

# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Influencia del tamaño de agregado grueso y de la cantidad  
de mortero en la contracción plástica del concreto elaborado  
con cemento hidráulico

Trabajo de graduación presentado por José Fulvio Alvizures Flores  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala

2016



Influencia del tamaño de agregado grueso y de la cantidad de mortero en la contracción plástica del concreto elaborado con cemento hidráulico

# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

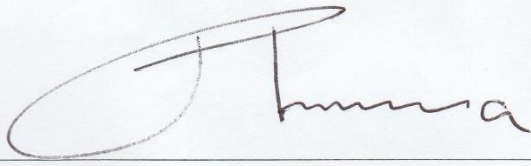
Influencia del tamaño de agregado grueso y de la cantidad  
de mortero en la contracción plástica del concreto elaborado  
con cemento hidráulico

Trabajo de graduación presentado por José Fulvio Alvizures Flores  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala

2016

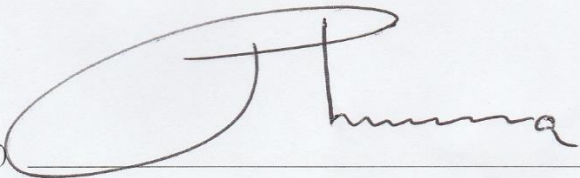
Vo. Bo. :

(f) 

Ing. Plinio Estuardo Herrera Rodas

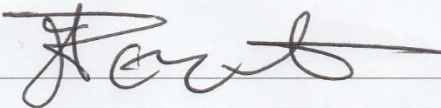
**Plinio Estuardo Herrera Rodas**  
*Ingeniero Civil*  
*Colegiado No. 3876*

Tribunal Examinador:

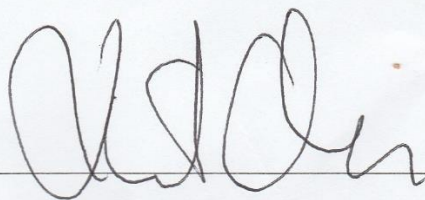
(f) 

Ing. Plinio Estuardo Herrera Rodas

**Plinio Estuardo Herrera Rodas**  
*Ingeniero Civil*  
*Colegiado No. 3876*

(f) 

Ing. Estuardo Palencia

(f) 

Ing. Roberto Godo Levensen

Fecha de aprobación: Guatemala, 07 de Diciembre del 2,016.

# PREFACIO

El interés de elaborar un trabajo de graduación tomando como referencia al concreto, surgió desde que empecé a trabajar en una empresa productora. Conocí las propiedades y aplicaciones que tiene este material en la industria de la construcción, tuve la oportunidad de leer varios documentos y obtener certificaciones. Me parece muy interesante la cantidad de información técnica e investigaciones que se han elaborado, así como las tendencias a futuro, por eso mismo me gustaría investigar más a fondo su comportamiento al variar la cantidad de sus componentes y exponerlo a un ambiente controlado con una tasa de evaporación alta.

He podido observar la diferencia entre constructores que fabrican concreto sin tomar en cuenta los cuidados para obtener un producto de buena calidad, y los que tienen como referencia documentos y procedimientos técnicos que garantizan un concreto con una buena apariencia y resistencia.

El concreto dependiendo de las características en su estado plástico como endurecido, se puede clasificar en diferentes tipos, así mismo se pueden mejorar utilizando aditivos químicos. La apariencia es un requisito que se exige, aunque no afecte la resistencia y durabilidad del concreto.

Para este trabajo de graduación, elegí efectuar una investigación y hacer pruebas sobre el efecto de la contracción plástica en el concreto, debido a que es un problema muy frecuente en la construcción y es un tema en el que me interesa profundizar más.

Al mismo tiempo quisiera aprovechar para agradecer a:

<b>Dios</b>	Por servirme de inspiración y darme la oportunidad de vivir.
<b>Mis padres</b>	Victor Manuel Alvizures y María del Carmen Flores Veliz
<b>Asesor</b>	Ingeniero Plinio Estuardo Herrera Rodas, por la asesoría brindada a este trabajo de graduación
<b>Ingenieros</b>	Ariel Osorio Cosoguá, por apoyarme en todo momento durante la realización de ensayos y análisis.
<b>Cementos Progreso</b>	Permitirme efectuar los ensayos en las instalaciones y prestarme los equipos para las pruebas
<b>Universidad del Valle de Guatemala</b>	Facultad de Ingeniería Civil

