



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.

“Fisuras por Retracción en el Hormigón”

TESINA DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

Ingeniero Civil

Presentada por:

Jorge Eduardo Cedeño Cuellar

Paul Alberto Cuellar Lozano

Oswaldo Izurieta Carvajal

GUAYAQUIL-ECUADOR

AÑO – 2009

AGRADECIMIENTO

“La gratitud es un sentimiento que debe prevalecer en todos los hombres de bien”

A Dios antes que todo, a nuestras familias por nunca dejar de apoyarnos, a todos nuestros docentes, compañeros de estudios, a los profesores del seminario de graduación: Ing. Gastón Proaño, Ing. Juan Carlos Pindo e Ing. Carmen Terreros.

Jorge Eduardo Cedeño Cuellar.

Paul Alberto Cuellar Lozano.

Oswaldo Izurieta Carvajal.

DEDICATORIA

A mi madre por su paciencia, comprensión y amor, A mi padre por ser mi ejemplo de honestidad, superación y perseverancia, A mis hermanos por siempre caminar junto a mí y nunca haber dejado de confiar, A mi mami Crista, mami Camila y papi Carlos, A mis tíos, primos y demás familiares, A mis amigos, A mi primo Carlitos por ser mi ángel guardián.

Jorge E. Cedeño Cuellar

Quisiera este logro en mi vida dedicárselo a todos los que fueron y son parte de él, porque yo aquí solo soy el protagonista, pero sin un gran elenco no hubiese tenido el mismo éxito.

Pero voy a ser un poco egoísta y pasionista, me dejare llevar por lo que mi corazón me dicta en este momento, y es que solo aparece una palabra en mi mente, MADRE: si, este logro se lo dedico a mi querida y adorada Camila, a ti por estar siempre junto a mí, por luchar contra viento y marea por mi bienestar y mis sueños, por no dejarme nunca en el abandono, por regañarme y hacerme recapacitar cuando fue necesario, pero así mismo por brindarme el más puro y sincero amor y cariño: todo esto es por ti y para ti, y solo le pido a mi señor que me ilumine con el don de la fuerza y sabiduría para no defraudar nunca tu confianza y llenarte de orgullo y alegría cada uno de tus días.... Te amo.

Paul Cuellar Lozano

A mis padres, Mariana y Oswaldo por su temple de soportar y apoyo incondicional hacia mí, gracias por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, A mis hermanos quienes contribuyen día a día a esforzarme por ser mejor persona y un ejemplo para ellos, A mis sobrinos que son fuente de inspiración y de cariño, A mis maestros por todos los conocimientos impartidos en sus clases, A la memoria de mi abuelo por haber sido un ejemplo de cariño, esfuerzo, trabajo y perseverancia, Finalmente a Dios por darme la fuerza espiritual necesaria para alcanzar esta meta.

Oswaldo Izurieta Carvajal

TRIBUNAL DE GRADUACION

Ing. Gastón Proaño
PRESIDENTE DE TRIBUNAL DE SUSTENTACION

Ing. Carmen Terreros
MIEMBRO TRIBUNAL

Ing. Juan Carlos Pindo
MIEMBRO TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

“La declaración del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

Jorge E. Cedeño Cuellar

Paul Cuellar Lozano

Oswaldo Izurieta Carvajal

RESUMEN

Una de las más importantes limitaciones que tiene el hormigón es su retracción, un fenómeno físico que limita la eficacia del empleo de este material en algunas aplicaciones donde la retracción tiene efectos inadmisibles. La retracción es un problema originado por la pérdida de humedad del hormigón, está influenciada por distintas variables y sus tipos están relacionados con el estado en que se encuentra el hormigón.

La retracción se manifiesta con la aparición de fisuras y grietas, que son roturas que aparecen en la superficie del hormigón que aparte del daño estético que ocasionan afectan a la resistencia del hormigón y la fisuración afecta adicionalmente la propiedad del hormigón definida como durabilidad.

Siendo las fisuras por retracción un problema muy común en el campo de la construcción nace el interés por conocer como se origina, como se presenta y como se lo soluciona y controla.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	2
DEDICATORIA	3
RESUMEN	8
ÍNDICE GENERAL	9
INDICE DE FIGURAS	11
INDICE DE FOTOGRAFIAS	13
ABREVIATURAS.	14
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1 JUSTIFICACIÓN.	18
1.2 OBJETIVOS GENERALES.....	19
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	19
2. LA RETRACCIÓN	20
2.1 DEFINICIÓN.....	20
2.2 TIPOS DE RETRACCIÓN.....	22
2.2.1. <i>Retracción plástica:</i>	22
2.2.2. <i>Retracción Química (Autógena):</i>	24
2.2.3 <i>Retracción de Secado:</i>	25
2.3. FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE LA RETRACCIÓN.....	27
2.3.1 <i>Factores relacionados con la dosificación de la mezcla</i>	27
2.3.2 <i>Factores relacionados con el ambiente.</i>	33
2.3.3 <i>Factores relacionados con el método de ejecución.</i>	34
2.4. MODELOS PARA ESTIMAR LA RETRACCIÓN.....	35
2.4.1. <i>ACI 209R-92</i>	37
2.4.1.1 <i>Modelo de Cálculo de Retracción según el ACI.</i>	38
3. FISURAS EN EL HORMIGÓN	40

3.1 DEFINICIÓN.....	40
3.2 CRITERIOS PARA CLASIFICACIÓN DE FISURAS.	42
3.3. TIPOS DE FISURAS.....	44
3.3.1 <i>Fisuras de Entumecimiento Hidráulico.</i>	45
3.3.2 <i>Fisuras Térmicas.</i>	45
3.3.3 <i>Fisuras de Origen Químico</i>	46
3.3.4 <i>Fisuras por Adherencia.</i>	48
3.3.5 <i>Fisuras debido a acciones mecánicas.</i>	48
3.3.6 <i>Fisuras por Retracción.</i>	52
3.3.6.1 <i>Fisuras por Retracción Plástica.</i>	52
3.3.6.2 <i>Fisuras de retracción hidráulica o de secado.</i>	57
4. CONTROL DE LAS FISURAS POR RETRACCION.....	61
4.1 REDUCCIÓN DE LA TENDENCIA A LA FISURACION.	63
4.2 ARMADURAS.	63
4.3 JUNTAS	65
4.4 HORMIGÓN COMPENSADOR DE LA RETRACCIÓN.....	66
4.4.1 <i>Importancia del Curado.</i>	70
4.5 MÉTODOS CONSTRUCTIVOS ADECUADOS.	71
4.5.1 <i>Contenido de Agua.</i>	71
4.5.2 <i>Secado Superficial.</i>	72
4.6 CONTROL DE FISURAS POR RETRACCIÓN PLÁSTICA.	73
CONCLUSIONES.....	77
BIBLIOGRAFÍA.....	80

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. La retracción plástica en pastas, morteros y hormigones (Neville, 1995).....	23
Figura 2. Relación entre la pérdida de humedad y la retracción en pastas de cemento (Mindess y Young, 1981)	26
Figura 3. Influencia de la cantidad de áridos de diferentes naturalezas sobre la retracción (Delibes, 1993)	29
Figura 4. Influencia de la relación a/c y el contenido de árido sobre la retracción del hormigón (Newman y Choo, 2003).....	31
Figura 5. Relación entre el contenido de agua, contenido de cemento y relación a/c con la retracción de hormigón curado en humedad durante 28 días y secado a 450 días (Neville, 1995).	31
Figura 6. Efecto de la relación volumen/superficie sobre la retracción última del hormigón (Mindess y Young, 1981)	35
Figura 7. Tipos de Fisuras en el Hormigón.	45
Figura 8. Fisura por ataque de sulfatos.	48
Figura 9. Fisura por compresión.	49
Figura 10. Fisura por tracción.	49
Figura 11. Fisura por flexión simple.	50
Figura 12. Fisura por flexión compuesta	50
Figura 13. Fisura por cortante.....	50
Figura 14. Fisura por torsión.....	51

Figura 15. Fisura por punzonamiento.	51
Figura 16. Fisura por punzonamiento en una zapata.....	51
Figura 17. Exudación de una losa de hormigón.....	52
Figura 18. Fisura por retracción plástica	53
Figura 19. Fisuras por retracción hidráulica en una viga.	58
Figura 20. Fisuras por retracción hidráulica en elementos restringidos	59
Figura 21. Fisuras por retracción hidráulica en ménsula.	59
Figura 22. Fisuras en el primer año del hormigón.....	62
Figura 23. Junta de Contracción.	65
Figura 24. Comportamiento HRC vs. Hormigón Normal (HR=50%).	68

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Grieta en una losa de hormigón	41
Fotografía 2. Fisura por corrosión de la armadura.....	47
Fotografía 3. Fisura por corrosión de la armadura.....	47
Fotografía 4. Fisuración superficial	54
Fotografía 5. Fisura en una losa por retracción plástica	55
Fotografía 6. Fisura de ahogado (fisuras en mapa).....	56
Fotografía 7. Colocado de armadura de hierro en una piscina.	64
Fotografía 8. Fisura en la Junta de Contracción.	65
Fotografía 9. Aserramiento mecánico de una junta de contracción.	66
Fotografía 10. Losa inundada para curado	70
Fotografía 11. Curado con membrana.	71
Fotografía 12. Fratasado de losa de hormigón.	74
Fotografía 13. Acabado superficial de un pavimento de hormigón.	75
Fotografía 14. Membrana de Impermeabilización.....	76

ABREVIATURAS.

C = CaO (Oxido de Calcio)

Al = Al₂O₃ (Oxido de Aluminio)

Ŝ = SO₃ (Anhídrido Sulfúrico)

H = H₂O (Agua)

S = SiO₂ (Oxido de Sílice)

F = Fe₂O₃ (Oxido Ferroso)

a/c = relación agua/cemento.

Nga = contenido árido grueso/contenido total de árido

HRC = Hormigón de Retracción Compensada

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El hormigón, también llamado concreto, es el resultado de la mezcla de cemento, áridos, agua y en ocasiones aditivos; cuando el cemento entra en contacto con el agua se dan una serie de reacciones químicas que derivarán en el fraguado y endurecimiento de la mezcla, y al final del proceso se obtendrá un material con consistencia pétreo.

Este material es muy utilizado en la industria de la construcción debido a que no sufre deterioro serio al estar expuesto al medio ambiente, su mezcla es muy trabajable por lo que se le puede dar diversas formas, utilizando una

pequeña mezcladora se lo puede obtener en obra fácilmente y su costo es bajo.

Cuando se da el proceso de fraguado y endurecimiento del hormigón ocurre un cambio de volumen en el hormigón que se lo conoce como retracción, este fenómeno se debe principalmente a la pérdida de humedad durante el fraguado del hormigón y durante el endurecimiento, siendo un proceso que a pesar de ocurrir solo en la pasta del cemento también está influenciado por la calidad y forma de los áridos.

