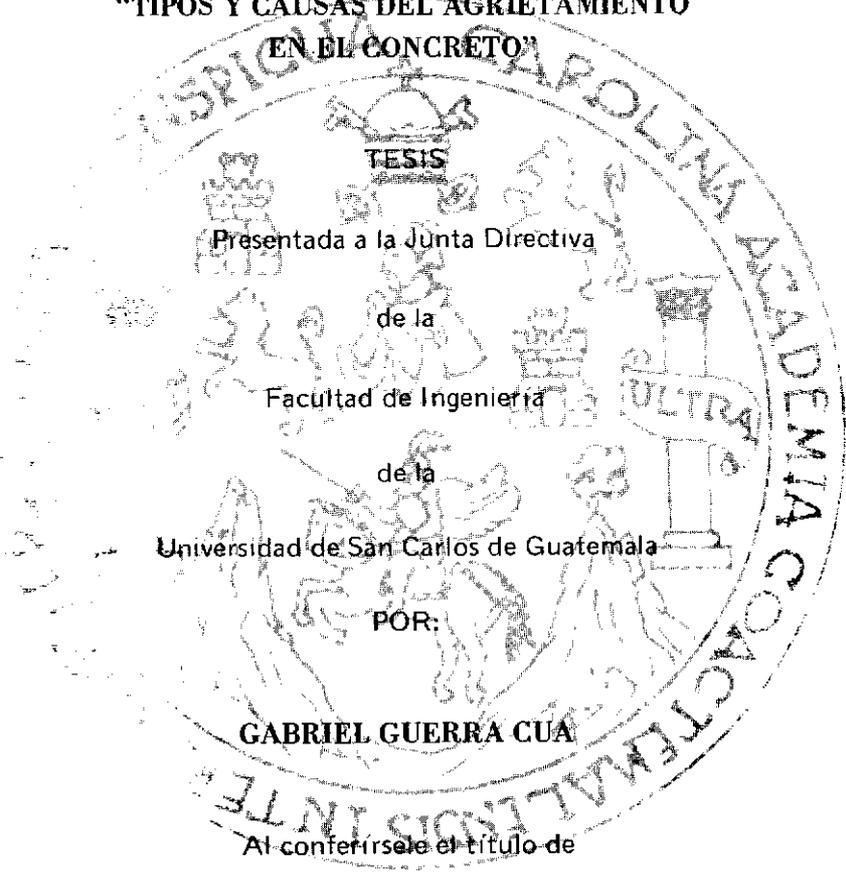


087(334)c
NEN: 870
PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

**"TIPOS Y CAUSAS DEL AGRIETAMIENTO
EN EL CONCRETO"**



TESIS
Presentada a la Junta Directiva
de la
Facultad de Ingenieria
de la
Universidad de San Carlos de Guatemala

POR:

GABRIEL GUERRA CUA

Al conferirsele el título de

INGENIERO CIVIL

Guatemala, Julio de 1975.

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DEPOSITO LEGAL
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO

**JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Decano: Ing. Hugo Quán Má
Vocal Primero: Ing. Julio Campos Bonilla
Vocal Segundo: Ing. Roberto Barrios Morataya
Vocal Tercero: Ing. Leonel Aguilar Girón
Vocal Cuarto: Br. Julio Roberto Urdiales C.
Vocal Quinto: Br. Edgar Cifuentes Hidalgo
Secretario: Ing. José Luis Terrón

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

Decano: Ing. Hugo Quán Má
Examinador: Ing. Roberto Mayorga
Examinador: Ing. Rafael Santiago
Examinador: Ing. José Luis Robles
Secretario: Ing. José Luis Terrón

**TESIS DE REFERENCIA
NO
SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA
BIBLIOTECA CENTRAL - USAC.**

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

Cumpliendo con lo establecido por los estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración mi trabajo de tesis titulado:

**“TIPOS Y CAUSAS DEL AGRIETAMIENTO
EN EL CONCRETO”**

Tema que me fue asignado por la Honorable Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO TECNICO

AGRADECIMIENTO

A la Facultad de Ingeniería

Al Ing. Emilio Beltranena Matheu

Por su valiosa asesoría

Al Ing. Juan Antonio Palma Carranza

A José Eduardo Santos Grajeda

A Hiram Pérez Singer

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

A MIS PADRES

A MI ESPOSA

A MI HIJO

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

CONTENIDO

INTRODUCCION

PRIMERA PARTE: GRIETAS EN EL CONCRETO FRESCO

CAPITULO 1: ASPECTOS GENERALES

CAPITULO 2: GRIETAS EN EL CONCRETO FRESCO DEBIDO
A LOS MOVIMIENTOS EN LA CONSTRUCCION

CAPITULO 3: GRIETAS DEBIDAS AL ASENTAMIENTO O
CONSOLIDACION DEL CONCRETO FRESCO

CAPITULO 4: CONTRACCION POR FRAGUADO

SEGUNDA PARTE: GRIETAS EN EL CONCRETO ENDURE-
CIDO

CAPITULO 5: GRIETAS DEBIDAS A LA CONTRACCION
POR SECADO

CAPITULO 6: GRIETAS DEBIDAS A LA ACCION QUIMICA

CAPITULO 7: GRIETAS POR TEMPERATURA

CAPITULO 8: AGRIETAMIENTO DEBIDO A FALLAS ES-
TRUCTURALES

CAPITULO 9: TECNICAS DE REPARACION DE GRIETAS

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

El agrietamiento en el concreto fresco y endurecido ha sido objeto de estudios e investigaciones que han permitido conocer las causas que lo originan.

Este trabajo ha sido posible realizarlo gracias a la amplia bibliografía que existe en la biblioteca del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, y he logrado recopilar suficiente información al respecto para poder presentar al lector un aspecto general de lo que es el agrietamiento en el concreto, de cómo se manifiesta, y también las medidas preventivas que deben tomarse para reducirlo hasta donde sea posible.

Por conveniencia, se ha dividido esta tesis en dos partes. La primera comprende lo que es el agrietamiento en el concreto fresco, y la segunda, el agrietamiento en el concreto endurecido.

He hecho esta división, para seguir un orden cronológico de las diferentes etapas donde se puede producir el agrietamiento. Pero de ninguna manera significa que se produzca en este orden, puesto que son muchas las causas que pueden contribuir al agrietamiento y algunas de estas pueden actuar simultáneamente.

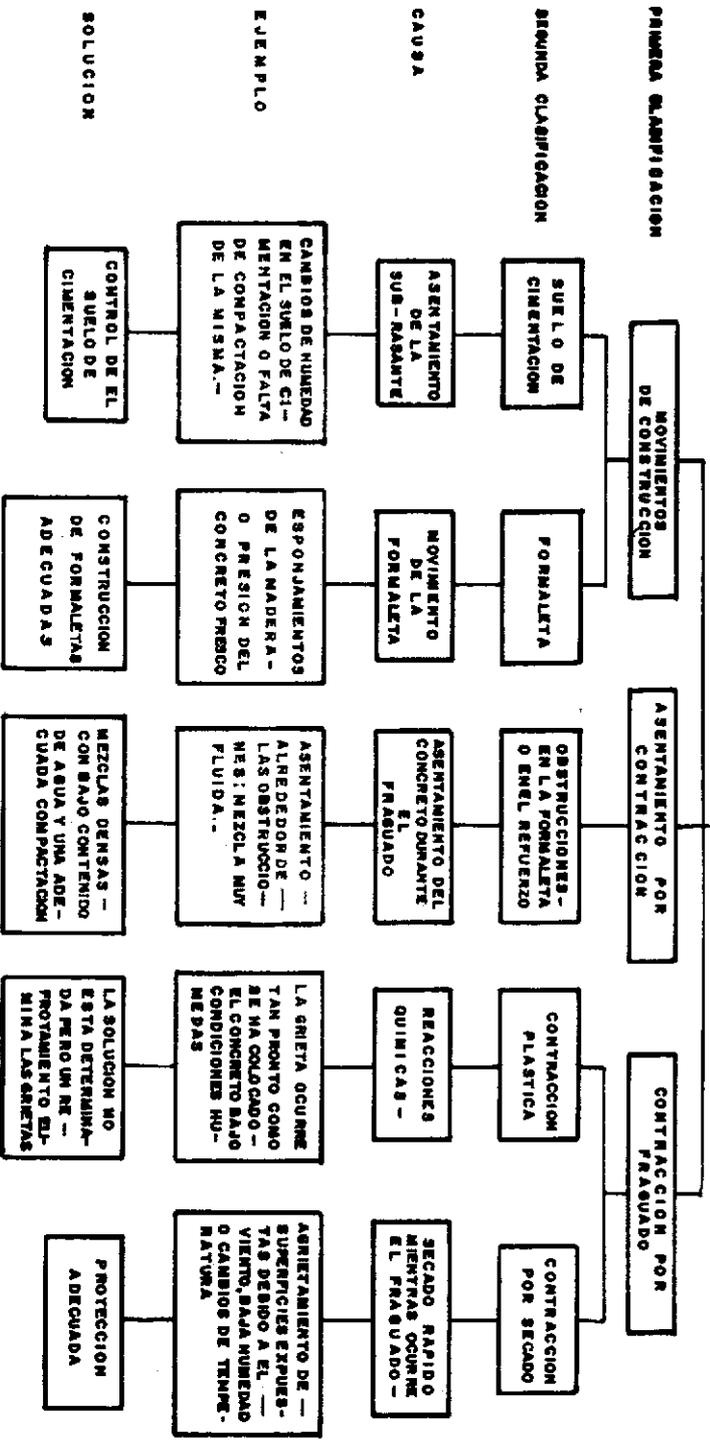
Deseo que esta información sea de alguna utilidad para los estudiantes y profesionales de ingeniería que se preocupan por la buena apariencia del concreto y su buen funcionamiento en las obras que realicen.

Además, quiero agradecer al ingeniero Emilio Beltranena M. la valiosa colaboración prestada en este trabajo.

PRIMERA PARTE
GRIETAS EN EL CONCRETO FRESCO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE TESIS-REFERENCIA

TIPOS Y CAUSAS DEL ASIENTAMIENTO EN EL CONCRETO FRESCO



PRIMERA CLASIFICACION

SEGUNDA CLASIFICACION

CAUSA

EJEMPLO

SOLUCION

CAPITULO 1

1.1 ASPECTOS GENERALES

El concreto es sinónimo de progreso y belleza. Sus características particulares de poder adaptarse a cualquier molde han permitido a la ingeniería y a la arquitectura manifestar sus más bellas expresiones en construcciones de concreto. Debido a la importancia de este elemento de construcción, es que se han creado instituciones especializadas en todo el mundo que se dedican al estudio y al ensayo del concreto a fin de mejorar sus características de servicio.

Sin embargo, los investigadores han tropezado siempre con el problema del agrietamiento en el concreto. Debido esto, fundamentalmente a la baja capacidad del concreto a deformarse una vez ha endurecido y también a su poca capacidad de soportar esfuerzos de tensión. Las investigaciones han logrado dejar en claro dos cosas importantes:

- 1o. Que el agrietamiento en el concreto no se puede evitar totalmente.
- 2o. Sin embargo, sí es posible reducirlo al mínimo.

Lo anterior ha obligado a que los estudios e investigaciones se proyecten más a cómo poder reducir las grietas antes de tratar de evitarlas.

El agrietamiento más que un problema estructural, es un problema de apariencia, y es por esta razón que muchas veces se toman criterios de diseño encaminados a mejorar la apariencia de las grietas. Un ejemplo de lo anterior, es que los códigos (1) recomiendan que para una determinada área de refuerzo se utilicen varillas de menor diámetro que sumadas sus áreas sean

Nota: El número entre parentesis corresponde al orden de la referencia.

equivalentes al área requerida en vez de poner unas pocas varillas de diámetro mayor. En el primer caso las grietas serán más finas y darán una mejor apariencia que en el segundo caso.

1.2 CLASIFICACION GENERAL DE LAS GRIETAS

Las grietas pueden clasificarse de acuerdo a su origen, a la forma y a su profundidad y ancho. Estas se manifiestan ya sea que el concreto esté fresco o endurecido. En el primer caso, pueden ser:

- Los movimientos en la construcción
- Los asentamientos por consolidación del concreto, y
- La contracción por fraguado, los causantes del agrietamiento, debidos a restricciones a los cambios volumétricos de la masa de concreto

Las posibles soluciones para minimizar estos agrietamientos van desde un control adecuado del suelo o base donde se ha de colocar el concreto; ó un buen diseño de formaletas, hasta una protección adecuada del concreto recién fundido, para evitar el agrietamiento de superficies expuestas al viento, a la humedad del medio ambiente o los cambios de temperatura. Sin olvidar por supuesto la buena calidad de los constituyentes.

En lo que respecta al concreto endurecido, tanto la acción química, como el secado del concreto, las temperaturas del medio ambiente o internas así como las fallas estructurales son los causantes de los agrietamientos.

Las medidas que se toman para minimizar estos agrietamientos son muchas, según las circunstancias. Entre ellas se pueden mencionar:

- En el caso de agrietamiento por secado, usar mezclas densas con bajo contenido de agua.
- Cuando hay agrietamiento por reacciones químicas cemento-agregados, se recomienda el uso de cementos con bajo contenido de alcalis y agregados no reactivos.
- Si es la temperatura externa la que afecta, las juntas de dilatación así como las juntas de construcción, ayudan a controlar el agrietamiento.
- Para prevenir fallas estructurales por efecto de las cargas a que se verá sometida la estructura, se requiere de un buen diseño.

POR SU FORMA

La forma del agrietamiento es variable dependiendo de las causas que lo originan. Así, pueden ser longitudinales, transversales, diagonales y ortogonales, característica ésta última de las fallas estructurales en las losas y del agrietamiento por la carbonatación del concreto.

POR SU PROFUNDIDAD

La profundidad de las grietas es muy importante, principalmente en el concreto reforzado, ya que se presenta la posibilidad de que sustancias exteriores del medio ambiente ingresen a través de la grieta y produzcan corrosión del acero de refuerzo.

CAPITULO 2

GRIETAS EN EL CONCRETO FRESCO DEBIDO A LOS MOVIMIENTOS EN LA CONSTRUCCION

Si el concreto es deformado o vibrado después de que haya dejado de ser plástico, se pueden producir grietas o generarse planos débiles que no son más que grietas potenciales que se manifestarán cuando se produzcan cambios volumétricos en el concreto. Los movimientos en la construcción pueden presentarse en:

- 2.1 EL SUELO O BASE DE CIMENTACION O APOYO
- 2.2 EN LA FORMALETA

2.1 EN EL SUELO O BASE DE CIMENTACION

Esta expresión es un tanto general y se refiere a la base sobre la que se coloca el concreto que puede ser del suelo propiamente dicho, sobre rocas, sobre drenes, o sobre parte de la estructura ya construida dependiendo de las exigencias del proyecto y de las condiciones del suelo.

Cuando el concreto se coloca sobre una sub-rasante no consolidada o deficientemente compactada, los asentamientos en el suelo de cimentación no pueden evitarse además de que los cambios de humedad en el sub-suelo afectan los asentamientos (ver fig. No.2.1)

2.1.1 Recomendaciones para asegurar suelos de cimentaciones estables.

A continuación se dan algunas recomendaciones, para asegurar subrasantes en buenas condiciones y conseguir que los movimientos de las mismas no sean significativas.

a) CIMENTACIONES SOBRE SUELO

El suelo de apoyo debe estar húmedo, pero sin exceso de agua al colocar el concreto. Los terrenos de libre drenaje en regiones secas y calurosas deben mojarse hasta una profundidad de varios centímetros con el fin de proporcionar una reserva de humedad en contacto con el concreto. Esto permite compensar la insuficiencia de humedad para el curado en estos climas. También se debe tener cuidado que el suelo tenga una proporción baja de material arcilloso debido a los cambios volumétricos de este último en presencia de la humedad.

b) CONCRETO SOBRE DRENES

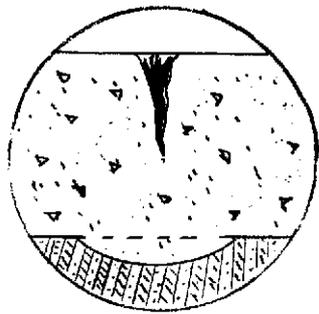
Los drenes se construyen de arena y grava, de piedra quebrada o de grava de tamaño y graduación convenientes para un rápido drenaje.

No debe existir preocupación por la pérdida del mortero del concreto, porque éste no escurre de concretos que cumplan con las especificaciones actuales de revenimiento ó asentamiento. Por esta razón no es necesario cubrir los drenes con papel embreado o costales, aún cuando esta medida no es objetable y es de uso común.

c) CIMENTACION SOBRE ROCA

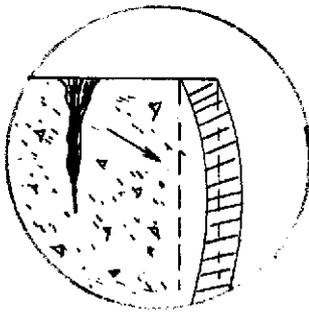
Cuando se requiera una buena adherencia entre el concreto y la roca, se debe limpiar ésta en toda la superficie de contacto con el concreto. Deben quitarse las rocas sueltas y poco resistentes, el mortero seco, las capas deleznable y escamosas, los depósitos orgánicos y otros materiales extraños.

Las grietas deben limpiarse a una profundidad apropiada hasta encontrar la roca firme. La limpieza puede realizarse por medio de escobas duras, picos, chorros de agua y aire a presión.



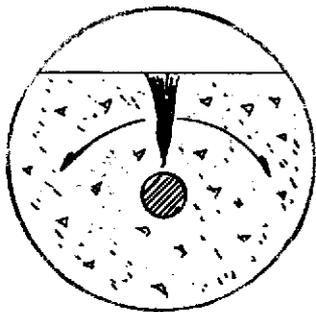
A

Grietas debidas al movimiento de la sub-estructura



C

Grieta debida al movimiento de la formaleta



D

Contracción en angulo recto a la varilla de refuerzo

Figura 2.1

chorro de arena, u otros medios apropiados, seguidos de un lavado cuidadoso con agua.

Las superficies lisas de la roca expuestas a descomponerse por intemperismo o por acción del sol, presentan problemas especiales. Se han utilizado con éxito, varios procedimientos, tales como aplicarles una capa de mortero o colocarles una cubierta de costales húmedos, previamente a la colocación del concreto, con el fin de mantener las superficies protegidas. Puede utilizarse también una cubierta de productos estabilizadores químicos o bituminosos, o de otros compuestos selladores cuando no se requiera una gran adherencia entre el concreto y la roca.

2.2 EN LA FORMALETA

La formaleta está sometida a una serie de movimientos producidos por cargas verticales, cargas horizontales, vibraciones etc., inherentes a las operaciones de la construcción. Estos efectos aún cuando no se pueden evitar, deben tomarse en cuenta al diseñar las formaletas (ver fig. 2.1 b).

La formaleta debe soportar las cargas que se le apliquen hasta que el concreto adquiera la resistencia necesaria de diseño. Estas cargas son, cargas muertas y cargas vivas. Las primeras están constituídas por el peso del concreto fresco, el peso del refuerzo etc. La carga viva se debe a los obreros que trabajan durante la fundición, así como al equipo necesario para el transporte, colocación y compactación o vibración del concreto.

Asimismo debe considerarse la formaleta como un sistema sometido a fuerzas laterales que pueden ser producidas por sismo, asimetría de la estructura, cargas rodantes, etc. Por último debe considerarse el efecto de ciertas condiciones extraordinarias tales como colocación irregular del concreto, impacto de las tuberías que conducen el concreto, tendencia al

levantamiento de una sección, producida por la acumulación de materiales sobre otra, apoyo de escaleras sobre la formaleta, etc.

Tanto el ensamble como la calidad de la formaleta y el esponjamiento de la madera usada en la construcción de la misma, tienden a mover el concreto.

Puesto que la madera absorbe agua lentamente, este movimiento ocurre un tiempo después de que el concreto ha sido colocado. Estos movimientos pueden reducirse, mojando las formaletas antes de fundir, o protegiéndolas con selladores apropiados.

En el momento en que se efectúa la fundición ó colado, el concreto ejerce una presión lateral sobre los moldes, que es máxima en el momento de iniciar el colado y llega a cero cuando fragua el concreto. Los factores que afectan la presión ejercida por el concreto son:

Relación agua-cemento

A mayor valor de esta relación, la presión del concreto se parece más a una presión hidrostática, y la presión varía linealmente según la Ley γH en donde γ es la densidad del fluido y H es la profundidad a partir de la superficie.

