

# PATOLOGÍA DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

## PATOLOGÍA DE LOS MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL HORMIGÓN ARMADO

Componentes del hormigón

- Cemento
- Áridos
- Agua
- Aditivos

Cada uno de ellos puede presentar problemas específicos.

### CEMENTO

Componentes

- Silicato bicálcico (S C2)
- Silicato tricálcico (S C3)
- Aluminato tricálcico (A C3)
- Ferroaluminato tetracálcico (F A C4)

La resistencia viene fundamentalmente determinada por los silicatos al igual que el módulo de elasticidad.

### Patología del cemento

- Falso fraguado: Debida a la hidratación rápida del yeso.
- Retracción por exceso de calor de hidratación: Depende del A C3.
- Retracción hidráulica.
- Exceso de A C3: Lleva a resistencias bajas a los ciclos de hielo-deshielo y a atacabilidad por los sulfatos.
- Exceso de cal libre: Es expansivo, produciendo fisuraciones en el hormigón.
- Exceso de cal liberada en la hidratación: Da hormigones atacables por el agua pura o ácida.

- Exceso de magnesia: Produce efectos similares de la cal liberada, pero aún más nocivos.
- Reacciones con los áridos: Los álcalis del cemento pueden reaccionar con áridos silíceos, dando compuestos expansivos.

El actual pliego de recepción de cementos define una serie de cementos con distintos tipos de adiciones (escorias, puzolanas, cenizas volantes o filler calizo).

Es preciso tener en cuenta que en general tienen mayor retracción, exigen mejores curados y su endurecimiento es más lento, por lo que precisan un cuidadoso control desde el fin del fraguado.

**Recomendaciones genéricas para todos los tipos de cementos:**

- Debe utilizarse cemento de la menor resistencia posible para el hormigón que se exija, puesto que dará menos problemas patológicos.
- Debe utilizarse el mínimo de cemento posible para el hormigón que se exija, puesto que dosificaciones altas dan problemas de retracción.
- Si hay sulfatos, especialmente en Levante, debe utilizarse cemento resistente a los sulfatos.

## ÁRIDOS

Los áridos constituyen entre el 70 y el 80% del volumen total del hormigón y son esenciales para definir su resistencia.

**Pocos problemas de patología, salvo áridos inutilizables:**

- Exceso de finos (áridos de machaqueo), que produce bajas de resistencia
- Áridos muy alargados que exigen mayor cantidad de agua y producen igualmente bajas de resistencia.
- Áridos tienen compuestos de azufre, como la piritita, que reaccionan con el cemento dando compuestos expansivos que destruyen completamente la masa de hormigón. (Patologías muy graves).

## AGUA

En general el agua de amasada únicamente precisa ser potable. Deben respetarse las limitaciones que fija la EHE.

Puede utilizarse agua de mar para hormigones en masa. La resistencia disminuye alrededor de un 15% y normalmente aparecerán eflorescencias. Para hormigón armado no debe emplearse puesto que el exceso de iones cloro favorece la corrosión de la armadura.

Normalmente el agua de curado exige mejor calidad que la requerida para el hormigonado.  Formación de geles.

Problemas patológicos:

- Substancias nocivas disueltas en agua que produzcan corrosión química del hormigón.
- Exceso de agua, que disminuye enormemente la resistencia final del hormigón.

## ADITIVOS

Son productos que añadidos al conglomerante mejoran sus propiedades con carácter permanente.

- Mejoran pero no arreglan un hormigón si es defectuoso.
- La mejora de una propiedad puede empeorar otras
- Algunos aditivos en exceso pueden modificar su comportamiento en sentido contrario. Esto se produce a nivel local, por lo que es muy importante que se repartan homogéneamente en toda la amasada.
- Los aditivos con menores problemas suelen ser los plastificantes, mientras que los más problemáticos suelen ser los inclusores de aire y los aceleradores de fraguado, que incluso pueden acelerar los procesos de corrosión.
- Cuidar las dosificaciones, asegurar un reparto homogéneo y utilizar aditivos de comportamiento suficientemente contrastado y convenientemente garantizados por el fabricante.

## **PATOLOGÍA DEL HORMIGÓN ARMADO**

- Patologías del hormigón armado entendido como un todo.
- Producen problemas de resistencia y durabilidad.
- Se refieren a la compactación y a los procesos de corrosión en el hormigón.

### **PATOLOGÍA DEL HORMIGÓN: COMPACTACIÓN**

Depende de cuatro factores: Relación árido-cemento, la dosificación de cemento, la relación agua-cemento y el aire ocluido.

### **INFLUENCIA DE LA RELACIÓN ÁRIDO-CEMENTO**

- Granulometrías adecuadas: Son especialmente malas las deficitarias en diámetros comprendidos entre 0,08 y 2,5 mm. y las que contienen excesos de fracciones finas.
- Una granulometría incorrecta puede paliarse con más cemento. Es preciso ser especialmente cuidadoso con la disposición constructiva, puesto que se producirán mayores retracciones.
- El árido debe ser compatible con las distancias entre armaduras, entre encofrados y entre encofrados y armaduras.

### **INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN DE CEMENTO**

Es conveniente utilizar la mínima cantidad posible de cemento, compatible con la resistencia que se desee obtener. Es preferible utilizar menos cemento y emplear una granulometría correcta y una adecuada relación agua-cemento.

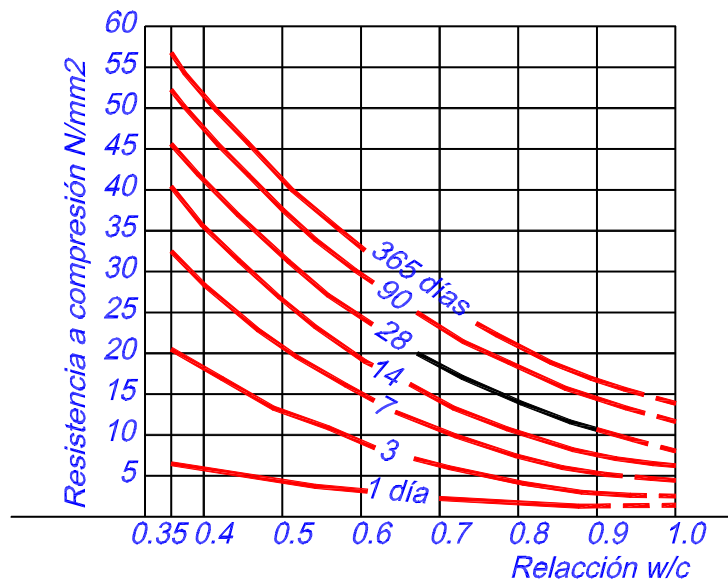
Las altas dosificaciones de cemento:

Calor de hidratación      Fuertes retracciones térmicas.

Fuertes retracciones hidráulicas

Respetar las limitaciones de dosificación contenidas en la EHE.

## INFLUENCIA DE LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO



Mínimo teórico  $w/c = 0,18$   
 Mínimo real  $w/c = 0,30 \div 0,40$

Exceso de agua  $\rightarrow$  Tiene que evaporarse

Hormigones de mayor porosidad, menor resistencia, mayor retracción y en consecuencia mayor riesgo de ataque.

Los valores grandes de w/c penalizan fuertemente la curva de endurecimiento del hormigón a igualdad del resto de las características.

## AIRE OCLUÍDO

Forma parte del hormigón en una proporción del 2 al 5%.

Disminuye la compacidad y la resistencia del hormigón

Puede ser beneficioso al aumentar la durabilidad ante los ciclos hielo-deshielo.

Pueden usarse aditivos aireantes. Pueden dar problemas ( control muy cuidadoso). A cambio permiten reducir la relación agua cemento y permiten mejorar el comportamiento ante heladas y líquidos agresivos.

## PATOLOGÍA DEL HORMIGÓN: CORROSIÓN

Se produce este fenómeno por ataques químicos de diversos medios agresivos:

- Gases atmosféricos
- Aguas
- Compuestos orgánicos.

### CORROSIÓN POR GASES ATMOSFÉRICOS

Combustiones de carbón o petróleo

Gases industriales.

Generalmente se trata de  $\text{CO}_2$  que con el agua produce  $\text{CO}_3\text{H}_2$  o  $\text{SO}_2$  que produce  $\text{SO}_4\text{H}_2$ , que atacan al hormigón.

Prevención → Durabilidad según EHE, (contenido mínimo de cemento, espesor del recubrimiento y control de la fisuración).

Solución → Proteger la superficie del hormigón con pintura.

### CORROSIÓN POR AGUA

Aguas puras: Atacan al hormigón por disolución

Aguas ácidas o salinas: Atacan al cemento convirtiéndolo en sales solubles, que se disuelven

Aguas selenitosas: Producen un ataque especialmente grave, puesto que reaccionan con el aluminato tricálcico dando ettringita que es expansiva.

## AGUA DE MAR

$\text{SO}_4\text{Ca}$  → Produce ettringita.  
 Cloruros → Solubilizan la cal.