Estimar los valores de retracción de una forma realista constituye un aspecto importante de evaluación en el comportamiento de estructuras de hormigón armado ya que una predicción equivocada de valores de retracción podría producir deformaciones exageradas y/o fisuración.

Para estudiar este fenómeno se han desarrollado algunos modelos para calcular la retracción del hormigón, los cuales son empíricos y solo reflejan algunos de los procesos físicos que ocurren con el material; la mayoría de los modelos se los encuentran en los códigos y difieren entre sí en su complejidad y precisión de cálculo. En el presente trabajo se detalla el modelo basado en la norma ACI 209-92 por ser utilizado en los Estados Unidos y varias partes de América Latina.

A pesar de que la tecnología del hormigón se ha desarrollado mucho, aun hoy es difícil encontrar una mezcla que esté libre de retracción, siendo por ende muy complicado el control de la fisuración por retracción

Esta investigación se orientará por lo tanto a la descripción general del fenómeno de retracción, a identificar las fisuras generadas en el hormigón debido a la retracción, y al conocimiento de algunos métodos que intentan compensar la retracción en el hormigón.

1.1 Justificación.

Uno de los problemas más comunes que se debe afrontar en la construcción son las fisuras que se presentan en el hormigón, causadas por cambios volumétricos en el concreto, fisuras que pueden en algunos casos no ser peligrosas estructuralmente, pero desde el aspecto estético pueden dar sensación de inseguridad al cliente, que exige una propiedad libre de daños.

Las estructuras de hormigón por lo general son vaciadas y generalmente están expuestas a las condiciones del medio ambiente; cuando el hormigón es expuesto a un ambiente de servicio, tiende a alcanzar un equilibrio con ese ambiente, por lo que si el ambiente tiene una atmósfera seca, la superficie expuesta del concreto pierde agua por evaporación. La velocidad de evaporación dependerá de la humedad relativa del medio físico, temperatura, relación agua-cemento y área de la superficie expuesta del concreto.

Este fenómeno de pérdida de agua en el hormigón se conoce como retracción, siendo una de las diversas causas de porque el material se fisura, es importante por lo tanto para los ingenieros civiles tener un conocimiento más amplio de lo que es la retracción, identificar las fisuras originadas por el mismo, así como, saber los métodos que existen para poder contrarrestar las fisuras producto de la retracción del hormigón.

1.2 Objetivos Generales.

- Estudiar el problema de la retracción en el hormigón.
- Estudiar las fisuras que se producen en el hormigón.

1.3 Objetivos Específicos.

- Analizar el problema de la retracción en el hormigón, las causas que la provocan, los distintos tipos de retracción que existen, las consecuencias en las estructuras de hormigón.
- Identificar las fisuras del hormigón que ocurren debido al fenómeno de retracción.
- Describir los distintos métodos que se utilizan para contrarrestar las fisuras en el hormigón producidas por retracción.

CAPITULO 2

2. LA RETRACCIÓN

2.1 Definición.

La retracción es la deformación del hormigón en estado fresco o endurecido, la cual no depende de la carga externa aplicada y se manifiesta mediante la disminución del volumen del hormigón durante el proceso de fraguado en sus primeras horas, o cuando se encuentra ya endurecido días o meses después y se produce por un hecho muy sencillo que es la simple pérdida de agua.

Al perder agua y perder volumen se producen tensiones internas de tracción que dan lugar a las famosas fisuras de retracción, aunque dependiendo de la cantidad de finos, la cantidad de cemento, el tipo de cemento, relación agua-

cemento, espesor del elemento estructural, de si es hormigón armado o no y de la temperatura ambiental, la retracción puede ser muy poca o ser muchísima y por ende las fisuras variarán en su cantidad y magnitud.

Existen métodos de cálculo para conocer la retracción de un elemento estructural antes de hormigonarlo y este cálculo se realiza en función del tiempo desde el acabado del hormigonado. Varios autores indican para condiciones medias, una retracción de 0.35 mm/m en elementos de hormigón en masa y de 0.25 mm/m para elementos de hormigón armado.

Para una evaluación detallada en el valor de la retracción hay que tomar en cuenta las diversas variables que influyen en este fenómeno, en especial: el grado de humedad del medio ambiente, el espesor y dimensión de la pieza, composición del hormigón, cantidad de armaduras y tiempo transcurrido desde la ejecución, que marca el inicio del fenómeno.

2.2 Tipos de Retracción.

Varios especialistas han realizado ensayos del comportamiento del hormigón y se determinaron tres tipos de retracción: retracción capilar, retracción química y retracción de secado.

La retracción capilar, también llamada retracción plástica está relacionada con la retracción del hormigón en su estado fresco y actúa durante las primeras horas después del vertido del hormigón.

La retracción química es un término utilizado para varios tipos de retracción que deben su origen a reacciones químicas en el hormigón, pero en este trabajo solo comentaremos acerca de la retracción autógena.

La retracción de secado es la deformación del hormigón endurecido producido por la pérdida de humedad.

2.2.1. Retracción plástica: Llamada también como retracción capilar, se refiere a la deformación del hormigón antes del fraguado final. Es provocada por una evaporación demasiado rápida del agua en la superficie del hormigón durante las primeras 12 horas de colocado, y también por la succión de agua por parte del encofrado, esto provoca una gran contracción de la pasta de cemento y hace fisurar la superficie externa. Hay que entender por evaporación muy rápida a cuando la tasa de evaporación superficial excederá la tasa por la cual

el agua emerge desde el interior del hormigón, también conocida como velocidad de exudación. La retracción plástica del hormigón se asocia a un curado no acorde a las condiciones climáticas.

En la pasta cementicia la retracción plástica es mayor que en el hormigón, siendo inclusive hasta tres veces menor la retracción en este último, como se podrá observar en la figura 1 donde existen curvas típicas de retracción para pasta, mortero y hormigón; todo esto debido a la presencia de áridos en el hormigón.

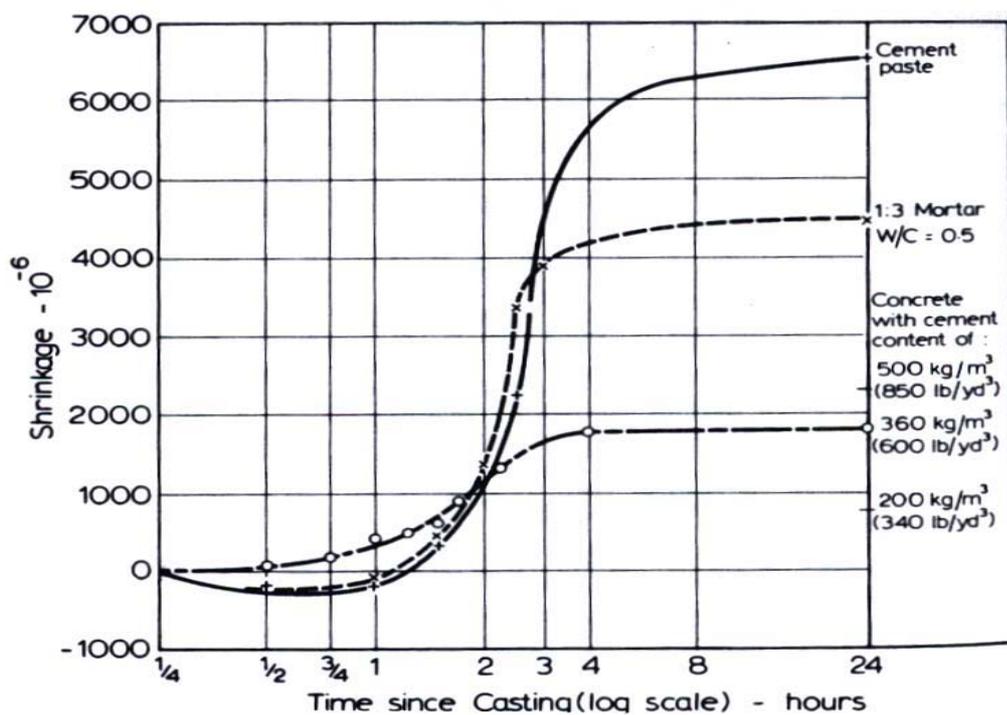


Figura 1. La retracción plástica en pastas, morteros y hormigones (Neville, 1995)

Por la experiencia de las pruebas de laboratorio se ha determinado que los factores de la mezcla que la afectan son: la relación agua-cemento, el volumen de pasta y el contenido de cemento; ya que tendremos mayor retracción a mayor contenido de cemento y pasta y disminución de relación agua-cemento, existiendo algunas investigaciones que indican que con el aumento de superplastificantes aumentaría la retracción plástica.

Las altas temperaturas, el viento y una humedad relativa baja serian factores externos que agravarían la retracción plástica del hormigón.

2.2.2. Retracción Química (Autógena): Al tener un hormigón con baja relación agua-cemento puede ocurrir que no habrá suficiente agua para el proceso de hidratación, bajo estas condiciones la mezcla consumirá el agua libre que se encuentra en los poros capilares para poder seguir con la hidratación dándose un consumo interno de agua conocido como autosecado que viene a ser la causa de la retracción autógena del hormigón. En hormigones con resistencias normales la retracción autógena es pequeña (100×10^{-6}) siendo incluida en los valores de la retracción de secado pero cuando se tiene el caso de hormigones de alta resistencia estos valores podrían ser significativos (700×10^{-6}).

Al tener temperaturas elevadas, un alto contenido de cemento, cementos más finos o cementos con alto contenido de C_3A y C_4AF nuestros valores de retracción autógena tenderán a incrementarse así como el proceso de hidratación se acelerará.

La utilización de adiciones como la ceniza volante, tiende a disminuir la retracción autógena.

2.2.3 Retracción de Secado: también llamada retracción hidráulica, se da en el hormigón endurecido y tiene que ver con la pérdida de humedad de este, ante la existencia de un gradiente de humedad entre nuestro hormigón y el ambiente al que está expuesto; este movimiento de agua hacia el exterior es lo que causa la retracción, siendo la forma más común y visible de las retracciones. En la figura 2 podremos ver como la retracción se desarrolla en función de humedad relativa.