Características de la formaleta y tamaño y espaciamiento del refuerzo.

La fuerza lateral que ejerce el concreto sobre la formaleta es afectada por las características propias de la misma, como su altura, rugosidad de la superficie interior de la formaleta, capacidad de absorción, tipo de sección ensamble de la misma, etc. El tamaño y espaciamiento del refuerzo influencia también la presión que ejerce el concreto, pero debido a su difícil evaluación no se toman en cuenta estos efectos en el diseño.

Colocación y compactación del concreto

Este es uno de los factores más importantes que afecta las fuerzas transmitidas por el concreto a la formaleta. Un vaciado desde una altura relativamente grande incrementa apreciablemente la presión del concreto.

El vibrado produce una buena consolidación de los materiales del concreto, pero momentáneamente hace que el concreto se comporte como un fluido alrededor del vibrador, lo que produce un aumento de presión que puede ser hasta de un 20 por ciento. El vibrado exterior aplicado directamente a la formaleta es mucho más intenso que el vibrado interno, y deben tomarse en cuenta los incrementos de esfuerzos que se producen en la formaleta por este motivo. Con respecto a los obreros, hay que cuidar que el colado se realice con regularidad y vigilar continuamente el comportamiento de las formaletas y la obra falsa.

La velocidad de colado o fundición debe controlarse ya que cuanto mayor sea ésta, mayor será la presión en los niveles inferiores. Esto se debe a que cualquier nivel del concreto, para una velocidad relativamente grande, soportará un mayor volumen de concreto y por lo tanto un peso mayor antes que se inicie el fraguado inicial.

Temperatura

La temperatura afecta de manera importante la presión ejercida por el concreto. A bajas temperaturas el concreto tarda más en fraguar y por lo tanto da lugar a que el concreto alcance mayor altura antes de fraguar. Esto se traduce en incremento de presión. Lo contrario ocurre con un aumento de temperatura.

La Consistencia y proporciones de la mezcla

Estas afectan el grado de fluidez del concreto y por lo tanto la presión que este puede ejercer. Debido a que en la

práctica usual los valores de consistencia se mantienen dentro de límites de variación relativamente estrechos y la evaluación de estos factores es compleja, por lo general el efecto de la consistencia y la proporción de la mezcla sobre la presión lateral se desprecia.

2.3 CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES

Aunque las causas que motivan los movimientos en la construcción han sido planteadas separadamente, no implica que actúen de una manera aislada, es decir, que tanto los asentamientos del suelo o base de cimentación como los movimientos de la formaleta, se interrelacionan y muchas veces son dependientes. Por tal razón, debe tratarse de minimizar hasta donde sea posible las grietas debidas a los movimientos en la construcción o base donde se asienta la estructura en cuestión, recordando que cuando se habló del suelo de cimentación se dijo que era una expresión un tanto general puesto que es corriente el caso de que una formaleta se tenga que apoyar sobre una parte de la estructura ya fundida. En tal situación, se deben tomar en cuenta las cargas para las que se calculó esa parte de la estructura. Un ejemplo, pueden ser los sistemas de pisos que se calculan para soportar un peso propio y una carga viva que puede ser relativamente pequeña. Durante la fundición del piso superior y al recibir una carga para la que no estaba diseñado, sufrirá deformaciones importantes si no se le hace un paraleado adecuado. Estas deformaciones incidirán directamente en la formaleta y por lo tanto en la estructura de concreto.

Con el objeto de evitar concentraciones perjudiciales de cargas y repartir en mejor forma las mismas, debajo de los parales se acostumbra colocar durmientes o polines, de madera, de mayores dimensiones que la sección de los parales y puntales. En realidad hacen la función de una zapata pues disminuyen la intensidad de las concentraciones. Esto es importante en el caso de losas aligeradas (nervuradas y reticulares) en las que una

concentración de carga en un paral pueda tender a perforar losa. Un buen arriostramiento es indispensable también para reducir los movimientos en la formaleta.

En síntesis se puede resumir el presente capítulo diciendo que:

- a) El control del suelo o base de cimentación mediante una adecuada compactación y el control de humedad necesaria contrarrestará los movimientos en la construcción.
- b) El diseño y construcción de formaletas (21) es también un factor importante en el control de las grietas. Debido a esto, es que se recomienda tomar muy en cuenta lo siguiente:
 - b.1 Las formaletas deberán ceñirse en todo a las formas líneas y medidas de los miembros y deben llenarse de entero acuerdo a los planos.
 - b.2 Deberán ser suficientemente rígidas para evitar deformaciones al ser sometidas al peso del concreto y cargas de trabajo durante la fundición. Toda la formaleta deberá ser adecuadamente entranquillada para garantizar que mantenga su forma y posición durante el trabajo.
 - b.3 Para el diseño de la formaleta deberán tomarse en cuenta los siguientes factores:
 - b.3.1 Velocidad y método de colocación del concreto.
 - b.3.2 Cargas a que está sujeta la formaleta, incluyendo las vivas, muertas, laterales y de impacto.
 - b.3.3 Deflexión de la formaleta y contraflecha a imponerse.

- b.3.4 Entranquillado horizontal y diagonal.
- b.3.5 Empalmes en los puntales; y
- b.3.6 Cargas que transmitirán al terreno o a las estructuras fundidas previamente.

(Para el diseño de formaletas se sugiere seguir los procedimientos indicados en ref. No. 22).
- b.4 Las formaletas pueden ser de madera, acero, madera contrachapeada o cualquier otro material adecuado.
- b.5 Si se utiliza madera, las piezas sobre las que se colocará directamente el concreto deben ser de una sección tal que garantice que las piezas no se deflexionen. Las juntas entre pieza y pieza deben ser perfectamente selladas, para evitar el escurrimiento del mortero, lechada o pasta de cemento. Se recomienda el uso de piezas machiembradas.
- b.6 Todas las piezas sobre las que se coloca directamente el concreto, deben preferiblemente tratarse con aceite mineral limpio, u otro recubrimiento adecuado.
- b.7 Antes de volver a usarse una formaleta, las piezas deben limpiarse.

DEFECTOS DEL DESENCOFRADO

En las operaciones de desencofrado, dos aspectos deben ser tomados en cuenta: El plazo para retirar la formaleta y la forma de como ésta operación se lleva a cabo sin dañar el concreto.

En los casos frecuentes, las normas fijan los plazos mínimos para las cargas más comunes. Un factor importante que debe considerarse es el plazo para el desencofrado según el clima.

En época seca y calurosa el plazo puede reducirse debiendo ser aumentado obligadamente durante épocas frías debido al retardo de las reacciones del cemento.

A fin de minimizar defectos por el desencofrado inapropiado se recomienda lo siguiente:

- a) Al retirar la formaleta, debe tenerse un especial cuidado en no causar grietas o desconchamientos de la superficie del concreto en sus aristas.
- b) Las formaletas deberán permanecer en su lugar los siguientes tiempos mínimos:
 - b.1 Muros, columnas y miembros verticales, 2 días.
 - b.2 Vigas, nervios y losas, 7 días para tramos de 3 metros de luz, y 1 día adicional por cada 0.30 metros adicionales de luz hasta un máximo de 28 días.
 - b.3 Voladizos, 7 días para tramos de luz hasta de 1.20 metros y 4 días adicionales por cada 0.30 metros adicionales de luz hasta un máximo de 28 días.
- c) La formaleta debe ser retirada con cuidado y progresivamente. El hecho de retirar la formaleta bruscamente, hace que la estructura tome carga súbitamente bajo la acción del peso propio pudiendo por lo menos teóricamente, duplicarse los esfuerzos producidos por esta carga. Si el peso propio es importante puede inclusive ocurrir el colapso de la estructura por la acción del desencofrado. Los cuidados de transmitir las cargas a la obra dependerán fundamentalmente de la relación peso propio a carga total, aumentando los cuidados a medida que esta relación tienda a uno.

CAPITULO 3

GRIETAS DEBIDAS AL ASENTAMIENTO O CONSOLIDACION DEL CONCRETO FRESCO

Uno de los factores que contribuyen a que en el concreto fresco aparezcan grietas poco después de haberse fundido, es el asentamiento o consolidación del concreto recién compactado, debido a las contracciones de la masa de concreto y a las restricciones a la consolidación tales como el refuerzo, las formaletas, bolsas de agregados, etc.

Generalmente se tiene conciencia de que en toda fundición existe un asentamiento del concreto y que en la mayoría de los casos, éste será tan pequeño que no influirá en la estructura cuando ésta esté sometida a las cargas para las cuales fue diseñada. Sin embargo, no es generalizado el conocimiento del proceso que se sigue internamente durante el fraguado; ni tampoco se prevee la posible influencia que puedan tener una serie de restricciones a la consolidación del concreto. Por tal razón, es conveniente dar una breve explicación de como se produce el asentamiento del concreto fresco y que es la exudación.

Se dice que el concreto se encuentra en estado plástico antes que comience el fraguado. El agregado se encuentra en dispersión a través de la pasta de cemento, y las partículas en la pasta están dispersas en el agua. Una vez colocado el concreto hay un período de asentamiento que usualmente ocurre durante la hora siguiente a la compactación del concreto. El cambio volumétrico total puede, en casos extremos, ser de 10/o o más, pero no tiene gran significado puesto que se supone que el concreto se encuentra en su estado plástico.

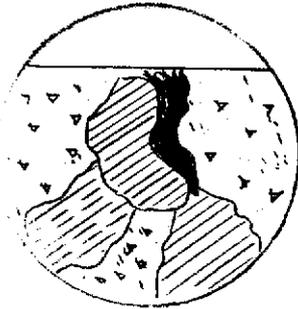
En esta etapa, los esfuerzos que se generan debido a los cambios volumétricos no son apreciables estructuralmente hablando. Durante el asentamiento de la masa, frecuentemente aparece agua en la superficie, proveniente de la masa plástica; a este fenómeno se le denomina EXUDACION. La acumulación de agua en la superficie de la masa de concreto, no es deseable debido a que puede dar lugar a la formación de capas débiles en la superficie del concreto, o puede contribuir a originar capas de concreto pobre en casos como el de fundiciones continuas en formaletas inclinadas, en las que se va formando acumulación progresiva de agua en la parte superior de la fundición, conforme se van llenando las formaletas, provocando la formación de un concreto pobre en la parte superior del elemento fundido.

Sin embargo, no siempre la acumulación de agua en la superficie es perjudicial puesto que ésta es requerida para prevenir la contracción plástica y además, sirve para lubricar los instrumentos que se utilizan en las operaciones de acabados. A fin de evitar la formación de capas superficiales débiles, es conveniente realizar las operaciones de acabado de la superficie de concreto, al terminar la exudación.

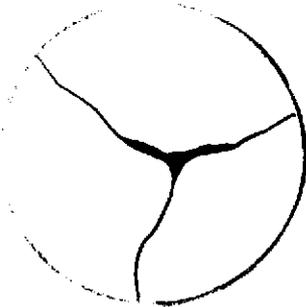
Hasta aquí se ha hablado de lo que es el asentamiento desde un punto de vista general. Sin embargo, se debe enfatizar sobre las restricciones a la consolidación o asentamiento del concreto ocasionadas por la propia consolidación de los elementos constituyentes del concreto, los cambios de sección, el efecto de la pared de la formaleta, y por la segregación.

a.1) CONSOLIDACION DEL CONCRETO

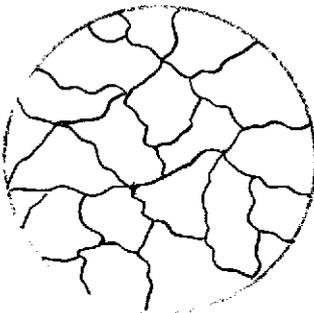
Después de que el concreto ha sido colocado, los constituyentes más livianos de la mezcla, tienden a subir y se produce la exudación de agua. Si el proceso de asentamiento es tal que la superficie se vuelve más rígida debido a la pérdida de agua por exudación y evaporación, mientras que el interior está



A Contracción en ángulo recto a los agregados



B Grieta de tres ramas debida a la contracción durante el secado



C Tejido de finas grietas debido a la carbonatación del cemento

Figura 3.1

0

todavía plástico y en etapa de fraguado, el concreto tenderá a adherirse a objetos rígidos tales como el acero de refuerzo bolsas de agregados o la superficie de la formaleta (especialmente en las intersecciones entre losa y viga, columna y losa, etc.).

El agrietamiento puede ser inmediato o puede darse el caso de que se formen planos débiles que son grietas potenciales que se manifiestan posteriormente debido a los cambios volumétricos que sufre el concreto. Estos agrietamientos ocurren usualmente arriba de las restricciones en muchos casos rodeando las posiciones del refuerzo o los cambios de sección. En las formaletas el asentamiento de la masa y la exudación se manifiestan en una forma variable dependiendo de la clase de concreto usado. Es decir, que dependen del diseño de la mezcla, contenido de cemento, del revenimiento (consistencia del concreto) y de los aditivos usados.

a.2) CARACTERISTICAS DE LA EXUDACION DEL CONCRETO

Proporción de la Exudación

Si la exudación se produce rápidamente, de tal forma que los trabajos de vibrado o acabados aún se estén realizando cuando ocurra el máximo asentamiento de la masa de concreto, las grietas debidas al asentamiento por consolidación del concreto en las formaletas, pueden ser eliminadas por los trabajos de acabado de la superficie.

Revenimiento (Slump)

Si el revenimiento del concreto es tan bajo que no se presenta exudación, entonces el asentamiento no ocurre, o se produce muy lentamente.

Aditivos

Algunos aditivos cambian las características de la exudación del concreto. Los agentes inclusores de aire tienden a reducir la exudación y también el asentamiento por consolidación del concreto. El Cloruro de Calcio puede acelerar el tiempo de fraguado permitiendo que el concreto endurezca antes de que ocurra un asentamiento excesivo de la masa.

b) CAMBIOS DE SECCION

Las secciones más profundas permiten mayores asentamientos que las de poco peralte, y esta diferencia de asentamientos puede causar agrietamientos. Donde ocurren estos cambios de sección, la más profunda debe ser llenada de concreto y permitir que ocurra su asentamiento correspondiente. Después se concluye la fundición, llenando la menos peraltada. De esta manera, se logrará evitar el diferencial de asentamiento y por consiguiente las grietas.

c) EFECTO DE LA PARED DE LA FORMAleta

Como es ampliamente conocido, este efecto se produce por la dificultad de colocar agregados gruesos entre la formaleta y el refuerzo. Consecuentemente se ve la necesidad de tener una buena graduación del agregado en función de la separación entre el refuerzo y la pared próxima de la formaleta; puede ser necesario también colocar un concreto más fluído en contacto con la formaleta y así reducir la posible apariencia agujerada de la superficie (ratoneras).

En síntesis, el hecho de que no se puedan distribuir los agregados de una manera uniforme, da como resultado una superficie heterogénea y lo que se puede solucionar únicamente con una buena graduación del agregado a usar.

d) GRIETAS DEBIDAS A LA SEGREGACION

Este caso, como ya se mencionó anteriormente se debe a que mientras el concreto comienza a fraguar en la superficie, la segregación continúa en el interior. Este agrietamiento también es causado por la heterogeneidad de los constituyentes de la mezcla y da como resultado tensiones internas. Durante la colocación del concreto y antes de su fraguado, puede ocurrir la segregación debida principalmente a la diferencia de pesos de los agregados, formándose algunas zonas de mayor concentración de agregado grueso.

El efecto de la pared de la formaleta y la segregación son bastante similares, aunque las causas no sean precisamente las mismas, el primer caso se soluciona haciendo una buena graduación, pero en ambos casos se hace indispensable la producción de un concreto denso con un cuidadoso control del tamaño máximo del agregado.

Un buen consejo, es el de no hacer los acabados de superficie antes que hayan aparecido las grietas por segregación. Si se procede de esta manera, se evitará que las posibles grietas queden escondidas y se logrará además, una mejor apariencia final.

CAPITULO 4

CONTRACCION POR FRAGUADO

El agrietamiento debido a la contracción o retracción por fraguado puede dividirse en dos partes:

- 4.1 CONTRACCION PLASTICA
- 4.2 CONTRACCION POR SECADO EN EL CONCRETO FRESCO

Antes de discutir estos dos factores, es conveniente mencionar algo acerca de lo que es el fraguado falso, y además lo que se conoce como Synearesis del cemento.

FRAGUADO FALSO

El fraguado falso se manifiesta por medio de una pobre trabajabilidad y un prematuro endurecimiento del concreto, durante o después del mezclado y antes o poco después de la colocación del concreto.

De acuerdo a estudios realizados, se ha llegado a determinar que el fraguado falso se debe a la hidratación y a la cristalización independiente de una parte del Sulfato de Calcio hidratado (que es el yeso agregado al cemento con el objeto de controlar el fraguado).

El fraguado falso, durante la fundición del concreto, se debe a la formación de un esqueleto resistente de los cristales hidratados de Sulfato de Calcio.

Debido a que este fenómeno es diferente del fraguado rápido, nunca va acompañado de calor alguno; o al menos que pueda ser apreciable. Si existe fraguado falso, la única solución

que se puede adoptar es incrementar el tiempo de mezclado.

El ingeniero o contratista debe resistir la tentación de combatir el fraguado falso, agregándole agua a la mezcla, ya que esto alterará completamente las características del concreto, haciéndolo más suave, aumentando las posibilidades de que aparezcan grietas por contracción, además de que va en detrimento de las propiedades del concreto.

SYNEARESIS

Este fenómeno comprende la contracción del gel del cemento formado durante la hidratación, seguida de la rápida expulsión del agua contenida en el gel durante el fraguado.

La Synearesis puede producirse no solo por la excesiva sequedad del concreto, sino que también por la porosidad o falta de humedecimiento de las superficies contra las que se coloca el mismo, lo que produce pérdida del agua de la mezcla. El apareamiento de grietas por contracción del gel es inmediato.

4.1 CONTRACCION PLASTICA

La contracción debida al fraguado o simplemente contracción plástica, es la disminución volumétrica que experimenta el concreto al fraguar (iniciar su endurecimiento). Si la temperatura en ese momento es alta, el proceso de hidratación del cemento se acelera, lo que aumenta la velocidad del endurecimiento (y disminuye la resistencia del concreto ya endurecido). Si la evaporación es rápida, la pérdida de agua aumenta la retracción o contracción por fraguado y por lo tanto, la aparición de grietas durante el proceso también se incrementa. Esto ocurre cuando la evaporación excede a la velocidad con que el agua fluye o exuda hacia arriba. La velocidad del viento acelera la evaporación y ésta última es 64 por ciento más alta en concretos expuestos a vientos de 16 KPH, que en los expuestos a

GW

los de 8KPH. Esto explica la aparición de grietas en superficies grandes de concreto expuestos al viento como son las losas, los pavimentos, las aceras, etc.

Los vientos normales tienen velocidades de 15 KPH, por lo que en lugares en donde la velocidad del viento es superior deben tomarse precauciones especiales para evitar los efectos de la retracción por fraguado.

Los efectos de la temperatura ambiental, de la propia temperatura del concreto, de la humedad relativa del medio ambiente y de la velocidad del viento sobre la evaporación, han sido estudiados por la Portland Cement Association de los Estados Unidos (11). Los resultados de estos estudios han permitido ver que la máxima evaporación permisible para evitar agrietamientos durante el fraguado, es de 1 Kg./m²/hrs.(12).

La diferencia de temperatura entre el concreto y el medio ambiente, depende de la temperatura del cemento, de los agregados y del agua. Si se establece 5°C como la diferencia de temperatura promedio entre el concreto y el ambiente, y si se considera una velocidad del viento de 15 KPH y se limita la evaporación a 1 Kg/m²/hora, la máxima temperatura permisible en el concreto es:

$$T = 21 \left(0.5 + \frac{H}{+ 100} \right) \text{ donde}$$

H es la humedad relativa ambiente en por ciento

En climas fríos, la temperatura del concreto no debe ser inferior a 5°C, para evitar los efectos del congelamiento y descongelamiento sobre el concreto.

