

**PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN. GRIETAS
Y FISURAS EN OBRAS DE HORMIGÓN. ORIGEN Y
PREVENCIÓN**

José Toirac Corral *

RESUMEN

El proyecto y ejecución de una estructura debe alcanzar las condiciones adecuadas de seguridad, funcionalidad (actitud al servicio) y durabilidad. Sobre último particular, estudiaremos las grietas y fisuras, que sin duda constituyen uno de los síntomas patológicos de mayor adversidad y ocurrencia en toda obra de hormigón. En el trabajo se investigará la influencia práctica de las principales causas que originan este mal, relacionando las medidas preventivas y correctivas de lugar, para que con su aplicación, contribuya al logro de una mayor vida útil de nuestras obras.

PALABRAS CLAVES

Hormigón, grietas, fisuras, patología de la construcción.

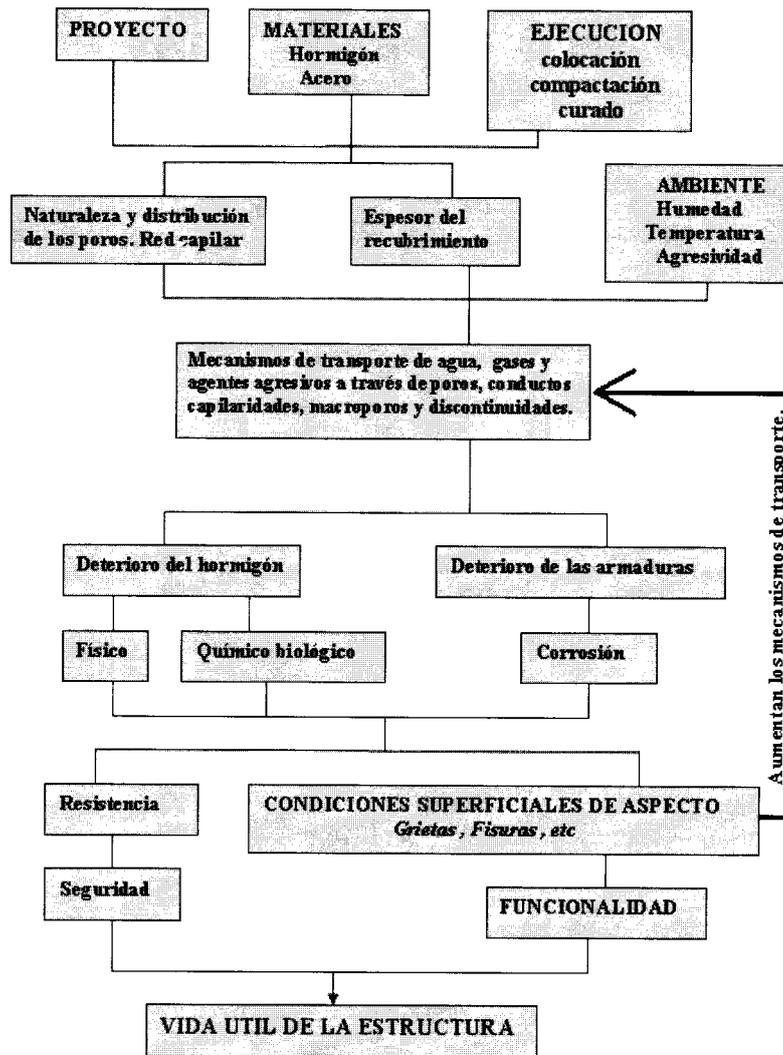
* Universidad INTEC: Ingeniería

Introducción

El impetuoso desarrollo de la construcción, dominado básicamente por las estructuras de hormigón armado, demanda cada día más de una rigurosa preparación técnica para que desde el diseño hasta las etapas finales de construcción sean debidamente aplicadas y cumplidas las distintas normativas y especificaciones que unidas a las modernas tecnologías de punta conlleven al logro de obras seguras, duraderas y estéticas.

En ocasiones estos atributos se ven afectado por una de las *patologías* más significativas que caracteriza las obras de hormigón, nos referimos a las *grietas y fisuras*, las cuales por sus condiciones superficiales de aspecto, inciden directamente en lo funcional, siendo esta una de las razones de más peso en la durabilidad de una estructura y es por ello, que como parte del cálculo estructural, las grietas y fisuras clasifican dentro de los estados límites de servicio. De ahí, que, el establecer un correcto diagnóstico que va desde su identificación hasta las causas que lo originan, permitirá a proyectistas, constructores y productores de materiales, no solo minimizar o erradicar su efecto por medio de su reparación sino tomar las medidas profilácticas preventivas para eliminar o disminuir su aparición.

Factores que influyen en la durabilidad de una estructura de hormigón armado



Desarrollo

Las grietas y fisuras son roturas que aparecen en el concreto como consecuencia de tensiones superiores a su capacidad resistente.

Son muchas las causas que originan esta terrible enfermedad en el hormigón, las de origen químico, principalmente atribuidas a cambios derivados por la hidratación del cemento o por la oxidación del acero de refuerzo, mientras que las de origen físico, mayoritaria por demás, obedecen a dos tipos de *acciones* que aunque etimológicamente son totalmente diferentes, ambas producen cambios volumétricos significativos.

Estos cambios son expansiones y contracciones, ahora bien, cuando los elementos de hormigón están restringidos, la expansión origina esfuerzos de compresión y la contracción origina esfuerzos de tracción. El hormigón es particularmente débil ante este último tipo de esfuerzo, produciendo el agrietamiento cuando este sobrepasa sus valores de resistencia.

Entre las *acciones* de origen físico se encuentran:

- Acciones de carácter mecánico (cargas que originan esfuerzos).
- Acciones de carácter espontáneo (retracciones y entumecimientos).

Las combinaciones de cargas, incluyendo las de peso propio, provocan valores de sollicitaciones por unidad de superfi-

cie determinando variaciones en las dimensiones del elemento de hormigón, pudiendo a su vez desarrollar fuerzas apreciables. Cuando las variaciones dimensionales son producidas directamente por las cargas se denominan “deformaciones” y son originadas por los distintos esfuerzos.

Cuando las variaciones de dimensión son “espontáneas”, estas serán debidas a las retracciones y entumecimientos del hormigón.

Existen además otras fuentes de fisuras que se relacionarán y detallarán durante el desarrollo de este trabajo.

Las fisuras, de acuerdo a su momento de ocurrencia pueden originarse en la etapa de hormigón fresco o estado plástico, es decir, antes de finalizar el fraguado, o a partir de finalizado el fraguado, o sea, durante la etapa de endurecimiento del hormigón.

Lo hasta aquí planteado permite presentar la siguiente clasificación:

Clasificación de las fisuras de acuerdo a su origen y momento de aparición

1-Fisuras originadas en el estado plástico.

1.1- Fisuras originadas por la contracción plástica.

- Retracción hidráulica durante el fraguado (contracción plástica).

- Exceso de vibración.
- Exceso de llana.