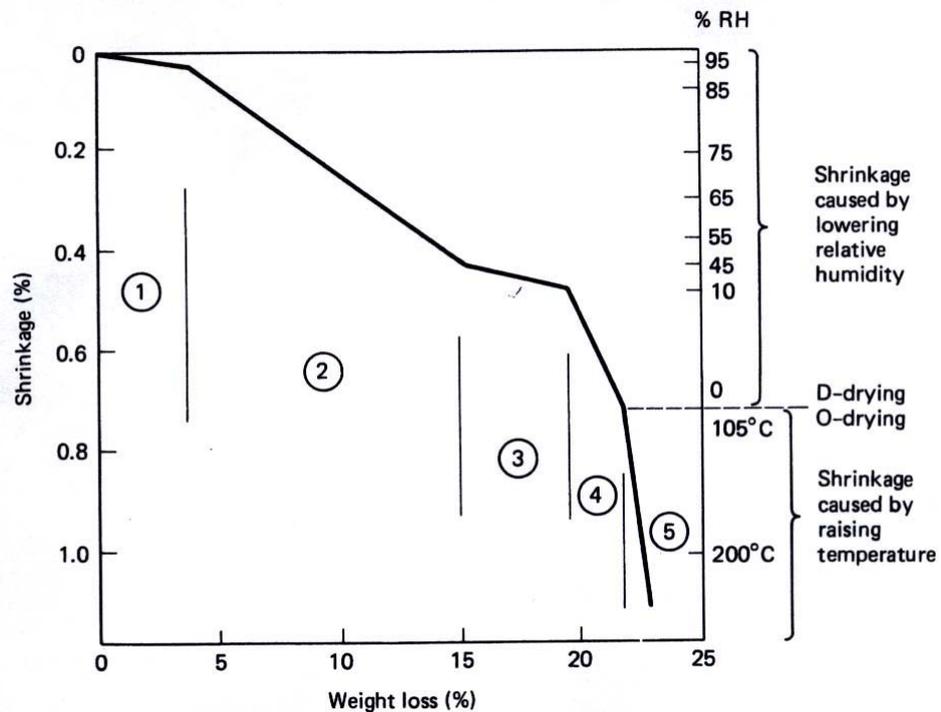


Figura 2. Relación entre la pérdida de humedad y la retracción en pastas de cemento (Mindess y Young, 1981)

De acuerdo a la figura 2 la retracción aumenta con la disminución de la humedad relativa, también se da un aumento del gradiente de humedad entre la pasta y el ambiente, lo que acelera la pérdida de agua hacia el exterior.

El proceso de secado se da de la siguiente manera: el agua libre que se encuentra en los poros capilares comienza a perderse (fases 1 y 2 de la figura), en estas etapas la retracción aun no es visible aunque ya se va formando un gradiente interno de humedad por el cual el agua absorbida al gel de sílice se desplaza hacia los poros; si se da el caso

de que la humedad relativa baje del 45%, la pérdida de agua seguirá dándose y el agua absorbida a la superficie de gel de sílice C-S-H ($C=CaO$; $S=SiO_2$; $H=H_2O$) comenzara a verse afectada (fase 3), luego de esto se perderá el agua interna del gel C-S-H (fase 4) y para culminar tendrá lugar la descomposición del gel (fase 5).

La retracción de la pasta puede ser reversible e irreversible, siendo los procesos que intervienen en este fenómeno, aún estudiados y por ende no completamente entendidos, así que no ahondaremos en su explicación para evitarnos confusión.

2.3. Factores que influyen sobre la retracción.

Los factores que afectan la magnitud y velocidad de desarrollo de la retracción son numerosos, siendo separados en tres grupos: factores relacionados con la dosificación de la mezcla, factores relacionados con el ambiente y factores relacionados con el método de ejecución.

2.3.1 Factores relacionados con la dosificación de la mezcla

Entre los factores relacionados con la dosificación de la mezcla que tienen influencia en la retracción vale mencionar: el contenido de árido, tamaño y distribución de los áridos, contenido de agua y cemento, aditivos y adiciones; siendo el factor más importante el contenido del árido ya que aunque la retracción es un fenómeno que se da en la

pasta, el árido tiene la propiedad de reducir estas deformaciones ya que a mayor volumen de árido menor volumen de pasta pudiéndose cuantificar esta influencia con la siguiente expresión:

$$S_c = S_p (1-a)^n$$

Donde:

S_c = retracción del hormigón

S_p = retracción de la pasta

a = contenido de árido en la mezcla de hormigón.

n = valor experimental, cuyos valores varían entre 1.2 y 1.7

De acuerdo a esta ecuación, el aumentar el contenido de áridos contribuirá a disminuir la retracción; en la figura 3 se verá la relación directa entre el contenido de árido y la retracción del hormigón,

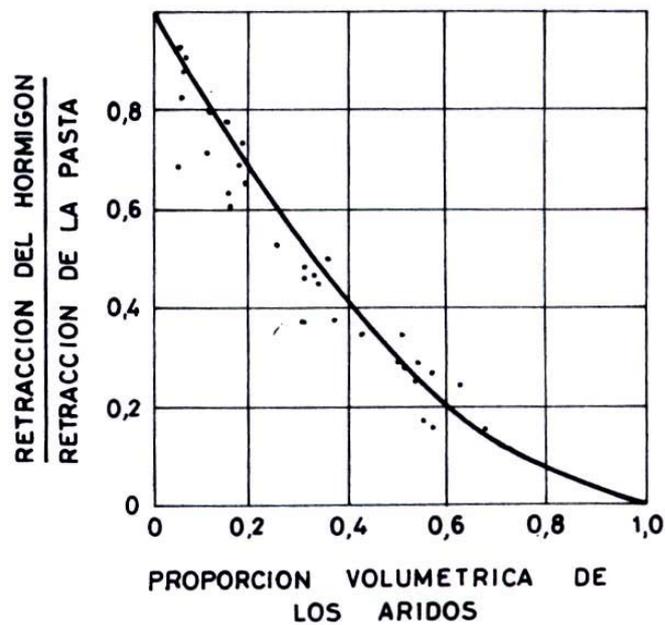


Figura 3. Influencia de la cantidad de áridos de diferentes naturalezas sobre la retracción (Delibes, 1993)

Como la relación entre el contenido de árido y la retracción es lineal, el ACI 209-92 incluye la siguiente expresión para dos mezclas de hormigón hechas con la misma pasta, pero diferente contenido de árido.

$$(\epsilon_{sh})_{u1} / (\epsilon_{sh})_{u2} = (1 - (v_1)^{1/3}) / (1 - (v_2)^{1/3})$$

Donde v_1 y v_2 son el volumen total de árido por unidad de volumen del hormigón para la mezcla 1 y 2 mientras que $(\epsilon_{sh})_{u1}$ y $(\epsilon_{sh})_{u2}$ son la retracción de las mezclas 1 y 2.

En lo concerniente a la distribución y tamaño del árido, se tendrá que a mayor tamaño máximo mayor será el contenido de árido debido a su distribución, menor será el contenido de pasta y por ende menor la retracción aunque por contraparte tendremos un hormigón menos trabajable.

La relación entre el árido grueso y el contenido total de árido (Nga) influirá también en la retracción ya que a mayor Nga habrá menor retracción pero hay que tener en cuenta que valores demasiado altos de Nga podrán afectar en forma negativa a la compactación del hormigón y en consecuencia a la retracción. Bui y Montgomery (1999) luego de pruebas recomiendan un valor máximo de 0.52 para Nga.

El aumentar el contenido de agua o el contenido de cemento o la relación a/c va de la mano con un aumento en el contenido de pasta y en consecuencia de la retracción.

En la figura 4 podremos observar que a pesar de que la retracción aumenta con el incremento de la relación a/c la influencia del contenido de árido sobre la magnitud de la retracción es más significativa.

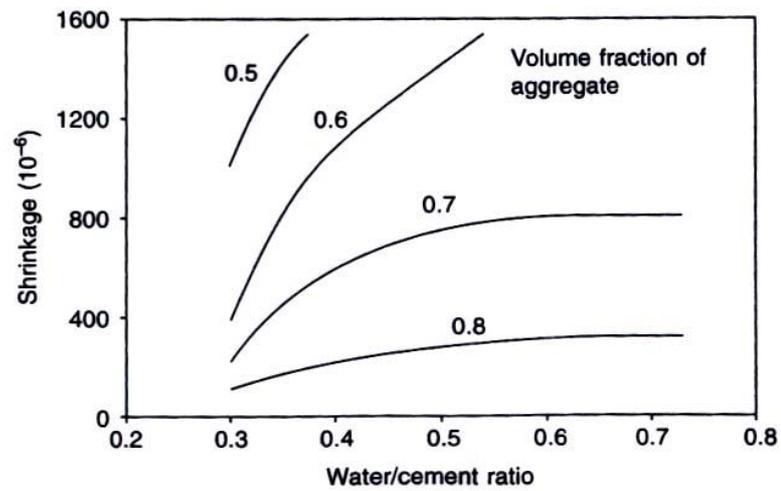


Figura 4. Influencia de la relación a/c y el contenido de árido sobre la retracción del hormigón (Newman y Choo, 2003)

La influencia conjunta del contenido de agua, contenido de cemento y relación a/c sobre la retracción aparece en la figura 5

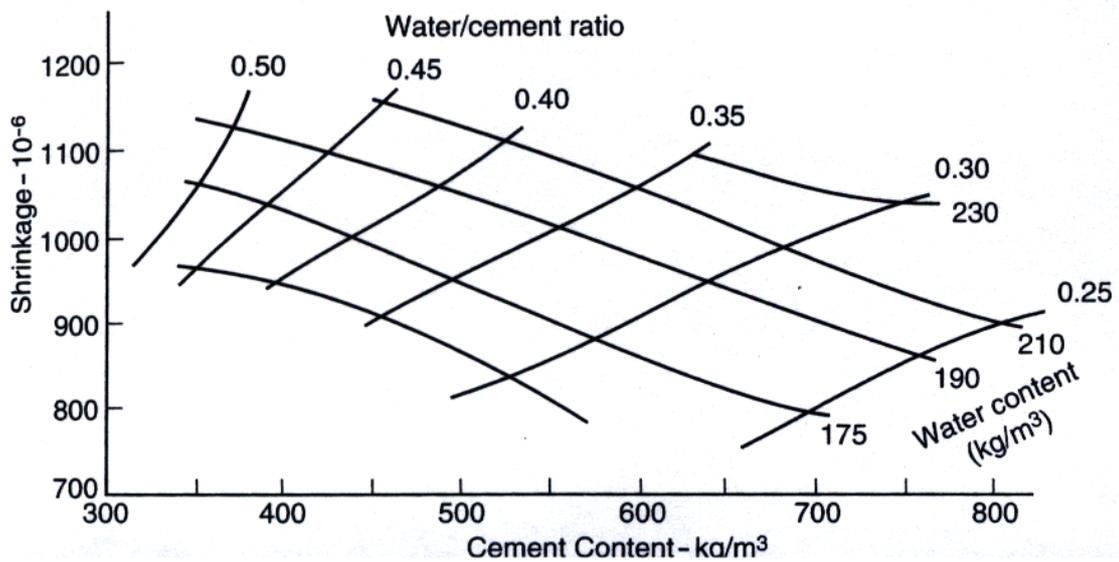


Figura 5. Relación entre el contenido de agua, contenido de cemento y relación a/c con la retracción de hormigón curado en humedad durante 28 días y secado a 450 días (Neville, 1995).

