

## COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL AL FUEGO

### Introducción

Existen numerosos tipos de hormigón, de acuerdo con su composición de cemento/áridos/aditivos. Esto implica una variación de las propiedades mecánicas y térmicas así como diferentes variaciones con la temperatura.

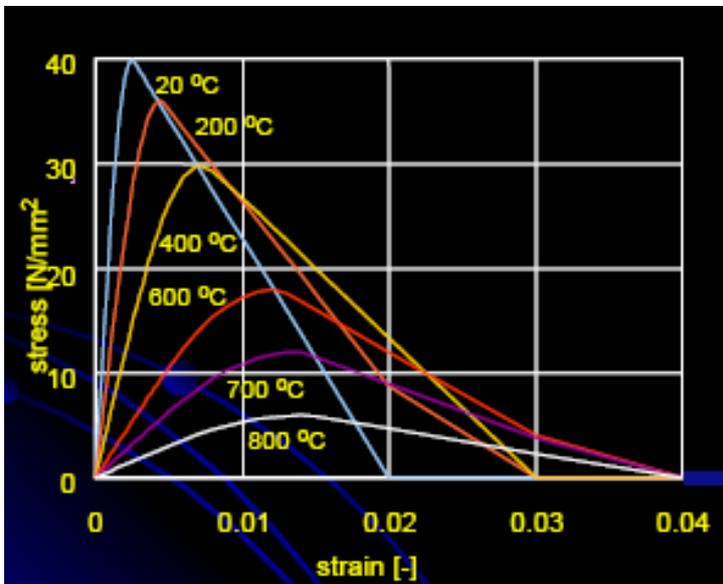
Es común la idea de que el comportamiento al fuego es excelente. Es cierto que si están bien diseñados de acuerdo con especificaciones claras como las dadas en las Instrucciones EHE, en el EUROCODIGO 2 Parte 1-2 o en el mismo Código Técnico van a tener el requisito de resistencia R adecuado a las exigencias.

Sin embargo las propiedades mecánicas relativas a la capacidad de soportar cargas disminuyen con la temperatura.

Esto se debe a una serie de factores :

Los principales que afectan al hormigón son:

- 1.- Deshidratación del gel de cemento
- 2.- Cambios de composición de sus componentes
- 3.- Evaporación explosiva del agua.
- 4.- Efectos del calor en la armadura interna



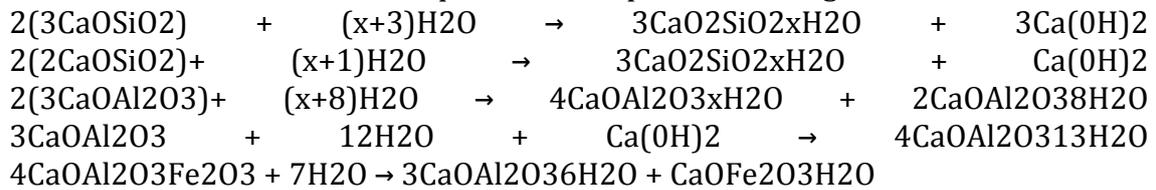
### Química de hormigón. -

- 1.- La deshidratación del gel de cemento:

Al alcanzarse temperaturas de 300°C aparecen descensos apreciables de las resistencias mecánicas de la pasta de hormigón.

En primer lugar comienza a deshidratarse el gel CSH (Complejo de Silicato cálcico Hidratado), lo que implica un aumento en la porosidad y una fragilización del material.

Las reacciones de hidratación, que forman el proceso de fraguado son:



Estos componentes forman el gel de silicato Cálcico hidratado,

Estas reacciones se invierten con aporte de calor.

A partir de los 300°C las cadenas de silicatos que componen el gel se rompen, y trae como consecuencias:

- la porosidad aumenta drásticamente,
- Las resistencias a la compresión caen de 55 a 16 Mpa entre la temperatura ambiente y los 450°C,
- Las resistencias a flexo tracción caen de 8 Mpa a 1 Mpa en el mismo intervalo,

Estas caídas bruscas denotan la posibilidad de fallos estructurales.

Es por ello que, como veremos, la temperatura de **300 °C** se torna crítica en los estudios de resistencia al fuego del hormigón, definiéndose como el punto crítico de fallo de la pasta de cemento.

2.- Los cambios de composición de sus componentes:

Como hemos visto, con la subida de las temperaturas las fases de muchos componentes del hormigón se alteran modificando, a veces de forma importante, sus propiedades. De todas formas, este efecto es menos importante que el anterior. P. ej. Las fases portlandita, etringita y calcita cambian con la temperatura a nivel micro estructural. Pero para entonces, la deshidratación del gel ha debilitado ya el hormigón a niveles irreversibles

3.- La evaporación explosiva del agua.