1.2- Fisuras originadas por asentamiento plástico.

- Acomodamiento.
- Poco recubrimiento y excesivos diámetros en el acero.
- Cambios de consistencias en vaciados continuos.
- Desplazamiento del encofrado.
- Deformación del terreno de sustentación.

2-Fisuras originadas en el estado endurecido.

2.1- Fisuras originadas por movimientos espontáneos.

- Retracción hidráulica (contracción por secado).
- Contracción por carbonatación
- Retracción térmica.
- Entumecimientos por dilatación térmica.
- Entumecimientos por oxidación del acero de refuerzo.
- Entumecimientos por exceso de expansivos del cemento.
- Reacción álcalis-agregados.

2.2-Fisuras producidas por cargas que originan esfuerzos.

- Compresión.
- Tracción.
- Flexión.
- Cortante.
- Torsión.

2.3-Otros tipos de fisuras.

- Fallo de adherencia-anclaje.
- Concentración de tensiones.
- Desplazamientos de armaduras principales
- Asentamientos diferenciales en fundaciones.

Grietas y fisuras

Identificación, causas y medidas a adoptar

Cambios de volumen ocasionados por la retracción hidráulica

El fenómeno de retracción ocurre cuando el hormigón contrae su volumen durante los procesos de fraguado y endurecimiento, siempre que estos ocurran al aire libre.

Hay que distinguir cuando se habla de retracción, la retracción hidráulica y la retracción térmica. Dentro de la retracción

hidráulica conviene a su vez distinguir entre la retracción hidráulica que se puede presentar antes del fraguado y la que ocurre después de este, es decir, a partir del inicio del endurecimiento.

La retracción puede explicarse por la pérdida paulatina del agua en el hormigón. Independiente al agua absorbida por los agregados, el agua de mezclado luego de finalizado este, comienza a dividirse en cinco estados diferentes.

- El agua de reacción, combinación química o de cristalización.
- El agua de gel o pasta.
- El agua intercrystalina.
- El agua adsorbida, que forma meniscos en la periferia de la pasta de cemento que une los granos de agregados.
- El agua capilar o libre.

Si el hormigón no esta en un ambiente permanentemente húmedo, el agua capilar y parte del agua adsorbida se irán evaporando progresivamente a la temperatura ordinaria desde la misma fase plástica, produciendo cambios de volumen originado por una contracción de menisco que obliga a que los granos de agregados se aproximen entre sí. Es por ello que la retracción, no es una fuerza como tal sino una deformación

impuesta espontánea .Cuando el hormigón no es capaz de resistir esta deformación, éste rompe a causa de la tensión por tracción apareciendo la fisura.

Grietas y fisuras originadas en estado plástico

Fisuras originadas por la contracción plástica

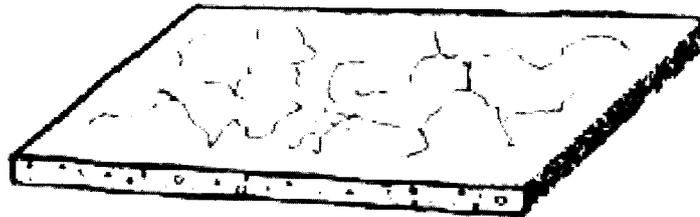
Las fisuras de *retracción hidráulica previas al fraguado* final reciben también el nombre de fisuras por *contracción plástica*, estas surgen principalmente en losas y pisos, por lo común generan grietas que aparecen brevemente después de que el brillo del agua desaparece de la superficie del hormigón, generalmente tienen profundidades considerables y no siguen un mismo patrón o simetría.

Este tipo de fisuras son propias de climas calientes, pues la principal razón de que se presenten es la rápida evaporación del agua en la superficie del concreto debido a que la velocidad de evaporación superficial es mayor que la velocidad de exudación o sangrado del agua desde el interior hasta la superficie. Este fenómeno hace que ocurra la contracción en la superficie y aparezcan las fisuras.

Características de las fisuras de contracción plástica

- Tienen una profundidad considerable, de 20 a 40mm, pudiendo en ocasiones atravesar la losa.

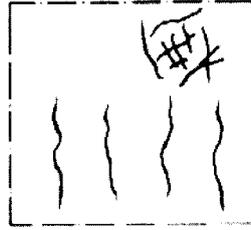
- Aparecen en las primeras horas (de 1 a 10 horas) y se manifiestan en grupos.
- Son más frecuentes y mayores cuando la condición climática favorece a una más rápida evaporación superficial (temperatura, viento y humedad).
- Estas fisuras no atraviesan las piedras, sino que las rodean.
- En general, no presentan peligro estructural, es decir, no afectan la capacidad resistente del elemento.
- Si el elemento tiene espesor uniforme estas fisuras son de trazado corto, sin direcciones preferentes y generalmente se distribuyen al azar.



Fisuras de contracción plástica

- Si el elemento tiene espesores variables, las fisuras se localizan en las zonas más delgadas.
- No tienen aspecto de una rotura limpia ni presentan bordes agudos y bien definidos como cuando sucede después a las que se forman cuando el hormigón ha endurecido.

Fisuras de contracción plástica originada por la mala compactación y terminación del hormigón



Nidos de fisuras

Una modalidad dentro de las grietas de contracción plástica son los llamados *nidos de fisuras*, se debe principalmente a procedimientos incorrectos de compactación y terminación. Aparece en aquellas zonas donde, por cualquier causa, se ha producido una concentración de pasta rica en cemento y sin agregado grueso, la cual se seca antes y retrae más que el resto del hormigón. Las causas más comunes son la *sobre vibración* que produce una segregación del concreto durante la compactación o por el *excesivo aplanado con llana* durante el acabado, en ambos casos se produce un rápido avance hacia la superficie del agua, la pasta de cemento y las fracciones más finas de agregados; este material más húmedo y cohesivo tiene una contracción mucho más rápida y diferente que el resto del concreto subyacente lo cual hace que al secarse, la superficie este sujeta a una fuerza de tensión que supera su resistencia a la tracción generando de esta forma una concentración de fisuras.

Medidas para reducir o eliminar las fisuras de contracción plástica

Las medidas correctivas para reducir o eliminar este tipo de fisuras están evidentemente encaminadas a contrarrestar las causas que precisamente las originan. Estas causas, aunque conocidas y explicadas anteriormente, fueron debidamente estudiadas de forma práctica durante el desarrollo de nuestro trabajo determinando de esta forma su cuota de influencia. Entre estas medidas cabe destacar las siguientes:

- De acuerdo a la consistencia utilizada para que el hormigón sea bien colocado, se deberá utilizar un contenido de agua tan bajo como sea posible, esto se logra con un adecuado control y con el empleo de aditivos plastificantes.
- Minimizar la influencia de los efectos climatológicos. En el caso del hormigón, se deberá mantener baja temperatura en el agregado grueso rociándolo con agua o manteniéndolo a la sombra. Igualmente se deberá humedecer los encofrados, y enfriar el agua de mezclado. Es conveniente realizar el vaciado en las horas más frescas del día.
- Construir pantallas provisionales para reducir la velocidad del viento evitando así la rápida evaporación del agua superficial.
- Evitar los diseños de mezclas con excesiva presencia

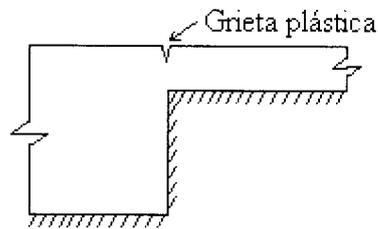
de finos en el hormigón, pues esto provoca una rápida exudación.