Vale mencionar que según el estudio de Bissonnette (1999), al contrario de lo generalmente creído, la relación a/c influye poco sobre la retracción, en caso de pastas con relación agua/cemento entre 0.35 y 0.55; siendo determinante únicamente el contenido de pasta.

Según Neville (1995), las propiedades químicas del cemento influyen poco sobre la retracción ya que la finura del cemento influye sólo en caso de partículas mayores que $75\mu\text{m}$, que también contribuyen a restringir la retracción.

La influencia de los diferentes tipos de aditivos sobre la retracción aún no es clara, en un estudio extenso de Brooks (2001) se detectó un aumento en la retracción relacionado con la presencia de plastificantes y superplastificantes. Considerando todos los tipos de adiciones, el aumento medio de las deformaciones (fluencia y retracción) resultó del 20%. Según Neville (1995) probablemente no es la presencia de los superplastificantes lo que afecta a la retracción, sino que su uso produce modificaciones en la mezcla que son las que afectan a la retracción.

Sobre el efecto de las adiciones hay varias opiniones. Neville (1995), indica que la utilización de ceniza volante, escoria, o humo de sílice aumenta la retracción. Este aumento puede ser hasta el 60% en caso de alto contenido de escoria. Song (2001) indica que en caso de

utilizar escoria como adición, la retracción es mayor cuando la finura de la escoria es mayor. Según Aguado y Gettu (1993), la utilización de humo de sílice reduce la retracción. Brooks (2001) indica que, en general, la ceniza volante no influye de forma significativa sobre la retracción, pero cuando los niveles de sustitución son altos, la variabilidad de los resultados es alta.

Según Brooks y Neville (1992), se puede asumir que si un tipo de aditivo o adición no perjudica la resistencia, probablemente tampoco se van a modificar de forma drástica las deformaciones a largo plazo.

2.3.2 Factores relacionados con el ambiente.

El factor ambiental que más influye en la retracción es la pérdida de humedad, algo que ya se analizó anteriormente ya que se conoce que esta es la causa principal de la retracción por secado, además condiciones atmosféricas con elevada temperatura, humedad relativa bajas o vientos importantes pueden favorecer fisuras superficiales de afogado que se ven favorecidas por un excesivo contenido en agua del hormigón y acabados de pasta de cemento en superficie.

2.3.3 Factores relacionados con el método de ejecución.

Entre estos factores se tiene: el periodo de curado, tipo de curado, tamaño y forma del elemento.

De acuerdo a Neville (1995), los resultados de varias investigaciones sobre este aspecto se contradicen pero en general se manifiesta que el periodo de curado no es un factor importante en la retracción.

El tamaño del elemento influye en el último valor de retracción a obtener, ya que en elementos pequeños la velocidad de desarrollo de la retracción es mayor que en elementos grandes, de forma general se asumirá que la retracción es inversamente proporcional a la relación volumen/superficie del elemento.

$$\text{Retracción} \propto 1 / (V/S)^2$$

Según Mindess y Young (1981), en elementos grandes la velocidad de retracción es menor pero el valor último de retracción será mayor que en elementos pequeños; esta relación inversa entre la velocidad de desarrollo y la retracción última está relacionada con la retracción diferencial en el interior del elemento (ver figura 6).

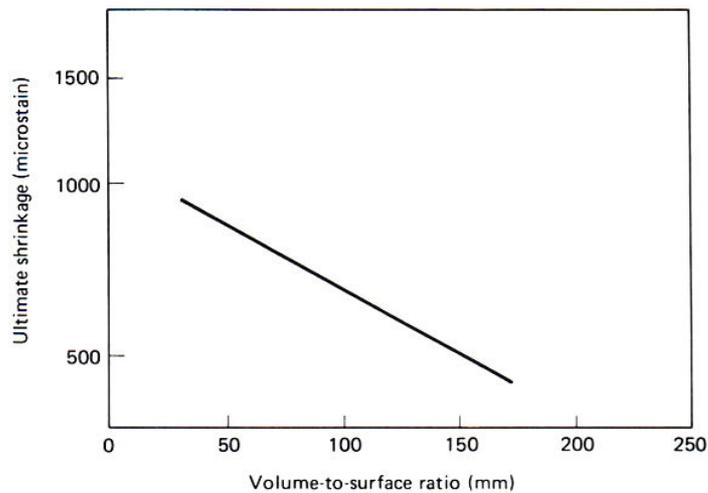


Figura 6. Efecto de la relación volumen/superficie sobre la retracción última del hormigón (Mindess y Young, 1981)

El efecto de la forma del elemento estructural también influye sobre la retracción, pero según Neville (1995), su influencia es secundaria. Piezas con la misma relación volumen/superficie, pero en forma de I, manifiestan menor retracción que piezas cilíndricas. Estas diferencias están relacionadas con la distancia que el agua tiene que recorrer hasta la superficie.

2.4. Modelos para estimar la Retracción.

Cuando se diseñan estructuras de hormigón se debe garantizar durabilidad y un comportamiento apropiado de estas en cuanto se encuentren en servicio por lo que estimar los valores de retracción de una forma realista pasa a ser un aspecto importante de evaluación ya que una predicción equivocada de

valores de retracción podría producir deformaciones exageradas y/o fisuración.

Aunque es difícil estimar a ciencia cierta las deformaciones que el hormigón tendrá, ya que este fenómeno es el resultado varios procesos físicos que dependen de otras variables, con el pasar de los años se desarrollaron algunos modelos para calcular la retracción del hormigón, los cuales son empíricos y solo reflejan algunos de los procesos físicos de este fenómeno, por lo que consecuentemente, al pronosticar la retracción a largo plazo es dable esperar un coeficiente de variación de 20% o más.

Los modelos más utilizados son los que se encuentran en los códigos y normas aunque también existen otros, y todos como es de esperarse presentan diferencias en complejidad y precisión de cálculo.

Como ya se menciona existen varios modelos pero a continuación solo se hará un pequeño detallamiento de uno de ellos, que es el que está basado en la norma ACI 209R-92.

Se tiene que tener presente que todavía no se logran desarrollar métodos que permitan estimar con mayor precisión las deformaciones del hormigón.

2.4.1. ACI 209R-92

Este modelo está basado en el trabajo de Branson y Christianson (1971), con algunas modificaciones que se introdujeron en el ACI 209R-82, este modelo se ha convertido con el pasar de los años en el modelo de referencia para hormigones en EEUU aunque en un principio se aplicaba solo para la industria de los prefabricados, se utiliza también en Canadá, Australia y parte de América Latina. Es empírico y se basa en resultados experimentales anteriores al año 1968 (Al-Manaseer, 2005).

Se aplica a hormigones normales y hormigones ligeros con cemento tipo I y III, ya sea curado en condiciones húmedas o con vapor.

Los parámetros necesarios para este modelo son:

- Edad cuando comienza la retracción.
- Edad de puesta en carga
- Método de curado.
- Humedad Relativa, expresada en decimales.
- Relación Volumen/Superficie, o espesor medio, mm.

Se pueden utilizar factores correctores que consideran el contenido de árido fino, el contenido de aire, contenido de cemento y consistencia de la mezcla.

2.4.1.1 Modelo de Cálculo de Retracción según el ACI.

Para calcular la retracción $\epsilon_{sh,t}$ después de 7 días de curado húmedo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$(\epsilon_{sh})_t = (t / (35+t)) * (\epsilon_{sh})_u$$

La retracción $\epsilon_{sh,t}$ después de 1 a 3 días de curado al vapor es:

$$(\epsilon_{sh})_t = (t / (55+t)) * (\epsilon_{sh})_u$$

Donde

t = edad del hormigón después del curado inicial del hormigón

$$(\epsilon_{sh})_u = 780 \gamma_{sh} * 10^{-6} \text{ m/m}$$

El coeficiente γ_{sh} representa el producto de todos los factores de corrección, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\gamma_{sh} = \gamma_{cp} * \gamma_{\lambda} * \gamma_{vs} * \gamma_s * \gamma_{\psi} * \gamma_c * \gamma_{\alpha}$$

Donde:

γ_{cp} = factor corrector para periodos de curado húmedo diferentes a los 7 días

γ_λ = factor corrector para la humedad relativa

γ_{vs} = factor corrector para el tamaño de la pieza.

γ_s = factor corrector para la consistencia del hormigón.

γ_ψ = factor corrector para el contenido de árido fino.

γ_c = factor corrector para el contenido de cemento.

γ_α = factor corrector para el contenido de aire.

Las tablas para el cálculo de todos estos valores de factores de corrección se encuentran en la norma ACI 209.

Como se puede apreciar este método no toma en cuenta la resistencia a la compresión para el cálculo de la retracción, y es ventajoso cuando se utiliza porque en caso de no contar con todos los datos se podrá prescindir de estos; este modelo no considera condiciones de humedad variable.

CAPITULO 3

3. FISURAS EN EL HORMIGÓN.

3.1 Definición.

Las fisuras son roturas en la masa del hormigón que aparecen generalmente en su superficie con un desarrollo lineal, producidas por la existencia de tensiones superiores a su capacidad de resistencia. Cuando la fisura atraviesa de lado a lado el espesor de un elemento se convierte en grieta. La principal diferencia entre una fisura y una grieta radica en que la fisura "no trabaja", y si se la cierra con algún método simple no vuelve a aparecer. La

grieta en cambio, "si trabaja", y para anularla hay que eliminar el motivo que la produjo y además ejecutar trabajos especiales para "sellarla".

Las grietas por lo general se dan por fallas en el diseño, manifestadas por insuficientes secciones de hormigón y/o armaduras de refuerzo; por eso es que se requieren trabajos muy importantes para su reparación.



Fotografía 1. Grieta en una losa de hormigón

Las fisuras se originan por las variaciones de longitud de determinadas caras del hormigón con respecto a las otras, y derivan de tensiones que desarrolla el material mismo por retracciones o entumecimientos que se manifiestan generalmente en las superficies libres.

En todas las construcciones en las que interviene el hormigón pueden aparecer fisuras que pueden manifestarse al cabo de años, de semanas, de días, o solamente de horas y que pueden estar motivadas por causas

múltiples, unas veces actuando en solitario y otras asociadas a otros fenómenos.

Las fisuras pueden ser la vía por la cual pueden entrar al hormigón, principalmente, los agentes agresivos de tipo químico. No hay que pensar, que las estructuras fisuradas de hormigón son siempre peligrosas, lo que importa conocer es el tipo de elemento estructural en que han aparecido y la naturaleza de las fisuras. Éstas son especialmente peligrosas cuando sobrepasan determinados espesores y cuando están en determinados ambientes.

3.2 Criterios para clasificación de fisuras.

Las fisuras se distinguen por la edad de aparición en un elemento estructural, en su forma y trayectoria, abertura, movimiento, etc. La determinación de las causas que han provocado las fisuras es importante como medida previa a la reparación.