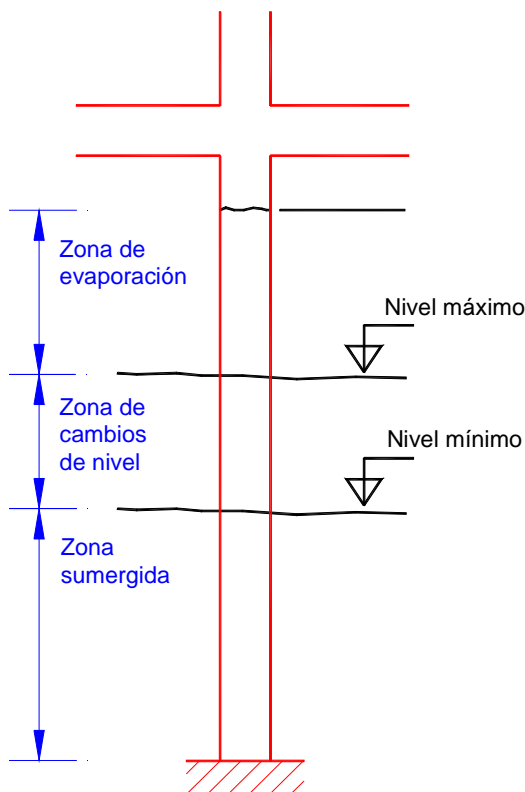
Produce una desagregación muy grave por disolución del cemento.

### Proceso:

- Cambio de color
- Fisuras entrecruzadas
- Abombamiento de la superficie

### Soluciones:

- Hormigones muy compactos
- Cementos con  $A_{C3} < 7$
- Recubrimientos adecuados



### Zonas de ataque de la estructura

**Zona de evaporación (agua capilar)**  
 Fuerte concentración de sales  
 Fuertes ataques, sulfatos de sodio y magnesio.  
 Zona de corrosión más grave.

**Zona de cambios de nivel**  
 Fuerte concentración de sales en los poros  
 Fuertes ataques químicos.

**Zona siempre sumergida**  
 Sólo ataques químicos.

## **CORROSIÓN POR COMPONENTES ORGÁNICOS**

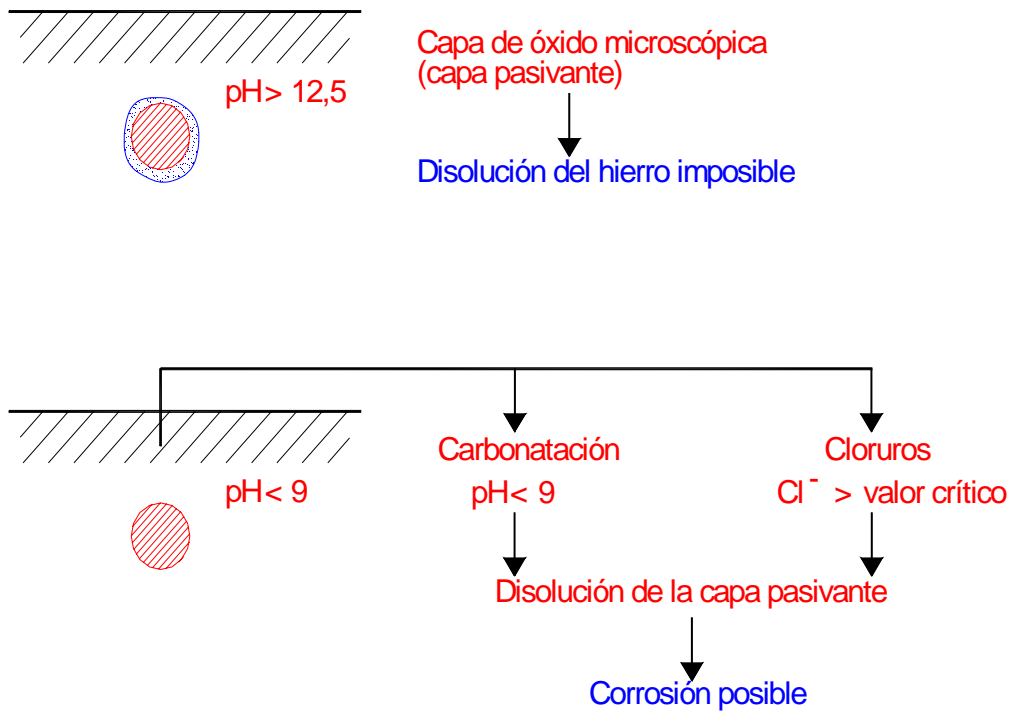
Componentes nocivos:

- Aceite y grasas
- Leche y mantequilla
- Vino y derivados
- Cerveza

Producen ácidos que atacan al hormigón y a veces a la armadura. Debemos tenerlo muy en cuenta si se pretende diseñar estructuras de hormigón que sirvan de contenedores de estos productos.

## MECANISMOS DE CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS

Corrosión química  $\longrightarrow$  Poco frecuente  
 Corrosión electroquímica  $\longrightarrow$  Es el mecanismo habitual



Mecanismo básico de protección de la armadura: Al fraguar el cemento da  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  que da un ambiente básico con un pH superior a 12,5 que impide la corrosión del acero. Se forma una capa alrededor de la armadura que la protege por pasivación.

Para que se produzca la corrosión electroquímica es necesario:

- Destrucción de la capa pasivante
- Oxígeno.
- Humedad.
- Iones cloro que actúan como electrolitos.

- Destrucción de la capa pasivante → Carbonatación

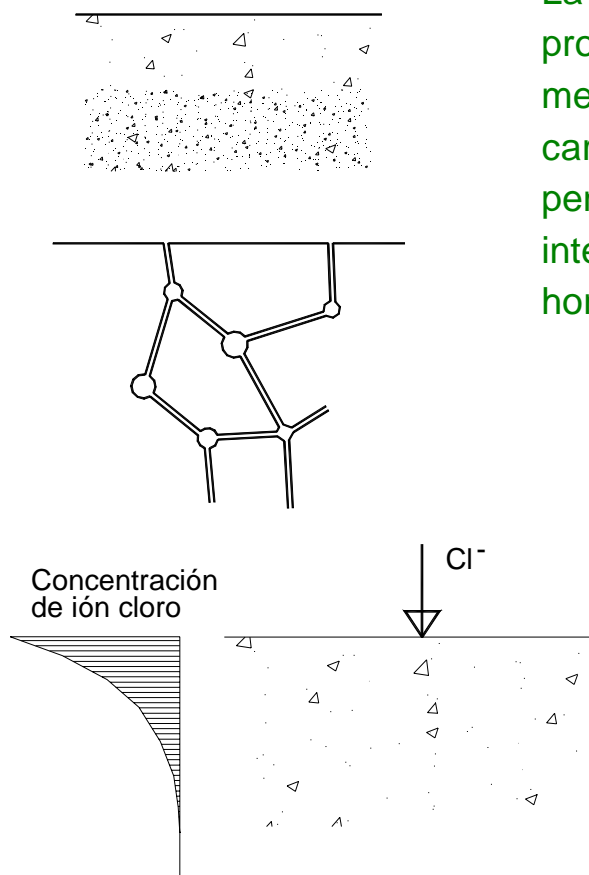


Velocidad de carbonatación

$$d_c = \sqrt[n]{k \cdot t} \quad \text{Siendo } n = 2 \quad (\text{ambiente seco})$$

$$n = 2.2 \div 2.3 \quad (\text{ambiente de humedad variable})$$

k depende de la permeabilidad del hormigón



La carbonatación va avanzando progresivamente con el tiempo en la medida en la que el oxígeno, anhídrido carbónico, humedad e iones cloro van penetrando a través de la red de poros intercomunicados que siempre tiene el hormigón superficialmente.

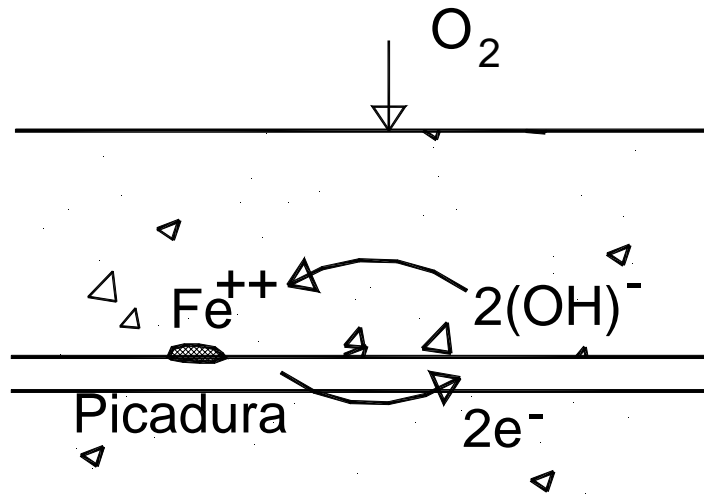
Un mecanismo importante para la corrosión es la difusión de los iones cloro, que son imprescindibles como electrolito. Los iones cloro se difunden en especial a través de poros llenos de agua. El hormigón se moja superficialmente y al secarse las sales de cloro se fijan en los poros.