- Evitar en lo posible grandes dosis de cemento. En el caso de ser requeridas altas resistencias de deberán utilizar aditivos superplastificante, con el propósito de bajar la cuantía de cemento.
- En los trabajos de colocación y terminado, evitar la segregación de finos hacia la superficie.
- De no requerir altas resistencias a edades tempranas, se deberá evitar el uso de cementos con altos contenidos de silicatos tricálcicos SC_3 , pues este en su reacción libera abundante cantidad de cal, desarrollando un gran calor de hidratación, provocando la auto desecación en la superficie, intensificando así retracción.
- Evitar el uso de cementos con alta finura de molida. A mayor finura, mayor calor de hidratación, por tanto mayor será su retracción y con ello el peligro de fisuración.

Fisuras de asentamiento plástico

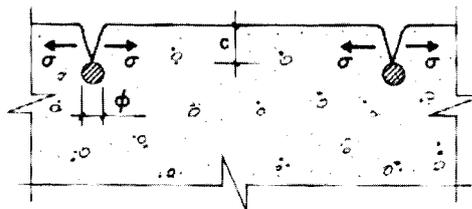
En esta etapa del proceso donde el hormigón aún no ha endurecido existe otros tipos de grietas a causas del *acomodamiento plástico*. Esto ocurre cuando el concreto en estado fresco ha sido colocado en el molde, en ese momento los sólidos de la mezcla tienden a asentarse por efecto de la gravedad,

desplazando los elementos menos denso como el agua y el aire atrapado; el agua aparece en la superficie como agua de exudación y el asentamiento continua hasta que el concreto se endurece. Cuando hay obstáculos como son: acero de refuerzo, piedras de gran tamaño o elementos embebidos dentro del hormigón, estos pueden obstruir el libre acomodo de la mezcla, provocando asentamientos diferenciales plásticos y la formación de grietas.



Esta posibilidad resulta particularmente probable en elementos gruesos con refuerzo superficial y en elementos que presentan cambios bruscos de espesor.

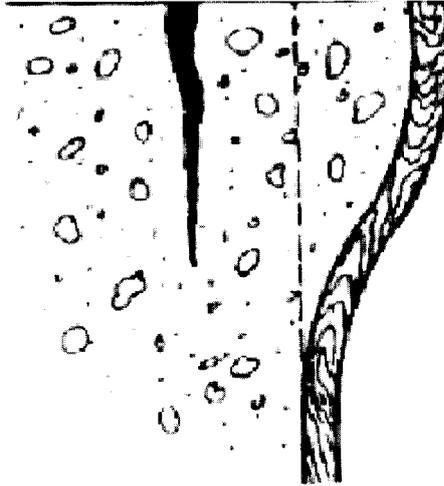
En cuanto al refuerzo superficial, las fisuras serán mayores a medida que el *recubrimiento sea menor*, *el diámetro de la varilla sea mayor* y *el hormigón presente mas revenimiento (mezcla mas fluida)*.



Fisura de acomodamiento plástico

- Bajos recubrimientos
- Excesivos diámetros
- Mezcla fluida

En un vaciado continuo, *la variación de consistencias de distintas amasadas* hace que se produzca también asentamientos diferenciales causados por distintas velocidades de acomodación de la mezcla fresca.



Grieta ocasionada por el desplazamiento del encofrado en muros

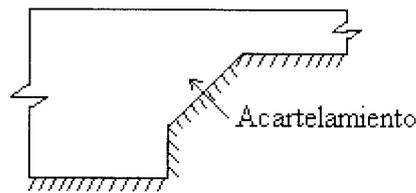
Por otro lado, la presión que ejerce el hormigón fresco sobre los *encofrados o el suelo* hacen que estos se deformen cuando no están debidamente apuntalados o compactados respectivamente causando asentamientos plásticos adicionales con la consecuente aparición de fisuras.

Fisura por deformación del terreno
antes del endurecimiento del hormigón.



Entre las medidas a aplicar para evitar los asentamientos plásticos están:

- Según el tipo de elemento, se deberá cumplir lo establecido en cuanto a los recubrimientos mínimos de las varillas superiores, evitando también el uso de grandes diámetros.



- En pisos y pavimentos de hormigón se evitarán los cambios bruscos de espesores por medio de acartelamientos.
- Disponer de todas las medidas de seguridad para evitar las deformaciones del encofrado a causa de la presión del hormigón fresco.
- En pisos y pavimentos de hormigón se deberá compactar eficientemente la superficie de sustentación.
- Evitar agregados muy absorbentes.
- En vaciados continuos se deberá controlar rigurosa-

mente el revenimiento indicado evitando asentamientos diferenciales plásticos durante el acomodo de la mezcla.

Es posible que las grietas originadas por contracción y asentamiento no sean visibles sino hasta después de cierto tiempo; la razón de ello es que comúnmente quedan selladas en la superficie durante la operación de terminado, o simplemente no son lo suficientemente anchas para ser observadas sino hasta que el concreto se contrae aun más o hasta que crecen debido a una carga que afecte los planos débiles.

Si bien estos tipos de agrietamientos en estado plástico no tienen una naturaleza estructural, tampoco desaparece al endurecerse el concreto (de hecho, por lo general se ensancha durante el curso del secado). Las grietas aumentan la penetración del agua en el concreto, facilitando la infiltración de sales y otros productos químicos peligrosos, produciendo efectos estéticos negativos y reduciendo la durabilidad y la vida en servicio de la estructura.

Grietas y fisuras originadas en la fase o estado endurecido

Fisuras originas por movimientos espontáneos.

Una vez que el concreto ha fraguado, se inicia la etapa del endurecimiento, el hormigón fresco pasa de un estado fluido a

un estado plástico adquiriendo con la hidratación, las propiedades de un sólido rígido. En los primeros días se presenta muy baja resistencia principalmente a tensión y por lo tanto es susceptible de agrietarse. En esta etapa, los cambios de volumen están definidos por incrementos o decrementos causados por dilataciones y contracciones debidos a la temperatura y la humedad. Dentro de ella se encuentra la contracción por secado, las contracciones-dilataciones por temperatura, la contracción por carbonatación y la reacción expansiva álcalis-agregado.