Especialmente relevante en hormigones de alta resistencia. La desecación y deshidratación del hormigón genera vapor de agua, tanto más rápidamente cuanto mas brusco sea el aumento de la temperatura. Si la presión generada por ese vapor es superior a la velocidad de salida por los poros, puede llegar a romper las capas mas exteriores del elemento, pudiendo exponerse a la acción del fuego la armadura interna. Este efecto se denomina spalling, y a veces puede ser tan brusco que llega a ser explosivo. En el capítulo sobre estructuras en túneles se analiza este fenómeno con mayor amplitud

4.- Los efectos de la temperatura en la armadura interna.

La disposición de las armaduras cercanas a la parte del elemento traccionada hace que sufran los efectos de la temperatura en un momento relativamente temprano.

De hecho, éste es uno de los valores que el EUROCODIGO 2 Parte 1-2 toma como referencia para los cálculos de resistencia al fuego, junto con el tamaño mínimo o sección. El acero de armar sufre los mismos efectos con la temperatura que el acero estructural, efectos que se magnifican si este acero está pretensado, pues trabaja más cerca de su límite elástico. Si la protección del hormigón es insuficiente, o el efecto spalling le deja expuesto a la acción del calor, pierde su capacidad al igual que su homólogo estructural. El colapso de la estructura está próximo.

### **Variables del comportamiento del hormigón al fuego**

El comportamiento al fuego de un elemento estructural de hormigón dependerá de:

- 1.- Su tamaño. Cuanto mayor sea su sección, mejor comportamiento.
- 2.- El recubrimiento de la armadura. Cuanto mayor sea la distancia al eje elemento de armar, mejor comportamiento al fuego.
- 3.- Porosidad. - Cuanto menos poroso sea el hormigón, peor comportamiento al fuego.

El hormigón tiene un buen comportamiento en caso de incendio, la presencia de agua y la baja conductividad térmica ralentizan el calentamiento de las secciones. Sin embargo, incluso para las estructuras de hormigón armado son necesarios controles de resistencia al fuego teniendo en cuenta el incremento de temperatura y el comportamiento de las barras de las armaduras.

Los mecanismos de colapso pueden ser diferentes. En la mayoría de los casos, la pérdida de la capacidad de carga es debido a la pérdida de resistencia de la armadura de acero, especialmente cuando, en la fase de diseño, no tuvieron en cuenta explícitamente la acción del fuego y no está bien protegidas de hormigón. El colapso del hormigón es más raro, ya que los espesores son generalmente lo suficientemente altos para permitir que las capas internas de la sección sea resistente a un calentamiento más gradual, lo que provoca la pérdida de la resistencia a la compresión se produce en el tiempo de retraso con respecto al rendimiento de la armadura. Como resultado de ello, son los elementos más vulnerables, la armadura superficial o los pilares muy delgados, los que menos se pueden beneficiar de la conductividad térmica reducida del hormigón.

### **Métodos para la determinación de la resistencia al fuego R**

Desde el punto de vista reglamentario, el Código Técnico de la Edificación especifica que la resistencia al fuego de una estructura de hormigón se puede evaluar basándose en el resultado de:

- Las comparaciones con las tablas.

- Cálculos

#### Clasificación de la base de comparación con Tablas:

El CTE en su Documento Básico DB SI 6 ofrece tablas que pueden ser utilizadas para la verificación de la resistencia al fuego de las estructuras de hormigón armado con respecto a vigas, pilares, paredes y techos de hormigón armado y pretensado.

#### Clasificación en base al resultado de cálculo.

El CTE especifica que la resistencia al fuego de una estructura de hormigón se puede evaluar analíticamente a través de los métodos de cálculo especificados en la Norma EN 1992-1-2:

“Diseño de estructuras de hormigón – Parte 1-2: Reglas generales – estructural contra incendios”.

Los métodos de cálculo que pueden ser adoptados en pruebas de resistencia al fuego de las estructuras de hormigón en virtud de la norma arriba mencionada se pueden distinguir:

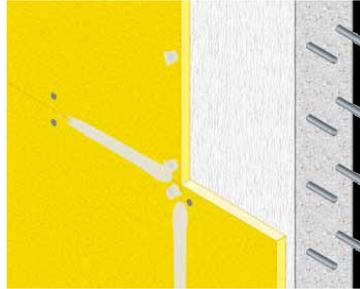
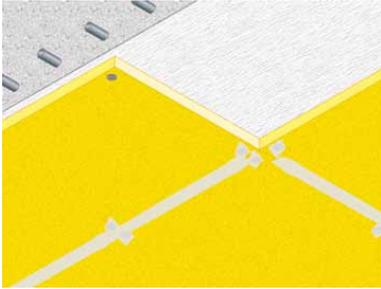
- Métodos de cálculos simplificados,
- Métodos de cálculos avanzados,
- Métodos de cálculos que surge de la comparación con las tablas.

### **Protección de estructuras de hormigón armado**

Los sistemas de protección se aplican a estructuras de hormigón armado a fin de mejorar el rendimiento de la propia estructura. La protección aislante, aplicada como un revestimiento de la superficie de los elementos estructurales, sobre la base de la relación de equivalencia entre el material protector y el hormigón, que se define como el “el espesor mínimo de hormigón capaz de producir el mismo efecto aislante de 1 cm de material de protección”.