Si tenemos en cuenta el estado del hormigón al momento de aparecer las rupturas, distinguimos fisuras que se manifiestan en:

- estado plástico y
- las que tienen lugar en el estado endurecido.

Muchas investigaciones realizadas reflejan que en todo proceso de fisuración se pueden observar dos etapas:

- una microfisuración inicial y
- una macrofisuración posterior.

Las microfisuras no son apreciables a simple vista pues, en general, no aparecen al exterior sino cuando se convierten en macrofisuras que son las que podemos llegar a evaluar. Se consideran microfisuras las fisuras en las que el espesor es inferior a 0,05 mm.

También podemos clasificar las fisuras en función del movimiento que admitan diferenciando entre:

- Fisuras estabilizadas o muertas en las que se llega a una abertura determinada y el proceso queda parado como ocurre, por ejemplo, en un proceso de retracción hidráulica;
- Las fisuras en movimiento, aquellas en las que la fisuración continúa normalmente con una velocidad decreciente hasta llegar a la estabilización y,
- Las fisuras vivas en las que la abertura es variable de acuerdo con la temperatura, con sollicitaciones dinámicas, etc.

Así mismo, las fisuras también pueden ser catalogadas como:

- Fisuras estructurales, son las debidas al alargamiento de las armaduras o a las excesivas tensiones de tracción o compresión producidas en el hormigón por los esfuerzos derivados de la aplicación de las acciones exteriores o de deformaciones impuestas.
- Fisuras no estructurales son las producidas en el hormigón, bien durante su estado plástico o bien después de su endurecimiento, pero generadas por causas intrínsecas, es decir, debidas al comportamiento de sus materiales constituyentes (asiento plástico, retracción plástica, contracción térmica inicial, retracción hidráulica, ahogado (deseccación superficial del hormigón en estado fresco), etc.).

3.3. Tipos de Fisuras.

El fisuramiento en el hormigón se puede dar por muchos factores como ya se mencionó anteriormente, a continuación detallaremos los distintos tipos de fisuras que existen (ver figura 7) pero este trabajo de investigación se referirá con mayor énfasis a las producidas por la retracción.

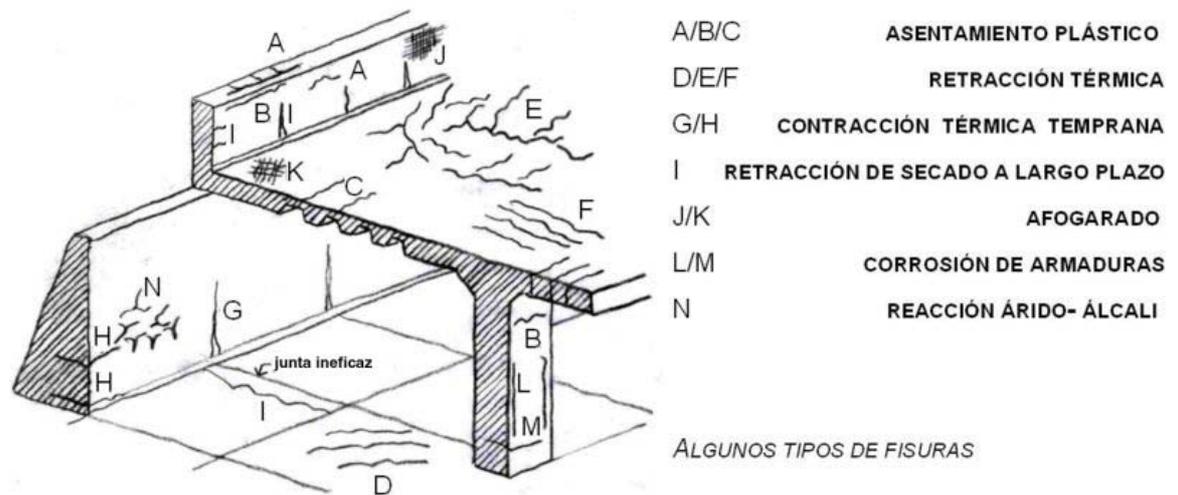


Figura 7. Tipos de Fisuras en el Hormigón.

3.3.1 Fisuras de Entumecimiento Hidráulico.

Aquellas que aparecen a consecuencia del aumento de volumen del hormigón, como consecuencia de un contacto permanente con el agua. Desde el punto de vista de la fisuración, son menos peligrosas que las de retracción debido a la menor resistencia a tracción de los hormigones y a los valores relativos más altos de las retracciones con respecto a los entumecimientos.

3.3.2 Fisuras Térmicas.

Las fisuras suelen aparecer en la superficie en forma de un mapa de fisuras de escasa profundidad (algunos milímetros o centímetros). A veces son tan finas que sólo se observan si se humedece con agua la

superficie del hormigón. Las diferencias de temperatura dentro de la masa del hormigón producen cambios volumétricos diferenciales en la misma y cuando la tensión de tracción generada es superior a la resistencia del hormigón se produce la rotura del mismo. Existen 2 tipos de fisuras térmicas:

- De Dilatación
- Por Contracción Térmica Inicial.

3.3.3 Fisuras de Origen Químico.

Las reacciones químicas producidas entre algunos tipos de áridos silíceos y los álcalis existentes en el hormigón, el ataque de ácidos, sulfatos etc., pueden dar lugar a reacciones expansivas que se manifiestan inicialmente mediante una fisuración superficial del hormigón; existen distintos tipos de fisuración por origen químico de acuerdo a la reacción que se da:

- Por reacción arido-alkali.
- Por oxidación de áridos sulfurosos.
- Por corrosión de la armadura.



Fotografía 2. Fisura por corrosión de la armadura.



Fotografía 3. Fisura por corrosión de la armadura.

fisuración de losa por ataque de sulfatos

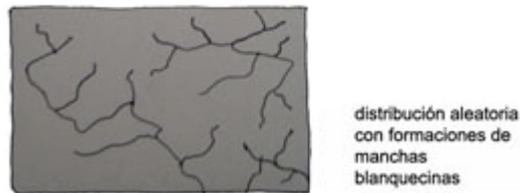


Figura 8. Fisura por ataque de sulfatos.

3.3.4 Fisuras por Adherencia.

Se produce en zonas en que la armadura que trabaja a tracción se encuentra insuficientemente anclada. Se caracteriza por fisuras perpendiculares a la armadura, acompañada en ocasiones por fisuras paralelas a aquellas.

3.3.5 Fisuras debido a acciones mecánicas.

Aquellas que aparecen en los elementos estructurales cuando se ha producido el agotamiento del hormigón. Sin embargo, la fisuración no es por sí misma un indicio alarmante, dado que lo habitual es que las piezas de hormigón se fisuren en estado de servicio. De hecho, el estudio de las deformaciones en estructuras flectadas de hormigón, tiene dos estados que se diferencian por que la pieza pasa de un primer estado sin fisurar a un segundo estado fisurada, sin que ello

implique problemas patológicos. Para comprobar si realmente corresponde a una situación de alarma, es preciso atender a su evolución. Las fisuras en el hormigón según las distintas acciones mecánicas a las que estará expuesto serán:

- Por compresión.

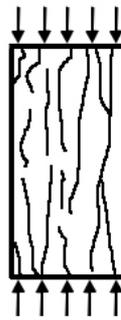


Figura 9. Fisura por compresión.

- Por tracción.



Figura 10. Fisura por tracción.

- Por flexión.

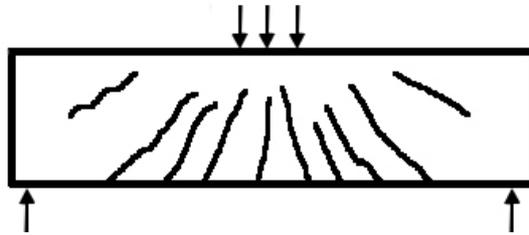


Figura 11. Fisura por flexión simple.

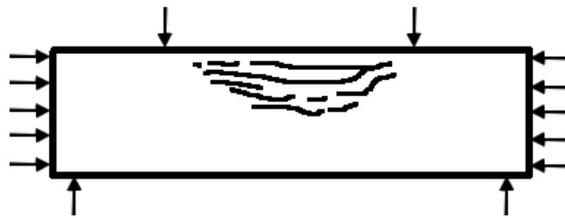


Figura 12. Fisura por flexión compuesta

- Por cortante.

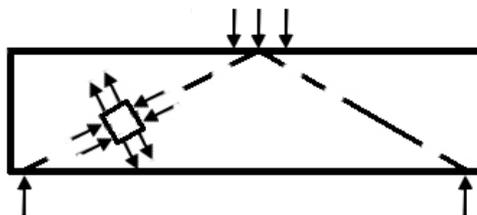


Figura 13. Fisura por cortante.

- Por torsión.

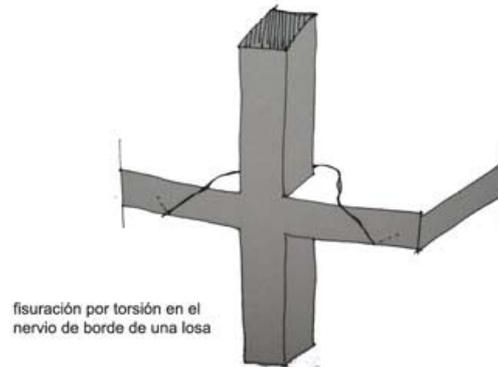


Figura 14. Fisura por torsión.

- Por punzonamiento.

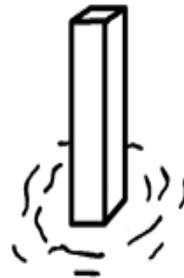


Figura 15. Fisura por punzonamiento.

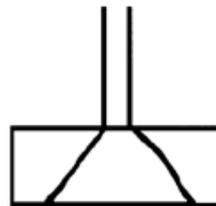


Figura 16. Fisura por punzonamiento en una zapata

3.3.6 Fisuras por Retracción.

En esta parte de la tesina detallaremos con mayor énfasis las fisuras que se originan por el fenómeno de la retracción en sus distintas formas.

3.3.6.1 Fisuras por Retracción Plástica.

Son características del hormigón fresco y son producidas por la rápida evaporación superficial del hormigón, apareciendo como consecuencia de un retraso en el curado o protección del hormigón (exudación) como se puede ver en la figura 17.