La relación de agua pérdida en la superficie, depende de la temperatura, de la velocidad del viento, y la humedad. La
 * contracción plástica es más frecuente en climas cálidos o secos

que en los climas de humedad moderada. Sin embargo, cuando se usa concreto calentado en lugares fríos la baja temperatura del aire ambiente y de la humedad pueden también causar este fenómeno. Bajo ciertas condiciones atmosféricas el agrietamiento por el asentamiento durante la consolidación del concreto, y los agrietamientos por contracción plástica, pueden ocurrir simultáneamente.

El agrietamiento por contracción plástica como se ha indicado anteriormente, es altamente problemático en climas calientes o secos. Tales agrietamientos se hacen visibles cuando comienzan las reacciones que producen el fraguado ó endurecimiento.

Este agrietamiento debido al fraguado puede ser evitado usando mézclas secas bien compactadas.

Como el agrietamiento por contracción plástica, es causado por esfuerzos de tensión producidos por la evaporación del agua de la mezcla, se debe prevenir la evaporación del agua, hasta que la mezcla fresca haya desarrollado suficiente resistencia a las fuerzas de tensión que se presentan. Generalmente, se acepta que algunos aditivos retardadores incrementan los agrietamientos por contracción plástica, motivo por el cual su uso es cuestionable en climas muy secos o calientes. En algunas aplicaciones sin embargo, estos retardadores ofrecen la única solución practica de manipular el concreto en estos climas.

Afortunadamente existen diferentes medidas preventivas que pueden ser adoptadas, pero el mejor procedimiento, es colocar el concreto a la temperatura mas baja posible mediante el uso de agua enfriada, agregados mantenidos en sombra y evitar el uso de cemento caliente ó fresco.

Otra de las medidas es el de colocar sombras que eviten el paso de los rayos solares, y rompevientos, así como humedecer la



formaleta y la subrasante antes de colocar el concreto, e iniciar el curado tan pronto como sea posible. En trabajos de pavimentación, el curado debe hacerse inmediatamente después de haber pasado el último arrastre.

CURADO DEL CONCRETO

De todos los materiales usados en la construcción, ninguno tiene cambios volumétricos tan grandes como los que soporta el concreto; y ningún material es tan poco apto para absorber tales cambios, particularmente, si no se tiene los cuidados que requiere en su trato.

Connotadas instituciones han señalado el alto grado de detrimento que se opera en la resistencia del concreto, como consecuencia de un curado inadecuado.

El curado del concreto se define como un procedimiento para mantener adecuada temperatura y humedad correcta en el concreto. El buen curado favorece el proceso de hidratación del cemento, y garantiza el desarrollo completo de las propiedades que del concreto se espera.

Por otra parte, un curado inadecuado reduce notablemente la calidad potencial del concreto, no obstante que haya sido bien dosificado, mezclado y colocado. La insuficiencia del curado se evidencia en las resistencias obtenidas en los cilindros de control a 28 días curados bajo condiciones normalizadas, comparadas con las de los cilindros curados en las condiciones actuales de la obra.

Cuando la velocidad de secado ó evaporación es mayor a la velocidad con que aflora ó exuda el agua hacia la superficie del concreto (como se menciona anteriormente), se presentan AGRIETAMIENTOS. Esto quiere decir, que cuando existe una rápida evaporación del agua en el concreto ocasionada por

agentes externos del medio ambiente aparecerán inevitablemente fisuras en el concreto.

Se ha observado que los principales factores que incrementan la velocidad de secado son los siguientes:

Disminución de la humedad relativa ambiente
Aumento ó disminución de la temperatura ambiente
Aumento de la velocidad del viento
Aumento de la temperatura del concreto

Como se puede ver en la lista anterior, los factores que se mencionan son derivados de condiciones climatológicas que no se pueden controlar; por lo cual se recomiendan las siguientes medidas preventivas:

- Humedecer la subrasante y las formaletas
- Humedecer los agregados si se encuentran secos y si son muy absorbentes
- Iniciar el curado lo más pronto posible
- Montar rompevientos para disminuir la velocidad del aire sobre la superficie del concreto
- Instalar pantallas contra el sol para reducir la temperatura sobre la superficie del concreto
- Iniciar el curado tan pronto como sea factible después de colocar y compactar el concreto en las formaletas.

De los puntos señalados anteriormente el más importante de todos es el CURADO ya que coadyuva a abatir la intensidad de los factores que afectan la velocidad de secado. Es recomendable proceder al curado del concreto inmediatamente que ha desaparecido el lustre brillante en la superficie del concreto, debiendo continuar hasta que el concreto haya alcanzado por lo menos el 75 por ciento de su resistencia de proyecto.

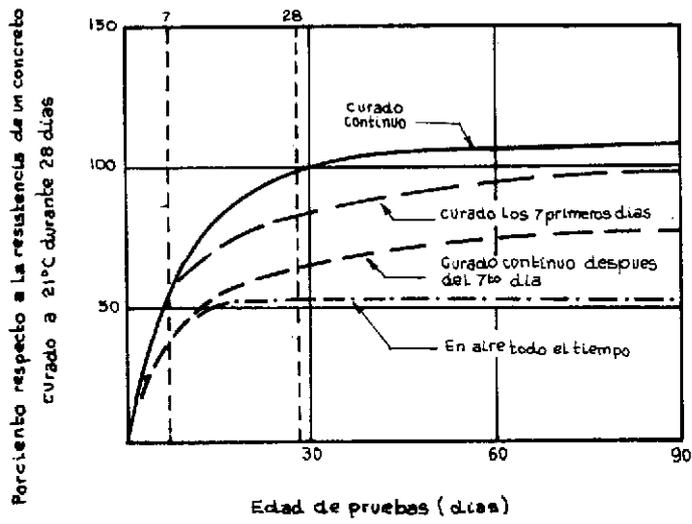


Figura 4.1

Como ya se ha dicho, el resultado de un curado deficiente del concreto se traduce principalmente en fisuras y disminución de la resistencia. Algunas investigaciones realizadas indican que el concreto no curado reduce hasta un 50 por ciento su resistencia.

De la gráfica anterior se deducen las siguientes conclusiones.

- a) El concreto que se cura durante 7 días está dentro del 80 por ciento de la resistencia del concreto curado durante 28 días.
- b) El concreto que se cura a partir del 7o. día está dentro del 66 por ciento de la resistencia del concreto que se requiere a 28 días.

Para aclarar un poco más este tema, pueden mencionarse algunos métodos de curado que se utilizan con mayor frecuencia.

1) Productos que forman membrana de curado

Son productos químicos de diferentes colores en suspensión líquida estable que son aplicados con aspersor de aire, brocha de cerda, regado o extendido con cepillo, para formar una membrana que conserve la humedad y agua de mezcla, durante el período de adquisición de resistencia.

2) Curado por inundación

Este método se utiliza para superficies horizontales y se aplica formando diques perimetrales con arena, tierra, u otro medio, inundando de agua la superficie.

3) Curado por riego de agua

Se aplica sobre la superficie del concreto con riegos constantes para mantenerlo siempre húmedo. También se colocan

materiales absorbentes (lonas, esteras) sobre la superficie del concreto que se saturan frecuentemente.

4) Curado con arena o tierra húmeda

Se aplica en superficies horizontales o ligeramente inclinadas. Consiste en colocar una capa de 2 a 3 cms. de espesor conservándola mojada durante el lapso que dure el curado.

En resumen, la resistencias y calidad del concreto estarán en razón directa de los cuidados que a través de un curado efectivo se le proporciona.

Como se ha podido observar, los diferentes factores que causan el AGRIETAMIENTO antes de que el concreto endurezca pueden ocurrir simultáneamente y frecuentemente es difícil separarlos uno de otro. Sin embargo, es más fácil usualmente minimizar o prevenir estos agrietamientos tomando las medidas de prevención adecuados, que tratar de corregirlos posteriormente cuando el concreto ya haya endurecido.

4.2 CONTRACCION POR SECADO EN EL CONCRETO FRESCO

Se debe tener cuidado de no confundir los que significa la contracción por secado en el concreto fresco y la contracción por secado en el concreto endurecido. Las causas que lo originan son diferentes.

Esta contracción se caracteriza por el apareamiento de grietas irregulares sin planos definidos de agrietamiento, y con direcciones al azar. Se deben a la contracción de la superficie del concreto debido principalmente, a:

- El uso de mezclas muy ricas
- Un alto grado de revenimiento

- Una operación de acabados inadecuada
- Un acabado excesivo
- Esfuerzos de temperatura durante las edades iniciales del concreto
- Una sub-rasante absorbente

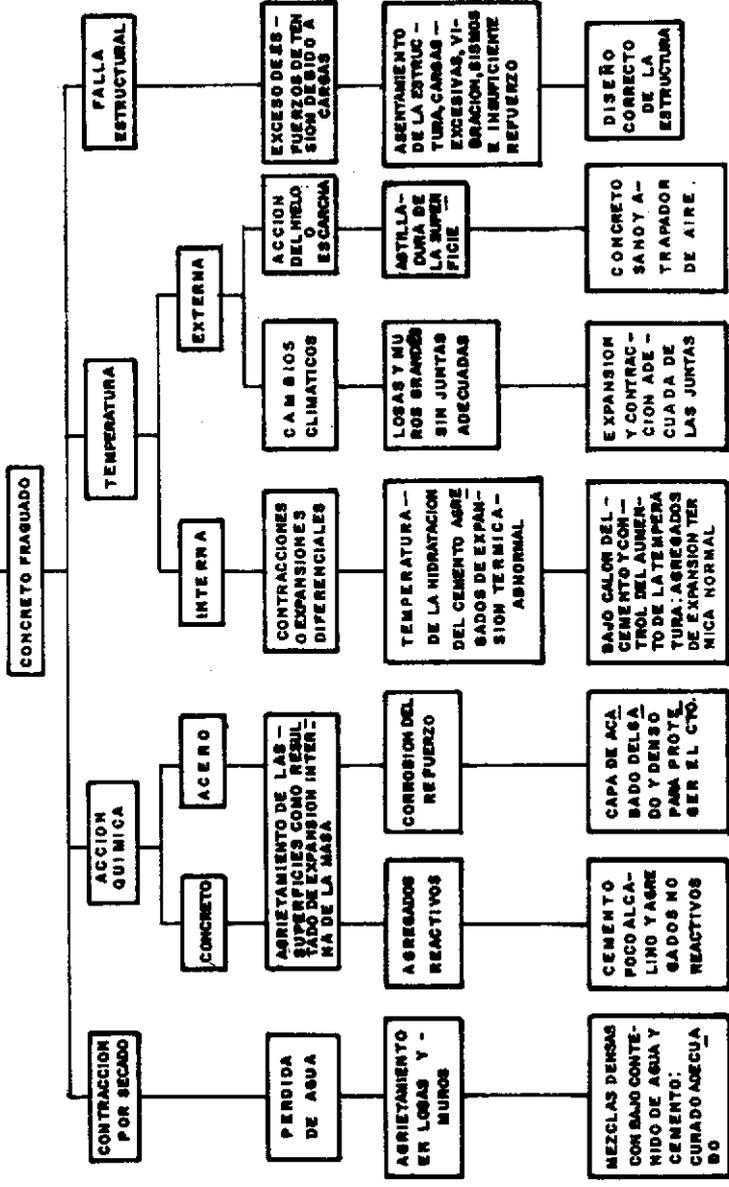
Aunque este tipo de agrietamiento no es activo, su exposición por un largo tiempo dará como resultado un alargamiento progresivo de las grietas.

Este tipo de agrietamiento superficial, se deja tal y como está o se rellena con un material elastomérico. Es preferible esto último para prevenir filtraciones y crecimiento de las grietas.

SEGUNDA PARTE

GRIETAS EN EL CONCRETO ENDURECIDO

TIPOS Y CAUSAS DEL ABRIETAMIENTO EN EL CONCRETO



PRIMERA CLASIFICACION

SEGUNDA CLASIFICACION

CAUSA

EJEMPLO O CONDICIONES QUE PUEDE INFLUIR

SOLUCION

CAPITULO 5

GRIETAS DEBIDAS A LA CONTRACCION POR SECADO (10)

La contracción debido al secado del concreto, es una de las principales causas del agrietamiento. La contracción, que es una característica inherente del concreto de cemento hidráulico, ocurre con la pérdida de agua de mezcla y la sobrante de la formación del gel de silicatos de calcio hidratada, formados durante la hidratación del cemento. Cuando se expone un elemento fundido a condiciones ambientales secas, la humedad se desplaza lentamente del interior de la masa del concreto hacia la superficie, restituyendo de esta manera la humedad perdida por evaporación.

La contracción por carbonatación (ver fig 3.1 c), también ocurre en el concreto endurecido debido a la acción del bióxido de carbono en el producto hidratado, dan como resultado el de originar algunos carbonatos de calcio que van acompañados por una reducción de volumen. Sin embargo, el bióxido de carbono no penetra de una manera considerable dentro de la masa de concreto produciendo por esta razón únicamente grietas superficiales. Es pues, de menor importancia la contracción total en una estructura de concreto debido a la contracción por carbonatación.

PORQUE EL CONCRETO SE AGRIETA DEBIDO A LA CONTRACCION POR SECADO

Si la contracción se llevara a cabo sin tener de por medio restricción alguna, el concreto no se agrietaría. Consecuentemente es la combinación de la contracción y la restricción a la misma, que produce el agrietamiento.

Si se examina detenidamente la figura 5.1, donde se presenta una barra de concreto de una longitud determinada, en una condición dada de temperatura y humedad, y libre de esfuerzos. Si esta barra se seca o se enfría sin que esté restringida, simplemente sufrirá una contracción y no se desarrollarán esfuerzos, como se indica en B. Sin embargo, si los extremos están restringidos durante el proceso de secado o enfriamiento de tal manera que se conserve la longitud original, como se muestra en B, la barra desarrollara esfuerzo de tensión como si hubiese estado libre para contraerse y después se hubiera estirado hasta su longitud inicial. Las flechas indican la fuerza de tensión aplicada en los extremos. Con el tiempo, los esfuerzos se alivian gradualmente debido en parte al escurrimiento plástico que en casos extremos puede reducir estos esfuerzos hasta un tercio del valor original (en D se presenta la barra con la fuerza ya reducida). Durante cualquier etapa, ya sea en concreto fresco o endurecido, si los esfuerzos netos de tensión alcanzan la resistencia a la tensión del concreto para una edad determinada, este se agrietará y los esfuerzos se aliviarán según se muestra en E. Este es un caso simple pero ilustra el proceso que puede presentarse ya sea en escalas mayores o menores, en cualquier localización o dirección, y producido por cualquier causa de agrietamiento.

Puesto que la contracción por secado es siempre mayor en las partes exteriores del elemento, la retracción del concreto es mayor en las superficies que en el interior de la masa. Las restricciones a la contracción pueden producir grietas superficiales, que no penetran enteramente dentro del elemento fundido.

Otro tipo de restricción ocurre cuando el concreto es restringido por la cimentación de otra parte de la estructura, o por el acero de refuerzo embebido en el concreto. El esfuerzo de tensión que resulta, es debido a la combinación de factores tales como:

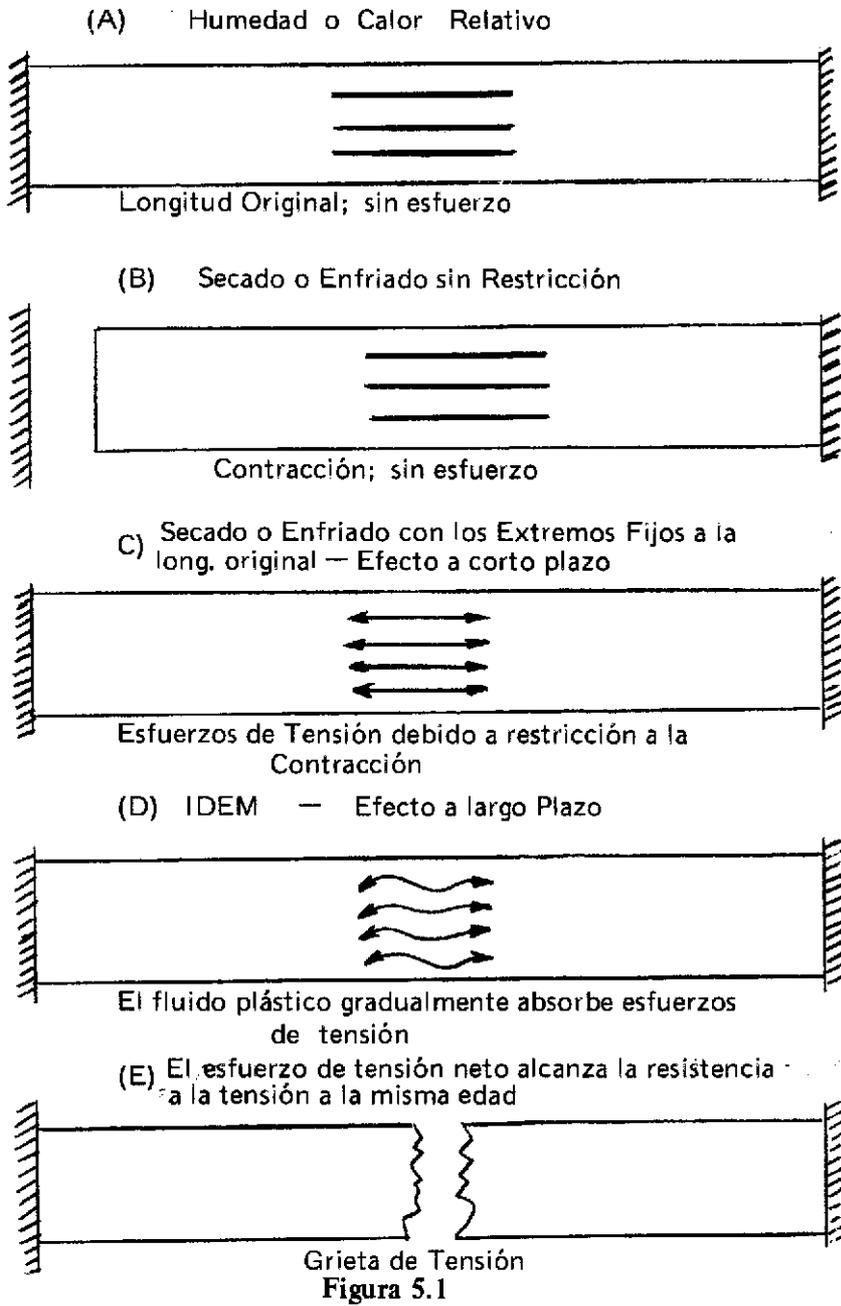


Figura 5.1

- 1) La cantidad de contracción
- 2) El grado de restricción
- 3) El módulo de elasticidad del concreto
- 4) El escurrimiento plástico del concreto

Así pues, la cantidad de contracción, es solamente un factor que gobierna el agrietamiento.

Puesto que la contracción por secado es una característica inherente inevitable del concreto, los factores que la determinan se discuten a continuación.

5.1 CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES

La magnitud de la contracción del concreto por secado está afectada por un número de factores que incluyen: el tipo de cemento y agregado, el contenido de agua y la dosificación de la mezcla. La relación de la contracción de un concreto determinado, está influenciado por el tamaño del elemento estructural, el medio ambiente y el tiempo de exposición.

5.1.1 EFECTO DEL CEMENTO

Los resultados de un estudio extensivo hecho por el National Bureau Of Standar de los EE UU en un gran número de cementos de la Portland (), indican que no es posible afirmar que un cemento, porque llene los requerimientos de uno de los tipos normalizados tenga más o menos contracción que otro cemento de tipo diferente.

Los resultados sobre pastas de cemento permitieron observar una amplia distribución de los valores de contracción, especialmente en Cementos Tipo I.

La contracción por secado de las pastas durante 6 meses, osciló de cerca de 0.0015 a más de 0.0060 con un promedio de

0.0030 en 182 cementos analizados. Se encontró que la contracción está relacionada:

- 1) Con una mas baja relación de C_3A/SO_3
- 2) Con más bajo contenido de Na_2O y K_2O
- 3) Con un más alto contenido de C_4AF decemento

Pruebas hechas por la California División Highways en morteros o pastas como una medida de comportamiento en el concreto () indicaron que los cementos Tipo II generalmente producen menos retracción que los del Tipo III. La cantidad de yeso en el cemento tiene un gran efecto en lo que a la contracción se refiere. Los productores de cemento han moderado las diferencias de contracción en los distintos tipos de cemento optimizando el contenido de yeso en cada uno de ellos.