# CONTENIDO

PREFACIO .....	V
LISTA DE CUADROS .....	IX
LISTA DE GRÁFICOS .....	XI
RESUMEN .....	XIII
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. AGREGADOS PARA CONCRETO .....	2
A. Clasificación de las rocas por su origen .....	4
B. Granulometría .....	5
C. Requisitos del agregado fino .....	6
D. Requisitos del agregado grueso .....	7
E. Masa volumétrica (masa unitaria) y vacíos .....	9
F. Masa específica relativa .....	9
G. Masa específica .....	10
H. Absorción y humedad superficial .....	10
I. Sustancias perjudiciales para los agregados .....	11
J. Agregado fino .....	11
K. Agregado grueso .....	13
L. Reacción álcali-agregado .....	15
M. Reacción álcali-sílice .....	15
N. Reacción álcali-carbonato (RAC) .....	17
III. DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO .....	18
<input type="checkbox"/> Manejabilidad: .....	18
<input type="checkbox"/> Consistencia: .....	18
<input type="checkbox"/> Adiciones: .....	19
A. Procedimiento para elaborar un diseño de mezcla .....	19
Paso 1. Elección del asentamiento: .....	19
Paso 2. Elección del tamaño máximo del agregado: .....	20
Paso 3. Estimación de la cantidad de agua y aire: .....	20
<input type="checkbox"/> Exposición baja .....	21
<input type="checkbox"/> Exposición media .....	21
<input type="checkbox"/> Exposición extrema: .....	21
Paso 4. Elección de la relación agua-cemento (A/C): .....	21
Paso 5. Cálculo de la cantidad de cemento: .....	24

Paso 6. Estimación de la cantidad de agregado grueso: .....	24
Paso 7. Estimación del contenido de agregado fino: .....	24
Paso 8. Ajuste por humedad de los agregados: .....	25
Paso 9. Mezcla de prueba y ajustes: .....	25
B.    Ejemplo de diseño de mezcla.....	26
Paso 1. Elección del asentamiento: .....	26
Paso 2. Elección del tamaño máximo del agregado: .....	26
Paso 3. Estimación de la cantidad de agua y aire: .....	26
Paso 4. Elección de la relación agua-cemento (A/C): .....	27
Paso 5. Cálculo de la cantidad de cemento:.....	27
Paso 6. Estimación de la cantidad de agregado grueso: .....	27
Paso 7. Estimación del contenido de agregado fino: .....	27
Paso 8. Ajuste por humedad de los agregados: .....	28
Paso 9. Mezcla de prueba y ajustes .....	29
IV.    CLIMA CALUROSO .....	30
A.    Problemas potenciales en climas calurosos.....	30
B.    Tasa de evaporación.....	32
C.    Efecto del agua en el concreto .....	33
D.    Efecto del cemento.....	37
E.    Aditivos químicos .....	38
F.    Control de la temperatura del concreto .....	39
V.    CONTRACCIÓN PLÁSTICA.....	41
A.    Fisuras por contracción plástica.....	41
VI.    EVALUACIÓN DEL AGRIETAMIENTO POR CONTRACCIÓN PLÁSTICA .....	43
A.    Equipos .....	44
1.    Moldes:.....	44
2.    Elevador de tensión y sistema de retención interno:.....	44
3.    Ventilador de velocidad variable:.....	45
4.    Cámara ambiental:.....	45
5.    Sensores:.....	47
6.    Plataforma vibratoria:.....	47
7.    Equipo para acabado superficial:.....	48
8.    Cacerola de monitoreo:.....	48
9.    Escala: .....	48
10.   Herramienta de medición de la fisura.....	48
B.    Procedimiento .....	48

VII.	DETERMINACIÓN DEL FRAGUADO POR SU RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (COGUANOR NTG 41017 h12)	50
A.	Equipo	50
1.	Contenedores para las especificaciones de mortero:	50
2.	Agujas de penetración:	50
3.	Aparato de aplicación de carga:	51
4.	Varilla apisonadora:	51
5.	Pipeta:	51
6.	Termómetro:	51
B.	Muestreo	52
	Tamizado en húmedo NTG 41057 (ASTM C172):	52
C.	Procedimiento	53
VIII.	ENSAYO PRÁCTICO	55
A.	Documentación de las pruebas	55
B.	Análisis de los resultados	75
IX.	CONCLUSIONES	77
X.	RECOMENDACIONES	78
A.	ENSAYOS:	78
B.	INVESTIGACIÓN:	78
C.	CONSTRUCCIÓN:	79
XI.	BIBLIOGRAFÍA	80
XII.	ANEXOS	81
	Resultados de resistencia	81

# LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Clasificación de las rocas según su origen. ....	4
Cuadro 2: Límites establecidos para el agregado fino .....	6
Cuadro 3: Ejemplo del cálculo del módulo de finura.....	7
Cuadro 4: Límites establecidos para el agregado grueso según la NTG41007. ....	8
Cuadro 5: Sustancias RAS y RAC. ....	11
Cuadro 6: Porcentaje del tamiz 200 máximo permisible en agregados finos .....	12
Cuadro 7: Límites de que deben cumplir los agregados gruesos para no comprometer la calidad del concreto.....	14
Cuadro 8: Asentamientos recomendados para diversos tipos de obras .....	20
Cuadro 9: Estimación de la cantidad de agua y contenido de aire .....	21
Cuadro 10: Resistencia promedio requerida a compresión cuando existen datos disponibles para establecer una desviación estándar.....	22
Cuadro 11: Factor de modificación a la desviación estándar cuando existen de 15 a 29 datos disponibles ..	22
Cuadro 12: Resistencia promedio requerida a compresión cuando no se dispone de datos para establecer una desviación estándar .....	23
Cuadro 13: Valores de la relación A/C para determinada resistencia .....	23
Cuadro 14: Máximas relaciones A/C para concreto expuesto a condiciones severas .....	23
Cuadro 15: Volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto .....	24
Cuadro 16: Estimación del peso unitario del concreto, dependiendo del tamaño nominal máximo del agregado.....	25
Cuadro No.18: Resultados obtenidos en túnel de viento para la muestra del concreto 4000 con tamaño máximo 3/8" (testigo) .....	64
Cuadro No.19: Resultados obtenidos en túnel de viento para la muestra del concreto 4000 con tamaño máximo de 3/8", con 4% menos de agregado grueso.....	64
Cuadro No.20: Resultados obtenidos en túnel de viento para la muestra del concreto 4000 con tamaño máximo de 3/8", con 4% más de agregado grueso.....	65
Cuadro No.21: Resultados obtenidos en túnel de viento para la muestra del concreto 4000 con tamaño máximo de 3/4" (testigo).....	65
Cuadro No.22: Resultados obtenidos en túnel de viento para la muestra del concreto 4000 con tamaño máximo de 3/4", con 4% menos de agregado grueso.....	66
Cuadro No.23: Resultados obtenidos en túnel de viento para la muestra del concreto 4000 con tamaño máximo de 3/4", con 4% más de agregado grueso.....	66
Cuadro No.24: Resultados de la prueba de fraguado por medio del penetrómetro, a la muestra de concreto 4000 PSI con tamaño máximo de 3/8", testigo .....	67
Cuadro No.25: Resultados de la prueba de fraguado por medio del penetrómetro, a la muestra de concreto 4000 PSI con tamaño máximo de 3/8", 4% menos de agregado grueso.....	68

Cuadro No.26: Resultados de la prueba de fraguado por medio del penetrómetro, a la muestra de concreto 4000 PSI con tamaño máximo de 3/8", 4% más de agregado grueso.....	69
Cuadro No.27: Resultados de la prueba de fraguado por medio del penetrómetro, a la muestra de concreto 4000 PSI con tamaño máximo de 3/4", testigo .....	70
Cuadro No.28: Resultados de la prueba de fraguado por medio del penetrómetro, a la muestra de concreto 4000 PSI con tamaño máximo de 3/4", 4% menos de agregado grueso.....	71
Cuadro No.29: Resultados de la prueba de fraguado por medio del penetrómetro, a la muestra de concreto 4000 PSI con tamaño máximo de 3/4", 4% más de agregado grueso.....	72
Cuadro No.30: Resultados de la medición de ancho de fisura promedio en las muestras de concreto 4000 PSI con tamaño máximo de 3/8" .....	73
Cuadro No.31: Resultados de la medición de ancho de fisura promedio en las muestras de concreto 4000 PSI con tamaño máximo 3/4" .....	73
Cuadro No.32: Datos de las mezclas a ensayar y resumen de resultados obtenidos .....	74

# LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Agregado fino (Conocido también como arena) .....	2
Gráfico 2: Agregado grueso canto rodado izquierda, triturada lado derecho .....	2
Gráfico 3: Agregado utilizado para concreto, con diferentes tamaños.....	5
Gráfico 4: Influencia de la variación en el tamaño del agregado para llenar vacíos .....	6
Gráfico 5: Cantidad de agua presente en los vacíos del agregado.....	10
Gráfica 6: Colorímetro .....	13
Gráfico 7: Ubicación de regiones de intemperización en la república de Guatemala .....	15
Gráfico 8: Fisuras causadas por las RAS .....	16
Gráfico 9: Erupciones causadas por la RAS .....	16
Gráfico 10: Nomograma para el cálculo de la tasa de evaporación .....	34
Gráfico 11: Efecto de la temperatura del concreto en el asentamiento y en el agua necesaria para cambiar el asentamiento .....	35
Gráfico 12: Efecto del aumento de temperatura en los requerimientos de agua para el concreto .....	35
Gráfico 13: Efectos generales del hielo en el agua del mezclado sobre la temperatura del concreto.....	36
Gráfico 14: Efecto de la temperatura y de la marca de cemento en las características del tiempo de fraguado de los morteros de concreto. ....	37
Gráfico 15: Influencia de la temperatura de los ingredientes del concreto .....	39
Gráfico 16: Fisuras causadas por la contracción plástica.....	42
Gráfico 17: Molde para evaluar la contracción plástica del concreto fresco.....	44
Gráfico 18: Elevador de tensión y sistema de retención interno .....	45
Gráfico 19: Ejemplo de caja ventilada para mantener las condiciones ambientales .....	46
Gráfico 20: Ejemplo de cámara mantener las condiciones ambientales .....	47
Gráfico 21: Dimensiones de los contenedores para las especificaciones de mortero.....	50
Gráfico 22: Ejemplo de penetrómetro.....	51
Gráfico 23: Distancia que debe quedar libre entre impresiones con las agujas.....	53
Gráfico 24: Elaboración de mezclas de prueba (0.045 m <sup>3</sup> ) .....	55
Gráfico 25: Prueba de asentamiento .....	56
Gráfico 26: Prueba de temperatura .....	56
Gráfico 27: Prueba de peso de campo.....	57
Gráfico 28: Prueba de porcentaje de aire .....	57
Gráfico 29: Cilindros para prueba de concreto endurecido.....	58
Gráfico 30: Cribado en húmedo.....	58
Gráfico 31: Molde para fabricación de especímenes de prueba.....	59