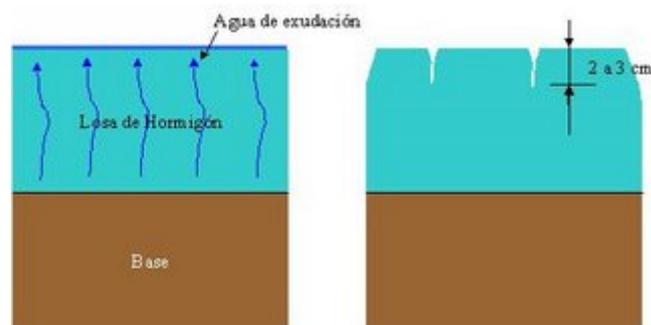
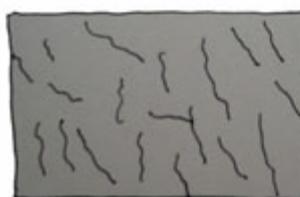


Figura 17. Exudación de una losa de hormigón

Este fenómeno se produce fundamentalmente entre la primera hora y las seis horas a partir de su vertido, aunque a veces pueden incluso aparecer al día siguiente. Tienen una gran importancia en aquellos elementos estructurales en los cuales prevalece la superficie sobre el volumen (losas, pavimentos) y en especial cuando hay una pérdida rápida de agua causada

por tiempo seco, viento o altas temperaturas. Estas fisuras aparecen en la superficie en forma de "viboritas", ubicadas al azar y orientados en cualquier dirección.

fisuras en la losa por retracción plástica del hormigón



aparición a las pocas horas del vertido.
ancho: 0,2-0,4 mm

Figura 18. Fisura por retracción plástica

La aparición de estas fisuras es más frecuente en tiempo seco, soleado y sobretodo con viento, aunque las temperaturas no sean altas, por lo que pueden aparecer también en tiempo frío e incluso húmedo si existe viento.

Las fisuras de retracción plástica suelen ser superficiales, varían desde unos pocos centímetros de largo hasta 1,50 ó 2,00 metros y suelen tener una profundidad de 2 a 3 centímetros con anchos de 0.2 a 0.4 milímetros y van decreciendo conforme van profundizando en la pieza. También es habitual que lleguen a atravesar el espesor de las losas, a diferencia de las fisuras de asentamiento plástico.



Fotografía 4. Fisuración superficial

Este tipo de fisuras son muy frecuentes en las losas de hormigón y pueden mostrarse, por lo general, de las siguientes maneras:

- Pueden seguir líneas paralelas diagonales, aproximadamente a 45° con las esquinas, con distancias entre ellas comprendida entre los 20 centímetros y los 2 metros;
- Presentarse a modo de crestas onduladas, o siguiendo un patrón indeterminado formando generalmente una especie de malla.
- También es común que sigan el recorrido de las armaduras o de alguna cualidad física de la pieza, como por ejemplo un cambio de sección o una interrupción en el hormigonado.



Fotografía 5. Fisura en una losa por retracción plástica

Existen las llamadas fisuras de afogado (o fisuras en mapa), conocidas en nuestro país como fisuras de bailejado, las cuales son un tipo de retracción plástica superficial intensa. Son siempre superficiales y generalmente de menos de 1 centímetros de profundidad y de 0,05 a 0,5 milímetros de anchura aproximadamente.

Suelen aparecer en la primera semana (a veces mucho después) después del hormigonado, durante la fase de endurecimiento. En los elementos de espesor variable, las fisuras aparecerán con más profusión en las partes más delgadas. Por lo general, las fisuras de afogado se manifiestan como un dibujo en forma de red o malla no regular de entre 5 y 10 centímetros de lado. No siguen líneas

determinadas sino que se ramifican y presentan sinuosidades debido a que aparecen cuando el hormigón no tiene prácticamente resistencia y han de adaptarse al contorno de los áridos a los cuales no pueden romper.

Tienen una finura tal que, a veces, solo se las percibe después de cierto tiempo cuando se han llenado de suciedad o polvo. Se llama nidos de fisuras a concentraciones fuertes de fisuras en una determinada zona.



Fotografía 6. Fisura de afogado (fisuras en mapa)

3.3.6.2 Fisuras de retracción hidráulica o de secado.

Se producen a consecuencia de las tensiones de tracción creadas en la masa de hormigón al quedar impedida la deformación provocada por los cambios volumétricos en la retracción de secado.

Las fisuras de retracción de secado, a diferencia de las de retracción plástica, suelen tener una anchura constante y un trazado limpio sin entrecruzarse ni ramificaciones. Si la distribución de las fisuras es buena, estas fisuras de retracción son muy estrechas, del orden de 0,05 a 0,1 milímetros de anchura y es frecuente que no tengan más de 0,02 milímetros. Tampoco son profundas y suelen penetrar en el hormigón de 4 a 10 milímetros. Pueden aparecer a partir de las dos o tres semanas desde el vertido del hormigón, pero el riesgo de su aparición persiste en condiciones normales hasta un año, retardándose a veces hasta los dos y tres años, en función de las condiciones de sequedad atmosférica.

En este tipo de fisuración juegan un papel importante la rigidez del elemento estructural y sobretodo, la del conjunto estructural que le afecta. Se puede dar el caso de que en vez de producirse la fisuración en el elemento que se acorta, se

produzca en los elementos que están unidos a él. Este efecto es frecuente en vigas de sección grande y muy armadas unidas a pilares esbeltos y poco rígidos; en este caso las fisuras aparecen en la cabeza y pie de los pilares en vez de en la viga (ver figura 19)

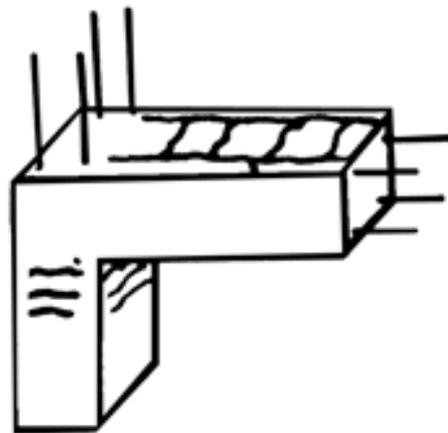


Figura 19. Fisuras por retracción hidráulica en una viga.

En el caso contrario, en vigas con luz más o menos grande, pueden aparecer fisuras perpendiculares a su eje, de espesor constante, que seccionan las vigas si éstas se encuentran coaccionadas por pilares de gran rigidez.

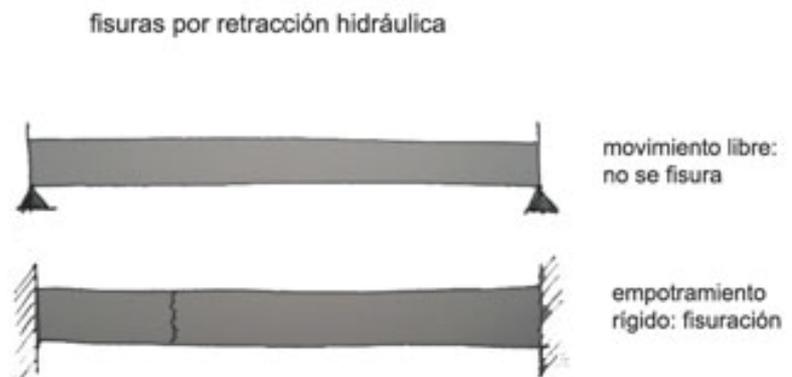


Figura 20. Fisuras por retracción hidráulica en elementos restringidos

Un caso típico de fisuras de retracción hidráulica lo tenemos en el caso de un pórtico con dos vigas a distinto nivel. Si la viga superior tiene más rigidez y está más armada que la inferior retraerá menos que ésta, dando lugar a que ésta última sea la que se fisure.

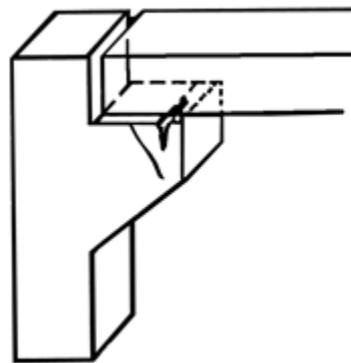


Figura 21. Fisuras por retracción hidráulica en ménsula.

La fisuración por retracción hidráulica puede afectar solamente a los recubrimientos. Esto ocurre en los elementos muy armados en los que las propias armaduras son las que

coaccionan los movimientos del núcleo de la pieza y no los de ellos que al ser más superficiales son más propensos a retraer, dando lugar a la aparición de fisuras superficiales y en ocasiones a pequeños desprendimientos localizados en zonas del recubrimiento.

CAPITULO 4

4. CONTROL DE LAS FISURAS POR RETRACCION.

El método más comúnmente usado para disminuir la retracción es reducir la relación agua-cemento que como hemos visto determina en gran medida el valor de esta.

Las buenas prácticas de diseño y construcción pueden minimizar la cantidad de fisuración así como el usar armaduras y juntas de construcción adecuadas pueden eliminar o controlar las grandes fisuras visibles. En la mayoría de las estructuras la fisuración debida a la retracción por secado nunca se puede eliminar. Este capítulo abarca el control de la fisuración.

Si las superficies están expuestas a aire con baja humedad relativa o a fuertes vientos, el hormigón tiende a retraerse por efecto del secado. Debido a que diferentes tipos de restricciones impiden que el hormigón se contraiga libremente es de esperar que ocurra fisuración, a menos que la humedad relativa ambiente se mantenga próxima a 100%.

El control de la fisuración consiste en reducir a un mínimo la tendencia a la fisuración del hormigón, usando armaduras adecuadas correctamente ubicadas, y usando juntas de retracción.

La fisuración también se puede minimizar usando cementos expansivos para producir hormigones compensadores de la retracción y con apropiados métodos constructivos.

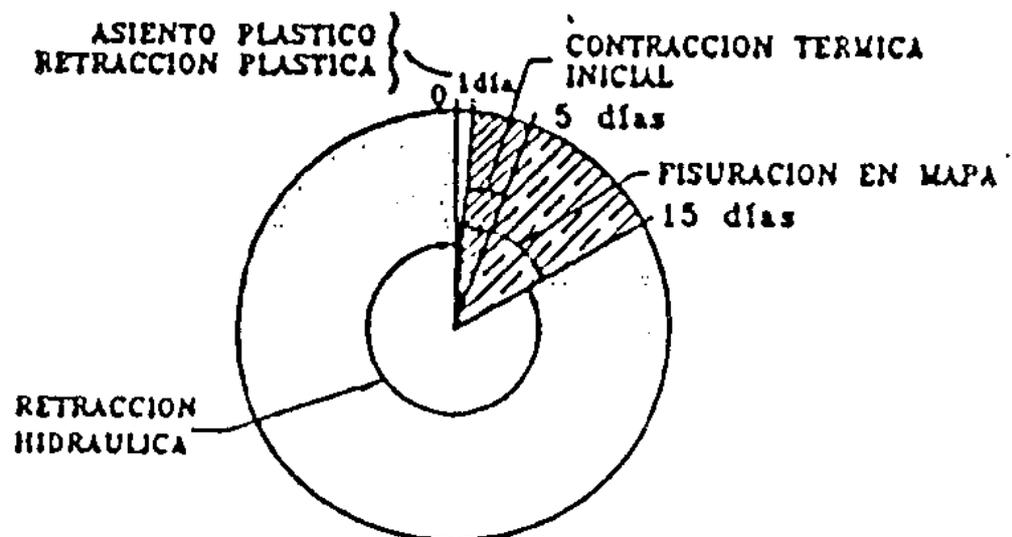


Figura 22. Fisuras en el primer año del hormigón.