5.1.2 INFLUENCIA DEL TIPO DE AGREGADO

Tanto el agregado grueso como el fino, ocupan un 75 por ciento del total del volumen del concreto y contribuyen de una manera determinante en la contracción por secado. El concreto básicamente puede ser considerado como una estructura de pasta de cemento cuya máxima contracción potencial es restringida por los agregados.

La contracción por secado del concreto, es solamente una parte fraccional de la contracción total de la pasta de cemento. Los factores que influyen en la habilidad de las partículas de agregado en restringir la contracción son:

- 1) La compresibilidad del agregado y la extensibilidad de la pasta
- 2) Las fuerzas de interacción entre la pasta y el agregado
- 3) El grado de agrietamiento de la pasta de cemento
- 4) La contracción de las partículas de agregado debido al secado.

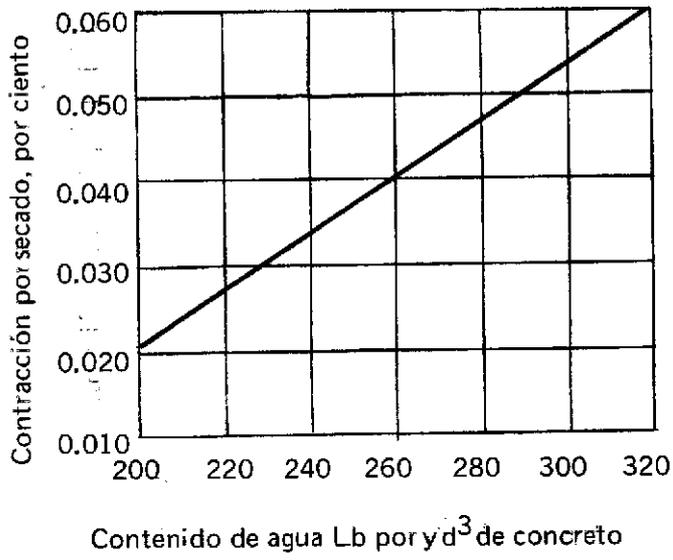


Figura 5.2

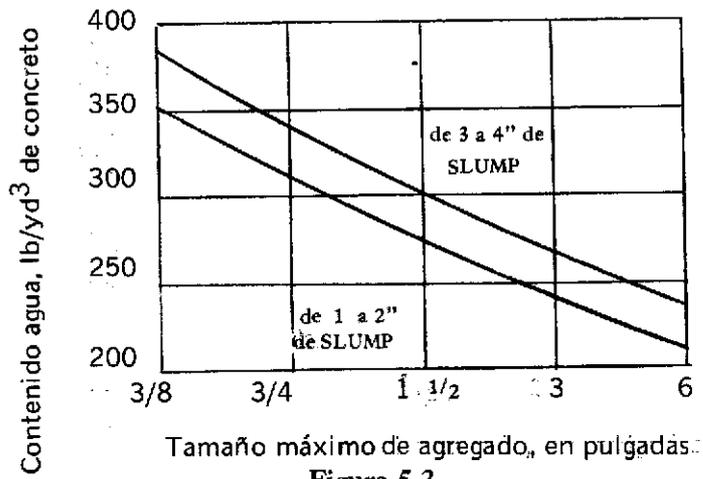


Figura 5.3

La gran influencia de los tipos de agregado en la contracción por secado del concreto, fué demostrado por Carlson (). Como un ejemplo de sus estudios realizados con cementos idénticos y relación agua-cemento idénticos también se presenta la Tabla 5.1

El cuarzo, la piedra caliza, la dolomita, el granito, los feldespatos y algunos basaltos, se pueden clasificar generalmente como materiales con que se elaboran agregados de baja contracción. Los concretos de alta contracción usualmente contienen piedra arenisca, pizarra, anfíbol (hornblend) y algunos tipos de basalto. Puesto que la rigidez de ciertos agregados tales como el granito, la piedra caliza, o la dolomita, pueden variar en un gran rango, su efectividad en restringir la contracción por secado, también variará.

Los datos indican claramente que la compresibilidad es la propiedad del agregado más importante que gobierna la contracción. La arenisca sin embargo, produce alta contracción no solamente debido a su compresibilidad, sino que también porque el agregado en si puede contraerse una cantidad apreciable debido al secado.

Esto es cierto para otros agregados de alta capacidad de absorción. Es pues en general, el agregado de peso específico alto y baja absorción el que dará concretos de baja contracción por secado. Sin embargo, algunos agregados livianos pueden producir también concretos de características de contracción baja.

El tamaño máximo del agregado tiene un efecto significativo en la contracción por secado. No solo hace que el concreto requiere un menor contenido de agua para ser trabajable, sino que es mas resistente a la contracción de la pasta de cemento. La graduación del agregado tiene cierto efecto sobre la contracción. El uso de agregados gruesos o finos muy pobres en graduación, puede dar como resultado una mezcla con exceso

de arena; que dará un concreto con mejor trabajabilidad, pero con menor agregado grueso; motivo por el cual se incrementará la contracción.

5.1.3 EFECTO DEL CONTENIDO DE AGUA Y LA PROPORCION

El contenido de agua de una mezcla de concreto, es un factor muy importante que afecta la contracción. El gran incremento de contracción debido a un incremento de contenido de agua, fué demostrado en ensayos realizados por el U.S. Bureau of Reclamation (). Una relación típica entre el contenido de agua y la contracción, se muestra en la figura 5.1. La contracción del concreto puede ser minimizado manteniendo el contenido de agua de la pasta tan bajo como se pueda y al mismo tiempo el contenido total de agregados en el concreto tan alto como sea posible. Esto dará como resultado un menor contenido de agua por unidad de volumen y como consecuencia una menor contracción.

El volumen total de agregado grueso, es un factor significativo en la contracción por secado. El concreto proporcionado para ser colocado por medio de bombeo, con excesivo contenido de arena, exhibirá una mayor contracción que mezclas similares con un contenido de arena normal.

Ensayos reportados por Tremper y Spellman (11), permiten ver que el factor cemento tiene poco efecto en la contracción del concreto. Sus datos señalan que el factor cemento fué incrementado de 470 a 752 libras por yarda cúbica, el contenido de agua se mantuvo casi constante, mientras que el porcentaje de agregados finos se redujo.

Sin embargo, la cantidad de agua de mezclado requerido para producir un metro cúbico de un determinado revenimiento ó Slump depende grandemente del tamaño máximo del agregado.

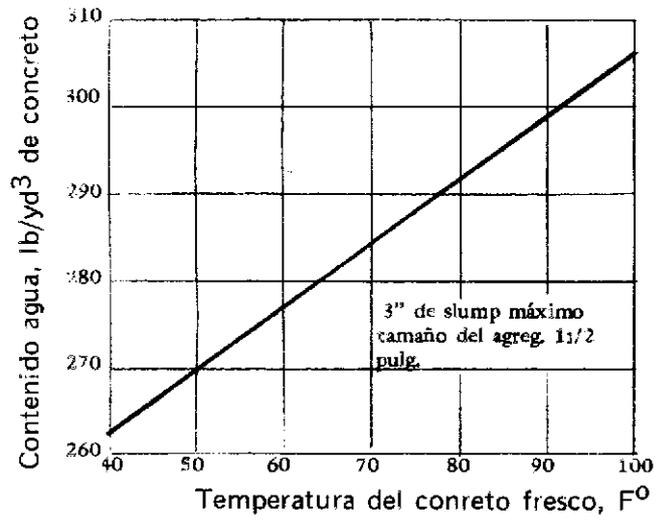


Figura 5.4

El área de la superficie del agregado, que debe ser cubierta por la pasta de cemento, decrece con el incremento del tamaño del agregado.

El efecto que tiene el tamaño máximo del agregado sobre la cantidad de agua necesario en la mezcla, se muestra en la figura 5.3. Los datos ploteados en esta figura tomados del reporte del ACI Committee 613 muestra por ejemplo, que para un tamaño máximo de agregado de 19 mm (3/4") y un revenimiento ó Slump de 3 a 4 pulgadas (7.5 a 10 cm), el agua requerida es de 340 libras por yarda cúbica (202 litros por m³) de concreto, pero solamente 300 libras son necesarias (202 litros) si el tamaño del agregado es de 38.1 mm o sean 1 1/2 pulgadas. Esta reducción de 40 libras (136 litros) de agua podría reducir la contracción por secado de un año en un 15 por ciento.

La figura 5.3 también muestra la influencia que tiene el revenimiento sobre la cantidad de agua requerida. La cantidad de agua requerida para un concreto que se ha elaborado con un agregado de 3/4" (19 mm), es de 340 libras por yarda cúbica (202 lts/M³) para un revenimiento de 3" a 4" (7.5 a 10 cms), pero solo son necesarias 310 libras (141 litros) para uno de 1 a 2 pulgadas. Esta reducción sustancial en el contenido de agua, podría reflejarse en una contracción por secado más bajo.

Otro de los factores que influye en la cantidad de agua necesaria en un concreto y por lo tanto en la contracción, es la temperatura en la cantidad de agua requerida fué dado también, por el U.S. Bureau of Reclamation (11) y se muestra en la figura 5.4. Si la temperatura del concreto fresco por ejemplo, fuera reducido de 100 a 50 °F (38 a 10 °C), se permitiría una reducción de 33 libras de agua en una yarda cúbica (19.5 lts/M³) de concreto manteniendo el mismo revenimiento. La reducción de agua determinaría una contracción baja.

* Por lo anteriormente discutido, se puede concluir que, para minimizar la contracción por secado en el concreto, la cantidad de agua en el mismo, debe ser la mínima. Cualquier cambio que incremente la cantidad de agua, tales el caso de uso de revenimientos altos, el uso de temperaturas altas en el concreto fresco, o el uso de insuficiente agregado grueso, incrementará sustancialmente la contracción y por lo tanto, el AGRIETAMIENTO en el concreto.

5.1.4 EFECTOS DE LOS ADITIVOS QUIMICOS

Los aditivos químicos, son usados para dar ciertas propiedades deseables al concreto. Los más comunes que se pueden mencionar, son los inclusores de aire, los aditivos reductores de agua, los aditivos retardadores del fraguado, y los aceleradores.

Se podría esperar que con el uso de inclusores de aire los espacios de aire pueden incrementar la contracción por secado. Sin embargo, como la inclusión de aire permite reducir la cantidad de agua sin disminuir el valor del revenimiento, la contracción no es apreciablemente afectada por el aire sino cuando el contenido de este último excede de 5 por ciento.

Los estudios de laboratorio realizados para ver los efectos que producen los aditivos reductores de agua y los retardadores de fraguado, han demostrado que la reducción de agua en concretos que tienen estos aditivos, no produjo decrecimiento de contracción alguno. Aunque algunos de estos aditivos pueden de alguna manera incrementar la contracción a edades tempranas, para propósitos prácticos, la contracción a mayor tiempo transcurrido de estos concretos, es casi la misma que aquellos que no contienen aditivos. Es de esperarse sin embargo, que los aditivos incrementan la resistencia sin incrementar apreciablemente la contracción, pueden muy bien disminuir la tendencia del agrietamiento.

La California División Highways (12) investigó los efectos del Cloruro de Calcio (que es un acelerador común), y encontró un apreciable incremento de contracción especialmente a edades tempranas del concreto. La contracción de 7 días del concreto conteniendo 1 por ciento de cloruro de calcio, fué cerca del doble del obtenido de mezclas sin aditivos. Sin embargo, después de los 28 días, la contracción del concreto que contenía cloruro de calcio, fué solamente cerca del 40 por ciento mayor que el de la mezcla de control sin aditivos.

5.1.5 EFECTOS DE LA DURACION DEL CURADO

Carlson (12) reportó que el tiempo del curado del concreto, no tiene mucho efecto en la contracción por secado. Esto es confirmado por las pruebas realizadas por la California Division Highways que demostraron que la contracción para curados que tardan 7,14 y 28 días, es la misma, siempre que el curado se realice antes de que se inicie el secado del concreto, por otro lado, el hecho de que se quiera reducir la tendencia del agrietamiento en el concreto no implica que se tenga que hacer un curado prolongado, puesto que esta práctica no resulta del todo beneficioso.

El curado por vapor a presión atmosférica, que es de uso común en la fabricación de elementos estructurales prefabricados, reduce la contracción por secado, puesto que reduce un gran aumento de resistencia a edad temprana.

5.1.6 EFECTO DE LAS PUZOLANAS

El uso de algunas puzolanas naturales pueden incrementar la demanda de agua, en el concreto fresco y como consecuencia la contracción por secado del concreto.

También ha sido observado que el uso de algunas puzolanas incrementa la contracción por secado aunque tengan

poco efecto en el contenido de agua en el concreto. Debido a la considerable variación de los efectos de las puzolanas en las características del concreto, estas deben ser estudiadas específicamente para verificar cuales son en sí sus efectos.

5.1.7 INFLUENCIA DEL TAMAÑO DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL

El tamaño del elemento estructural, influye en la proporción a la cual la humedad se mueve y se elimina del concreto y de esta forma, en la proporción de la contracción. Carlson () ha demostrado que para un concreto expuesto a una humedad relativa de 50 por ciento, el secado penetrará solamente cerca de 3" (7.5 cms) en un mes y cerca de 2 pies (60 cms) en 10 años. La figura 5.5 muestra las curvas teóricas para el secado de losas. Hansen y Mattock (), hicieron una extensa investigación de la influencia del tamaño del elemento, así como su forma en la contracción y el escurrimiento plástico del concreto. Encontraron que tanto la contracción final como el escurrimiento plástico decrecen conforme los elementos estructurales se hacen mas grandes.

5.2 CONTROL DEL AGRIETAMIENTO POR SECADO

El concreto tiende a contraerse debido al secado, cuando sus superficies están expuestas a aire de baja humedad relativa puesto que son varios los factores que restringen la libre contracción del concreto, siempre es de esperarse la posibilidad de agrietamientos, a menos que para prevenir la pérdida de agua en el concreto, la humedad relativa se mantuviera al 100 por ciento o la superficie del concreto fuera sellada.

El control del agrietamiento por secado consiste en reducir la tendencia del mismo a un mínimo, para lo cual debe hacerse mediante el uso de juntas de control y el uso de refuerzo de acero colocado adecuadamente.

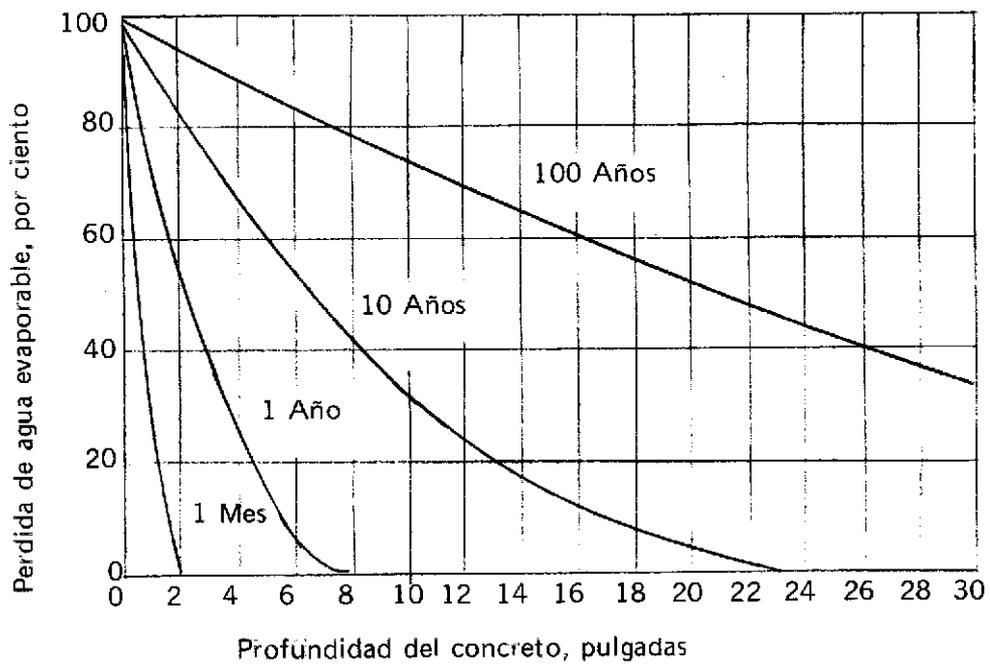


Figura 5.5

5.2.1 REDUCCION DE LA TENDENCIA AL AGRIETAMIENTO

Como se ha mencionado previamente, la tendencia del agrietamiento se debe no solamente a la cantidad de contracción sino que también al grado de restricción que se tenga, al módulo de elasticidad, y al escurrimiento plástico del concreto. Algunos factores reducen la contracción al mismo tiempo que decrecen el escurrimiento plástico e incrementan el módulo de elasticidad, ofreciendo poca o ninguna ayuda a la tendencia del agrietamiento.

El camino mas efectivo de reducir la tendencia del agrietamiento del concreto, es reducir el contenido de agua. La mayoría de las medidas que pueden ser tomadas para limitar la cantidad de agua en una mezcla, tiene un efecto importante en la reducción del agrietamiento. De tal manera, que usando una mezcla de consistencia lo mas seca posible, con una eficiente vibración, colocando el concreto a baja temperatura, y usando agregados de una graduación adecuada, se logra que la cantidad de agua en el concreto sea mínima.

Otra de las formas para reducir la tendencia del agrietamiento, es usar un tamaño de agregado más grande. Este agregado tiende a restringir la contracción del concreto aún más y aunque debido a esto se generen microgrietas internas, estas no serán perjudiciales para el elemento estructural.

Una tercera forma para reducir la tendencia al agrietamiento es aplicando un acabado superficial al concreto, el cual prevendrá la pérdida rápida de la humedad.

Muchos tratamientos superficiales tales como pinturas para todo uso, son inefectivos porque permiten que la humedad se escape tan rápido como llega a la superficie. Los materiales resinosos, son tratamientos efectivos, pero probablemente hay

muchos otros materiales que hagan más lenta la evaporación lo suficiente como para ser beneficioso. Cualquier método que se utilice para hacer más lenta la contracción, es bastante beneficioso, ya que el concreto tiene una cualidad muy especial que es la de relajarse bajo condiciones de esfuerzos sostenidos. (escurrimiento plástico) De tal forma que el concreto puede estar en condiciones de soportar 2 o 3 veces más las contracciones, si estas se realizan de una manera lenta que si se presentan en un tiempo muy corto.

5.2.2 REFUERZO DE ACERO

El refuerzo de acero, propiamente colocado, usando únicamente los porcentajes que el diseño requiera (2), no solamente reduce en gran parte el agrietamiento, sino que también previene la formación de grietas que no son visibles. Distribuyendo los esfuerzos de la contracción a lo largo del refuerzo, las grietas se distribuyen de tal manera que aparezca un número mayor de microgrietas en vez de unas pocas que pueden ser de un ancho significativo y por lo tanto perjudiciales. Aunque el uso del refuerzo para controlar las grietas en secciones de concreto relativamente pequeñas es práctico, no lo es así o no es necesario usarlo cuando se trata de estructuras masivas tales como las presas donde la contracción por secado en estas estructuras es bastante baja. La mínima cantidad de refuerzo y su espaciamiento a ser usado en pisos, losas y muros, se indica en los códigos de construcción tales como el ACI 318-71, Concrete Building Code, etc.

5.2.3 JUNTAS DE EXPANSION

El uso de estas juntas, es el método más usado para prevenir la formación de grietas invisibles. Si los elementos de concreto tales como muros, losas o pavimentos no son previstos de juntas de expansión adecuadas para absorber la contracción, estos elementos harán sus propias juntas, agrietándose.

Las juntas de expansión en los muros son hechos por ejemplo, utilizando tiras de madera o de hule embebidas en el concreto fresco las cuales dejan una ranura bastante angosta (vertical); de esta manera, el agrietamiento por contracción se manifestará en estas estrías. No existen reglas uniformes que determinen la localización de estas juntas, ya que cada trabajo debe ser objeto de un estudio particular. En el capítulo 7 se darán ejemplos de diferentes juntas de expansión, y de contracción.

5.2.4 USO DE CONCRETO EXPANSIVO. (16)

Con el afán de encontrar nuevos métodos para reducir hasta donde sea posible el agrietamiento de los materiales debido a la contracción por secado y a los cambios volumétricos por temperatura, se han hecho muchos ensayos y producto de éstos, se ha encontrado un nuevo concepto que seguramente será de mucha utilidad en la contracción con concreto; este concepto se llama CONTRACCION COMPENSADA, producida en concretos expansivos.

