28010 - Madrid
Teléfono: 914570784
Email: info@anfah.org
www.anfah.org



IECA
José Abascal, 53 - 2º
28003 - Madrid
Teléfono: 914429311
Email: tecnico@ieca.es
www.ieca.es



IPAC
Orense, 58 - 10º D
28020 - Madrid
Teléfono: 915567698
Email: buzon@ipac.es
www.ipac.es