Gráfico 32: Pruebas en túnel de viento (temperatura, humedad, velocidad del viento, tasa de evaporación y fraguado).....	59
Gráfico 33: Prueba de penetrometro para determinar el tiempo de fraguado.....	60
Gráfico 34: Medición del ancho de la fisura.....	60
Gráfico 35: Fisura en muestra de concreto testigo 4000 PSI tamaño máximo de 3/8".....	61
Gráfico 36: Fisura en muestra de concreto 4000 PSI tamaño máximo de 3/8", 4% menos de agregado grueso.....	61
Gráfico 37: Fisura en muestra de concreto 4000 PSI tamaño máximo de 3/8", 4% más de agregado grueso.....	62
Gráfico 38: Fisura en muestra de concreto testigo 4000 PSI tamaño máximo de 3/4".....	62
Gráfico 39: Fisura en muestra de concreto 4000 PSI tamaño máximo de 3/4", 4% menos de agregado grueso.....	63
Gráfico 40: Fisura en muestra de concreto 4000 PSI tamaño máximo 3/4", 4% más de agregado grueso.....	63
Gráfico 41: Gráfico del tiempo de fraguado por medio del penetrómetro para el concreto de 4000 PSI con tamaño máximo de 3/8", testigo.....	67
Gráfico 42: Gráfico del tiempo de fraguado por medio del penetrómetro para el concreto de 4000 PSI con tamaño máximo de 3/8", 4% menos de agregado grueso.....	68
Gráfico 43: Gráfico del tiempo de fraguado por medio del penetrómetro para el concreto de 4000 PSI con tamaño máximo de 3/8", 4% más de agregado grueso.....	69
Gráfico 44: Gráfico del tiempo de fraguado por medio del penetrómetro para el concreto de 4000 PSI con tamaño máximo de 3/4", testigo.....	70
Gráfico 45: Gráfico del tiempo de fraguado por medio del penetrómetro para el concreto de 4000 PSI con tamaño máximo de 3/4", 4% menos de agregado grueso.....	71
Gráfico 46: Gráfico del tiempo de fraguado por medio del penetrómetro para el concreto de 4000 PSI con tamaño máximo de 3/4", 4% más de agregado grueso.....	72

## RESUMEN

La contracción plástica del concreto se ve afectada en su mayoría por factores ambientales, como son la temperatura del concreto y del ambiente, la velocidad del viento y la humedad relativa, el resultado son las fisuras que a pesar de no comprometer estructuralmente los elementos, son antiestéticas. Al diseñar mezclas de concreto, según los documentos, se debería de utilizar el mayor tamaño máximo del agregado y en una buena proporción para minimizar la aparición de este tipo de fisuras, siempre y cuando se cumpla con los requisitos de la ACI 318-14 en cuanto a elección del tamaño máximo del agregado.

En el presente trabajo se evalúa la influencia que tiene el agregado grueso y la proporción de pasta en la contracción plástica del concreto, tomando como referencia el ensayo que describe la norma ASTM C 1579. Para cumplir con todos los requerimientos descritos en la norma, se deben hacer las pruebas básicas del concreto fresco, ya que son requeridas para conocer algunas características de la mezcla evaluada.

Los resultados obtenidos en las pruebas confirman las recomendaciones de los libros, tendiendo a disminuir las fisuras por contracción plástica cuando se utiliza agregado más grande y en mayor proporción, sin embargo, se debe tener en cuenta que existen características relacionadas al bombeo y al acabado del concreto que pueden en ciertos casos limitar también la cantidad del agregado grueso.

Al incrementar la cantidad de pasta en el concreto, incrementa la demanda de agua para lograr el asentamiento deseado dando como resultado una mayor contracción plástica. Es por ello que se debe evaluar bien las proporciones y el elemento en donde se colocará el concreto.

# I. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se plantea la hipótesis de que el tamaño del agregado grueso y la cantidad de mortero (agregado fino, cemento y agua), tienen significativa influencia en la contracción plástica del concreto elaborado con cemento hidráulico. Se plantea que al tener un tamaño de agregado máximo mayor y que al disminuir la proporción de mortero en la mezcla, se reduce el efecto de las fisuras provocadas por la contracción plástica.

Los códigos ACI 211.1 y 305R detallan la importancia de diseñar mezclas con el tamaño máximo de agregado más grande y en la mayor proporción posible, con lo cual se disminuye la aparición de fisuras causadas por la contracción plástica. Otro factor muy importante mencionado en el ACI 305R es la importancia de conocer la tasa de evaporación en climas cálidos, debido a que al ser muy alta puede fisurar el concreto, así mismo propone algunas medidas que se pueden tomar para ayudar a reducir las fisuras.