El resumen de un ensayo sobre concretos expansivos, fué presentado por Paul Klieger, de los laboratorios de investigación y desarrollo de la Asociación de Cemento Portland (PCA) de los EE.UU y presentado en la convención anual del NRMCA CELEBRADA en enero de 1971 en San Francisco, California (). Es un resumen completo de la más reciente información técnica relativa a los tres tipos de cementos expansivos y al grado en que diversos factores afectan las propiedades del concreto que se elaboran con estos cementos.

5.3.4.1 COMO ACTUA LA CONTRACCION COMPENSADA

El concreto es un material que se contrae ligeramente cuando es expuesto a una atmosfera seca; situación que se presenta en casi todos sus usos como material de construcción.

Esta pequeña contracción, del orden del 0.05 por ciento, sería de poca importancia excepto por dos razones:

- 1) Casi siempre hay alguna restricción a este acortamiento. Por ejemplo, una losa de pavimento está restringida por la fricción con la sub-base; una viga queda restringida por la rigidez de las columnas a la que está ligada.
- 2) La resistencia a tensión del concreto es baja. La restricción de la contracción por secado origina esfuerzos de tensión, y cuando éstos son mayores que la resistencia a la tensión del concreto, se inicia el AGRIETAMIENTO.

El preesfuerzo mecánico es un medio para impedir el desarrollo de grietas de tensión, ya sea por los esfuerzos de tensión que se inducen por cargas, o por los que se desarrollan por restricción de la contracción. Sin embargo, el uso de CEMENTOS EXPANSIVOS proporciona un medio para obtener dicho preesfuerzo, produciendo el mismo efecto que una cantidad convencional de acero de refuerzo. De primordial interés es el uso de cementos expansivos para la compensación de la contracción, de aquí que se le conoce con el nombre de cementos de "Contracción Compensada".

El objeto de emplear un cemento de contracción compensada, es el de producir un potencial expansivo en el concreto durante sus primeros días de vida, y restringir esta expansión de tal forma que se desarrolle un esfuerzo de compresión en el concreto y uno de tensión en el medio de restricción, que generalmente es acero de refuerzo interno. El nivel deseado del preesfuerzo de compresión en el concreto para compensar la contracción es tal que cuando ocurre la contracción por secado, el preesfuerzo de compresión sea total o parcialmente anulado, y el esfuerzo de tensión que se desarrolle sea menor que

la resistencia de la tensión del concreto. Desde el punto de vista teórico, éste puede ser el mecanismo para eliminar el agrietamiento que se le atribuye a los concretos de contracción compensada.

Estudios realizados sobre losas de piso, así como en losas de estacionamientos (), se encontró una reducción del agrietamiento de 75 por ciento.

5.2.4.2 CLASES DE CEMENTOS EXPANSIVOS DISPONIBLES

Existen tres tipos de cementos expansivos disponibles cuyas denominaciones se deben al ACI.

TIPO K: Sulfoaluminato anhidro
Cemento Portland
Sulfato de Calcio
Cal libre

TIPO M: Cemento Portland
Cemento de aluminato de Calcio
Sulfato de Calcio

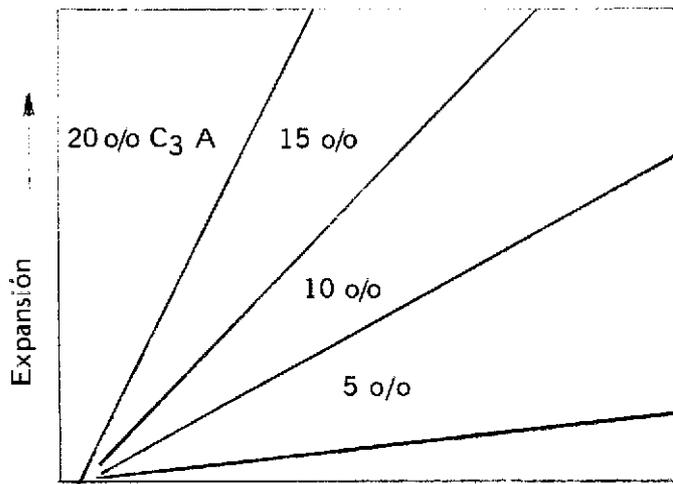
TIPO S: Cemento Portland de alto contenido de aluminato
Tricálcico
Sulfato de Calcio

El cemento tipo K fué obtenido por Alejandro Klein en la Universidad de California, el Tipo M por el investigador ruso Mikhailov y el tipo S por la Asociación de cemento Portland PCA. Los tres tipos de cemento emplean la misma reacción química a fin de obtener la fuerza expansiva interna, esto es, la formación de Sulfoaluminato de calcio por la reacción entre el aluminato tricálcico (C_3A) y el Sulfato de Calcio ($CaSO_4$). Esta es la misma reacción que resulta en la expansión destructiva de concretos expuestos a aguas o suelos sulfatados, a menos que estén fabricados con cementos resistentes a los sulfatos.

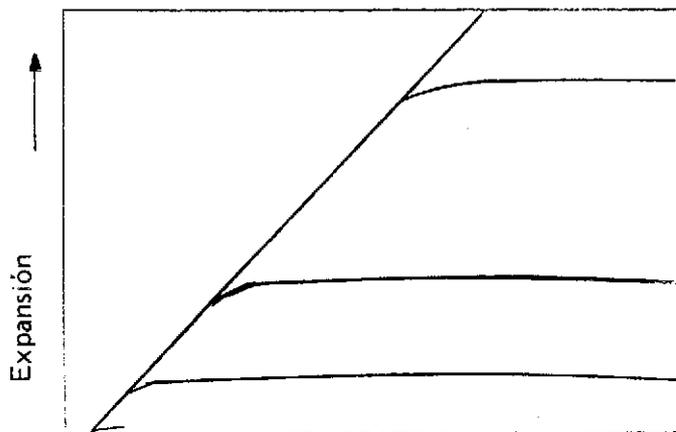
Como se puede observar, cada uno de estos cementos tiene por lo menos dos características en común: aluminatos y sulfatos de calcio.

La cantidad de estos dos componentes controlan el régimen y la cantidad total del potencial de expansión. En la figura 5.6. A se muestra la dependencia del potencial expansivo en la cantidad de aluminato en el cemento. Se requiere una cantidad relativamente alta a fin de obtener, en un corto período de tiempo (de 4 a 5 días), el nivel de expansión deseado (aproximadamente del 0.05 al 0.10 por ciento). La expansión se termina al controlar la cantidad de sulfato de calcio en el sistema (ver figura 5.6 B) es muy importante que esta cantidad alta, ya que los períodos de curado húmedo generalmente son cortos y la reacción exige agua.

Además de los factores para controlar la velocidad y el nivel de la expansión, existen otros importantes. Uno de ellos, es la finura del cemento. Existen además, otros factores que están, por lo menos en cierto grado, bajo control del abastecedor del concreto. Estos incluyen el control del tiempo de mezclado, la temperatura, las dosificaciones de las mezclas, la edad del cemento, el tipo de agregado y otros. Es aconsejable ver la referencia No.17 para ampliar este tema.



A Tiempo de curado húmedo
Efecto de la cantidad dealuminato
sobre la velocidad de expansión (PCA)



B Tiempo de curado húmedo
Efecto de la cantidad de sulfato de calcio sobre el
nivel de expansión (PCA).

Figura 5.6

CAPITULO 6

GRIETAS DEBIDAS A LA ACCION QUIMICA

La acción química en el concreto reforzado contribuye también al agrietamiento tanto en concreto plástico como en aquel ya endurecido. Las reacciones químicas se llevan a cabo en el concreto y en el refuerzo.

- 6.1 LA ACCION QUIMICA EN EL CONCRETO Y
- 6.2 LA ACCION QUIMICA EN EL ACERO DE REFUERZO

6.1 ACCION QUIMICA EN EL CONCRETO (9)

Las reacciones entre los constituyentes del cemento y los agregados, pueden ocurrir únicamente en presencia del agua.

6.1.1 EXPANSION ALCALI-AGREGADO

Esta es producida debido a la reacción química entre ciertos constituyentes de algunos agregados y los álcalis del cemento Portland. El deterioro puede variar desde un ligero agrietamiento hasta un rompimiento completo de la masa de concreto. La expansión álcali-agregado se puede iniciar al instante después de haber colocado el concreto, o se puede retrasar varios años.

Los agregados que contengan los siguientes minerales se pueden considerar como especialmente susceptibles a la reacción álcali agregado: Piritas, ópalo, calcedonia, tridimita, cristobalita, heulandita, zeolitas, además de algunas dacitas, riolitas y andesitas criptocristalinas y filitas. Debe hacerse un examen petrográfico para determinar los minerales potencialmente reactivos así como análisis y ensayos químicos para determinar el

grado de reactividad del agregado para establecer la expansión producida en probetas de mortero arena-cemento.

La expansión álcali-agregado deteriora progresivamente el concreto, siendo más severa en presencia de la humedad. El fenómeno puede durar durante varios años y se puede considerar como un proceso contínuo hasta el agotamiento de la reacción.

Ocasionalmente, protegiendo al concreto del acceso al agua, se detiene la expansión. También se pueden agregar materiales puzolánicos que son ricos en sílice reactiva. Esta sílice reactiva, en presencia de agua, se combina con la cal liberada durante la hidratación formando el monosilicato de calcio. Los mecanismos por los cuales los materiales puzolánicos reducen los efectos de los álcalis-agregados, no se conocen con certeza. Es posible que las porciones muy finas de sílice en las puzolanas reaccionen más rápidamente con los álcalis del cemento neutralizando de esta forma a dichos álcalis antes de que los mismos reaccionen con los agregados. Sin embargo, la única solución verdadera al problema es usar agregados no reactivos y/o cementos de bajo contenido de álcalis (menos de 0.60/o).

6.1.2 SOLUCIONES DE SALES SOLUBLES PERJUDICIALES

La presencia de soluciones de sales alcalinas solubles como los sulfatos de sodio, magnesio y calcio pueden reaccionar con la cal libre o el aluminato de calcio hidratado del cemento produciendo sulfato de calcio y sulfoaluminato de calcio que forman compuestos de un volumen mayor que el del cemento original, ocasionando fuerzas de expansión.

Algunas de estas sales tales como las mencionadas; los carbonatos de sodio y potasio y las sales contenidas en el agua de mar, también son susceptibles de cristalizar en los poros ó vacíos de aire contenidos en el concreto, produciendo fuerzas

disruptivas que causan agrietamientos y roturas en la masa de concreto. Esta acción se acelera al estar expuesto el concreto a ciclos de mojado y secado con las soluciones salinas mencionadas.

Debido a la importancia de las acciones de los sulfatos sobre el cemento se describen a continuación los efectos de los sulfatos mas comunes:

SULFATO DE SODIO
 SULFATO DE MAGNESIO
 SULFATO DE CALCIO

SULFATO DE SODIO

Esta sal se encuentra en algunos lagos naturales y en aguas que han diluído terrenos alcalinos así como en algunos desechos industriales. El sulfato de sodio reacciona con el hidróxido de calcio del cemento Portland produciendo sulfoaluminato de calcio que es altamente expansivo al formarse entre la masa del cemento hidratado, produciendo tensiones internas que agrietan al concreto.

Para reducir estos efectos se ha recomendado reducir la proporción de aluminato tricálcico y la de hidróxido de calcio disponible en el cemento, disminuyendo de esta forma la magnitud de la reaccion.

SULFATO DE MAGNESIO

Al igual que el sulfato de sodio, se encuentra en lagos naturales, y en aguas que han diluído terrenos dolomíticos, pero su mayor acumulación está en las aguas marinas que además contienen un alto porcentaje de cloruro de sodio en solución.

El sulfato de magnesio también reacciona con el hidróxido de calcio del cemento Portland hidratado, formando

hidróxido de magnesio y yeso (sulfato de calcio); posteriormente el yeso reacciona con el aluminato tricálcico hidratado formando sulfoaluminato cálcico. El sulfato de magnesio va más allá en efectos dañinos y ataca también a los silicatos cálcicos. Se cree que la causa de esta reacción que no ocurre con el sulfato de sodio, se debe a que la solución saturada de sulfato de magnesio tiene un P^H de 10.5, inferior al P^H de equilibrio de los silicatos cálcico hidratado. En estas condiciones los silicatos cálcicos segregan cal para llegar a su P^H de equilibrio. Esta cal es la que se combina con el sulfato de magnesio formando el yeso (sulfato de calcio) y produciendo hidróxido de magnesio. Al separarse este último de la solución, el ciclo se repite una y otra vez.

El sulfoaluminato cálcico también es atacado nuevamente por el sulfato de magnesio descomponiéndose en yeso, alúmina hidratada e hidróxido de magnesio.

El ciclo de reacciones no termina aquí y el hidróxido de magnesio en la última fase de deterioro se combina con el GEL de sílice del cemento formando silicatos de magnesio que no tienen poder cementante.

La presencia del cloruro en el agua de mar aumenta considerablemente la solubilidad del yeso y del sulfoaluminato de calcio y al diluirse estos últimos por la acción del oleaje, se pueden reducir las expansiones en el concreto, pero se produce siempre alguna pérdida de resistencia.

SULFATO DE CALCIO (YESO)

Este sulfato se encuentra en aguas y terrenos selenitosos naturales, en colectores de aguas negras como producto secundario de la combinación del hidróxido de calcio del cemento y el ácido sulfúrico que llega a formarse de la oxidación del anhídrido sulfuroso. También aparece como compuesto secundario después del ataque del sulfato de magnesio a los

silicatos cálcicos o del sulfato de sodio al hidróxido de calcio.

Este sulfato ataca directamente al aluminato tricálcico sin necesidad de combinarse previamente con el hidróxido de calcio (ó cal hidratada) del cemento.

Esta característica limita las ventajas del uso de cementos puzolánicos al ataque de este sulfato, ya que la reacción se presenta aún en ausencia de hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) quedando como única propiedad favorable de estos cementos la mayor impermeabilidad que puede lograrse. En la práctica, debido a que la solubilidad del sulfato de calcio en aguas comunes es muy baja, los ataques observados son muy ligeros, acentuándose solamente donde ocurren ciclos frecuentes de mojado y secado.

En los colectores de aguas negras no son los sulfatos los principales causantes del deterioro del concreto, ya que los mismos actúan después de un severo ataque del ácido sulfúrico, los daños se localizan siempre en las bóvedas o partes donde no corre el agua y se identifican por desprendimientos del agregado. No existe ningún cemento Portland resistente al ácido sulfúrico, pero el uso de agregados calizos que neutralicen el ácido, extienden el período de duración del concreto. Existen tratamientos a base de resinas sintéticas que son muy efectivos para proteger el concreto, aunque su costo es aún muy alto.

En síntesis, se pueden hacer las siguientes consideraciones acerca de los sulfatos:

- a) El cemento Portland común se destruye rápidamente por la acción de los sulfatos. Los cementos Portland resistentes a los sulfatos, a la larga tienden también a deteriorarse por los ataques de los sulfatos; sin embargo el tiempo puede alargarse y el grado de deterioro disminuirse de manera que las estructuras sean económicamente costeables.

- b) Donde se espera un ataque moderado a severo se debe usar concreto con no menos de 400 kg. de cemento resistente a los sulfatos por metro cubico de concreto.
- c) Los compuestos del cemento que más rápidamente se atacan por los sulfatos son el aluminato tricálcico hidratado y el hidróxido de calcio. En el cemento ASTM tipo V (resisten a los sulfatos) se reduce el contenido de aluminato tricálcico a menos de 5 por ciento. En los cementos puzolánicos, el hidróxido de calcio se reduce por la combinación de la puzolana con la cal para formar silicatos cálcicos, pero es necesario que esta reacción tenga lugar antes que sobrevenga el ataque de los sulfatos.
- d) El concreto curado a vapor a 175°C y 8 Kg/cm² de presión, y en el cual haya sido incluido cuarzo molido, adquiere una gran resistencia a los sulfatos, considerada superior a la de los cementos de alto contenido de sílice y los cementos puzolánicos.
- e) Es conveniente conocer que tipo de sulfatos va a estar en contacto con el concreto. En forma general puede señalarse que para el caso de sulfato de sodio puede indistintamente usarse cemento tipo V o cemento puzolánico. Para el ataque de sulfato de calcio debe preferirse el cemento tipo V. Para defenderse del sulfato de magnesio lo mejor es usar cemento tipo V con adiciones de 30 a 40 por ciento de puzolana rica en sílice.
- f) Las pruebas aceleradas existentes para determinar la susceptibilidad de un cemento al ataque de los sulfatos, tienden a exagerar los beneficios de la composición química y despreciar los factores físicos.

6.1.3 REACCION CON EL ALUMINIO (1)

Otro de los factores que produce expansiones en el concreto, es la reacción del cemento con el Aluminio. El Aluminio metálico reacciona con la cal hidratada en el cemento. De esta reacción se desprende hidrógeno. El aluminio puede ser atacado por la presencia de una solución alcalina en el concreto Húmedo o mojado. La reacción puede ser aún más fuerte, si el concreto contiene cloruro de calcio, y si el aluminio está en polvo.

Pequeños porcentajes de aluminio causan la expansión del concreto, reduciendo la resistencia del mismo y dando lugar a agrietamientos.

Por otra parte, el poder expansivo del aluminio es útil en los morteros para relleno de fugas de agua donde ha sido utilizado en una proporción de 0.005 por ciento del peso del cemento y también se utiliza para la fabricación de concretos celulares ó alveolares, en forma de polvo fino.

Es necesario señalar que los cementos puzolánicos son menos susceptibles a la reacción con el aluminio, que el cemento Portland. El Código del ACI 318-71, hace una restricción en lo que respecta al uso de tuberías de aluminio embebidas en el concreto: "Sección 6.3: los tubos, las camisas o conductos de aluminio, no deberán ahogarse en concreto estructural, a menos que se recubran efectivamente, o pinten para prevenir la reacción concreto-aluminio. O la acción electrolítica entre el aluminio y el acero". Esta recomendación del código, es válida ya que la reacción del aluminio con el concreto, y, en presencia de iones de cloruro, puede reaccionar electrolíticamente con el acero, provocando la oxidación de este último y el consiguiente agrietamiento y desconchamiento del concreto. Los conductos eléctricos de aluminio presentan un problema especial, pues la corriente eléctrica acelera la corrosión electrolítica.

6.2 ACCION QUIMICA EN EL REFUERZO (10)

El hecho de que el acero de refuerzo se oxide, provoca expansiones en el medio en el cual está embebido. Esta expansión origina desconchamientos y agrietamientos en el concreto reforzado. Sin embargo, hay personas que consideran que es preferible utilizar aceros ya oxidados con el fin de obtener una mejor adherencia. Este fenómeno se debe a que el hidróxido de cal combinado con el óxido de hierro da un ferrito de calcio que es favorable a la adherencia.

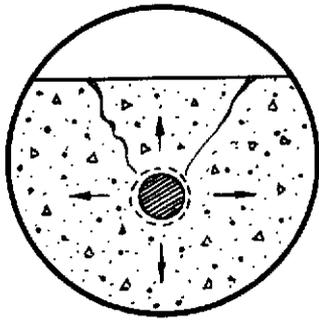
Sin embargo, en ciertos casos, las armaduras continúan oxidándose provocando la consecuente disgregación y agrietamiento del elemento de concreto. Las causas de esta oxidación que necesita la presencia del aire y del agua pueden relacionarse a los siguientes fenómenos:

- De orden eléctrico-químico
- De orden químico
- De orden mecánico

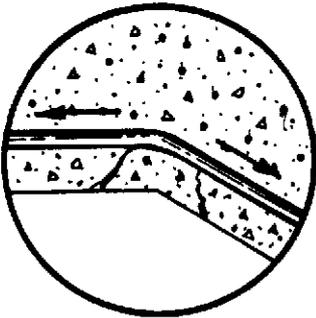
Los principales factores que intervienen son los siguientes:

Orden electo-químico

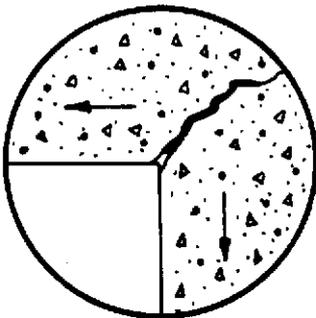
El refuerzo de acero es heterogéneo y contiene impurezas. Se producen en ciertos puntos de su superficie efectos de pila que provocan la formación de Fe(OH) . La presencia de corrientes relativamente importantes ha podido ser descubierta en ciertas obras de concreto reforzado. Pueden anularse parcialmente mediante una protección catódica de la obra (por ejemplo conectándola al borne negativo de una fuente de corriente continua).