4.1 Reducción de la tendencia a la fisuración.

La mayoría de las medidas que se pueden adoptar para reducir la retracción del hormigón también reducirán la tendencia a la fisuración; la retracción por secado se puede reducir:

- Usando menos agua en la mezcla ; y
- El mayor tamaño máximo de agregado posible, pero que preferiblemente no sea mayor a $\frac{3}{4}$ de pulgada para que haya mayor adherencia

Se puede lograr un menor contenido de agua:

- Usando un agregado bien graduado
- Una consistencia más rígida ; y
- Una mayor temperatura inicial del hormigón.

El hormigón puede soportar mayores deformaciones por tracción si la tensión se aplica lentamente; por lo tanto, es recomendable impedir el secado rápido del hormigón. El secado rápido del hormigón se puede impedir usando compuestos de curado, aún después de un curado con agua.

4.2 Armaduras.

La correcta ubicación y el empleo de adecuadas cantidades de armaduras disminuirán el número y ancho de las fisuras. Si se distribuyen las

deformaciones por retracción a lo largo de la armadura, las fisuras se distribuirán de una manera tal que se producirán un mayor número de fisuras de poca abertura que unas pocas fisuras muy abiertas.

En ACI 318 ó ACI 350R se indica la mínima cantidad y separación de armadura a utilizar en losas de piso, losas de techo y muros estructurales para controlar la fisuración por temperatura y retracción. La cuantía mínima de armadura (entre 0,18 y 0,20%) normalmente no controla las fisuras manteniéndolas dentro de límites de diseño aceptables.

Para controlar las fisuras y mantenerlas en un nivel en general aceptable es necesario que la cuantía requerida sea mayor que alrededor de 0,60%.



Fotografía 7. Colocado de armadura de hierro en una piscina.

4.3 Juntas

Utilizar juntas es un método efectivo para evitar la formación de fisuras, ya que si se tiene una longitud o superficie considerable de hormigón, como por ejemplo un muro, losa o pavimento, y no se proveen juntas adecuadas, el hormigón se fisurará y formará sus propias juntas.

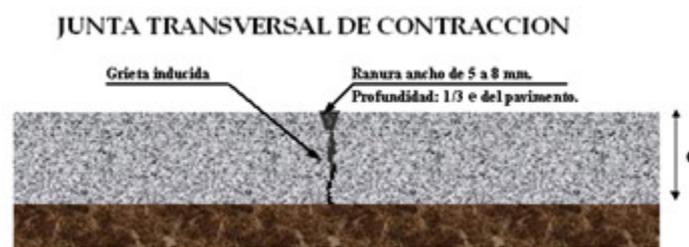


Figura 23. Junta de Contracción.



Fotografía 8. Fisura en la Junta de Contracción.

Para determinar dónde colocar las juntas se deberá estudiar cada elemento en forma individual. ACI 224.3R trata el uso de juntas en las construcciones de hormigón. ACI 504R y ACI 302.1R contienen lineamientos sobre

selladores para juntas y ubicación de juntas de contracción en losas de hormigón.



Fotografía 9. Aserramiento mecánico de una junta de contracción.

4.4 Hormigón compensador de la retracción.

Se puede utilizar hormigones especiales que compensen la retracción, los cuales se los obtendrá luego de ser preparados con alguno de los siguientes elementos:

- Cementos expansivos o sin retracción para minimizar o eliminar la fisuración por retracción.
- Aditivos expansores como Oxido de Calcio (cal) (CaO) o sulfoaluminato de calcio ($4\text{CaO}-3\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SO}_3$) que ayuden a la formación de la ettringita (sulfoaluminato cálcico hidratado).
- Fibras especiales que combatan retracción.

En ACI 223, ACI 223 (1970), ACI SP-38 y ACI SP-64 se resumen las propiedades y aplicaciones del hormigón de cemento expansivo. De los diversos cementos expansivos producidos en el pasado, actualmente el cemento compensador de la retracción Tipo K (ASTM C 845) es el único disponible en los Estados Unidos. También es posible conseguir diversos materiales que se pueden usar como componentes para elaborar hormigón compensador de la retracción.

Para permitir una expansión adecuada es posible que sea necesario prever detalles especiales en las juntas.

En la Figura 23 se compara un caso típico de cambio de longitud de un hormigón compensador de la retracción con la de un hormigón de cemento portland, se observara que durante los primeros días de curado húmedo el hormigón normal puede experimentar una leve expansión, que rápidamente se revierte en una fuerte contracción apenas se lo expone al medio ambiente mientras que el HRC en cambio, desarrolla una importante expansión durante la fase de curado húmedo que permite compensar la posterior retracción que se produce en el período de desecamiento; además es visible que después de la expansión inicial que se produce en los primeros 7 días de curado en ambiente húmedo, la retracción por secado del HRC tiene características similares a la de un hormigón normal por lo que a partir de los 7 días las dos curvas son aproximadamente paralelas estando la del HRC

desplazada un valor igual a la expansión alcanzada durante los primeros 7 días.

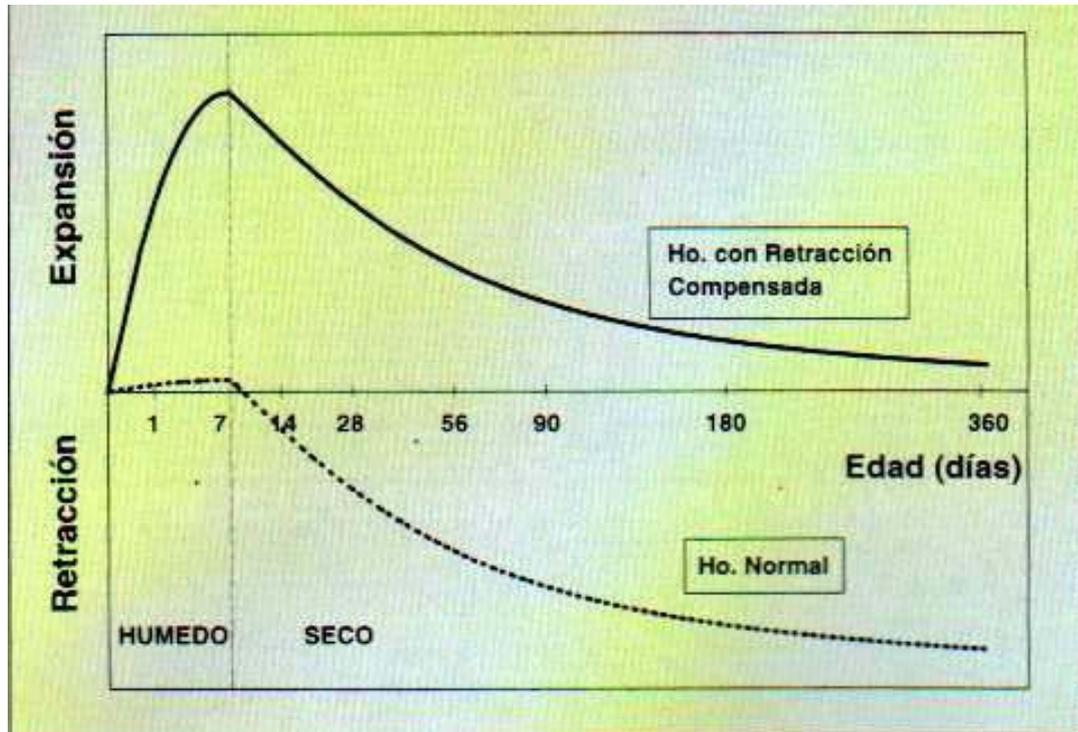


Figura 24. Comportamiento HRC vs. Hormigón Normal (HR=50%).

Para lograr esa expansión controlada existen hoy dos posibilidades: usar cementos expansivos o usar aditivos expansores. En ambos casos lo que se hace es incorporar en el hormigón una cantidad controlada de compuestos expansivos, principalmente Sulfoaluminato de Calcio ($4\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_3$) y/u Oxido de Calcio. El primero, al hidratarse conjuntamente con el cemento portland, produce ettringita, en tanto que el segundo produce hidróxido de calcio, generando expansiones que, como suceden en las primeras edades

del hormigón, no provocan los problemas destructivos asociados con estas reacciones a larga edad.

El uso de cementos expansivos (típicamente el Cemento Tipo K) se ha dado principalmente en U.S.A., donde están sus únicos productores. El uso de aditivos expansores se desarrolló en Japón donde se fabrican los productos más conocidos en el mercado: uno en base a sulfoaluminato de calcio y otro en base a una combinación de óxido de calcio y sulfoaluminato de calcio.

Los tipos de fibras más comúnmente utilizados en concreto son los sintéticos, que comprenden materiales de polipropileno, nylon, poliéster y polietileno.

La presencia de fibra soporta a la mezcla homogénea y funciona como millones de puentes que distribuyen uniformemente los esfuerzos internos de retracción que tratan de separar la mezcla. Estas mismas fibras interceptan la propagación de las microgrietas y paralizan su crecimiento. Las fibras interrumpen la acción capilar de la humedad y por ende permiten un curado más lento.

Las fibras deben repartirse de forma uniforme en la mezcla, y la orientación de la misma suele ser aleatoria, las fibras son eficaces para el control de las grietas, por que le dan a la mezcla de hormigón un refuerzo en todas las direcciones.

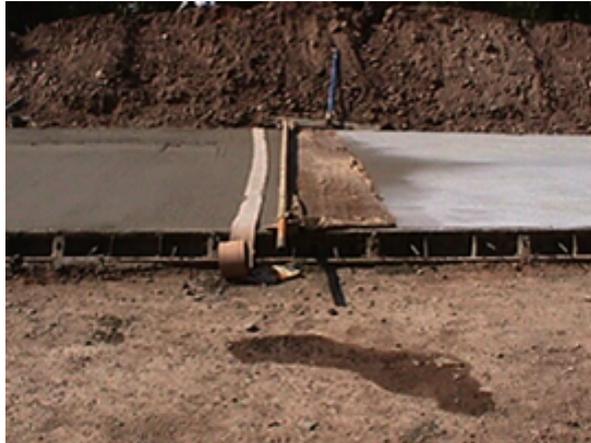
4.4.1 Importancia del Curado.

Para aprovechar plenamente el potencial expansivo del hormigón compensador de la retracción, y para minimizar o impedir la fisuración por retracción de las superficies de hormigón, es importante iniciar un curado con agua efectivo e ininterrumpido (cubierta húmeda o inundación) inmediatamente después del acabado final.