En pruebas de laboratorio, se manipulan las condiciones ambientales por medio de un túnel de viento con la finalidad de obtener una tasa de evaporación arriba de  $1 \text{ kg/m}^2\text{-hr}$ , sometiendo un espécimen diseñado para fisurarse en un espacio definido. Se evalúan los resultados del concreto en su estado plástico y endurecido.

Partiendo de efectuar dos diseños testigo con agregado de tamaño máximo de  $3/8''$  y de  $3/4''$ , se procede a variar en un 4 % más y un 4% menos la proporción de agregados gruesos para cada uno de ellos, para un total de 6 mezclas de concreto. Posteriormente se les efectúan pruebas en su estado fresco, tratando que los diferentes diseños mantengan un asentamiento similar. Se fabrican especímenes que se someterán a una tasa de evaporación superior a  $1 \text{ kg/m}^2\text{-hr}$ , al llegar al fraguado final se retiran los especímenes del túnel de viento y se espera un período de  $24 \pm 2$  horas después del mezclado final para evaluar la relación de reducción de fisuras (CRR), que se detalla a profundidad en la parte práctica.

Los resultados obtenidos en la parte práctica coinciden con la hipótesis planteada, así como con las recomendaciones del ACI 211.1 al momento de diseñar una mezcla con el tamaño máximo posible del agregado, de igual forma en el ACI 305R recomienda utilizar la mayor proporción posible de agregado grueso para reducir el efecto de la contracción plástica en climas cálidos, en donde generalmente la tasa de evaporación es alta.

El uso de aditivos químicos que reducen la demanda de agua o retardan el fraguado, se utilizan actualmente para ayudar a disminuir la contracción plástica, así mismo proporcionan beneficios en la resistencia y facilidad para manejar el concreto.

## II. AGREGADOS PARA CONCRETO

Los agregados finos y gruesos ocupan entre del 60% al 75% del volumen del concreto (70% a 85% de la masa) según la PCA. Es por eso que se deben ser de buena calidad porque afectan las propiedades del concreto fresco y endurecido, tienen un costo mucho menor que el cemento, pero pueden impactar considerablemente en la economía del concreto (PCA, 2004:103).

Los agregados finos se pueden encontrar en fuentes de arena natural (por ejemplo en los ríos) o por medio de piedra triturada, la mayoría de sus partículas son menores que 5 mm (0.2 pulgadas o pasan el tamiz No.4). Los agregados gruesos pueden provenir de los ríos (cantos rodados) y son más redondeados, o de piedras de canteras que son más angulosas. Existen variaciones en el tipo, limpieza, la granulometría, humedad y otras propiedades de los agregados dependiendo la cantera de donde se obtengan y del sistema para triturarlos (PCA, 2004:103).

Gráfico 1: Agregado fino (Conocido también como arena)



(PCA, 2004:103)

Gráfico 2: Agregado grueso canto rodado izquierda, triturada lado derecho



(PCA, 2004:103)

Como indica el documento de la PCA «los agregados naturales para concreto son una mezcla de rocas y minerales. Mineral es una sustancia sólida natural con una estructura interna ordenada y una composición química que varía dentro de límites estrechos. Las rocas, se clasifican según su origen en ígneas, sedimentarias o metamórficas, generalmente se componen de varios minerales» (2004:103).

Un ejemplo es el granito que está compuesto por cuarzo, feldespato, mica y otros minerales en menor proporción. La caliza que es usada frecuentemente para producir concreto está compuesta en su mayoría por calcita, dolomita y pequeñas cantidades de cuarzo, feldespato y arcilla. El intemperismo y la erosión de las rocas producen partículas de piedra, grava, arena, limo y arcilla (PCA, 2004:103).

En la actualidad se ha encontrado una opción viable que es triturar el concreto de desperdicio o concreto reciclado, además puede ser una fuente económica. Los equipos utilizados para triturar piedras pueden ser utilizados, así como equipos más sofisticados que pueden reducir ruido y polvo durante el proceso (PCA, 2004:103).

Para utilizar los agregados en mezclas de concreto deben cumplir ciertos requisitos como indica el documento de la PCA «Los agregados deben cumplir con algunas normas para que su uso en ingeniería se optimice: deben ser partículas limpias, duras, resistentes, durables y libres de productos químicos absorbidos, revestimiento de arcilla u otros materiales finos en cantidades que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregados friables (disgregables, deleznales o desmenuzables) o capaces de rajarse son indeseables. Se deben evitar agregados que contienen cantidades apreciables de esquisto u otras rocas esquistosas, de materiales blandos y porosos. Se deben evitar, en especial, algunos tipos de cherts, pues tienen poca resistencia al intemperismo y causan defectos superficiales tales como las erupciones» (2004:103).