A Grietas debidas a la expansion de una varilla de refuerzo oxidada



B Aquí las grietas son causadas por los esfuerzos a que una varilla - está sometida



C Concentracion de esfuerzos de tensión en una esquina interior

Figura 6.1

Orden químico

El cemento protege eficazmente al hierro. el p^H de los Portland es alto y del orden de 12.5; el de las lechadas es superior a 11. Los cementos que contienen escorias han sido frecuentemente señalados como la causa, en principio por su contenido de cal menos elevado que los Portland, y en segundo lugar porque contienen azufre bajo la forma de sulfuros (el contenido de CaS y MnS es siempre mínimo).

Si bien estos son desfavorables, parece ser dudoso el que puedan ser nocivos para el acero de refuerzo. Por otro lado, se debe tomar en cuenta que el cloruro de calcio favorece la oxidación del acero.

Orden mecánico

Los agregados no deben contener impurezas capaces de oxidar localmente el acero de refuerzo (por ejemplo escorias porosas que contengan cantidades no despreciables de sulfuros de hierro o Calcio y Sulfatos).

El colocado y la granulometría del concreto deben ser tales que permitan una buena compactación por medio del vibrado u otros medios. De una forma general, se debe vigilar que el aire en contacto con las armaduras sea eliminado durante la colocación del concreto. El recubrimiento de concreto debe estar en función del grado de exposición del elemento fundido. Por ejemplo, una obra expuesta a un medio agresivo (como el aire salino), necesita un mayor recubrimiento que uno expuesto a un medio normal.

Aunque la corrosión depende más de factores tales como el vibrado del concreto y la magnitud de los recubrimientos del refuerzo, se han hecho estudios relacionados con la influencia que pueda tener el ancho de la grieta con la corrosión.

Algunos investigadores y reglamentos de Construcción, establecen límites en los anchos de las grietas que son del orden de 0.1 a 0.2 mm para ambientes agresivos, y de 0.2 a 0.3 mm para ambientes normales.

El ancho de grietas no puede reducirse disminuyendo los recubrimientos, ya que éstos suelen fijarse en los Reglamentos de Construcción según las condiciones ambientales para tener una protección adecuada. Debe observarse que en la resistencia a la corrosión influyen no solo las grietas de flexión, sino también las grietas longitudinales que se presentan cuando los recubrimientos son insuficientes.

CAPITULO 7

GRIETAS POR TEMPERATURA

7.1 TEMPERATURA INTERNA

7.2 TEMPERATURA EXTERNA

Tanto la temperatura interna del concreto como la externa son factores que determinan muchas veces el apareamiento de grietas. Bastante se ha hecho para disminuirlas, mediante el conocimiento previo de las causas. Las grietas producidas por la temperatura interna pueden ser causadas por ejemplo, por contracciones o expansiones diferenciales debidas a la temperatura de hidratación del cemento o por la dilatación ó contracción de los agregados utilizados en la mezcla, de tal manera que para la disminución de las mismas, es recomendable el uso de los cementos de bajo calor de hidratación, así como el control de temperatura de hidratación, mediante aditivos y el uso de agregados de expansión térmica normal.

Por otro lado, las grietas debidas a la temperatura externa se manifiestan ya sea por los cambios climáticos que son más apreciables en losas o muros carentes de juntas de expansión adecuadas.

7.1 TEMPERATURA INTERNA (12)

El calor de hidratación de un concreto depende de la clase de cemento que se use y de la proporción que se utilice. Además, es preciso tener en cuenta que los efectos de la temperatura interna como la externa pueden darse simultáneamente de tal forma que en muchas estructuras la práctica usual es tomar la temperatura media del aire durante e inmediatamente después del colado del concreto, y la mínima promedio que pueda ser esperada durante la vida de la estructura.

El aumento de la temperatura debido a la hidratación es usualmente pequeño en estructuras corrientes, particularmente en elementos delgados no importando el tipo y la cantidad de cemento usado en la mezcla ya que el calor de hidratación del cemento se disipa rápidamente.

Las especificaciones usualmente limitan la máxima o mínima temperatura a que el concreto pueda ser colocado. El ACI recomienda una temperatura máxima de colocación de 34°C aunque sugiere que una temperatura de 23°C es lo deseable. La temperatura de colocación del concreto durante tiempo cálido puede exceder a la temperatura del aire del medio ambiente de 3 a 6°C a menos que se tomen medidas para enfriar el agregado el agua, o el concreto. La máxima temperatura del colado en verano debe ser la temperatura media más alta de un lugar determinado pero no más de 34°C.

Las temperaturas mínimas permisibles para las primeras 72 horas después de haber colocado el concreto se encuentran en tablas publicadas por el ACI. Aunque estas tablas no se presentan en este trabajo se puede decir, que éstos mínimos establecen la temperatura más baja de colado que puede ser aceptada.

La temperatura final mínima que puede ser esperada en el concreto varía mucho dependiendo de las condiciones y del tiempo de exposición. La temperatura mínima del concreto puede ser tomada de acuerdo a la temperatura mínima de exposición ocurrido durante el período de una semana aproximadamente. La temperatura de una masa de tierra en contacto con muros o losas de concreto aporta cierto calor que afecta la temperatura media de los elementos del concreto dependiendo de la relación de volumen a superficie expuesta.

DISIPACION DE CALOR Y ENFRIAMIENTO

Generalmente las fórmulas para determinar la formación y disipación de calor de una masa de concreto, son aplicables únicamente a estructuras masivas de concreto no reforzado. Los elementos estructurales corrientes, por lo regular no requieren del mismo grado de exactitud en la determinación de la temperatura máxima a que pueden llegar como los elementos masivos antes mencionados. La temperatura máxima en el concreto no reforzado se investiga con propósito de prevenir agrietamientos.

En el concreto reforzado se asume de antemano que puede ocurrir el agrietamiento y las consecuencias de sobre estimar o no el aumento de temperatura neta, son usualmente de menor importancia en comparación con el efecto del cambio de volumen total, del elemento considerado. Una aproximación suficiente para estimar el aumento de temperatura neta de elementos de concreto en un ambiente de temperatura constante igual a la temperatura de colado, puede ser obtenido por medio de la figura 7.1.

Esta figura proporciona el aumento de temperatura máxima para concretos que contengan 376 libras de cemento Portland tipo I por yarda cúbica (Kg/M_3) de concreto, entérminos de la relación volumen superficie de los miembros. La relación volumen superficie representa el paso de longitud media a través del cual el calor es disipado en el concreto. Esta longitud media será menor que la mínima distancia entre las caras. Para determinar la relación volumen superficie se considera únicamente el área expuesta al aire o a las formaletas.

La figura 7.2 muestra la diferencia de temperatura de colado. Se ha considerado igual a la temperatura del medio ambiente. Sin embargo éste generalmente no es el caso debido a las medidas de enfriamiento que se toman al calor el concreto durante épocas calurosas y también por el calentamiento

requerido durante el tiempo frío. Cuando la temperatura del colado del concreto es más baja que la temperatura promedio del medio ambiente, el calor es absorbido por el concreto de tal manera que solamente una proporción de la diferencia de la temperatura original es efectiva para reducir la temperatura máxima del concreto. Cuando la temperatura del colado es mayor, se obtiene un efecto contrario.

Para concluir se puede resumir, diciendo que el cambio máximo de temperatura efectiva del concreto está constituido por la suma de tres temperaturas básicas:

- 1) La diferencia entre la temperatura efectiva del colado y la temperatura final a que puede llegar el concreto.
- 2) El aumento de temperatura debido a la hidratación
- 3) El cambio de temperatura equivalente al efecto de la contracción por fraguado o secado.

7.2 TEMPERATURA EXTERNA (11, 15)

Las variaciones diarias y anuales de la temperatura ambiente especialmente aquellas causadas por el calor del sol, produce una gran variedad de gradientes de temperaturas en el concreto endurecido que producen esfuerzos en una estructura. Al diseñar estructuras que están sujetas a estas condiciones, los códigos de diseño generalmente incluyen recomendaciones para prevenir estos esfuerzos resultantes, o para absorberlos consecuentemente reducir las grietas o aún más las fallas estructurales que éstas puedan producir.

7.2.1 ESFUERZOS CAUSADOS POR RESTRICCIONES INTERNAS

La restricción interna a la deformación de los elementos se desarrolla bajo ciertas condiciones cuando ocurren cambios de

temperatura del medio ambiente y se produce un gradiente de temperatura a través de la sección del elemento estructural. Además de ser una función del tiempo, la distribución de la temperatura a través de la sección depende del espesor del miembro y de las propiedades térmicas del material (coeficiente de conductancia térmica superficial y coeficiente de conductividad térmica del concreto). En un elemento homogéneo y monolítico las diferentes capas no se pueden deformar independientemente una de otra, lo que origina un estado de esfuerzos debido a la restricción térmica a deformarse. Estos esfuerzos son independientes de que la estructura sea o no estáticamente determinada.

7.2.2 RESTRICCION EXTERNA DE LA DEFORMACION

Cuando existen restricciones externas a la deformación se producen esfuerzos adicionales debidos a los gradientes de temperatura y que al mismo tiempo son superimpuestos a los esfuerzos causados por restricciones internas.

La integración de esfuerzos de restricciones externas se presentan a través de toda la sección, y la estructura es sometida a esfuerzos resultantes, de los efectos térmicos y los mecanismos.

La magnitud y distribución de estos esfuerzos resultantes dependen del grado y la naturaleza de la variación de temperatura, del tipo de estructura, y del grado y distribución de las rigideces de los diferentes elementos de la estructura.

7.2.3 COMO CONTROLAR LAS GRIETAS EN PISOS Y LOSAS DE CONCRETO (14)

El control de grietas en pisos de concreto es posible, dependiendo el éxito de este control del conocimiento de las causas que las producen y de las medidas de prevención, que se tomen. Generalmente estas medidas consisten en localizar los

posibles lugares de agrietamiento, y controlar los mismos mediante el uso inteligente de juntas de construcción o de dilatación. Estas por supuesto, se pueden abrir o cerrar libremente. En el caso de losas estructurales, las grietas se controlan especialmente usando suficiente acero de refuerzo para distribuir las uniformemente de tal manera que si éstas son muchas y pequeñas su apariencia será aceptable, y no afectaran el comportamiento estructural de la losa.

COMO PREDECIR EL AGRIETAMIENTO DE LAS LOSAS DE PISO

Es común que las grietas en los pisos debido a los cambios térmicos puedan ocurrir a cada 4.5 a 6 metros de distancia. Además, las grietas tienden a ocurrir donde hay concentración de esfuerzos: intersección con columnas, muros, pisos, etc. (ver figura 7.2). Se crea un plano débil en el punto donde se produce la intersección. Una vez fraguado el concreto, se continúa el colado de tal manera que las grietas inevitablemente se producirán en estos planos débiles, a menos que se utilicen juntas de construcción.

Si se observa la figura 7.3 y la figura 7.4, se notará que en la primera se muestran grietas causadas por efectos de un mal diseño y también por un mal procedimiento de construcción. Analizando cada uno de los puntos señalados en la figura 7.3, se puede decir lo siguiente:

- Punto 1 Ausencia de juntas de control, dando como consecuencia agrietamientos por contracción en muchos puntos.
- Punto 2 La concentración de esfuerzos en aristas entrantes, producen grietas diagonales.
- Punto 3 Agrietamientos debido a que las columnas no están aisladas del piso.

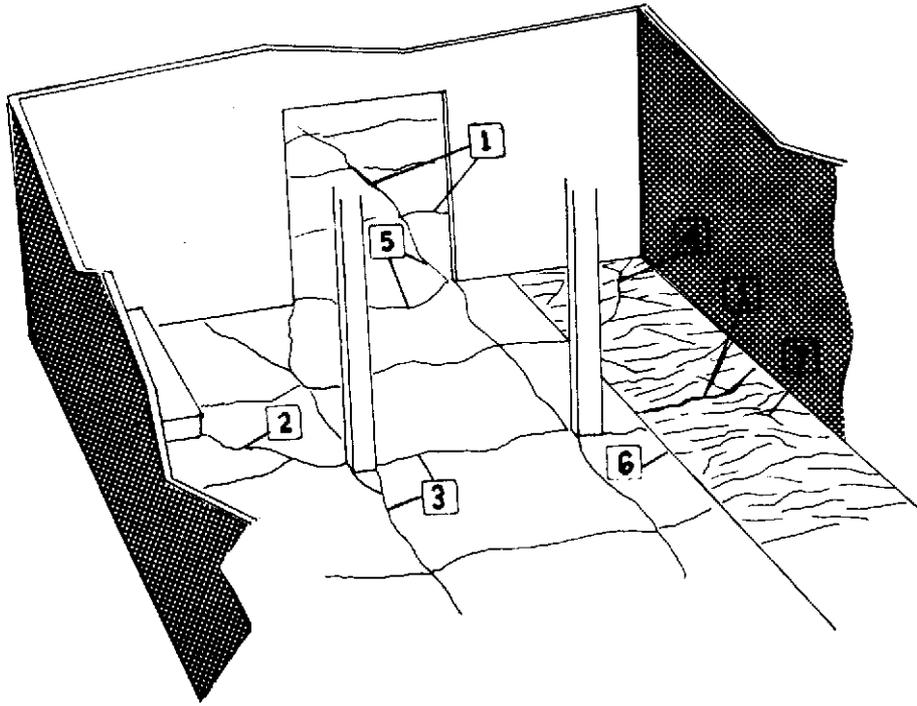


Figura 7.3

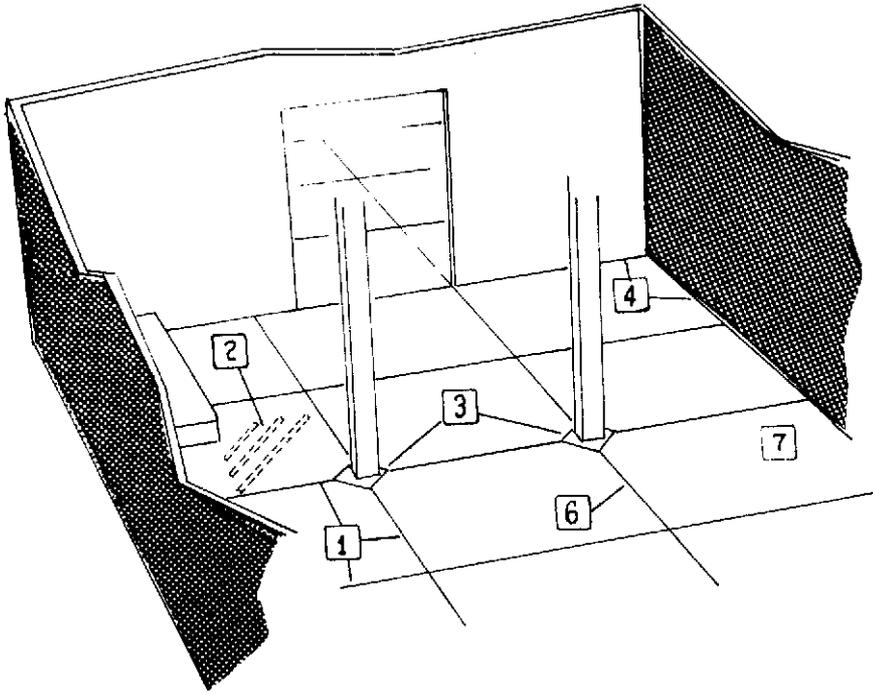


Figura 7.4

- Punto 4 La restricción producida por el muro en la orilla del piso origina grietas.
- Punto 5 Grietas desarrolladas alrededor de la puerta.
- Punto 6 La consecuencia de colocar el concreto en un día caluroso, seco o con mucho viento sin que exista la pared, es el origen de las grietas mostradas.

La figura 7.4 muestra los puntos de la figura anterior pero ya con las medidas de prevención tomadas precisamente para provenir el agrietamiento.

- Punto 1 Juntas de control, colocadas por medio de cisas a cada 4.5 metros y que intersectan a las juntas aislantes entre columnas y piso.
- Punto 2 Una adecuada colocación de acero de refuerzo en la arista entrante, permite preveer las posibles grietas.
- Punto 3 La junta aislante elimina la restricción al eregir columnas con muros en contacto con la orilla del piso.
- Punto 4 La junta aislante elimina la restricción impuesto por la columna.
- Punto 5 Las juntas de construcción en la puerta, separa las planchas de concreto y por ende, evita las grietas en este punto.
- Punto 6 La localización correcta de las juntas de construcción coincidentes con la posición de las juntas de control donde normalmente son requeridas.

- Punto 7 La precaución que se tome para evitar la pérdida rápida de humedad durante el colado de los acabados, reduce la posibilidad de un agrietamiento por contracción plástica.

COMO TRABAJAN LAS JUNTAS EN UNA LOSA DE PISO

Puesto que el agrietamiento no puede ser prevenido totalmente, el diseñador debe determinar aproximadamente donde pueden ocurrir las grietas y proveer las juntas en esos puntos. Al colocar un numero adecuado, de estas, el diseñador satisface la exigencia del concreto y al mismo tiempo evita la formación de grietas en puntos no deseables.

Una junta debe satisfacer dos condiciones:

- A) Permitir la disminución de los esfuerzos que se generan en el concreto.
- B) Permitir al concreto moverse libremente sin que se afecte el comportamiento requerido del mismo.

Si se satisfacen estas dos condiciones, la junta debe ser construída de tal manera que no se llene de polvo u otras materias extrañas que impidan su funcionamiento. Las planchas separadas por juntas deben mantener su mismo nivel aún cuando se les apliquen cargas diferentes de un lado para otro. Además, estas juntas no deben permitir el paso de líquidos de la superficie a la sub-rasante.

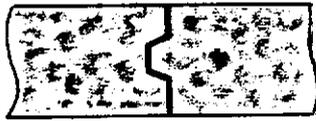
CLASES DE JUNTAS

En la figura 7 5 se presentan las juntas que generalmente se usan. Estas son cuatro.

EXISTEN CUATRO CLASES DE JUNTAS USADAS EN PISOS

JUNTAS DE CONSTRUCCION

Cortese la molla arriba de la junta de deslizamiento para permitir un movimiento libre sin agrietamiento.



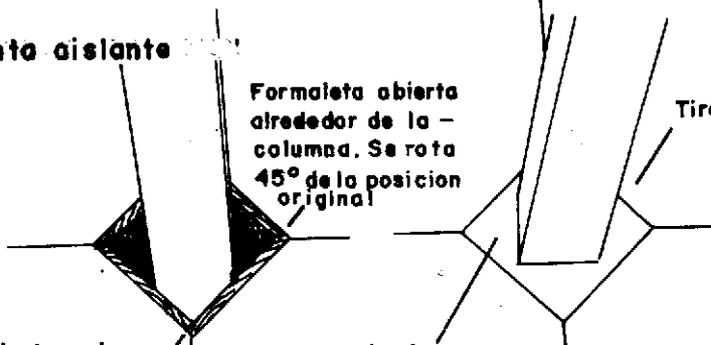
Esta junta permite el deslizamiento de los elementos

JUNTA DESLIZANTE

Junta aislante

Formaleta abierta alrededor de la columna. Se rota 45° de la posición original

Tiro separadora



Las juntas coinciden con el apice de la abertura.

Junta ya terminado

Junta triangular de $\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{5}$ del espesor de la losa

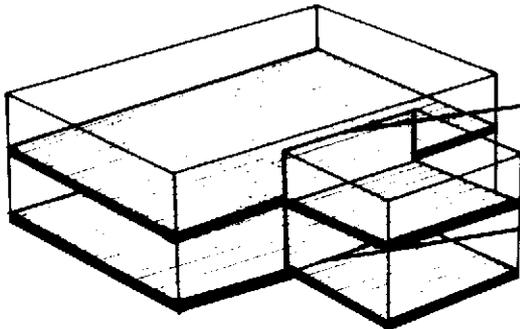
Cortese cerca de $\frac{1}{8}$ " de ancho por $\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{5}$ del espesor

JUNTAS DE CONTROL



JUNTAS DE EXPANSION

Grietas debajo de las juntas



las dos partes de la estructura estan completamente separadas por las juntas de expansion

Las juntas de expansion se colocan a traves de toda la losa

Figura 7.5

- 1) JUNTAS DE CONSTRUCCION
- 2) JUNTAS AISLANTES
- 3) JUNTAS DE CONTROL
- 4) JUNTAS DE EXPANSION

1) JUNTAS DE CONSTRUCCION

Estas se utilizan donde las operaciones de colado se interrumpen debido a que ésta interrupción crea un plano débil. La función de estas juntas es similar al de las juntas de control.