Tal como se explicó anteriormente, la rápida pérdida de agua interna del concreto recién colocado es la causa principal de las fisuras de contracción plástica. En condiciones ambientales normales el hormigón después de fraguado sigue expuesto a perder más agua por efecto de la evaporación y por el consumo debido a la hidratación del cemento, y esta reducción de agua, que progresa paulatinamente con el tiempo, es motivo de que este se contraiga gradualmente a medida que endurece, a esta *retracción hidráulica en fase endurecida* se le llama *contracción por secado*.

Una gran cantidad de agua de mezclado, deficiente colocación y compactación así como un exceso de asentamiento y sangrado, incrementa la porosidad global del hormigón que comprende microporos, poros, conductos capilares macro poros y discontinuidades.

Cuando el concreto endurecido se halla completamente sa-

turado, significa que casi todos estos espacios están ocupados por agua. Como se explicó anteriormente, independientemente al agua absorbida por los agregados y al agua consumida por la hidratación, existen otros cuatro estados que, unos más fácilmente y otros con más dificultad, son extraídos del concreto por evaporación. Por esta característica la contracción por secado constituye uno de los cambios de volumen más importantes y difícil de prevenir.

Si el endurecimiento del concreto se efectúa en el agua este se expande recuperando, si no se ha fisurado, gran parte de la pérdida de volumen de la retracción anterior. Cabe destacar que la contracción resulta más perjudicial que la expansión, pues esta origina esfuerzos de tensión en el concreto propiciando la fisura sino también porque suele ser de mayor magnitud.

La probabilidad de fisuración por retracción está íntimamente ligada a la elongabilidad del hormigón. La fisura ocurre en el momento en que el valor de retracción sea igual a la relación entre la tensión de rotura del material a tracción y su módulo de deformación.

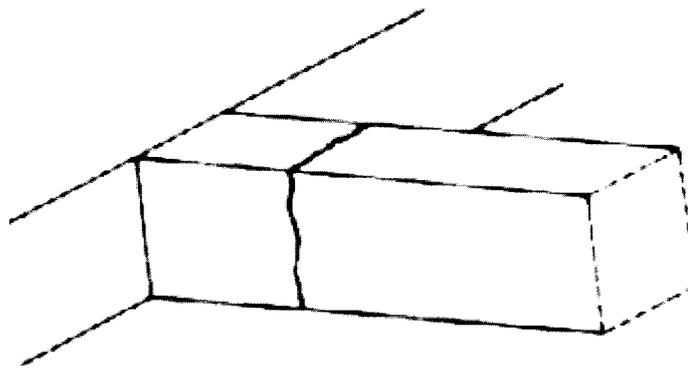
$$\text{O sea} \quad R_p = \frac{T_p}{M_p} \quad \text{donde:}$$

R_p , es la retracción potencial sin deformación en el tiempo t , es decir, la retracción medida inmediatamente después de la rotura cuando las tensiones han desaparecido.

T_p , es la resistencia a tracción potencial en el tiempo t .

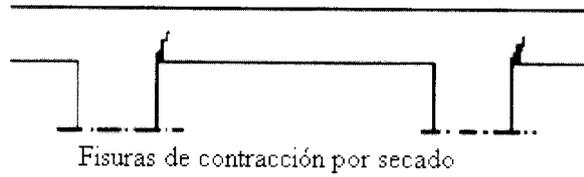
M_p , es por definición el módulo de rotura potencial a tracción en el tiempo t .

Este tipo de fisuras aparece en elementos cuya libre contracción esta impedida, por ello, tiene tanta más influencia cuanto más rígida es una estructura, su trazado es limpio y agudo.

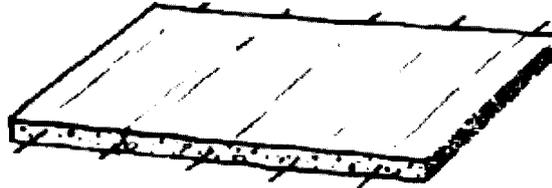


Fisura de contracción por secado en vigas

En elementos lineales como vigas largas y empotradas en sus extremos, las fisuras se presentan con trazados perpendiculares al eje de la pieza y a mitad de la luz (ayudada por la flexión provocada por las cargas).



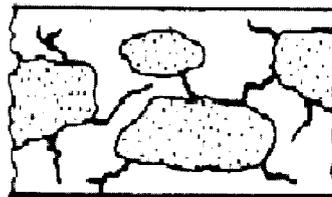
En estos casos también aparecen junto a las columnas debido a la gran diferencia de rigidez entre estos apoyos y la propia viga.



Fisuras de contracción por secado en losas trabajando en una dirección.

En losas trabajando en dos direcciones las fisuras tienden a ser diagonales, mientras que en una dirección será perpendicular al eje del elemento y son de anchura pequeña y constante.

Un caso poco común y sumamente interesante son las fisuras de retracción interna de la pasta de cemento, esto ocurre en concretos muy ricos en pasta y con agregados de gran tamaño.



Fisuras de retracción internas

Por efecto de su retracción coartada por las fracciones muy gruesas, aparecen fisuras internas que reducen la capacidad de resistencia a la compresión. Esto explica el peculiar y extraño caso de regresión donde la resistencia a los 28 días es menor que a los 7 días.

Las medidas para contrarrestar las fisuras de contracción por secado incluyen las mismas dispuestas para prevenir la contracción plástica, pues el origen es común, pero además:

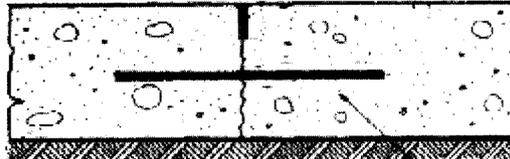
- En las grandes superficies como pisos y losas se deberán realizar rápidos y eficientes curados para preservar o restituir la humedad. Entre estas técnicas se encuentran las siguientes:
 - a) Cubrir la superficie con una lona o material de polietileno.
 - b) Riego de agua a partir del endurecimiento y durante las primeras 72 horas preferentemente cuando las temperaturas sean más altas.
 - c) Aplicación superficial de curadores químicos.

- Utilización de fibras sintéticas sobre todo en pavimentos de hormigón, estas fibras aumentan la capacidad de deformación a tensión del nuevo concreto, reduciendo al mínimo la formación de planos debilitados que de otra manera se transformarían en grietas.

-Diseño y construcción de juntas de retracción.



Junta machi-hembrada



Junta con pasadores



Grieta artificial perfectamente trazada en el pavimento de hormigón utilizando sierra de corte, debiendo realizarse entre las 24 y las 36 horas después del vaciado. Trazada las juntas, se rellenan con silicón o mastic para evitar la entrada de cualquier material y la filtración de agua.

Como todo material, el hormigón se dilata con los aumentos de temperatura y se contrae cuando esta baja provocando fisuras cuando el libre movimiento esta restringido o se combina con la contracción por secado.