Los agregados que se utilizan más frecuentemente para producir concretos frescos de peso normal son la arena, grava y escoria de alto horno enfriada al aire alcanzando una masa volumétrica de 2,200 a 2,400 kg/m<sup>3</sup>, en Guatemala se utilizan agregados calizos o basálticos. Los agregados de esquistos, arcilla, pizarra y escoria expandidos son utilizados para producir estructuras de concreto ligero con masa volumétrica entre 1,350 a 1,850 kg/m<sup>3</sup>. Los materiales como piedra pómez, cagafierro, perlita, vermiculita y diatomita se utilizan para producir concretos ligeros aislantes con masas volumétricas entre 2,500 a 1,450 kg/m<sup>3</sup>. Para producir concreto de densidad elevada y blindaje para la radiación, se puede utilizar barita, limonita, magnetita, ilmenita, hematina y esperas de hierro (PCA, 2004:104).

Dependiendo de la necesidad del proyecto así se elige el tipo de agregado a utilizar, de igual forma es importante considerar el factor económico, ambiental y disponibilidad de los agregados (PCA, 2004:104).

## A. Clasificación de las rocas por su origen

Cuadro 1: Clasificación de las rocas según su origen

Minerales	Rocas ígneas	Rocas metamórficas
Sílice	Granito	Mármol
Cuarzo	Sienita	Metacuarcita
Ópalo	Diorita	Pizarra
Calcedonia	Gabro	Filita
Tridimita	Periodita	Esquisto
Cristobalita	Pegmatita	Anfibolita
Silicatos	Vidrio volcánico	Homfels (roca cómea)
Feldespato	Obsidiana	Gneis
Ferromagnesiano	Piedra pómez (pumita)	Serpentinita
Hornblenda	Tufa (toba volcánica)	
Augita	Cagafierro	
Arcilla	Perlita	
Illitas	Vidrio volcánico	
Caolines	Felsita	
Cloritas	Basalto	
Montmorinollita		
Mica	<b>Rocas Sedimentarias</b>	
Ceolita	Conglomerado	
Carbonato	Arenisca	
Calcita	Cuarcita	
Dolomita	Grauvaca	
Sulfato	Subgrauvaca (molasa)	
Yeso	Arcosa	
Anhidrita	Piedra arcillosa, limonita, argilita y esquisto	
Sulfuro de hierro	Carbonatos	
Pirita	Caliza	
Marcasita	Dolomita	
Pirolita	Marga	
Óxido de hierro	Greda (creta)	
Magnetita	Chert	
Hematita		
Goetita		
Ilmenita		
Limonita		

(PCA, 2004:104).

## B. Granulometría

La granulometría es la distribución del tamaño de las partículas de un agregado, que se determina a través del análisis de los tamices, para este documento y las pruebas prácticas se tomará como referencia la norma Guatemalteca COGUANOR 41010-h1 ( su equivalente ASTM C 36). Según la PCA «Los agregados gruesos deben tener el mayor tamaño máximo posible para las condiciones de la obra» (2004:188). La granulometría es importante para que se logre una mezcla económica, pues afecta la cantidad de concreto que se puede producir para una dada cantidad de material cementante y agua. Los siete tamices normalizados para el agregado fino tienen aberturas que varían de 150  $\mu\text{m}$  a 9.5 mm (Tamiz No.100 a 3/8 pulgadas), para agregado grueso se utilizan tamices que van de 1.18 mm a 100 mm (0.046 a 3 pulgadas). En ocasiones se cree que el agregado grueso tiene partículas de un solo tamaño, sin embargo, no es así sino que está compuesto por varios tamaños como se muestra en la siguiente figura (PCA, 2004:106):

Gráfico 3: Agregado utilizado para concreto, con diferentes tamaños

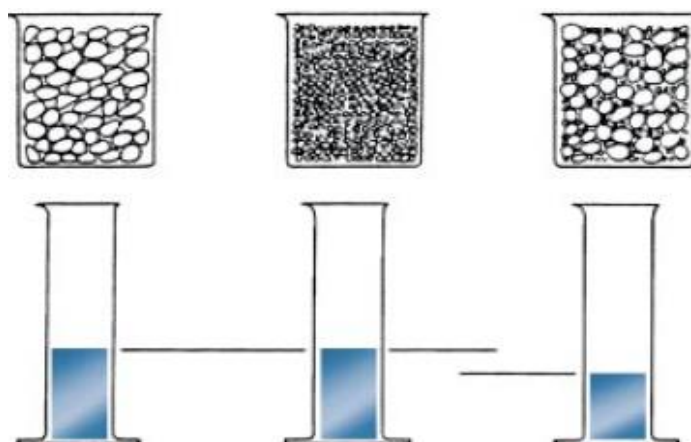


(PCA, 2004:106)

Se han establecido límites granulométricos para cada tamaño máximo del agregado, con el fin de establecer una distribución de partículas con diferentes tamaños a manera de llenar la mayor cantidad de espacios vacíos, y se requiera menos material cementante para poder unirlos, reduce la demanda de agua, mejorar la trabajabilidad, bombeabilidad, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

En la siguiente figura se puede apreciar que en la probeta que está del lado izquierdo tiene agregados gruesos con el mismo tamaño, se puede verter una cantidad de agua para llenar los espacios vacíos. En la probeta del centro se encuentra llena con agregados finos del mismo tamaño, en donde también se puede verter una cantidad de agua para llenar los vacíos entre ellos. En la probeta del lado derecho se encuentra una combinación de ambos agregados, se puede apreciar que la cantidad de agua para llenar los espacios entre ellos disminuye considerablemente. Si se repitiera el experimento pero incluyendo varios tamaños de agregados, se reduciría aún más la demanda de agua. En este principio se basa el establecimiento de límites granulométricos en las partículas para diferentes agregados (PCA, 2004:107).