2) JUNTAS AISLANTES

Estas juntas son profundas y se introducen en losas de piso que se interrumpen en muros, columnas y en otras obstrucciones. Se introducen elementos que prevengan la unión entre la losa y la pared u obstrucción. Esto deja al piso completamente libre de elementos adyacentes que lo rodean (ver dibujo), y permite que se mueva horizontal y verticalmente sin ninguna restricción. Las juntas aislantes alrededor de columnas deben intersectarse con las juntas de control.

3) JUNTAS DE CONTROL

Se usan en losas de piso principalmente para predeterminar la localización de grietas causadas por cambios térmicos o por contracción de secado. Estas se pueden hacer por medio de una cisa de aproximadamente 3 mm (1/8 de pulgada) de ancho por 1/5 del espesor de la losa de profundidad.

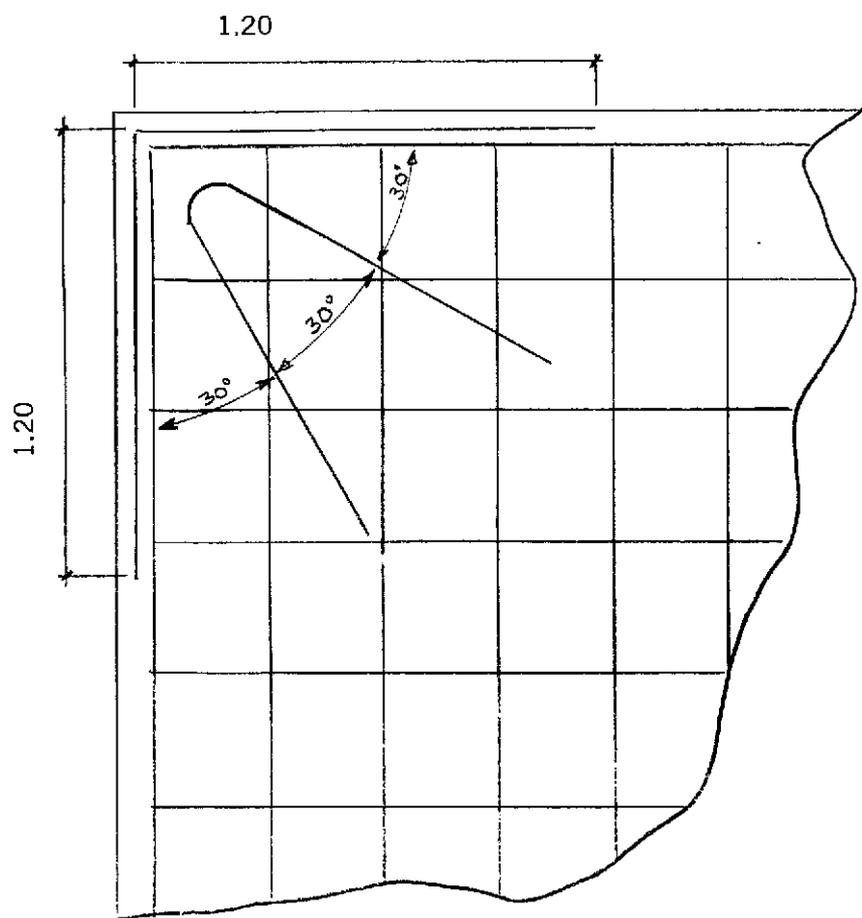
El plano débil resultante debido a la junta formará una grieta que se desarrollará precisamente debajo de ella haciéndola invisible. Obviamente, una junta de control de poca profundidad no servirá.

Si la junta de control debe ser sellada, la misma debe tener un ancho que de una relación ancho-profundidad

satisfactoria para el tipo de sellador a utilizar. Este puede ser asfalto, alquitrán, o a base de resinas sintéticas adecuadas. En las losas de piso de área pequeña se dejan usualmente abiertas.

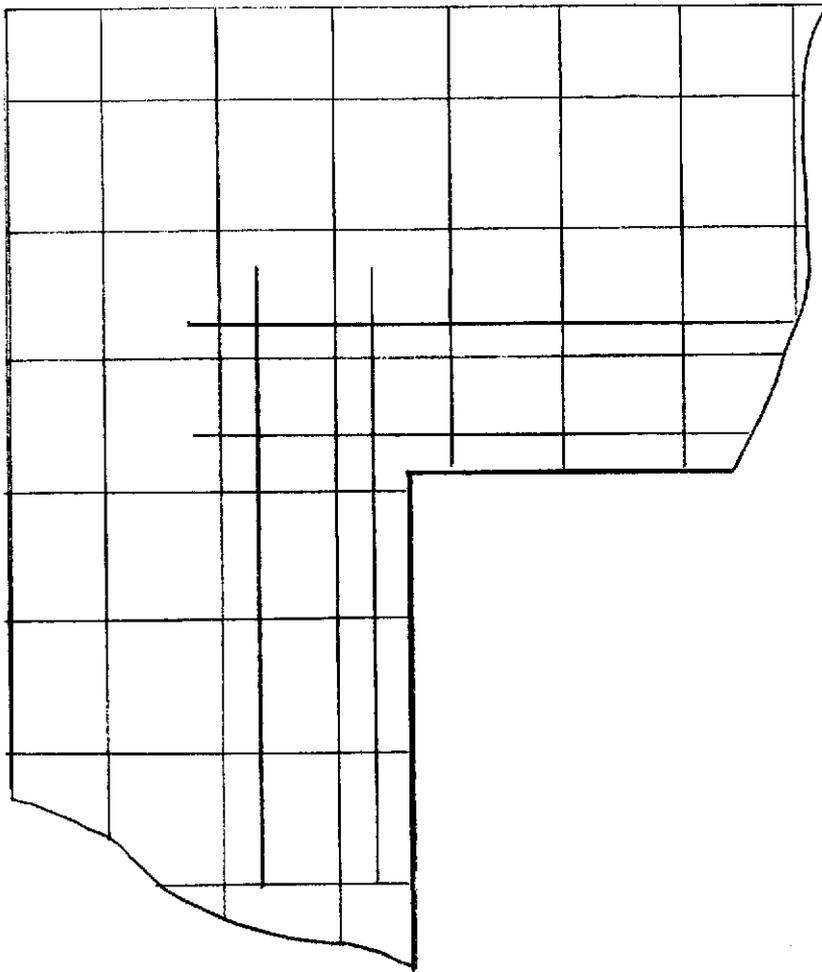
4) JUNTAS DE EXPANSION

Estas juntas se utilizan generalmente en pisos estructurales en los casos en que la estructura sea de diferentes dimensiones.



DETALLE DE LOSA REFORZADA ARISTA SALIENTE

Figura 7.6



Detalle de losa Reforzada Arista Entrante

Figura 7.7

CAPITULO 8

AGRIETAMIENTO DEBIDO A FALLAS ESTRUCTURALES (18,20)

El agrietamiento en una estructura de concreto reforzado es muchas veces un aviso de que la estructura está fallando o está por fallar. Generalmente el agrietamiento es un síntoma, y por tal razón es que es susceptible de ser reparado.

En la mayoría de los casos, las fallas se deben principalmente a:

- 8.1 Un diseño inadecuado de la estructura
- 8.2 Errores en la elaboración de los planos
- 8.3 Aplicación de sobrecargas en la estructura
- 8.4 Una mala supervisión de la obra
- 8.5 Incendios y
- 8.6 Sismos

8.1 DISEÑO ESTRUCTURAL (3)

Para llegar a obtener un diseño adecuado, el proyectista debe considerar algunos detalles importantes que intervendrán en la elaboración del proyecto que se propone realizar:

- Selección de una estructura adecuada
- Considerar la vida útil de la estructura
- Estética del conjunto estructural
- El análisis estructural
- El dimensionamiento de la estructura
- El grado de precisión requerido
- La mano de obra disponible
- La disposición del equipo a usar
- El procedimiento de construcción a seguir y,
- El costo total de la obra

Una vez conocidos estos detalles, el proyectista debe poner en práctica su experiencia, intuición y capacidad creativa e innovadora para amalgamar todos estos factores y poder de esta manera obtener un proyecto racionalizado que llene las necesidades que de él se espera, con un buen margen de seguridad y funcionalidad.

Como puede observarse, en el diseño estructural interviene una serie de factores que en un momento dado, pueden contribuir a la falla estructural si no se les da la importancia que se merecen.

Además existen algunos requisitos que deben considerarse tales como:

- Porcentajes máximos y mínimos de acero de refuerzo
- Detalles de armado de los diferentes elementos
- Cuidar la adherencia y anclajes
- Observar las deflexiones permisibles
- Anchos y separación de grietas permisibles
- Recubrimientos convenientes
- Refuerzo por temperatura
- Traslapes y empalmes, Etc.

8.2 ERRORES EN LA ELABORACION DE PLANOS

Es bastante común y corriente que al elaborar los planos de un proyecto determinado, se cometan errores como los siguientes:

- a) Poner cotas diferentes a las reales
- b) Cambiar los diámetros de las barras de acero de refuerzo por otras mayores o menores
- c) Omitir elementos de carga, ya sean columnas, vigas, muros, etc.
- d) Cambio de detalles de armado

0

TIPOS DE FALLA EN ELEMENTOS DONDE PREDOMINA LA FUERZA CORTANTE

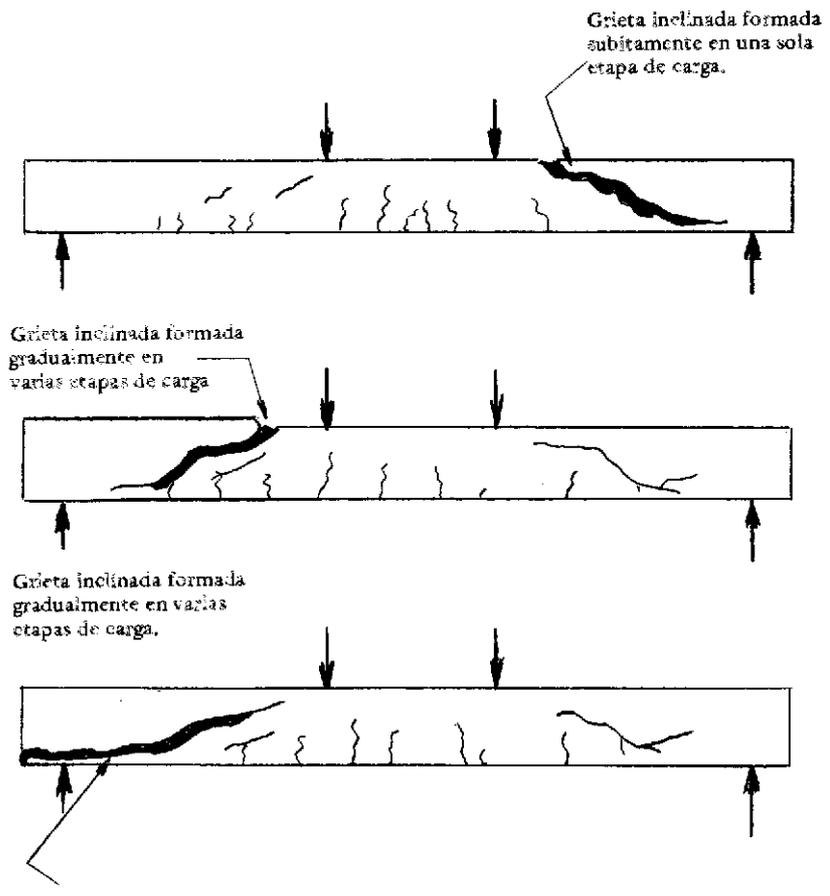
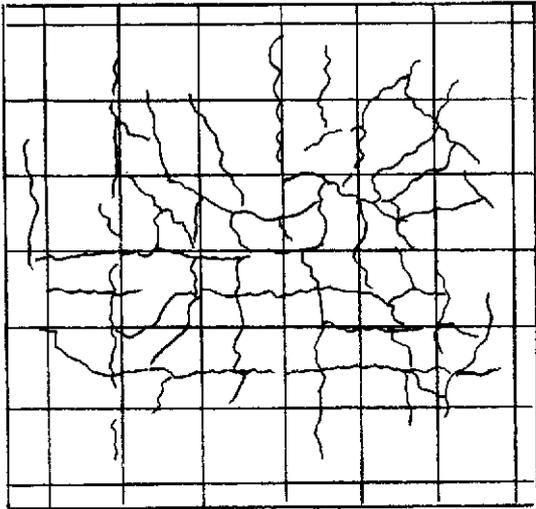
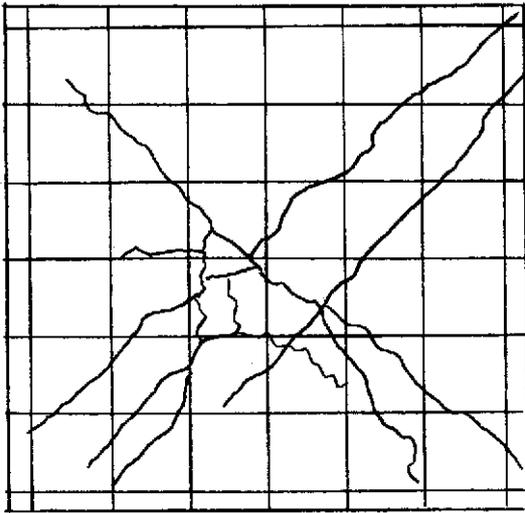


Figura 8.1

0



a) Configuración Ortogonal



b) Configuración Diagonal
Falla Estructural en Losas

Figura 8.2

En esta etapa es donde se impone la necesidad de un profesional con experiencia, conocimientos y mucha visión para corregir estos errores en la construcción. De lo contrario, se notará el error cuando la estructura esté en servicio.

8.3 SOBRECARGAS IMPREVISTAS EN LA ESTRUCTURA

Es menos corrientes en nuestro medio. Sin embargo, se ha dado el caso de que una estructura falle cuando se le acumula ceniza volcánica, o cuando se ha calculado una estructura sin acceso de cargas vivas, y sin embargo si se aplican estas cargas.

8.4 SUPERVISION

El reglamento de construcción del ACI-318-71 en su Sección 1.3, dice: "Las construcciones de concreto deben supervisarse durante todas las etapas de la obra por un ingeniero, o arquitecto competente, o por un representante competente, responsable ante él. El supervisor debe exigir el cumplimiento de los planos y especificaciones de diseño, y mantendrá un registro que comprenda: la calidad y dosificación de los materiales para el concreto; el mezclado, la colocación y el curado del concreto; la colocación y el curado del concreto; la colocación del refuerzo; el tensado del refuerzo preesforzado, el formaleteo y el desencofrado; el apuntalamiento; la secuencia de montaje y conexiones de elementos prefabricados; cualquier carga de construcción significativa aplicada sobre pisos, miembros y muros terminados; el avance general de la obra".

Como puede observarse, es necesario realizar una buena supervisión ya que el comportamiento adecuado de la estructura depende de la construcción que reproduce exactamente el diseño y cumple con los requisitos del Reglamento utilizado, dentro de las tolerancias permisibles.

8.5 INCENDIOS

Los daños producidos por el fuego a una estructura de concreto reforzado, se pueden identificar fácilmente. La superficie comúnmente se carboniza y se desprende. La resistencia del concreto al fuego, está determinada por tres factores:

- 1) La cantidad de agua químicamente combinada que se pierde
- 2) Los cambios químicos que destruyen la adherencia entre la pasta de cemento y el agregado
- 3) El deterioro gradual de la pasta de cemento endurecida.

Los agregados se expanden químicamente cuando se calientan. La pasta de cemento endurecida se expande únicamente hasta un cierto punto y después comienza a contraerse. La expansión de los agregados combinados con las contracciones de la matriz da como resultado un concreto débil que se agrietará. El grado de humedad dentro del concreto en el momento de su exposición al fuego determina la cantidad de vapor que se genera dentro de la masa de concreto y, por consiguiente, la cantidad que se desprende. El fuego severo también puede afectar la resistencia y la adherencia del refuerzo del concreto. El refuerzo por consiguiente, debe ser investigado con cuidado antes de iniciar cualquier trabajo de reparación.

8.6 SISMOS

Las fallas estructurales debidas a los efectos sísmicos, pueden ser controlados en un gran porcentaje si se toman criterios de diseño previendo las fuerzas laterales provenientes de sismos.

Es importante que las estructuras de concreto reforzado construidas en zonas sísmicas sean de comportamiento dúctil.

Mientras mayor ductilidad tengan, mayor será su capacidad de absorción de energía, ya que esta capacidad es igual al área comprendida bajo el diagrama carga-deformación.

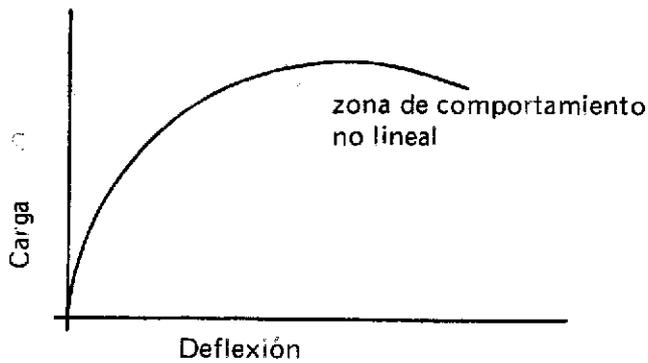


Figura 8.3

Bajo la acción de sismos moderados y fuertes, las estructuras trabajan generalmente en la zona de comportamiento no lineal.

Los detalles de refuerzo tienen gran influencia sobre el tipo de comportamiento, dúctil o frágil, como los que se originan por fuerza cortante, falta de anclajes adecuados o empalmes incorrectos, son especialmente peligrosas. La ductilidad se logra, por una parte, evitando este tipo de fallas y, por otra confinando adecuadamente el concreto para aumentar su capacidad de deformación.

8.1.1 DETALLES CONSTRUCTIVOS

Debe tenerse especial cuidado con los detalles de construcción, especialmente en zonas de cambios bruscos de

sección, aberturas, esquinas, intersecciones de elementos estructurales, juntas, etc., para evitar o minimizar la aparición de grietas como consecuencia de esfuerzos no tomados en cuenta o bien concentraciones de esfuerzos no consideradas en el diseño, como ejemplos se indican los siguientes:

— Los cambios de sección en los elementos estructurales, pueden contribuir a que la estructura falle cuando es sometida a fuerzas laterales, si no están convenientemente armadas. En estos casos, las barras de refuerzo deben doblarse en forma gradual, para evitar componentes desfavorables de esfuerzos. En estas zonas de cambio de sección deben colocarse estribos en cantidad suficiente para resistir la componente horizontal de la fuerza que actúa las barras longitudinales de la columna.

REFUERZO EN LAS ESQUINAS

En las esquinas exteriores de losas apoyadas sobre muros o sobre vigas rígidas, es necesario colocar refuerzo adicional tanto en el lecho superior como en el inferior, para absorber los momentos diagonales que se originan y que no son absorbidos por el refuerzo tradicional.

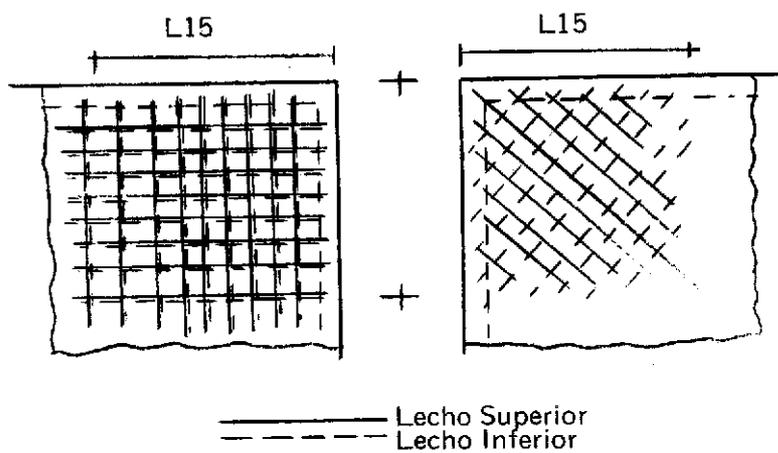


Figura 8.4

El porcentaje de este refuerzo se calcula a partir del momento positivo máximo que actúa en la losa, y las varillas deben prolongarse a una distancia igual a $1/5$ del claro a partir de la esquina. La dirección del momento en la parte superior de la losa es paralela a la diagonal que sale de la esquina, y en la parte inferior es perpendicular a dicha diagonal.