Al mojarse nuevamente aumenta la concentración de iones cloro y el proceso va incrementándose progresivamente, dependiendo sobre todo de la permeabilidad del recubrimiento.

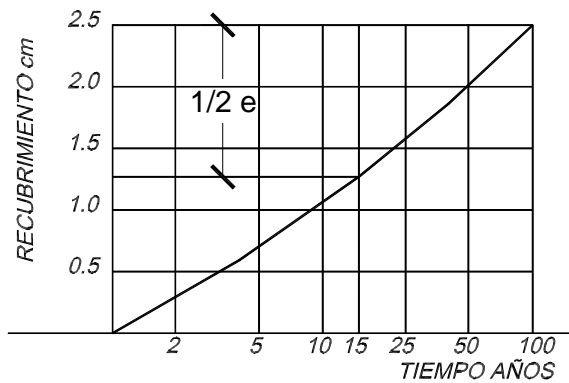
Proceso de corrosión



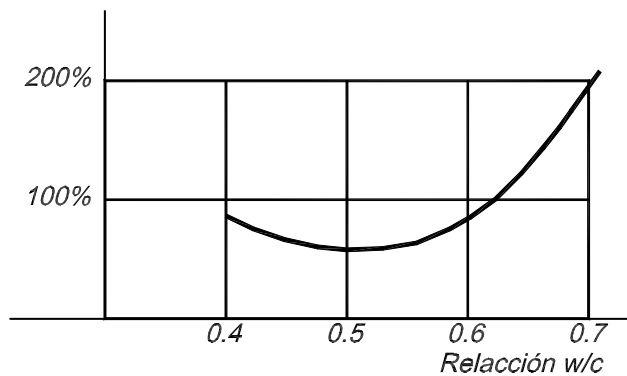
Modelo simplificado.



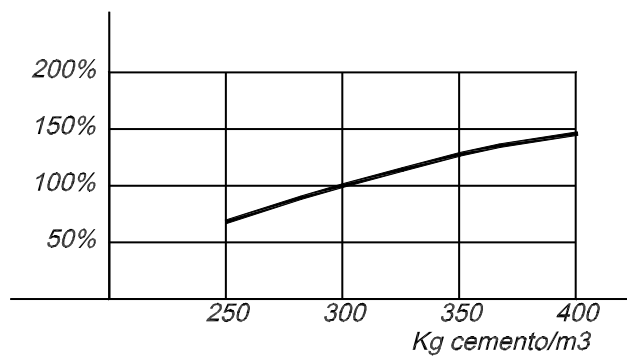
Se trata de un proceso electroquímico en el que se precisa la presencia de oxígeno, humedad, iones cloro que actúan como electrolitos y la destrucción de la capa pasivante, puesto que si existe es imposible químicamente el proceso. Si cualquiera de estos factores no existe, la corrosión resulta imposible.



Influencia que tiene el espesor del recubrimiento.



Influencia de la relación agua-cemento



Influencia del contenido de cemento.

### Prevención:

- Correcto diseño
- Geometrías que dejen mucha superficie expuesta al ataque.
- Geometrías que supongan acumulaciones de humedad o agua.
- Eliminación en lo posible las aristas vivas, puesto que el hormigón resulta de peor calidad y más expuesto al ataque.
- Respetar los espesores mínimos definidos en la EHE.

### Reparación:

Teóricamente es muy sencilla, aunque su puesta en obra a veces lleva a dificultades casi insuperables, que debemos prever cuidadosamente.

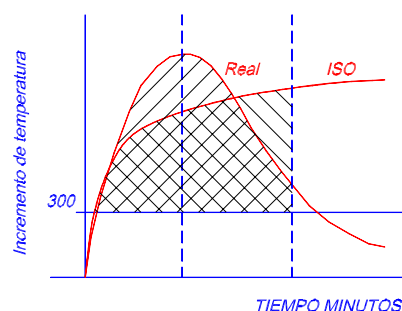
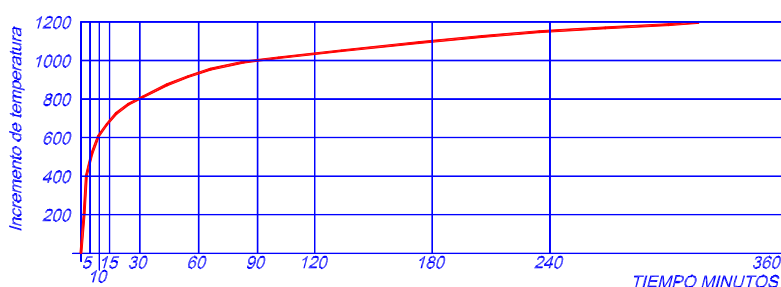
- Desprender el recubrimiento dañado.
- Limpiar la armadura.
- Reponer el recubrimiento con mortero de epoxi, gunita, drumix u otro sistema similar.

No debemos olvidar que las condiciones de ataque permanecen, por lo que es muy conveniente utilizar tras la reparación películas protectoras.

## EFFECTO DEL FUEGO SOBRE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

- El fuego es causa importante de patologías sobre estructuras de hormigón.
- Poca atención en España (pocos siniestros por la escasez de seguros).
- La situación va variando en la actualidad.

Estudio del incendio: Se utiliza el incendio patrón definido por la norma ISO



$$\theta - \theta_1 = 345 \cdot \log(8 \cdot t + 1) \quad (\text{Incendio ISO})$$

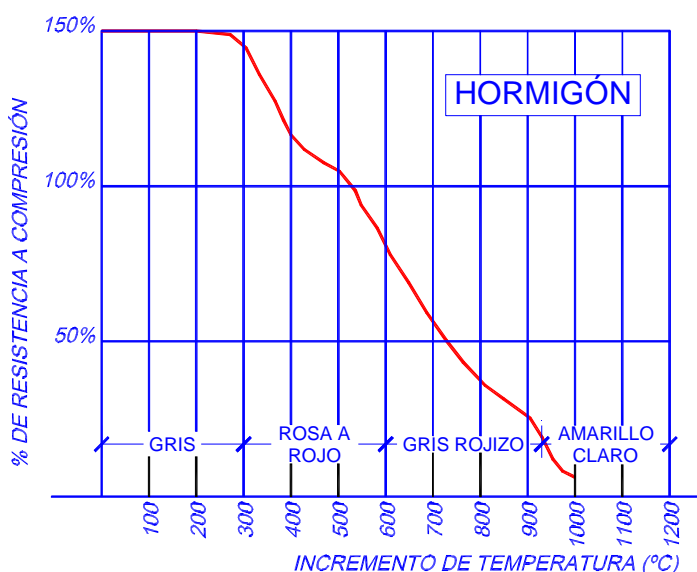
El incendio real es distinto del previsto en la norma ISO. Si el área situada sobre la temperatura de 300° es la misma se supone que los incendios son equivalentes.

Prevención:

- Soluciones de diseño que impidan fuertes concentraciones en el incendio y a tal efecto es muy recomendable en locales con grave riesgo situar aperturas de huecos junto al forjado, de forma tal que las llamas y gases calientes puedan salir por ellos limitando la concentración de llamas sobre el forjado.
- El incendio será más espectacular, pero mucho menos peligroso.

## Hormigón:

- Prácticamente no resulta afectado por temperaturas inferiores a 300°.
- A partir de ellos inicia una fuerte pérdida de resistencia, que ya no se recupera tras el incendio, sino que disminuye aún más.
- Su bajo coeficiente calorífico hace que tarde mucho en alcanzar los niveles peligrosos.
- Si el incendio es corto, normalmente se comporta muy bien.



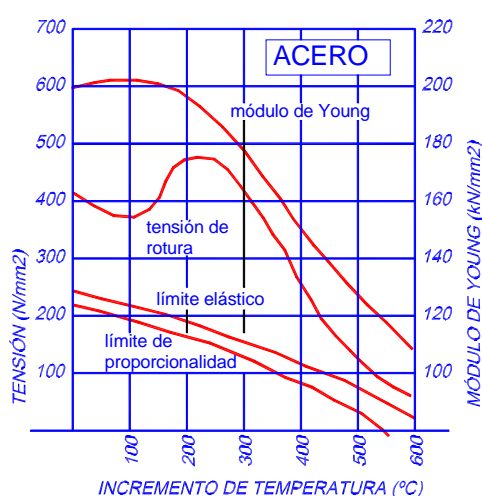
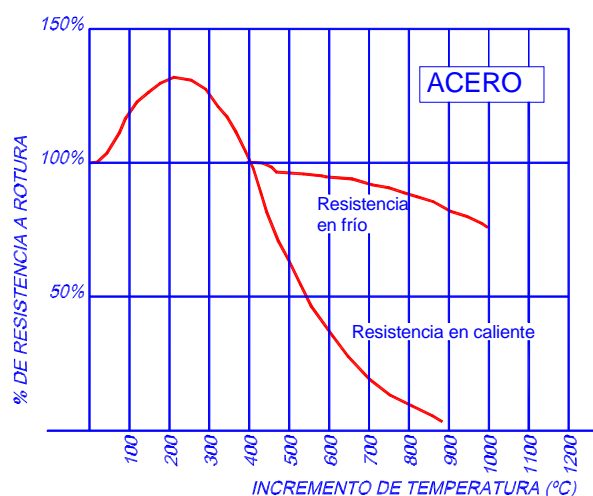
Para la evaluación de la temperatura alcanzada durante el incendio suele emplearse las variaciones de coloración que se indican, aunque tienen un matiz subjetivo que hace difícil la determinación precisa de la temperatura (sólo son válidas para áridos silíceos).