Los valores de la relación de equivalencia de los materiales de protección deben ser calculados usando sólo los métodos de ensayo especificados por la norma EN 13381-3 “Métodos de ensayo para la determinación de la contribución a la resistencia al fuego de los elementos estructurales. Parte 3: protección aplicada elementos de hormigón”, y el resultado de las pruebas realizadas según la norma EN 13381-3 no es una verdadera clasificación del elemento, sino más bien un procedimiento para la determinación de los espesores equivalente en función del tipo de elemento a proteger y la resistencia al fuego. Se le conoce como la relación de equivalencia, también resulta ser una función de las características de adherencia del soporte de protección, tanto con variable de resistencia al fuego.

Solexin ha determinado las siguientes relaciones de equivalencia para placas Fireguard 13 a través de las pruebas realizadas de conformidad con la norma EN 13381-3

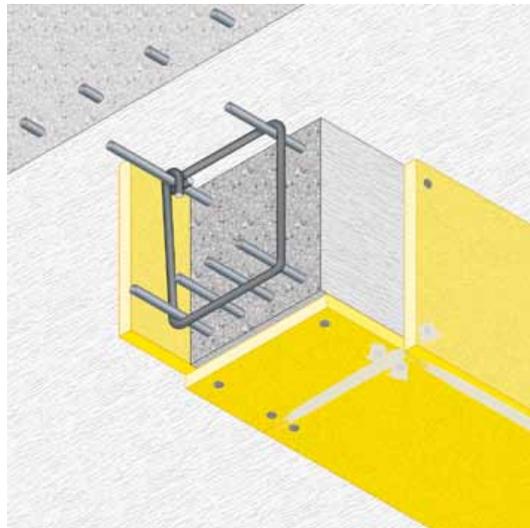
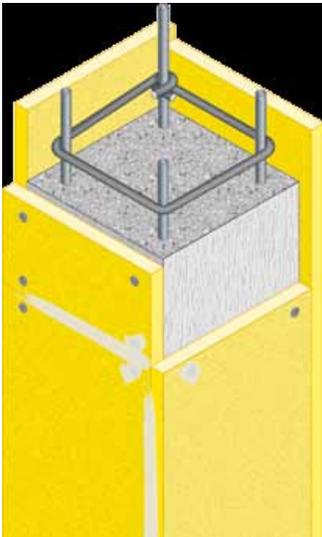


**Muros y forjados - Informe de Ensayo Applus 11-2267-877 M1**

Espesor equivalente de hormigón (mm)						
T (min)	30'	60'	90'	120'	180'	240'
sp (mm)	39	52	63	67	61	21

**Pilares y vigas - Informe de Ensayo Applus 12-2267-543 M1**

Espesor equivalente de hormigón (mm)						
T (min)			90'	120'	180'	240'
sp (mm)			50	54	50	15



**Dimensionamiento de la protección:**

Al final del dimensionamiento de la protección se debe, por tanto:

- 1- Proceder a la determinación de la capa de hormigón necesario en relación la resistencia al fuego requerida, el tipo de refuerzo y las secciones transversales mínimas a través de la verificación de los métodos analíticos

- o de las tablas descritas anteriormente.
- 2- Integrar los revestimientos de hormigón existentes con los valores de cálculo a través de un espesor equivalente de las características de protección de los que se han determinado experimentalmente de conformidad con la norma EN 13381-3.

## BIBLIOGRAFIA

- . Heyman, Jacques (2001). *La ciencia de las estructuras*. Instituto Juan de Herrera (Madrid). ISBN 84-95365-98-7.
- . Choisy, Auguste, y col. (1999). *El arte de construir en Roma*. Ed. Reverté. ISBN 84-89977-67-4.
- . James Strike, Salvador; Pérez Arroyo, María Jesús (2004). *De la construcción a los proyectos*. Ed. Reverté. ISBN 84-291-2101-3.
- . Solá-Morales Rubió, Ignasi de, y col. (2001). *Introducción a la arquitectura. Conceptos fundamentales*. Edicions UPC. ISBN 84-8301-533-1.
- . Arredondo, F. (1972). *Estudio de materiales: V.-Hormigones*. Madrid:Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.
- . Soria, F. (1972). *Estudio de materiales: IV.-Conglomerantes Hidráulicos*. Madrid:Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.
- . Jiménez Montoya P., García Meseguer A., Morán Cabré F. (1987). *Hormigón Armado Tomo I*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S.A. ISBN 84-252-0758-4.
- . España. Leyes y decretos. Normas Técnicas (1999). *Instrucción de Hormigón Estructural. EHE*. Centro de publicaciones del Ministerio de Fomento. ISBN 84-498-0396-9.
- . Tejero Juez, Enrique (1987). *Hormigón Armado*. Colegio Oficial de Arquitectos de Aragón. ISBN 84-600-6347-4.
- . Jürgen MattheiB. (1980). *HORMIGÓN armado armado aligerado pretensado*. Ed. Reverté S.A. ISBN 84-291-2057-2.