ABERTURAS EN MUROS

Con mucha frecuencia, se presenta la necesidad de abrir boquetes en muros ya sea para ventanas, puertas o tragaluces, por lo que es recomendable colocar por lo menos dos varillas de $5/8''$ de diámetro alrededor de la abertura y prolongar las varillas más allá de las esquinas de la abertura para anclarlas adecuadamente. A veces se agregan varillas diagonales. Si se toma en cuenta este detalle constructivo, se evitarán las concentraciones de esfuerzos en las esquinas.

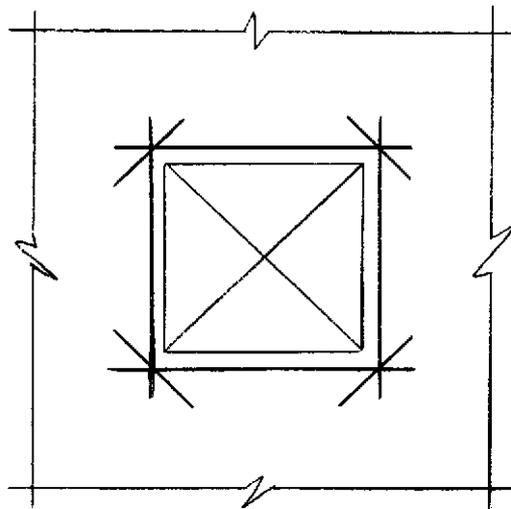


Fig. 8.5

CAPITULO 9

TECNICAS DE REPARACION DE GRIETAS (19)

A pesar de todas las medidas que se tomen para controlar el agrietamiento del concreto o el deterioro, se debe contar con técnicas que permitan su reparación en el momento oportuno. Naturalmente que estas técnicas existen, y hay gran variedad, dependiendo el uso de cada una de ellas, de la clase de deterioro que tenga el concreto.

9.1 REPARACION DE GRIETAS EN EL CONCRETO FRESCO

Cuando el agrietamiento debido al fraguado no se puede controlar, éste debe tratarse mediante un maceado efectivo a lo largo de las grietas existentes. Esta operación cerrará las grietas, pudiéndose después, proceder a los detalles de acabados.

Aunque las grietas no sean visibles, se recomienda realizar esta técnica preeviendo de esta forma alguna grieta escondida.

9.2 TECNICAS DE REPARACION EN CONCRETO ENDURECIDO

Algunas de las técnicas más conocidas para reparar deterioros o agrietamientos en el concreto, son las siguientes:

- 9.2.1 Calafateado
- 9.2.2 Revestimientos
- 9.2.3 Sustitución del Concreto
- 9.2.4 Pulverizado
- 9.2.5 Envoltura
- 9.2.6 Sustitución del mortero
- 9.2.7 Nivelación de losas

- 9.2.8 Concreto preempacado
- 9.2.9 Frotación de sacos
- 9.2.10 Chorro de arena
- 9.2.11 Engrapado

9.2.1 CALAFATEADO

Esta técnica se utiliza cuando no es posible la sustitución del concreto en el cual se desarrollan grietas activas en losas, u otros elementos de concreto.

El calafateado consiste en llenar las grietas con un material plástico. La consistencia plástica, permite su fácil manejo y colocado que sella muy bien la rotura.

9.2.2 REVESTIMIENTOS

Los revestimientos se realizan con materiales tales como las resinas epóxicas, compuestos y productos bituminosos como aceite de linaza; compuestos de flousilicatos y preparados de silicio, los cuales penetran parcialmente a través del concreto proporcionándole una película delgada para protegerlo o para añadirle características que no tiene el concreto existente.

Las pinturas también se usan para ocultar decoloraciones o proporcionar resistencia adicional para ciertos medios hostiles. Los revestimientos se pueden asegurar a superficies de concreto ya sea por adherencia, por colocación dentro de los poros de concreto o por la reacción química con el concreto en la superficie.

El revestimiento ayuda a proteger al concreto del tránsito, de tipos de agentes químicos para los cuales el concreto no está en capacidad de resistirlos, y de infiltraciones de agua dentro de un elemento de concreto agrietado o insuficientemente denso.

El revestimiento proporciona una protección permanente o temporal. Los tratamientos con silicones, por ejemplo, algunas veces son únicamente temporales y requieren de una aplicación periódica.

9.2.3 SUSTITUCION DEL CONCRETO

En ocasiones las condiciones del medio ambiente son tan adversas que únicamente la sustitución completa del concreto existente satisfará el problema. En un fuego severo, por ejemplo, puede ser necesario retirar y sustituir partes del concreto.

La sustitución total del concreto también es aconsejable cuando la reparación del concreto existente exceda su costo de sustitución o si no se puede alcanzar la reparación satisfactoria de una verdadera durabilidad.

En obras principales de reparación siempre es una buena idea determinar primero el costo de sustitución del concreto. Esto sirve como guía al contratista para evaluar todas las técnicas posibles de reparación.

9.2.4 PULVERIZADO

El pulverizado es un método de reparación lento y costoso pero con frecuencia es la solución más lógica para ciertos problemas de concreto. Entre las aplicaciones más comunes de pulverizado están la nivelación de superficies de losas que tienen irregularidades, ya sea por defecto de fundición, desgaste, o por el retiro de concreto de mala calidad de superficies que se encuentran en preparación para algún otro tratamiento. El pulverizado también se usa para retirar concreto que esté manchado, picado o dañado con grietas pequeñas.

9.2.5 ENVOLTURA

La envoltura es el proceso de aplicar y sujetar un material sobre el concreto para que le proporcione las características de funcionamiento. Los materiales usados son metales, hule plástico y concreto. Cuando la acción del agua y del hielo han erosionado una pila de puente, por ejemplo, el material restante algunas veces se envuelve con concreto de alta resistencia. Esto restablece valores estructurales, protege el refuerzo de la exposición a los elementos y mejora la apariencia del concreto original. Si el flujo de agua es demasiado rápido o la configuración del elemento conduce a una cavitación severa, puede ser necesario una envoltura metálica o de hule.

Los materiales de envoltura se pueden sujetar al concreto por medio de pernos, tornillos clavos o adhesivos; por adherencia con el concreto existente, o por gravedad.

El método de sujeción a emplear depende de la exposición, del material usado y de la colocación del material de envoltura.

9.2.6 SUSTITUCION DEL MORTERO

La sustitución de mortero es una técnica que se limita generalmente a reparar agujeros pequeños.

El mortero se coloca a mano o inyectado dentro de la cavidad usando una pistola de mortero. La consistencia depende del material usado y de si el vacío por llenar se encuentra en un piso, muro, o cielo raso.

Los pasos siguientes pueden ayudar a realizar esta técnica convenientemente:

- a) Se limpia totalmente la cavidad
- b) Se debe obtener una buena adherencia entre el mortero y el concreto viejo
- c) Se debe eliminar o reducir la contracción
- d) Debe hacerse un buen curado.

9.2.7 NIVELACION DE LOSAS

La nivelación de losas se puede usar para levantar una losa que se haya asentado con el fin de proporcionar una sub-rasante estable. Esta técnica se usa con frecuencia en pavimentos pero también es efectiva en losas de entrepisos. Siguiendo una configuración predeterminada, se taladran agujeros a través de las losas de concreto para levantar. Cada agujero se ajusta con un inyector a presión y se bombea una lechada debajo de la losa para levantarla. La lechada puede ser compuesta de cemento, con mezcla de arcilla o de arena fina. Si se requiere durabilidad se puede añadir asfalto emulsionado a la lechada.

La nivelación de losas no es un método adecuado para reparar losas severamente agrietadas. También es poco adecuado para losas pesadas donde la presión de bombeado está limitada.

9.2.8 MORTERO APLICADO NEUMATICAMENTE

El mortero aplicado neumáticamente, o a base de pistola utiliza la técnica de mortero disparado a presión por medio de una boquilla directamente colocada dentro del vacío por llenar. El mortero puede llegar a la boquilla ya sea mezclado o se puede bombear agua dentro de la manguera y mezclarse en la boquilla con los materiales secos. Este método es rápido y conveniente y se puede usar para trabajos horizontales o verticales. La reparación de pilotes con esta técnica ha tenido buenos resultados.

9.2.9 CONCRETO PREMPACADO

El concreto prempacado involucra una técnica en la cual el área por reparar se llena inicialmente con agregados de granulometría discontinua. Los vacíos entre las partículas de los agregados se inundan con agua y después el agua es desplazada por un mortero bombeado en el sitio. Ocasionalmente se usa una pasta de cemento puro en vez de mortero. El concreto prempacado se usa generalmente en áreas que son inaccesibles tales como bajo agua así como para revestir concreto deteriorado.

La técnica de prempacado es efectiva en estructuras recubiertas tales como muros de contención, presas, túneles, zapatas, estribos y pilas. Como la técnica requiere de equipos y operarios hábiles ese trabajo es realizado por firmas especializadas. Algunas veces es necesario instalar un prototipo para ensayar los métodos propuestos de reparación.

9.2.10 FROTACION DE SACOS

La frotación con sacos con frecuencia mejora la apariencia de la superficie de concreto que está manchada o cubierta con agujeros pequeños provocados por insectos. En esta técnica la superficie de concreto se rocía primero con agua. Enseguida el mortero húmedo se frota sobre la superficie de concreto, y dentro de los vacíos con un frotador de hule.

La frotación de sacos es mas efectiva cuando se realiza poco después de que se haya quitado la formaleta. Cualquier cantidad grande de vacíos debe repararse antes de realizar el proceso de frotamiento de sacos.

9.2.11 CHORRO DE ARENA

El chorro de arena puede ser un método suficiente por sí mismo para reparar algunos tipos de daños, pero generalmente se

usa junto con otras técnicas. El chorro de arena con frecuencia se usa para retirar materiales extraños que podrían impedir la adherencia del material de remiende con el concreto.

9.2.12 ENGRAPADO

El engrapado (20) con frecuencia es la técnica usada cuando se deben reparar grietas grandes y cuando se restablece la acción estructural a través de ella.

En este tipo de reparación, las grapas se colocan a través de la grieta, ligándolas como si fueran dos piezas de tela que se cosen.

Los agujeros se taladran dentro del concreto en cualquier lado de la grieta. La grieta entonces se sella colocando las patas de las grapas dentro de los agujeros y anclándolas con una lechada que no se contraiga. Estas grapas son de longitud variable y se colocan a lo largo de diferentes planos que distribuyan la tensión a través de una amplia área, más que concentrarla a lo largo de un solo plano.

RECOMENDACIONES

Para prevenir el agrietamiento, o al menos mantenerlo dentro de límites aceptables, no existen reglas fijas, puesto que son numerosas las causas que lo originan. El problema de las grietas se debe tratar como un conjunto, y no ocuparse únicamente de un sólo factor.

A continuación se establecen algunas sugerencias que pueden muy bien ayudar a aliviar el problema del agrietamiento.

- a) Diseñar la estructura pensando en las condiciones de restricción durante el secado o enfriamiento del concreto. Las restricciones pueden deberse a asentamientos de la cimentación de los miembros soportantes, interacciones entre distintas partes de la estructura, longitud excesiva de unidades monolíticas entre juntas, refuerzo, etc. Las juntas por contracción expansión y aislamiento se deben colocar a intervalos razonables, aunque sólo sean juntas para controlar el agrietamiento, como sucede en banquetas. Se debe regular el ancho relativo y el espaciamiento de las grietas hasta donde sea practicable, a través del porcentaje de refuerzo. Se debe reducir el agrietamiento torsional de las losas reduciendo las diferencias entre el refuerzo de las partes superior e inferior de las mismas. Se deben evitar concentraciones de esfuerzos, como sucede en los ángulos interiores de aberturas, y se debe reforzar puntos de agrietamiento potencial como las esquinas de ventanas y otras aberturas.
- b) El empleo de miembros preesforzados o precolados es adecuado del punto de vista de prevención de grietas ya que el agrietamiento es un fenómeno de tensión, y el preesfuerzo induce compresión en el concreto. Por consiguiente, cualquier contracción debida a un descenso

de la humedad o la temperatura, y cualquier deformación elástica debida a cargas de servicio, únicamente disminuye parte de la compresión. Ya se han colado tableros de muro con concreto ligeramente presforzado en ambas direcciones, no únicamente por requisitos estructurales sino para comprimir ligeramente el concreto y prevenir el agrietamiento.

Miembros Prefabricados

El concreto estructural precolado se usa ventajosamente en combinación con el presforzado, por lo que respecta al agrietamiento. Pero ya sea presforzado o no, una estructura de concreto precolado se agrietará menos que una estructura monolítica correspondiente, porque los miembros individuales han alcanzado su condición de equilibrio por lo que respecta a humedad y temperatura antes de que se unan entre sí, y además las restricciones son menores. Por otra parte, este concreto se cuela generalmente bajo condiciones muy controladas y en cualquier caso será inspeccionado antes de ser aceptado y usado.

- c) Se debe trabajar con un contratista que haya tenido éxito en lo que respecta al agrietamiento.
- d) Se debe inspeccionar cuidadosamente el trabajo.
- e) Usar materiales que hayan prestado buen servicio por lo que respecta al agrietamiento.
- f) Usar un contenido mínimo de agua necesario para trabajabilidad requerida conforme el método de manipuleo y colocación del concreto disponible debiendo evitarse consistencias muy fluídas.

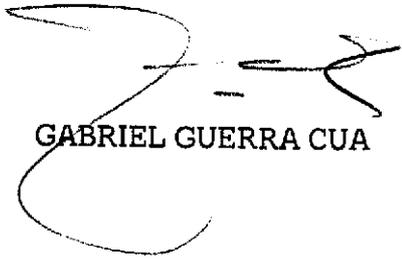
- g) Usar métodos de manipuleo y colocación que eviten la segregación. Colocar el concreto uniformemente tomando en cuenta posibles asentamientos iniciales de la formaleta, consolidación del concreto alrededor del refuerzo, en pendientes, en cambios de sección. Posponer el alisado final de las losas hasta que haya ocurrido el asentamiento y consolidación del concreto en la formaleta.
- h) Curar el concreto adecuadamente lo más pronto posible. En losas, iniciar el curado al mismo instante en que desaparece el brillo superficial. Deberan usarse cubiertas temporales o se deberá rociar el concreto durante los primeros minutos después del colado; también deberá protegerse la superficie de los rayos del sol y del viento. Cuando se descontinúe el curado, se deberá evitar el secado rápido. Para unidades precoladas, se debe emplear el curado por vapor siempre que sea posible.
- i) Evitar temperaturas extremas. En tiempo caluroso se recomienda enfriar el agua y/o los agregados según sea necesario para evitar concretos calientes. Evitar cambios bruscos de temperatura de la superficie (golpes térmicos) como sucede cuando las formaletas o las mantas para curar el concreto se retiran en tiempo caluroso.
- j) Proteger el concreto que esté en condiciones de servicio contra cambios en la humedad y en la temperatura hasta donde sea posible, lo cual puede lograrse cubriéndolo con mantas.
- k) Controlar la aparición de grietas por adherencia, mediante el uso de barras de perímetro y longitud de anclaje adecuados, que permitan la formación de microgrietas uniformemente repartidas en las zonas esforzadas, evitando el apareamiento de pocas grietas equivalentes, de mayor anchura, que dan un aspecto negativo, además de propiciar la oxidación del refuerzo.

BIBLIOGRAFIA

1. "Reglamento de la Construcción de Concreto Reforzado ACI-318-71", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. Marzo 1973.
2. Feld, Jacob, "Construction Failure", John Wiley & Sons, Inc., New York.
3. "Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado", Editorial Limusa, México 1974, pp 193-209.
4. Powers, T.C., "Mecanismos de Contracción y Flujo plástico Reversible de pasta de cemento endurecida", IMCYC, vol.3, No.17, Nov-Dic., 1965.
5. Royer, King. "Criterios de diseño de cimbras de madera para concreto", IMCYC, vol.6, No.34, Sep-Oct. 1968.
6. Kass, Jol., D. Campbell-Allen, "Precision of Early Shrinkage Measurements", Rilem, Vol.5, No.27, May-June, 1972.
7. Elvery, Robert H. and Shafi, Muhamed, "Analysis of Shrinkage Effects on Reinforced concrete structures", ACI Journal, proceedings, Vol.67, No.1, January 1970, pp 45-52.
8. ACI Committee, "Effect of restraint, volume change and reinforcement on cracking of massive concrete", ACI Journal, Proceedings Vol.70, No.7 July 1973.
9. Hughes, Barry P. "Controlling Shrinkage and Thermal Cracking" Concrete, Vol.6, No.5, May 1972.

10. Brauner, Stephen; Copeland, L.E. "La Química del Concreto" IMCYC, Vol.2, No.9, Julio 1964, pp 37-49.
 11. Bowman, A.L.; Mecms, S.B., "Corrosion of Steel in lightweight concrete specimens", ACI Journal, Proceedings Vol.65, No.12, Dec. 1968.
 12. Martín, Ignacio, "Influencia del Medio Ambiente sobre las estructuras de Concreto", IMCYC, Vol.12, Marzo-Abril 1974.
 13. Leonhardt, Fritz ing. "Sources of cracks in Structures Due to Temperature gradients and means for their prevention", Concrete Construction, Vol.16, No.8, Aug. 71.
 14. Concrete Construction, "Controlling Cracks with Plastic joints", Vol.16, No.5, May 71.
 15. Freedman, Sidney, "Control of Random Cracking in exterior Residential Flatwork", Concrete Construction, Vol.16, No.12,
 16. Concrete Construction, "How to Obtain good concrete in Hot Climates", Vol.19, No.4, April 1974.
 17. Klieger, Paul, "Concreto de Contracción Compensada", IMCYC, Vol.10, Nos.57-58, Julio-Octubre 1972; pp 23-30.
 18. Petrucci, Eladio, "Fallas de Estructuras de Concreto Reforzado", IMCYC, Vol.3, No.20, Mayo-Junio 1966.
 19. Deteriotation, Maintenance, and Repair of Structures, Johnson McGraw-Hill, 1965.
-

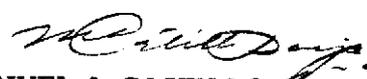
20. "Problemas de Reparación de Concreto: Causas y soluciones", IMCYC, Vol.8, No.45, Julio-Agosto 1970.
21. Polo C., Carlos., "Reparación de Estructuras de concreto Reforzado" (Tesis), Sept. 1974.
22. Imeri Soto, Fernando, "Formaletas para Concreto en trabajos de Ingeniería y Arquitectura", Noviembre 1968.



GABRIEL GUERRA CUA

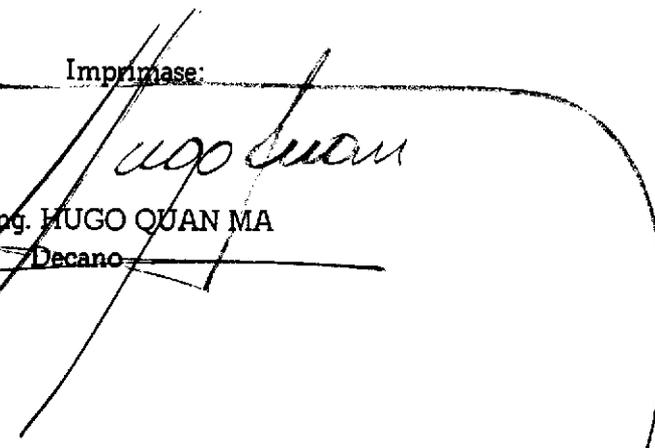
Vo. Bo. 

(f) Ing. EMILIO BELTRANENA MATHEU
Asesor

Vo. Bo. 

(f) Ing. MANUEL A. CASTILLO BARAJAS
Escuela Ing. Civil

~~Imprimase:~~



(f) Ing. HUGO GUAN MA
~~Decano~~