Vale como estimación inicial y luego se recurre a medir la resistencia por probetas testigo.

Una superficie de hormigón afectada por un incendio no puede ser analizada por ensayo esclerométrico, al carecer de fiabilidad.

### Acero:

- Sufre una fuerte pérdida de resistencia durante el incendio.
- Alcanza pronto valores altos de temperatura por su alto coeficiente calorífico.
- Es muy peligroso durante el siniestro, pero tras el mismo recupera casi toda su resistencia.
- Si resiste el incendio, en general será aprovechable tras el mismo.



### Acero de pretensado:

- Sufre pérdidas muy graves por relajación que lo convierten en inutilizable en la mayoría de los casos.
- Si se desea reutilizar estructuras pretensadas es preciso un estudio sumamente cuidadoso.
- Especialmente complejo es el caso de los forjados de viguetas pretensadas, que en muchos casos han de ser demolidos tras el incendio.

## SINTOMATOLOGÍA EN LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

Es el conjunto de los síntomas que puede presentar una estructura y que pueden ser indicativos de un fallo, tanto en su seguridad como en su durabilidad.

Las estructuras de hormigón armado pueden presentar numerosos tipos de problemas, que muchas veces rebasan los simples límites de los fallos resistentes. Así fenómenos como la corrosión o la desagregación química pueden ser incluso más peligrosos y difíciles de reparar que un fallo en la armadura, que normalmente es el que nos parece más grave.

Fenómenos a considerar:

- Fisuraciones.
- Hinchazones.
- Desagregaciones.
- Disgregaciones.
- Cambios de color.
- Eflorescencias.

## FISURACIÓN

Rotura en la masa de hormigón que se manifiesta exteriormente con un desarrollo lineal.

### CLASIFICACIÓN:

- Microfisuras:  $e < 0,05$  mm.- En general carecen de importancia.
- Fisuras:  $0,1 < e < 0,2$  mm.- En general son poco peligrosas, salvo en ambientes agresivos, en los que pueden favorecer la corrosión.
- Macrofisuras  $e > 0,2$  mm.- Estas son las fisuraciones que pueden tener repercusiones estructurales de importancia.

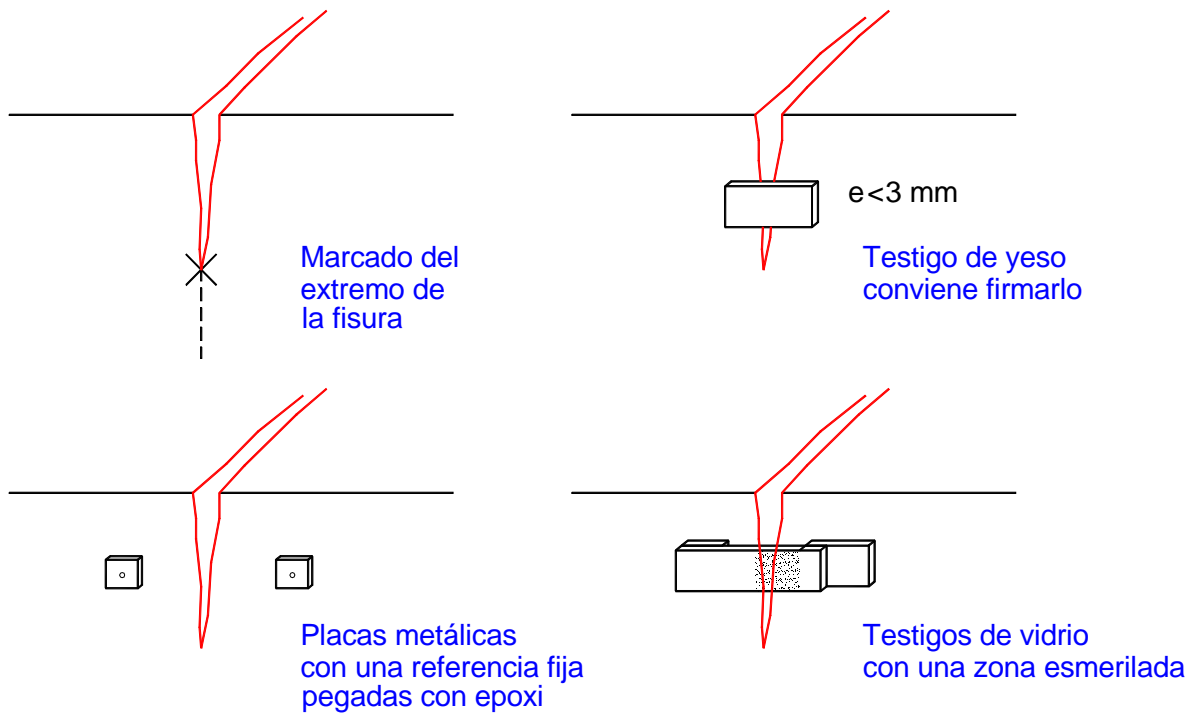
### CAUSAS:

- Curado deficiente
  - Retracción
  - Entumecimiento
  - Variaciones térmicas
  - Ataque químico
- Problemas del hormigón
- 
- Solicitaciones excesivas
  - Errores de proyecto
  - Errores de ejecución
  - Asientos.
- Problemas de proyecto o de ejecución del hormigón

En cuanto a su comportamiento podemos hablar de:

- Fisuras vivas.- Si continúan en movimiento, abriéndose o cerrándose.
- Fisuras muertas.- Si están ya estabilizadas en su estado final.

## CONTROL DE FISURACIÓN



Actuación del técnico: Comienza cuando es requerido para informar sobre la aparición de unas fisuras en un edificio.

Primera intervención:

- Fijar el estado de la fisura.
- Medir su grueso.
- Determinar si son vivas o muertas.

## **FISURAS DEBIDAS A PROBLEMAS DEL PROPIO HORMIGÓN**

Producidas por problemas intrínsecos del propio hormigón, especialmente ligadas al proceso de fraguado.

Pueden estar ligadas a defectos de fabricación o de puesta en obra del hormigón, pero no son estructurales.

## **FISURAS EN ESTADO PLÁSTICO**

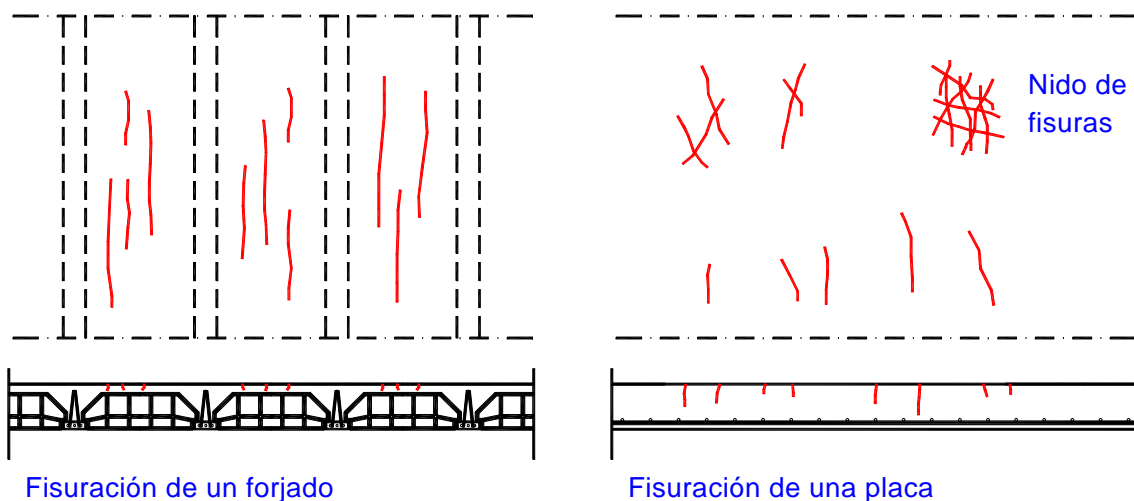
Se producen en los primeros momentos de la puesta en obra del hormigón, mientras todavía está en estado plástico.

Causas:

- Afogado.
- Retracción.
- Entumecimiento.
- Incorrectas puestas en obra en estado plástico.