La *retracción térmica* es la variación de contracción del hormigón originadas por tensiones locales producidas por las diferencias térmicas entre el hormigón y el medio ambiente. Al igual que en la retracción hidráulica, se producirá la fisuración en el instante en que el valor de retracción sea igual a la relación entre la tensión de rotura del material a tracción y su módulo de deformación.

La *dilatación térmica* es la variación de expansión del hormigón originada también por las diferencias térmicas entre el hormigón y el medio ambiente.

De forma similar a lo indicado en las retracciones, la fisuración se producirá en el momento en que el valor de dilatación sea igual a la relación entre la tensión de rotura del material a compresión y su módulo de deformación. Las fisuras debido a las dilataciones térmicas son mucho menos frecuentes que las debidas a la retracción, ya que la resistencia a la compresión es mucho mayor que a la tracción.



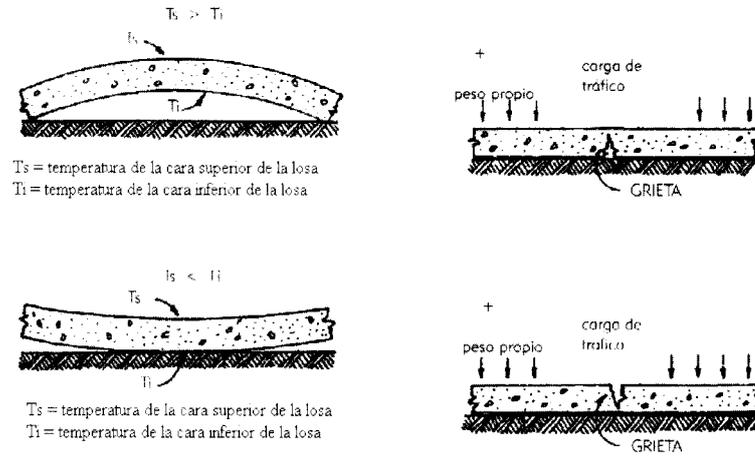
Fisuras causadas por la dilatación térmica

Ahora bien, la magnitud del coeficiente de expansión térmica del concreto depende de las propiedades térmicas de los agregados y de la pasta de cemento hidratada así como de las proporciones en que ellos intervienen.

La variación de la temperatura del concreto puede obedecer a causas de índole interna y externa. Como causa de origen interno cabe mencionar primordialmente el calor que se genera en el interior del concreto por efecto de la hidratación del cemento. Entre las causas externas pueden citarse las que son inherentes a las temperaturas ambientales, las que se derivan de las condiciones de servicio de las estructuras o a condiciones extremas causadas por fenómenos naturales o fortuitos como el fuego.

La no construcción o construcción defectuosa de juntas de contracción y dilatación conduce siempre a esfuerzos perjudiciales que producen fisuras, esto ocurre básicamente en pavimentos, losas y muros.

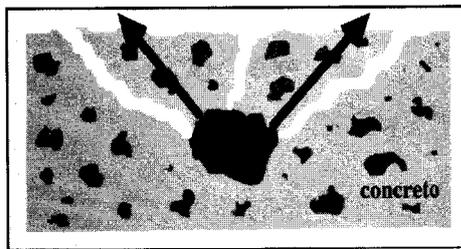
Los pavimentos de hormigón son muy susceptibles también a los gradientes de temperatura causando el alabeo, el peso propio de la losa y la carga de tránsito tienden a impedir esa deformación produciendo esfuerzos de tracción en la cara cóncava produciendo la fisura.



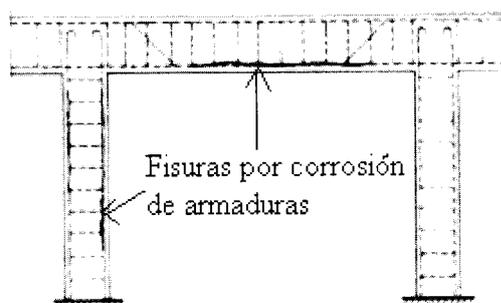
Entre las medidas para contrarrestar las causas de las fisuras de origen térmico está el no utilizar cementos con muy alto contenido de aluminato tricálsico AC_3 y agregados con alta captación de calor. Evitar los gradientes térmicos entre la superficie y el interior de un mismo elemento, así como diseñar y construir correctamente las juntas de dilatación previstas.

La expansión del hormigón ocasionado por la *oxidación del acero de refuerzo* no solo origina las fisuras sino que destruye superficialmente el hormigón.

Las varillas y demás refuerzos de acero, están protegidas del exterior por el hormigón que las rodea, y es en el mantenimiento de la alcalinidad de este donde reside el buen mantenimiento del acero. El oxígeno del aire, el anhídrido carbónico y el agua ataca al hierro y lo oxidan a una velocidad tanto mayor cuanto mas ácido es el medio. Esto sucede mientras mas poroso y capilar sea el hormigón, pues su cal va siendo carbonatada fácilmente por el dióxido de carbono con lo que el PH del hormigón baja abruptamente colocando al acero en precarias condiciones de defensa.



Al acero rodearse de oxido produce una expansión provocando fisuras y, mas tarde, el desprendimiento del hormigón circundante.



Las fisuras por corrosión tienen un trazado paralelo al acero afectado y es frecuente que aparezcan manchas de óxido a lo largo del mismo trazado. Es por ello que una fisura con esta característica debe ser inmediatamente atendida. Si esta se detecta a tiempo es posible salvar la estructura. Para ello se debe identificar la causa de la corrosión y suprimirla para que no actúe de nuevo. Luego eliminar los recubrimientos dañados, cepillar las varillas para suprimir todo resto de óxido y reparar sellando con recubrimientos a base de epóxicos o cementos especiales para el caso.

Entre las medidas preventivas para evitar esta patología está el obtener un hormigón de alta impermeabilidad, esto se logra con una baja relación agua/cemento usando aditivos reductores de agua caso de requerirse revenimientos altos, no usar resistencias bajas y sobre todo hormigones compactos y con suficiente espesor de recubrimiento.

En condiciones de exposición al ambiente, el concreto experimenta otro tipo de contracción que originan fisuras o incrementan las causadas por la contracción por secado, nos referimos a la *contracción por carbonatación*. La llamada contracción por carbonatación del concreto es un proceso que resulta del contacto de este con el bióxido de carbono, CO_2 , que normalmente se halla en el aire. El CO_2 externo en forma de gas se combina con la humedad del concreto para convertirse a la forma de ácido carbónico y reacciona así con los hidróxidos del concreto, particularmente con el hidróxido

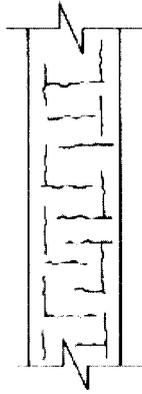
de calcio acompañado de una liberación de agua del gel de cemento propiciando esto una disminución del volumen manifestándose una contracción gradual del concreto que sumándose a la contracción por secado hace surgir e incrementar las fisuras con gran rapidez.