Fotografía 10. Losa inundada para curado

En losas sobre subrasantes bien saturadas se han usado exitosamente tanto el curado con membranas humedecidas por rociado como las cubiertas impermeables. Si un hormigón compensador de la retracción no se cura adecuadamente, se puede producir una expansión insuficiente lo que hará que el hormigón se fisure por retracción por secado. La norma ACI 223R contiene recomendaciones e información específica sobre el uso de hormigón compensador de la retracción.



Fotografía 11. Curado con membrana.

Para que el sistema funcione adecuadamente, la expansión inicial debe ser controlada. En caso de que ella fuera insuficiente o se generara cuando el hormigón está aún blando, no se alcanzaría el objetivo buscado y el hormigón se fisuraría. En el otro extremo, si ella fuera excesiva en magnitud o en duración, el hormigón podría sufrir daños por expansión.

4.5 Métodos Constructivos adecuados.

4.5.1 Contenido de Agua.

La retracción por secado del hormigón es proporcional al contenido de agua de la mezcla, así que usar un hormigón con el menor asentamiento posible ayuda al control de la fisuración. La elección de la dosificación que requiera la menor cantidad de agua para la

resistencia y durabilidad deseadas es un factor de fundamental importancia. Esto significa evitar las mezclas con exceso de arena, usar el máximo tamaño de agregado posible y usar agregados con la forma y la gradación granulométrica más favorables. También significa usar una arena bien graduada con un mínimo de finos pasantes tamiz 100 y libre de arcilla, de manera que su equivalente de arena no sea menor que 80% (AASHTO T 176).

La retracción tiende a ser proporcional al volumen total de pasta en la mezcla.

4.5.2 Secado Superficial.

A menos que la superficie esté sumergida o bajo tierra habrá secado superficial, así que uno de los principales objetivos del control de la fisuración es mantener el hormigón húmedo tanto como sea posible para que tenga tiempo de desarrollar más resistencia y resistir las fuerzas de fisuración. Sin embargo, hay algunos casos en los cuales un prolongado curado húmedo no resulta beneficioso. La importancia del curado húmedo variará dependiendo de las condiciones climáticas y la estación del año. El hormigón frío (a menos de 10 °C [50 °F]) se seca muy lentamente siempre que la humedad relativa esté por encima de 40%. A cierta profundidad el hormigón pierde la humedad lentamente. Si el secado superficial puede ser rápido, es necesario un

curado ininterrumpido para mejorar la resistencia superficial. La fisuración se reducirá aún más si se impide que la superficie se seque rápidamente al final del período de curado. Para lograr un secado lento, se debe dejar el curado húmedo sin mojar varios días después del final del período de curado especificado (preferentemente entre 7 y 10 días), hasta que la cubierta y el hormigón debajo de la misma parezcan secos. Si es necesario utilizar estos procedimientos, se los debería incluir en los documentos contractuales.

4.6 Control de Fisuras por Retracción Plástica.

Algunas veces las fisuras por retracción plástica aparecen durante la construcción, esto es lo suficientemente temprano como para ser eliminadas usando una llana o fratás, puede ocurrir que durante el fratasado se note que al pasar el fratás, el hormigón no puede trabajarse debido a que el material de superficie está más rígido que el de masa ya que perdió agua. Esto se soluciona generando un leve rocío superficial (no riego) que reincorpore el contenido de agua de la superficie del hormigón, se recomienda realizar estas operaciones tan rápido como sea posible ya que si estas fisuras no se detectan y corrigen a tiempo luego no resulta sencillo eliminarlas.

En otros casos el uso temprano de la llana puede destruir la tracción creciente re trabajando el mortero superficial e impidiendo la fisuración plástica. Apenas aparezcan las fisuras, si el estado del hormigón aún lo

permite, se debería intentar cerrar las fisuras mediante apisonado o golpeando con una llana.



Fotografía 12. Fratasado de losa de hormigón.

Si las fisuras se cierran firmemente es poco probable que vuelvan a aparecer. Sin embargo, si “a penas” se pasa un fratás sobre la superficie del hormigón, las fisuras pueden aparecer nuevamente. En cualquier caso el curado se debe iniciar tan pronto como sea posible.



Fotografía 13. Acabado superficial de un pavimento de hormigón.

Para prevenir la pérdida de humedad superficial que es lo que ocasiona las fisuras por retracción plástica se podrían tomar algunas medidas como: uso de boquillas de niebla (no de pulverizado) para mantener una delgada capa de humedad sobre la superficie, enrollar y desenrollar rollos de lámina plástica antes y después de aplicar la llana, preferentemente exponiendo sólo el área sobre la cual se está trabajando en el momento. Una precaución útil pero menos efectiva serían los films de polietileno que inhiben la evaporación y el uso de rompevientos para reducir la velocidad del mismo sobre la superficie expuesta.



Fotografía 14. Membrana de Impermeabilización.

Otras prácticas útiles para contrarrestar la excesiva pérdida de humedad superficial consisten en colocar sobre una superficie bien humedecida (mojar el encofrado), enfriar los agregados humedeciéndolos y colocándolos a la sombra, usar agua fría o hielo triturado como agua de amasado para bajar la temperatura del hormigón fresco y también se pueden utilizar fibras sintéticas para reducir la fisuración; es conveniente como parte del proceso constructivo no echar agua sobre el hormigón o en la mezcla para hacerlo más trabajable, y evitar exceso de finos en el hormigón.

CONCLUSIONES.

- Ningún método de control de fisuramiento por retracción garantiza que las fisuras sean evitadas, se puede reducir su propagación o su tamaño pero no eliminarlas.
- La relación agua/cemento es el principal factor que se debe cuidar en el diseño de las mezclas, procurando que sea baja pero no con mucho contenido de cemento ya que este tiene influencia para elevar la retracción, considerando un rango de 0.35 a 0.5 como idóneo.
- A mayor resistencia del hormigón mayor será la retracción que se produzca, ya que para obtener resistencias altas se necesitara mayor cantidad de cemento y cuanto más resistente sea este habrá más deshidratación del hormigón.

- El hormigón en masa retrae más que el hormigón armado, porque en un hormigón armado el hierro soportará los esfuerzos de tensión.
- La retracción será mayor cuanto menor sea el espesor de la pieza hormigonada, debido a que menor espesor más rápido es la deshidratación de la masa de hormigón.
- A mayor temperatura ambiental también será mayor la retracción, debido a que temperaturas altas hacen que el hormigón se deshidrate más rápido.
- Cuanto mayor sea la superficie del elemento habrá más retracción, ya que a mayor superficie del elemento las tensiones internas serán mayores y por ende mayor retracción.
- Se debe tener mucho cuidado en el curado del hormigón, no terminarlo súbitamente y procurar seguirlo haciendo algún tiempo después de que termine el curado húmedo.
- A mayor grado de restricción que posea una estructura de hormigón mayor será su retracción y por ende la fisuración.
- El éxito en el uso de los HRC radica en que se pueda dar una expansión en la mezcla durante los primeros 7 días de curado que

compense la retracción por secado que tendrá lugar después en el hormigón.

BIBLIOGRAFÍA.

- **ACI 209R-92, (1992).** American Concrete Institute Committee 209, Prediction of Creep, Shrinkage and temperature effects in concrete structures.
- **ACI 209.1R-05, (2005).** American Concrete Institute Committee 209, Report on Factors affecting shrinkage and creep of hardened concrete.
- **ACI 223.** Standard Practice for the Use of Shrinkage-Compensating Concrete.
- **ACI 224.3R.** Joints in Concrete Construction.
- **ACI 318-08 (2008).** Building Code Requirements for Structural Concrete.

- **ACI 350R-01 (2001).** Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures
- **Agramati Landsberger Galit,** Estudio sobre la aplicabilidad de los modelos de cálculo de la fluencia y retracción al hormigón autocompactable, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- **Aguado A., Gettu, R, (1993).** Creep and shrinkage of high-performance concretes, Creep and shrinkage of concrete: *Proceedings of the 5th International RILEM Symposium*, pp. 481-491.
- **Bazant, Z.P., Carol, I., (1993).** Preliminary guidelines and recommendation for characterizing creep and shrinkage in structural design codes Creep and shrinkage of concrete, *Proceedings of the 5th International RILEM Symposium*, pp. 805-830.
- **Bissonnete, B., Pierre, P., Pigeon, M., (1999).** Influence of key parameters on drying shrinkage of cementitious materials, *Cement and Concrete Research*, 25(5), pp. 1075-1085.
- **Brook J.J., Neville, (1992).** Creep and Shrinkage of concrete as affected by admixtures and cement replacement, *ACI SP 135-2*, pp. 19-36.

- **Brooks J.J. (2001).** A Theory for drying creep of concrete. *Cement and Concrete Research*, vol. 53, pp. 51-61.
- **Bui, K., Montgomery, D., (1999),** Drying Shrinkage of self-compacting concrete containing milled limestone. *1st international RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm*, pp. 227-238.
- **Calderón Bello Enrique,** Estudio experimental de la fisuración en piezas de hormigón armado sometidas a flexión pura, Universidad Politécnica de Madrid.
- **Comité ACI 224.** Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón. ACI 224R-01
- **Delibes Liniers, A. (2003).** *Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón*, INTEMAC Ediciones.
- **Díaz Martínez Faustino,** Análisis Experimental de la Contracción por Secado en Mezclas de Concreto Hidráulico, UDLA Puebla.
- **García Aymar Pedro Antonio.** Verificación de la dosificación de fibras sintéticas para neutralizar las fisuras causadas por contracción plástica en el concreto, Universidad Ricardo Palma, Perú.

- **García Madrid Tomas, Hortsman Peter.** Hormigones y morteros sin retracción. Revista de Obras Publicas.
- **Mehta K.P., Monteiro, P.J.M., (1993),** Concrete – Estructura. Propiedades y materiales. Versión traducida al español por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto en 1998.
- **Mindess, S., Young, F.J., (1981).** *Concrete.* Prentice-Hall.
- **Neville, A.M. (1995).** *Properties of Concrete*, 4th ed., Longman Group, Londres, Inglaterra.
- **Neville, A.M.,** *Tecnología del Concreto*, México – 1999
- **Newman, J., Choo, B.S., (2003).** *Advanced concrete Technology.*
- **Song, H.W., Byun, K.J., Kim, S.H., Choi, D.H., (2001).** Early-age creep and shrinkage in self-compacting concrete incorporating GGBFS, *Proceedings of the Second International Symposium on SCC*, pp. 413-21.
- **Zanni Enrique.** Patología de la construcción y restauro de obras de Arquitectura.
- <http://books.google.com.ec>

- <http://www.cybertesis.net>
- <http://www.elprisma.com>
- <http://www.construpedia.com>
- <http://www.concrete.org>