## FISURAS DE AFOGARADO.

- Se producen por desecación superficial del hormigón en estado plástico.
- Causas principales Aire seco y/o el soleamiento.
- Aparecen en las primeras horas del hormigonado y generalmente formando grupos.
- A veces se forman nidos de fisuras alrededor de zonas con concentraciones puntuales de cemento.
- Fisuras pequeñas (20÷40 mm). A veces hasta 100 mm.

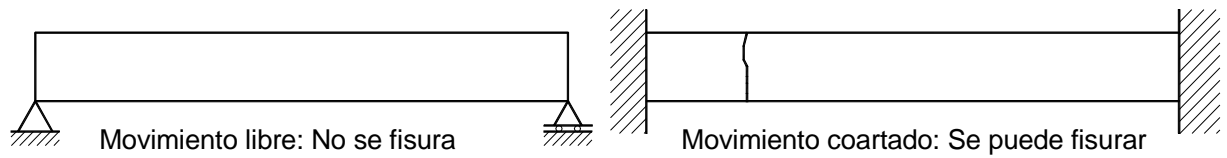


- Se evitan con un buen curado.

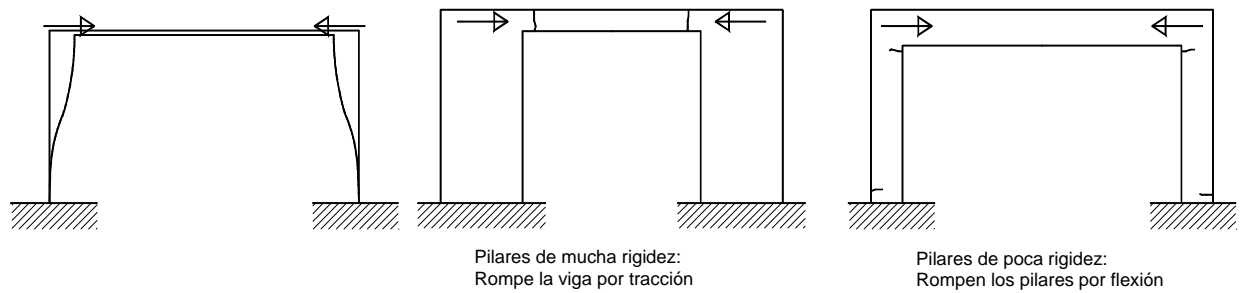
En general las fisuras de afogarado carecen de importancia estructural y sólo han de tenerse en cuenta si pueden facilitar la corrosión de las armaduras o por problemas estéticos.

## FISURAS DE RETRACCIÓN HIDRÁULICA

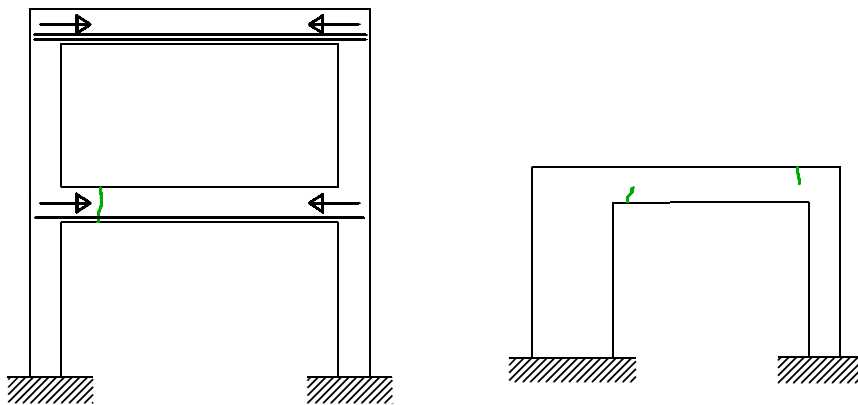
El hormigón al fraguar disminuye de volumen. Si la estructura tiene su disminución de dimensiones coartada puede romperse.



La estructura se romperá por la zona más débil.



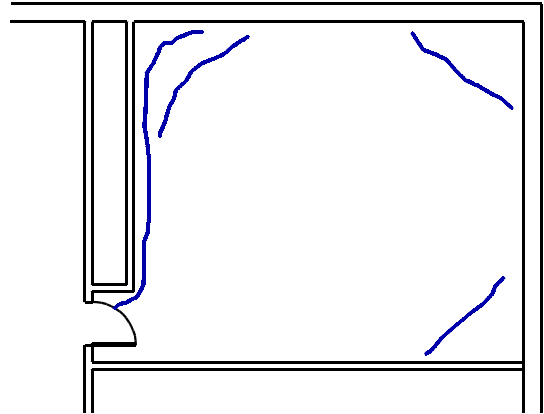
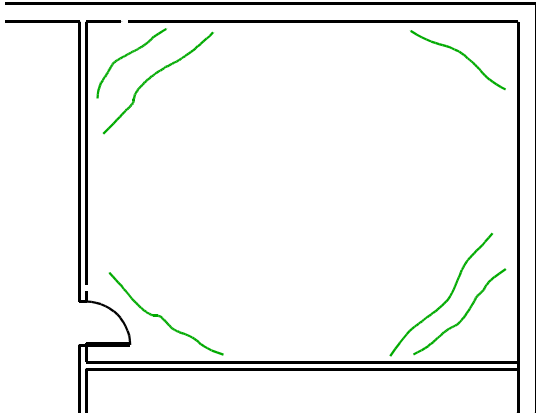
## Retracciones diferenciales



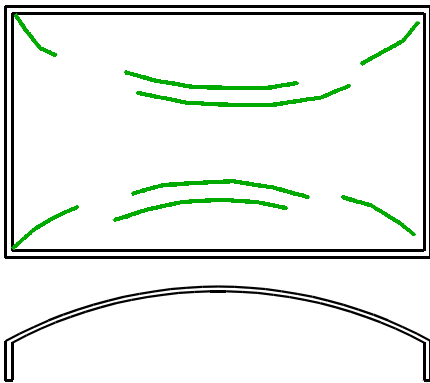
En vigas

En pilares

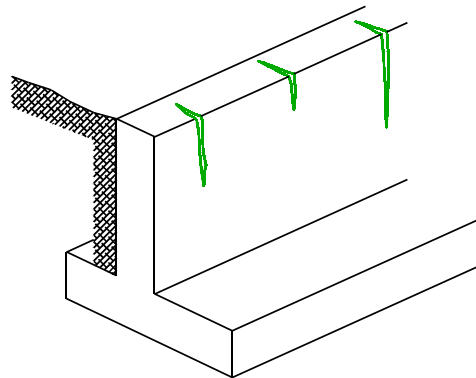
Fisuras de retracción en placas.