Para prever o se deberá disminuir la porosidad y capilaridad, es decir, los mecanismos de transporte, que a su vez dependen directamente de la relación agua\cemento, la cual debe ser reducida.

Los *expansivos del cemento* como son, el exceso de cal y magnesia libre producen expansiones volumétricas en el hormigón produciendo fisuras superficiales en forma de piel de cocodrilo cortándose aproximadamente a 90° entre si.

Los hormigones hechos a base de agregados silicios (muy recomendados en presas, tanques, tubos de hormigón centrifugados, etc), son susceptibles a producir una reacción entre los óxidos de silicios inestables y los hidróxidos alcalinos de la pasta de cemento sodios y potasios.

Esta reacción, llamada *reacción álcalis-agregado*, se presenta únicamente con ciertos agregados silicios como el ópalo y caledonia, o en calizas y dolomitas silíceas, cuya sílice no está bien cristalizada, pudiendo provocar expansiones destructivas en el hormigón en la superficie, mostrando un esquema de figuración, típico de todo proceso expansivo volumétrico.



Fisuras por la expansión interna del hormigón ocasionadas por la reacción álcalis agregados o los expansivos del cemento.

Para detectar la presencia de sílice activa hay que realizar un detallado análisis petrográfico acompañado de ensayos de reactividad potencial. Es por ello que como medida preventiva, se deberá ser muy cauto en el uso de las piedras antes mencionadas y sobre todo, solicitar el ensayo químico del cemento evaluando la cuantía según lo especificado con relación a los iones Na_2O y K_2O .

Fisuras provocadas por cargas que originan esfuerzos

Cuando se realiza un diseño estructural o se comprueba la resistencia de una estructura, se ubican las combinaciones de cargas exteriores actuando sobre la citada estructura representada por un esquema de análisis, obteniendo así las reacciones de apoyo.

Con las cargas exteriores y las reacciones de apoyos se calculan los distintos valores de esfuerzos de cada uno de los elementos de la estructura (tracción, compresión, flexión, cortante, torsión, etc.)

Con estos valores de esfuerzos, o la combinación de estos, y tomando en cuenta las tolerancias y los distintos factores de seguridad se procede a realizar el verdadero diseño (dimensión y ubicación de los distintos elementos, cantidad, distribución y anclaje de los refuerzos de acero, resistencia del hormigón, cantidad y tipos de juntas de construcción, contracción y expansión, etc.).

Con este diseño, la utilización de materiales adecuados y una correcta ejecución de la obra, la estructura debe estar preparada para dar su servicio seguro y funcional durante su vida útil.

Ahora bien, cuando existan deficiencias o insuficiencias en uno de los anteriores aspectos o sobrevienen cargas adicionales no previstas, la estructura se verá sometida a esfuerzos que pudieran poner en peligro su capacidad portante hasta el punto de hacerla colapsar. En la mayoría de los casos, las fisuras son muestras elocuentes de las manifestaciones de estos esfuerzos, en otros, la falla o el colapso se produce de forma abrupta.

Las fisuras producidas por cargas que originan esfuerzos difieren del resto porque tienen mayor profundidad y aparecen de forma típica, razón por lo cual es necesario comprobar sus dimensiones y progresión para establecer si constituyen un verdadero problema estructural.

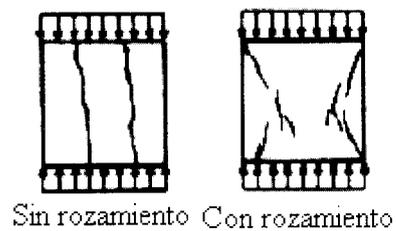
Si consideramos una pieza prismática de hormigón, cada una de sus secciones esta sometida o a una sollicitación compuesta por varios esfuerzos.

Cada uno de estos esfuerzos simples se destaca por un tipo de fisuración diferente.

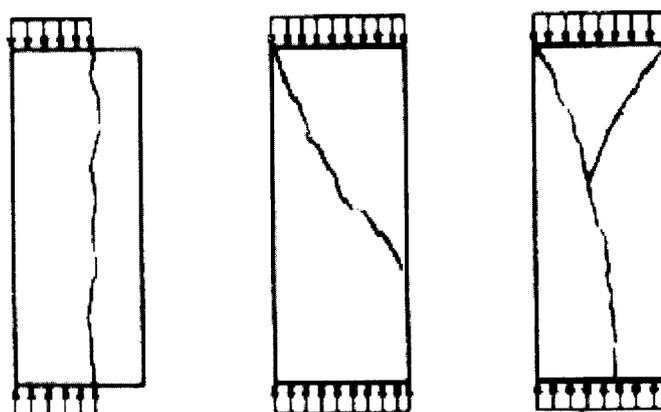
Identificación de fisuras originadas por esfuerzos simples

| Esfuerzo | Característica |
|------------|---|
| Compresión | En dirección paralela al esfuerzo |
| Tracción | En dirección perpendicular al esfuerzo |
| Flexión | En zigzag, en momentos máximos las vigas en la parte inferior del centro de la luz y a parte superior de los apoyos |
| Cortante | En forma inclinada |
| Torsión | En el perímetro del elemento |

Las fisuras de *compresión axial* o *compresión simple* provocan diferentes formas de fisuración, según la esbeltez del elemento y el grado de restricción transversal que tengan en sus extremos. Ambos efectos se observan en los ensayos de laboratorio.

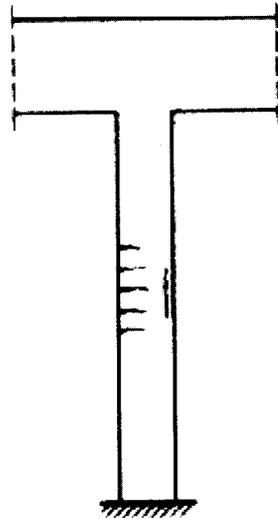


Si no existe rozamiento alguno entre las caras de la probeta y los platos de la prensa (muy difícil de lograr) la compresión pura ejercida la rompe produciendo fisuras paralelas a la dirección del esfuerzo. Si hay rozamiento, el esquema de fisuración cambia según muestra.

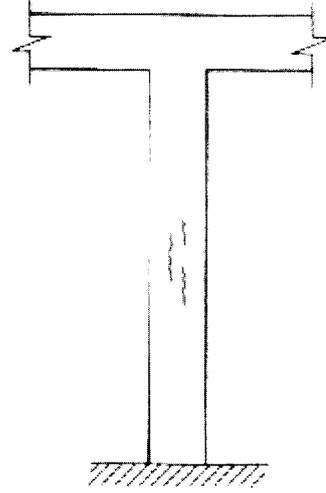


Fisuras en compresión en elementos esbeltos.

Con elementos más esbeltos intervienen otros factores como la no homogeneidad del hormigón a lo largo del elemento, excentricidad de las cargas, etc., obteniéndose diversos esquemas posibles de rotura. Es de destacar que los esquemas mostrados corresponden al momento de la rotura y no a condiciones de servicio.