Gráfico 4: Influencia de la variación en el tamaño del agregado para llenar vacíos



(PCA, 2004:107)

La pasta de cemento en el concreto es mayor que el volumen de vacíos que queda entre los agregados, con la finalidad de tener una mejor trabajabilidad en el concreto y mejorar la cohesión.

### C. Requisitos del agregado fino

El siguiente cuadro contiene los límites establecidos por la norma COGUANOR NT41007 (2010:8):

Cuadro 2: Límites establecidos para el agregado fino

Tamiz (Esp. ASTM E11)	Porcentaje que Pasa	
	Arena Natural	Arena manufacturada
9.5 mm (3/8")	100	100
4.75 mm (N°4)	95 a 100	95 a 100
2.36 mm (N°8)	80 a 100	80 a 95
1.18 mm (N°16)	50 a 85	45 a 95
600 μm N°30)	25 a 60	25 a 75
300 μm (N°50)	5 a 30	10 a 35
150 μm (N°100)	0 a 10	8 a 20

(COGUANOR NTG41007:2010:8)

En la nota No.2 de este cuadro detalla información importante en cuanto al efecto que tiene en el concreto COGUANOR NT41007 «Los concretos con granulometrías de agregado fino cerca de los mínimos de porcentaje que pasa 300μm (No 50) y 150μm (No 100) a veces tienen dificultades con la trabajabilidad, bombeo o exudación excesiva. La adición de aire incorporado, cemento adicional, o de una adición mineral aprobada para proveer los finos deficientes, son métodos utilizados para mitigar dichas dificultades» (2010:9)

Los agregados finos no deberían tener más de 45% de porcentaje que pase en cualquier tamiz y retenido en el tamiz próximo siguiente de los mostrados en el cuadro anterior (COGUANOR: 2010:9).

El módulo de finura no debe ser menor que 2.3 ni mayor que 3.1, además no debería de variar en más de 0.2 en el valor de la fuente del agregado. Si existe una variación fuera de este límite el agregado se puede rechazar, a menos que se llegue a un acuerdo en las proporciones de los agregados finos y gruesos (COGUANOR: 2010:9).

Las cantidades de agregado fino que pasan en los tamices No. 50 y No. 100 afectan la trabajabilidad, la textura superficial, el contenido de aire y el sangrado (exudación) del concreto. Según el cuadro anterior, se permite un porcentaje que pasa el tamiz No. 50 entre el 5% al 30%, el límite más bajo ayuda en la colocación o en el acabado mecánico del concreto como es el caso de los pavimentos. En pisos acabados manualmente, o alisados, se requiere utilizar un agregado fino con por lo menos 15% de masa que pase en el tamiz No. 50 y 3% o más en el tamiz No. 100 (PCA, 2004:109).

El módulo de finura (MF) es un indicador de que tan fino o grueso es un agregado, se puede calcular para agregado fino o grueso, es más útil el dato de la arena ya que se utiliza para el diseño de mezcla y por el impacto que puede ser mayor en el concreto. Se calcula sumándose los porcentajes acumulados de la masa retenida en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividiéndose esta suma por 100. La serie especificada de tamices para la determinación del MF es: 150  $\mu\text{m}$  (No. 100), 300  $\mu\text{m}$  (No. 50), 600  $\mu\text{m}$  (No. 30), 1.18 mm (No. 16), 2.36 mm (No. 8), 4.75 mm (No. 4), 9.5 mm (3/8 pulg.), 19.0 mm (3/4 pulg.), 37.5 mm (1 1/2 pulg.), 75 mm (3 pulg.) y 150 mm (6 pulg.) (PCA, 2004:109).

Cuadro 3: Ejemplo del cálculo del módulo de finura

Tamiz	Porcentaje de la fracción individual retenida, en masa	Porcentaje acumulado que pasa, en masa	Porcentaje retenido acumulado, en masa
9.5 mm (3/8 pulg.)	0	100	0
4.75 mm (No. 4)	2	98	2
2.36 mm (No. 8)	13	85	15
1.18 mm (No. 16)	20	65	35
600 $\mu\text{m}$ (No. 30)	20	45	55
300 $\mu\text{m}$ (No. 50)	24	21	79
150 $\mu\text{m}$ (No. 100)	18	3	97
Fondo	3	0	—
Total	100		283

Módulo de finura  
= 283  $\div$  100 = 2.83

(PCA, 2004:109).