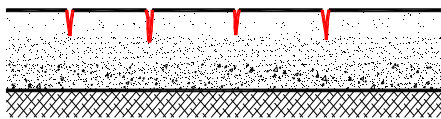
Fisuras de retracción en láminas



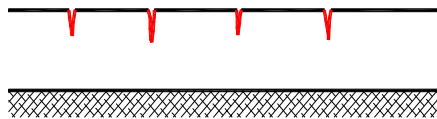
Fisuras de retracción en muros



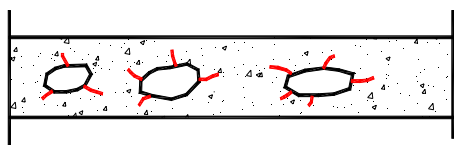
Otras fisuras de retracción



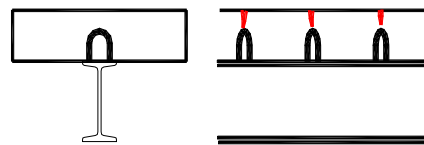
Segregación del hormigón



Por diferencia de humedad  
Terreno húmedo



Áridos gruesos



Macizado en vigas mixtas

### Características de las fisuras de retracción hidráulica:

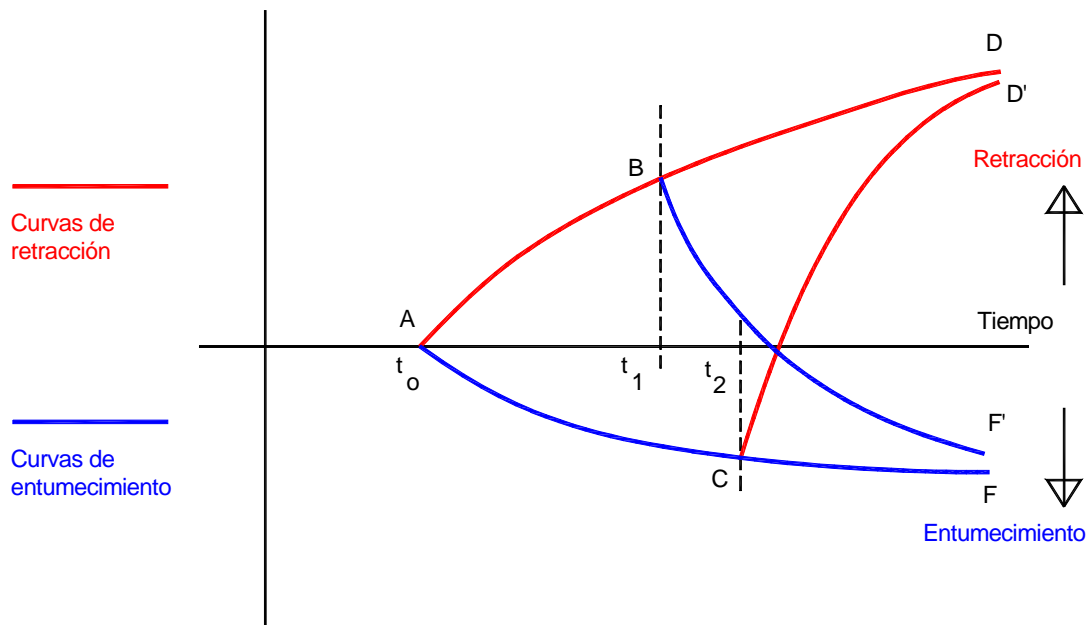
- Aparición retardada, meses y a veces años.
- Más frecuentes e importantes en elementos situados en zonas secas y soleadas. A veces es muy difícil de distinguir su origen por retracción o por efectos térmicos.
- Son regulares, con anchura prácticamente constante y normalmente se estabilizan muy rápidamente, por lo que cuando el técnico interviene suelen ser muertas.
- Su forma depende del armado del elemento.
  - Cuantías altas → Fisuras finas y juntas.
  - Cuantías bajas → Fisuras gruesas y separadas.
- No suelen tener riesgo estructural, pero sí de durabilidad

### Soluciones:

- Juntas de retracción en especial en elementos de gran superficie, como muros o pavimentos.
- Armaduras de piel en elementos lineales.
- Para la reparación de una estructura dañada puede recurrirse a técnicas de cicatrización u ocratizado de las fisuras si son delgadas o bien a la inyección con resina epoxi si son gruesas.

## FISURAS POR ENTUMECIMIENTO.

El entumecimiento es el efecto contrario a la retracción. Así como el hormigón que fragua en el aire disminuye de volumen (retracción), el hormigón que fragua sumergido en agua aumenta de volumen (entumecimiento). Los efectos son similares pero contrarios a los de la retracción, pero en la práctica las patologías por entumecimiento son casi inexistentes.



## FISURAS DE ORIGEN TÉRMICO

Se pueden producir por el gradiente de temperatura que se produce en el hormigón por su baja conductividad.

Solución: Un buen curado.

Otros efectos térmicos:

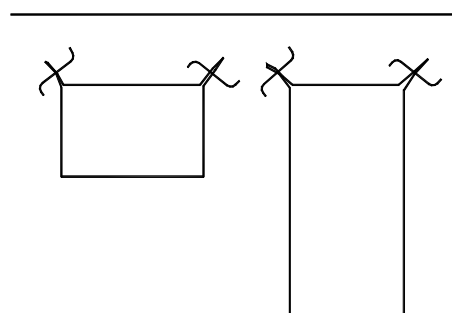
- Variaciones fuertes de temperatura.
- Focos puntuales de calor como chimeneas o calderas.
- Empujes producidos por congelación de agua, etc.

Su sintomatología es muy parecida a la de retracción, lo que a veces es muy difícil de distinguir.

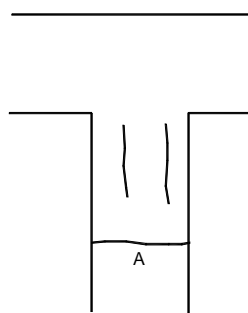
## FISURAS DE EJECUCIÓN EN ESTADO PLÁSTICO

Son las fisuras que se producen en las primeras horas de vida del hormigón por asentamiento o deslizamiento del mismo. En general son fisuras poco importantes que sólo afectan a la estética de la estructura. Los casos más frecuentes son:

- Deslizamiento del hormigón en rampas o piezas inclinadas.
- Movimientos del encofrado.
- Desplazamientos en la armadura al picar o vibrar el hormigón.
- Asientos en el hormigón fresco impedidos parcialmente por un encofrado. Son frecuentes en huecos de muros hormigonados en una sola vez o en uniones viga-pilar o placa-muro si también se hormigonan conjuntamente. En todos estos casos debe esperarse una o dos horas con el hormigonado a nivel de la cara superior del hueco



Huecos en muros



Unión viga-pilar

para permitir el asentamiento del hormigón fresco. También pueden ponerse en los huecos una pequeñas armaduras que cosan la posible fisuración de la esquina.

En el caso de la unión viga-pilar es de hacer notar que si la fisura horizontal es poco visible o queda disimulada por algún elemento, puede confundirse con la situación previa al colapso del pilar por desplazamiento de estribos, es decir una patología especialmente grave, mientras que en realidad carecería de importancia.

## **FISURAS DEBIDAS A PROBLEMAS DE PROYECTO O DE EJECUCIÓN DE LA ESTRUCTURA EN SU CONJUNTO**

En este apartado se estudiarán las principales causas de fisuración con importancia estructural, es decir aquellas que son síntomas de un mal comportamiento estructural del conjunto.

## **FISURAS POR SOLICITACIONES EXCESIVAS**

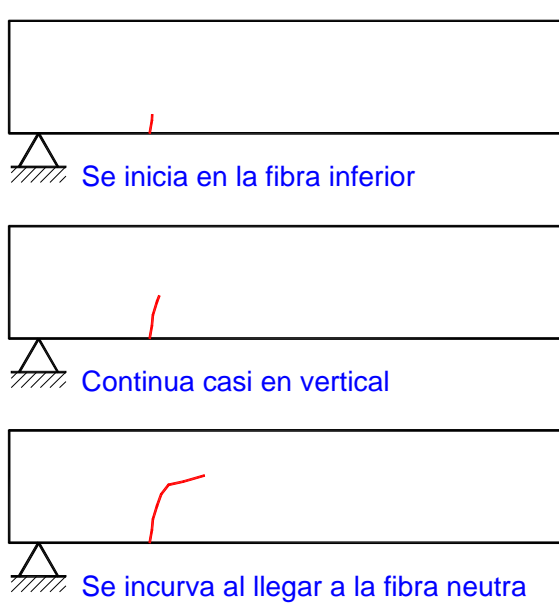
Son las fisuras que causan la mayor alarma y en la mayoría de los casos las que corresponden a las patologías más graves, puesto que indican que el hormigón está alcanzando o ha sobrepasado su capacidad resistente.

Sin embargo la fisuración no es por sí misma un indicio alarmante. Lo normal es que las piezas de hormigón se fisuren en estado de servicio y de hecho el estudio de las deformaciones en piezas flexadas de hormigón tiene dos estados que se diferencian por que la pieza pasa de un primer estado sin fisurar a un segundo estado fisurada, **sin que ello implique problemas patológicos.**

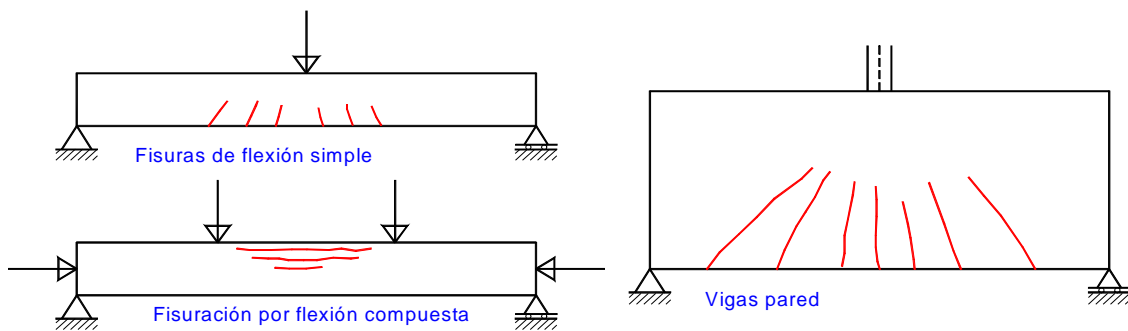
Por ello conviene estudiar la evolución de la fisuración de una pieza de hormigón para comprobar si corresponde o no a una situación de alarma. En lo que sigue vamos a dar unos criterios puramente orientativos, pero es importante resaltar que un mismo tipo de fisuras puede estar producido por causas diversas y además las fisuras raramente se comportan como dicen los libros, puesto que muchas veces existen otros factores que distorsionan los resultados. Como en casi todo la experiencia y el ojo clínico son esenciales en un correcto diagnóstico. Pese a ello es conveniente un pequeño estudio del comportamiento normal de las distintas piezas de hormigón ante solicitaciones excesivas, puesto que siempre nos dará unas pautas.