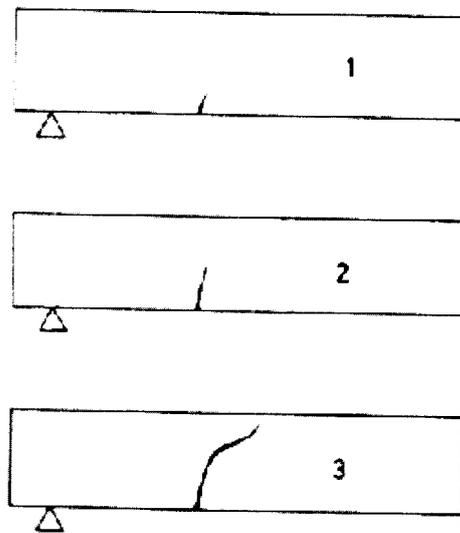
Fisura indicativa de inminente pandeo



Fisura indicativa de inminente colapso por compresión

Una fisuración peligrosa de servicio en elementos esbeltos a compresión se manifiesta en pequeñas grietas finas y juntas a mitad del elemento significando que el pandeo está a punto de ocurrir. En general cuando se observan fisuras verticales en columnas es signo de colapso inminente por aplastamiento del hormigón.

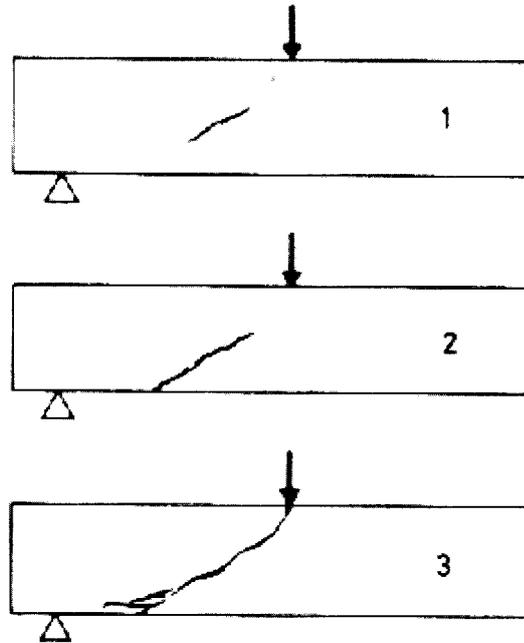
La *tracción simple o tracción axial* poco frecuente en elementos de hormigón armado, origina numerosas fisuras de trazado perpendicular a la dirección de la tensión. Estas se forman a la vez, y suelen aparecer en los lugares coincidentes con la ubicación de los estribos.



Progresión de fisura de flexión

Las *fisuras de flexión* pueden corresponder a flexión pura o combinada con otros esfuerzos, principalmente el cortante. En vigas, la fisura se inicia en la armadura, progresa en vertical a la fibra neutra y se curva al final buscando la aplicación de la carga y deteniéndose hasta alcanzar la zona comprimida. Estas fisuras avisan con mucho tiempo, aparecen varias y muy juntas; son perpendiculares al eje del elemento y se inclinan

según el valor del esfuerzo cortante, aparecen bajo la acción de la carga y desaparecen al retirarse esta.



Progresión de fisura de cortante

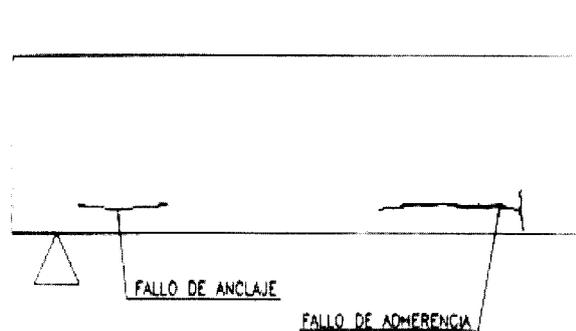
Las *fisuras de cortante* se destacan por su trazado a 45° , en vigas, pueden comenzar en el alma, progresar hasta el refuerzo longitudinal llegando luego hasta la carga dividiendo en dos partes el elemento. Este proceso puede ser muy rápido, incluso instantáneo. De ahí su peligrosidad.

Las *fisuras de torsión* son frecuentes encontrarlas en estructuras de edificaciones, cuando existen elementos aperticados arriostrados por vigas o voladizos empotrados a estas y no se

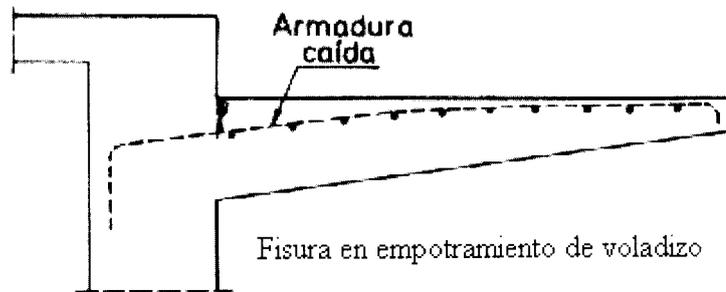
ha tomado en cuenta el efecto de torsión. Durante el servicio se manifiestan a 45° bordeando perimetralmente el elemento en forma de tirabuzón.

Otros tipos de fisuras

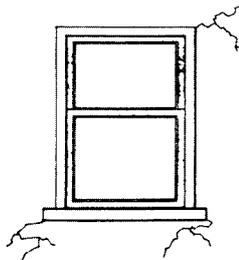
Los fallos de *adherencia-anclaje* se manifiestan mediante fisuras localizadas, paralelas al refuerzo longitudinal, aunque su trazado no es continuo, a diferencia con las de oxidación o corrosión donde las fisuras si continúan a lo largo de las barras de acero.



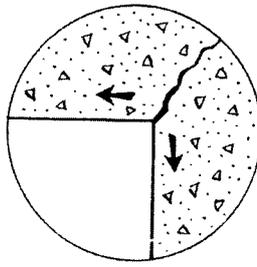
Los fallos de anclaje son extraordinariamente peligrosos, pues la varilla de acero se desliza y pierde eficacia, por lo que este tipo de fisura puede ser indicativo de una inminente y súbita rotura. Es por ello que al proyectar debemos ser generosos con las longitudes de solapes entre barras, así como la conformación y tamaño de los bastones y demás elementos de anclaje.



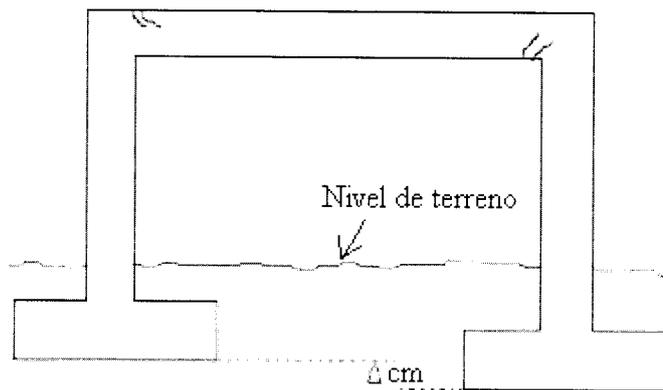
Las caídas o *desplazamientos de las armaduras principales* durante el hormigonado originan fisuras en los lugares donde esfuerzos de tracción no son tomados por el acero.