## FISURAS POR FLECTOR

Evolución de UNA fisura de momento flector



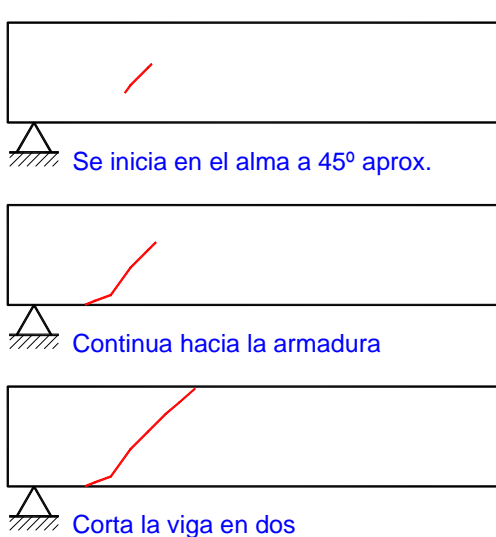
- Se inicia en la fibra inferior.
- Progresa aproximadamente en vertical.
- Se incurva al llegar a la fibra neutra.
- Aparecen varias y bastante juntas.
- Evolucionan lentamente.
- Aparecen bajo carga y desaparecen al descargar.



Hay que apuntalar la pieza y proceder a su refuerzo.

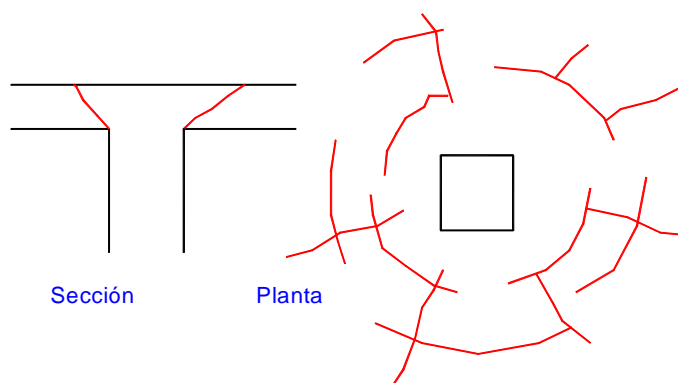
## FISURAS POR CORTANTE

Evolución de UNA fisura de esfuerzo cortante



- Comienzan en el alma, generalmente a 45°.
- Progresan hacia la armadura y luego hacia la carga.
- Dividen la pieza en dos, provocando el colapso.
- Evolucionan muy rápidamente y son muy peligrosas.
- Aparecen pocas y muchas veces una sola.
- Hay que evacuar inmediatamente el edificio, apuntalar y reforzar.

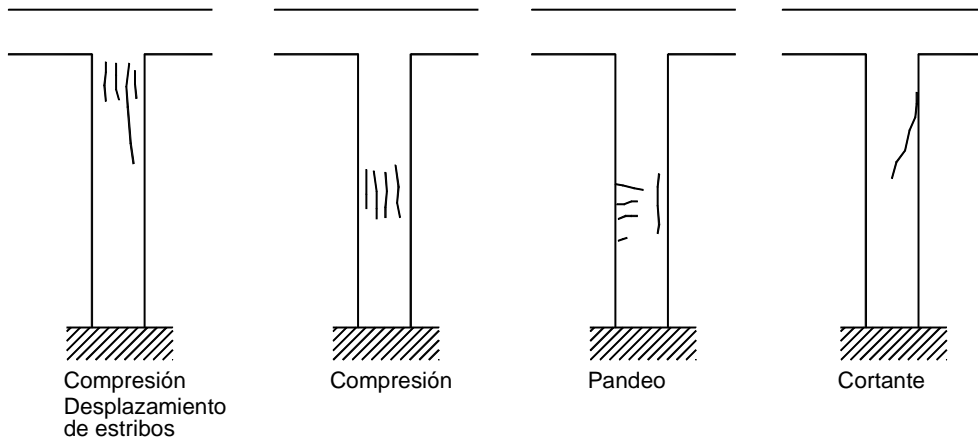
## FISURAS DE PUNZONAMIENTO



- En ábacos de forjados reticulares.
- En las uniones de vigas planas con pilares.
- Son fisuras de características similares a las del cortante y por ello sumamente peligrosas.

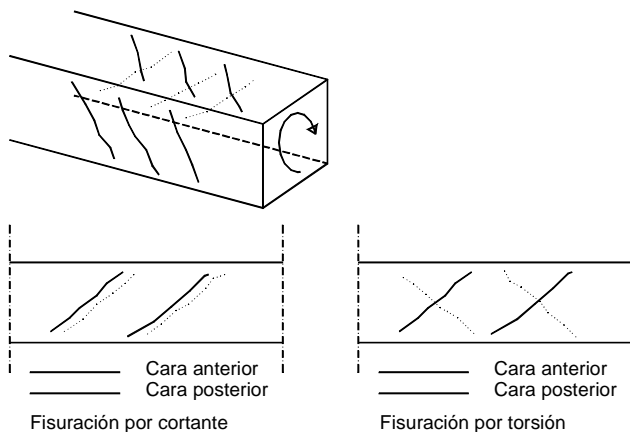
## FISURAS DE COMPRESIÓN

- Se producen sobre todo en pilares.
- Son especialmente peligrosas por su evolución, generalmente rápida y por la importancia de dichos elementos estructurales.
- Muchas veces es bastante difícil identificarlas.



## FISURAS DE TORSIÓN

Tienen un aspecto similar a las del esfuerzo cortante y por tanto pueden ser confundidas con ellas. El principal criterio para distinguirlas es que en el caso del cortante las fisuras están inclinadas en el mismo sentido en las dos caras opuestas en tanto que las de torsión están inclinadas en sentidos contrarios, como se indica en la figura.

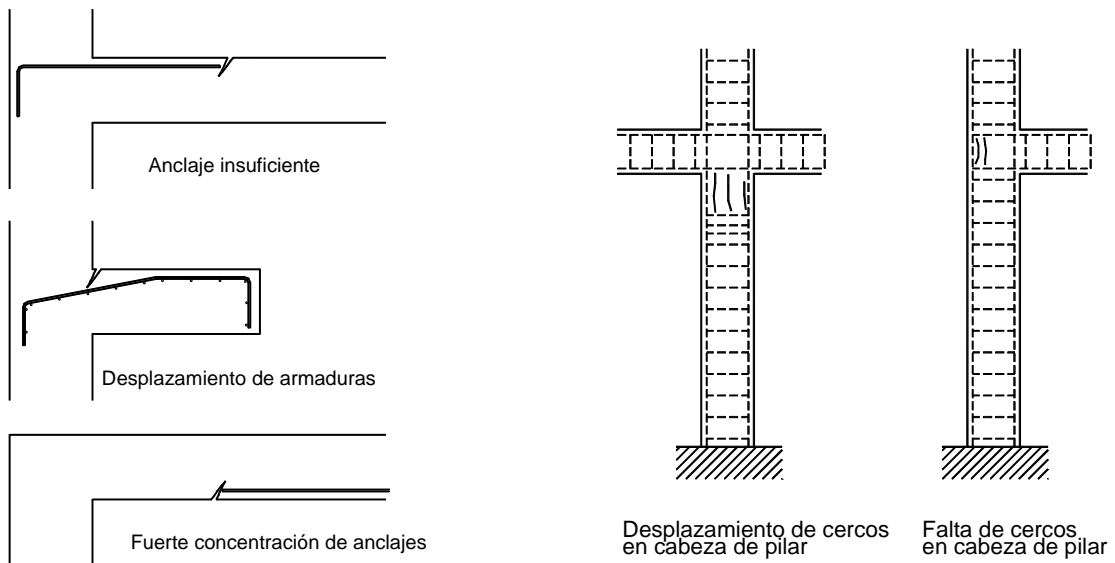


Torsión principal → Muy peligrosas  
 Torsión secundaria → Reajuste de deformaciones (poco importantes)

## FISURAS POR MALA DISPOSICIÓN DE LA ARMADURA

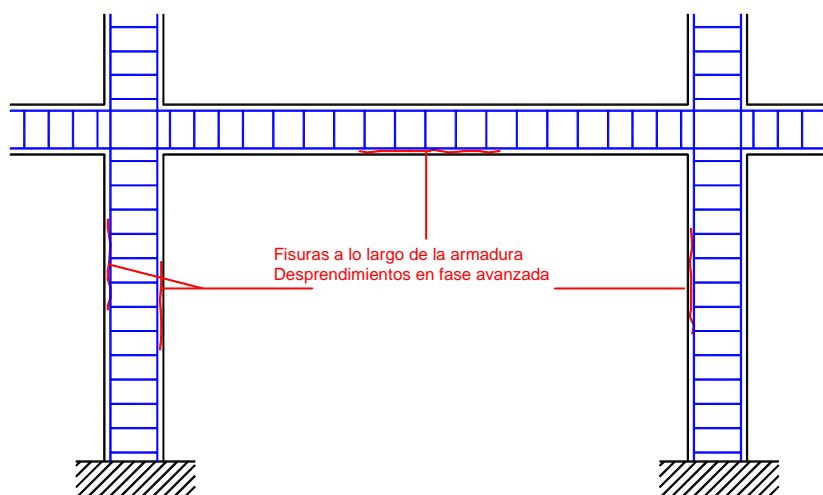
Las malas disposiciones de la armadura pueden dar lugar a patologías sumamente graves. En la figura se muestran varios casos en los que el desplazamiento accidental de la armadura en obra, muchas veces por simple pisoteo provoca la reducción del canto útil y por consiguiente la drástica reducción de la capacidad resistente de la pieza.

Otros casos que pueden ser muy graves son los producidos por desplazamientos de cercos en pilares que pueden llevar al colapso por pandeo de las armaduras comprimidas. También es posible la aparición de problemas patológicos por deficiente anclaje de las armaduras, como los casos señalados en la figura.



## FISURAS POR CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS

El acero al corroerse aumenta de volumen en una proporción de 10 veces aproximadamente, por lo que actúa como una cuña interna que hace saltar el recubrimiento de hormigón. Lógicamente este efecto se producirá a lo largo de las armaduras y normalmente aparecerán dichas fisuras manchadas de óxido, por lo que esta patología es muy fácil de detectar. Las primeras armaduras en corroerse son las de la armadura principal y en fase avanzada los cercos. Es en este momento cuando la patología empieza a ser peligrosa en pilares, puesto que pueden pandear las armaduras principales.



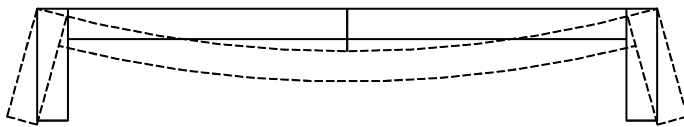
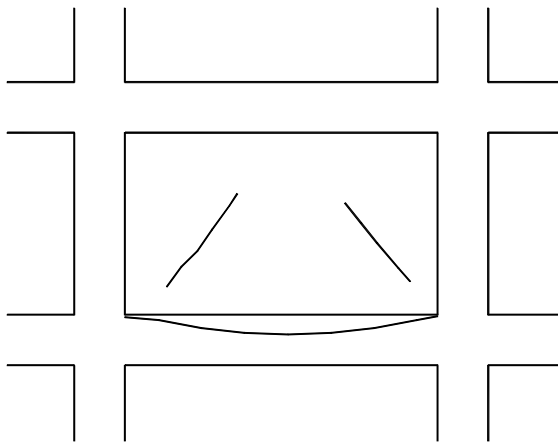
En general las patologías por corrosión no son urgentes, en el sentido de que se precisa un ataque muy severo para que la pérdida de sección de la armadura llegue a ser peligrosa. Por lo general la reparación

puede hacerse con calma y tras un estudio completo para detectar las causas. Sin embargo es conveniente recordar que esta patología no se arregla por sí misma y que hay que actuar necesariamente, aún sin prisa. Lo mejor es evitar este problema utilizando hormigón compacto, con recubrimientos adecuados y cementos con alto contenido en cal si el ambiente es agresivo. Una vez de que produce la patología hay que sanear el hormigón dañado y reconstruirlo con un hormigón o mortero adecuado, protegiendo la superficie con un producto especial.

## FISURAS POR EXCESO DE DEFORMACIÓN

Las patologías por exceso de flecha han sido normales desde siempre, pero en los últimos tiempos el problema se ha agudizado, puesto que la construcción moderna tiende hacia estructuras muy flexibles, que favorecen el exceso de deformaciones. Así la construcción con vigas planas, con piezas muy esbeltas, con menores grados de empotramiento y con mayores pesos en los solados, llevan a que las flechas, tanto

instantáneas como diferidas, sean muy superiores a las tradicionales en estructura de hormigón.

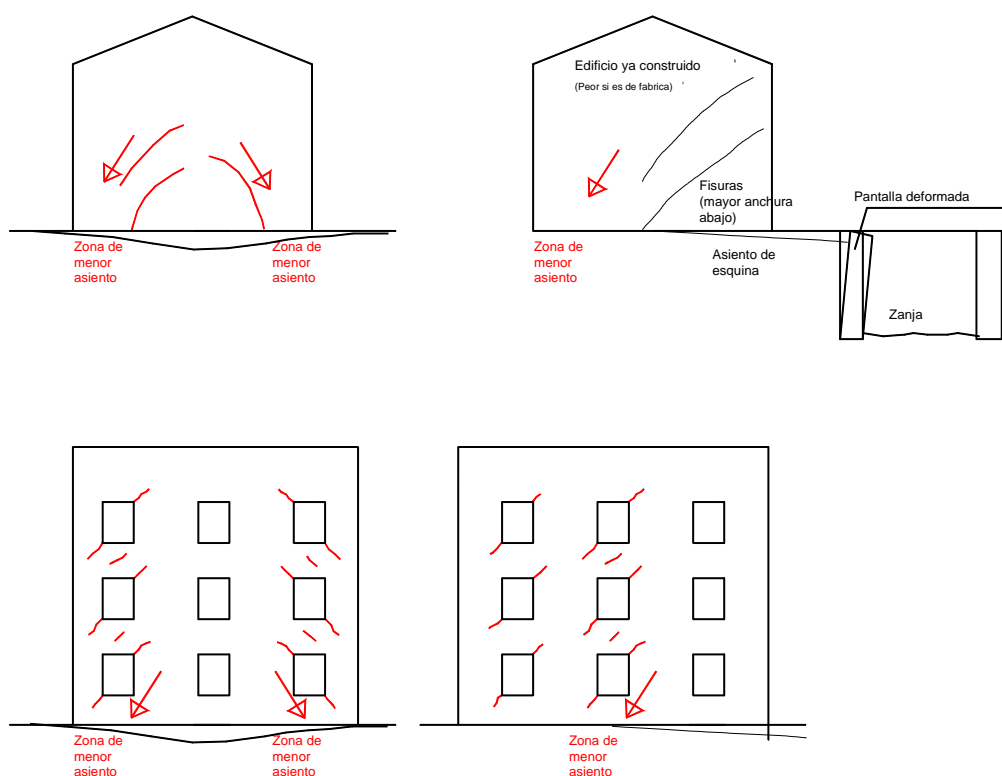


En la figura se señalan dos tipos de problemas corrientes. Por un lado la típica fisuración en tabiques, que no suele dar más problemas que los puramente estéticos y por otro las torsiones que los forjados pueden producir en las vigas extremas y que pueden

revestir enorme gravedad.

## FISURAS POR ASIENTOS EXCESIVOS

La fisuración producida por asientos es una parte sustancial de las patologías observadas y en general suponen problemas difíciles y costosos de resolver. Esto y la propia incertidumbre de trabajar con un material como es el terreno, cuyas propiedades no son bien conocidas, hace que este tema sea de especial dificultad.



Los problemas de asientos no deben atribuirse al terreno. El terreno es como es y la obligación del técnico es averiguar sus características. La responsabilidad de la aparición de lesiones únicamente debe atribuirse a la estructura, que no ha podido adaptarse a las características del terreno real.

En la mayor parte de los casos la actuación consistirá en una intervención sobre la estructura o la cimentación, siendo muy poco frecuentes las intervenciones de consolidación sobre el terreno.

## DESAGREGACIONES

Consisten en la degradación del cemento que deja de funcionar como aglomerante y en consecuencia deja libres los áridos. Las causas de las desagregaciones suelen ser ataques químicos, sobre todo sulfatos y cloruros.

El proceso es lento y empieza generalmente con un cambio de coloración, seguido de la formación de fisuras entrecruzadas que van aumentando progresivamente. A continuación la superficie se va abarquillando, hasta que se desprende y se va desintegrando la masa del hormigón.

Para contener este tipo de ataques conviene usar en medios agresivos hormigones muy compactos y cementos con poco contenido de aluminato tricálcico. En todo caso es un fenómeno difícil de evitar. Lo mejor es aislar el hormigón del medio agresivo con barreras asfálticas, de epoxi, etc.

## DISGREGACIONES

Las disgregaciones son roturas que se producen desde el interior del hormigón por esfuerzos internos que produzcan fuertes tracciones, que el hormigón no puede resistir.

Las disgregaciones pueden producirse por causas muy diversas. Así la corrosión de armaduras o las deformaciones muy fuertes, que producen disgregación del hormigón superficial. También pueden producirse fenómenos de disgregación al helarse agua que haya podido penetrar en cavidades internas. Un caso que puede ser grave es la congelación de agua que se haya podido depositar en las vainas de pretensado en la fase de construcción.

## **OTROS FENÓMENOS A CONSIDERAR**

Además de la sintomatología que hemos descrito, se producen sobre el hormigón otros fenómenos patológicos que tienen importancia desde el punto de vista estético, pero que en principio no compromete la seguridad de la estructura. Estos pueden ser:

**CAMBIOS DE COLOR.**- Producidos por el efecto de cloruros, diversos aditivos o desmoldeadores.

**EFLORESCENCIAS.**- Producidos por diversas sales solubles que pueda contener el agua de amasado o de curado y que cristalizan en la superficie del hormigón.