La concentración de tensiones en esquinas produce fisuración. Cas e todo en paredes de cargas. Otro caso muy común ocurre en pavimentos de hormigón cuando durante el vaciado continuo del hormigón este se ve interrumpido por discontinuidades destinadas a registros eléctricos o hidráulicos, en este caso, se deberá colocar antes del vaciado refuerzos de acero perpendicular a la diagonal de los lados, trazado que sigue la posible fisura.



Cuando el esfuerzo que baja al suelo a través del bulbo de presiones proveniente de las cimentaciones supera la capacidad portante del propio suelo sobrevienen asentamientos de la estructura.



Fisuras originadas por asentamiento diferencial

Principalmente en los casos de estructuras aporcionadas, cuando el terreno que sustenta una de las zapatas cede y la contigua no, se produce el peligroso *asentamiento diferencial* trayendo como consecuencia incrementos notables de los esfuerzos en las vigas de enlace superior del pórtico con la in-

mediata aparición de fisuras las cuales se le deberán dar un continuo seguimiento, pues un aumento en su tamaño o profundidad es reflejo de un incremento del asentamiento, antesala de un colapso estructural.

Para evitar esto, antes de comenzar la construcción de una obra de estas características, se deberá hacer un detallado estudio de suelos en toda el área de emplazamiento para de esta forma saber su capacidad resistente así como cualquier otro aspecto que pueda debilitar la misma (lentes de arena, carso, manto freático cercano, etc.). En el caso de se produzca el asentamiento, se investigará cual de estas causas es la originaria para proceder a minimizar su efecto, mientras que paralelamente se debe disminuir la carga tributaria que desciende a la referida zapata.

Conclusiones y recomendaciones

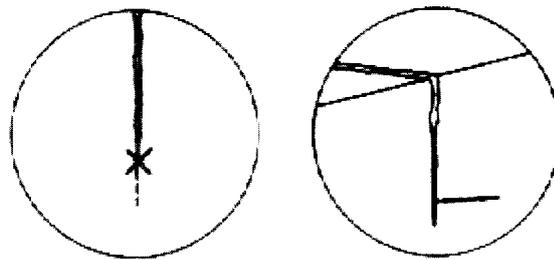
Como hemos visto y expresado anteriormente, en la utilización de materiales inadecuados, errores de proyecto y ejecución, así como otros aspectos posteriores a la ejecución, están las causas que originan las fisuras anteriormente analizadas.

La aparición de una fisura visible no significa necesariamente que algo ande mal, sin embargo, es importante conocer la causa que la produce, para de esta forma poderla reparar. Nunca debe repararse una fisura sin estar seguro que la causa que la produjo no volverá a actuar después, ya sea por la

desaparición del agente o por haberse adoptado las medidas de lugar para que no perjudique de nuevo.

Ver una fisura no siempre es fácil. Una forma sencilla para detectarla es mojar la superficie del hormigón, con lo que la fisura absorbe agua por capilaridad y la retiene después de haber secado la superficie adyacente.

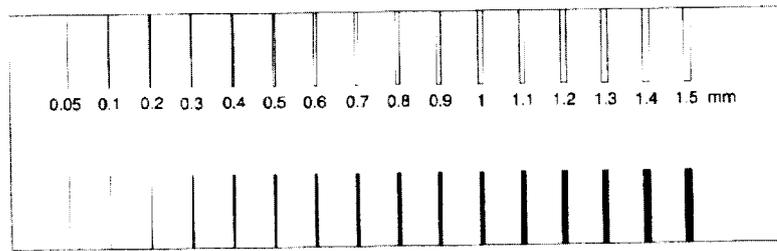
Para conocer la causa de una fisura y saber si es peligrosa o no, debemos analizar su progresión, es decir si esta viva o no, ello consiste en chequear si su anchura o longitud se modifican con el tiempo o si por el contrario esta estabilizada. Para obtener dicho dato existen varios métodos algunos muy empíricos.



Métodos empíricos para determinar la progresión de una fisura.

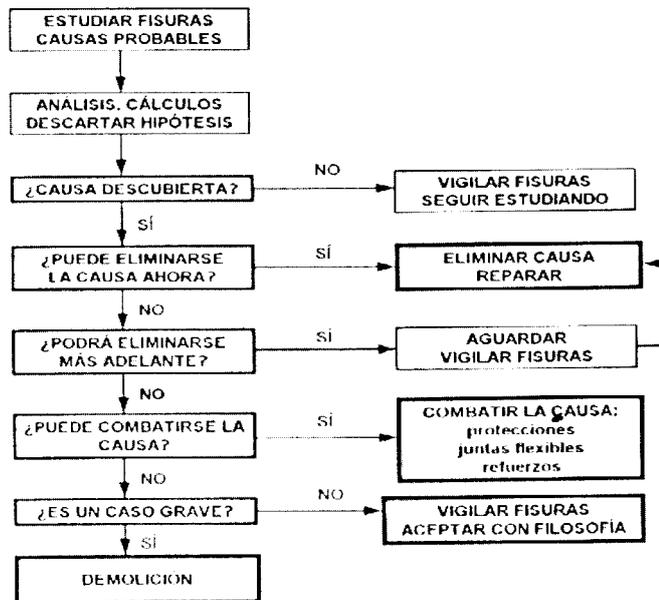
El primero consiste en marcar con una cruz el extremo de la fisura para poder comprobar si esta progresa. Otro es el encajar la punta de una aguja en la hendidura, si esta cae es que se ensancha.

Para medir anchos de fisuras se utilizan escalas preparadas al efecto como la mostrada que se desliza de izquierda a derecha contra la fisura hasta hacerla coincidir.



Escala para medir anchos de fisuras

Proceso de actuación en caso de fisuración.



Luego de adoptar todas las medidas de corrección se procede a reparar la fisura que involucra tratamientos con morteros especiales, resinas, epóxicas entre otros.

Pero mas que reparar, lo más importante es evitar, pues ante estas patologías siempre es mejor prevenir que curar. Erradicar las causas que originan todas estas fisuras y aplicar las medidas expuestas en este trabajo para tales fines, logrará sin dudas disminuir significativamente este mal propiciando que nuestras obras sean cada vez más seguras y duraderas.

Bibliografía

1. Jiménez Montoya. Hormigón Armado. 14 Edición ajustada al Eurocódigo.
2. Comisión Federal de Electricidad. Manual de Tecnología del Concreto.
3. Sánchez de Guzmán. Tecnología del Concreto y del Mortero.
4. Annual Book of ASTM STANDARDS. Sec. 4. Concrete and Aggregates.