## D. Requisitos del agregado grueso

El siguiente cuadro contiene los límites establecidos por la norma COGUANOR NT41007:

Cuadro 4: Límites establecidos para el agregado grueso según la NTG41007

Número de Tamaño	Tamaño nominal (Tamices con aberturas cuadradas)	Cantidades más finas que pasan por un tamiz (abertura cuadrada) en porcentaje en masa													
		100 mm (4 in)	90 mm (3½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (N°4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 um (N°50)
1	90 a 37.5 mm (3½ a 1½ in.)	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	
2	63 a 37.5 mm (2½ a 1½ in.)	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	
3	50 a 25.0 mm (2 a 1 in)	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	
357	50 a 4.75 mm (2 in. A N°4)	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	---	---	0 a 5	---	---	
4	37.5 a 19.0mm (1½ to ¾ in.)	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	
467	37.5 a 4.75 mm (1½ A N° 4)	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	---	---	---	
5	25.0 a 9.5 mm (1 a ¾ in.)	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---	
56	25.0 a 4.75 mm (1 a ¾ in.)	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---	
57	25.0 a 4.75 mm (1 in. A N°4)	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	
6	19.0 a 9.5 mm (¾ in a 3/8 in.)	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---	
67	19.0 a 4.75 mm (¾ in a N°4)	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	
7	12.5 a 4.75 mm (½ in. A N°4)	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---	
8	9.5 a 2.36 mm (3/8 in a N°8)	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	9.5 a 1.18 mm (3/8 in a N°16)	---	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	
g <sup>A</sup>	4.75 a 1.18 mm (N°4 a N°16)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	

<sup>A</sup>El Agregado de número de tamaño 9 está definido en la norma terminología NTG/ASTM C 125 como un agregado fino. Esta incluido como un agregado grueso cuando está combinado con un material de número de tamaño 8 para crear un número de tamaño 89, que es un agregado grueso según está definido por la norma Terminología NTG/ASTM C 125.

(COGUANOR, 2010:24).

Se requiere más agua y cemento cuando el tamaño máximo del agregado grueso es menor en comparación que cuando el tamaño máximo es mayor, esto se debe a que hay más área superficial total del agregado (PCA, 2004:109).

Al utilizar una misma relación A/C para producir concretos con diferentes tamaños de agregados, la resistencia puede variar. Con una misma relación A/C un concreto con tamaño máximo inferior puede producir mayor resistencia a compresión que un concreto con un tamaño máximo mayor, aunque mucho influye la resistencia relativa de la pasta de cemento, adherencia entre cemento y agregado y la resistencia propia del agregado (PCA, 2004:109).

El tamaño máximo del agregado es el menor tamiz por el cual toda la muestra de agregado grueso debe pasar. El tamaño máximo nominal se define como el menor tamiz por el cual la mayor parte de la muestra de agregado grueso debe pasar. El tamiz del tamaño máximo nominal puede retener del 5% al 15%, es decir, habrá partículas mayores en los porcentajes permitidos.

## **E. Masa volumétrica (masa unitaria) y vacíos**

Los agregados por ocupar la mayor parte del volumen de los materiales del concreto, influyen fuertemente en su peso. Se mide la masa volumétrica o masa unitaria de los agregados, es la masa o el peso del agregado necesario para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. Este volumen está ocupado por los agregados y por los vacíos entre las partículas (PCA, 2004:114).

El agregado usado en el concreto de peso normal tiene una masa volumétrica entre 1,200 a 1,750 kg/m<sup>3</sup>. La proporción de vacíos que queda entre partículas afecta la demanda de pasta en el concreto, puesto que depende de la forma superficial de las partículas. En los agregados gruesos la cantidad de vacíos varía entre cerca del 30% al 45%, y del 40% al 50% para el agregado fino. La angularidad aumenta la cantidad de vacíos, los agregados bien graduados y con una granulometría bien distribuida ayudan a disminuir el contenido de vacíos. La norma ASTM C29, muestran los métodos para determinar la masa volumétrica suelta o compactada de los agregados y el contenido de vacíos (PCA, 2004:114).

## **F. Masa específica relativa**

Más bien conocida como densidad relativa o gravedad específica, no es más que la relación de su masa y la masa del agua con el mismo volumen absoluto. Se utiliza en cálculos para proporcionar concreto cuando se calcula el volumen ocupado por el agregado en el método del volumen absoluto. La mayoría de los agregados tienen masas específicas relativas que varían de 2.4 a 2.9, con masa específica de 2,400 a 2,900 kg/m<sup>3</sup>. Se calcula por medio del procedimiento especificado por la norma ASTM C 127. La masa

específica relativa se calcula cuando el agregado está en condición secado al horno o saturado de superficie seca (PCA, 2004:114).

## G. Masa específica

También conocida como densidad, se utiliza en los cálculos para proporcionamiento de mezclas, no incluyen el volumen de los vacíos entre partículas, se obtiene al multiplicar la masa específica relativa de los agregados por la densidad del agua. La densidad del agua utilizada generalmente es de  $1,000 \text{ kg/m}^3$  ( $62.4 \text{ lb/pe}^3$ ). Este procedimiento también está especificado en las normas ASTM C 127 y ASTM C 128. La mayoría de agregados utilizados para producir concreto de peso normal está entre  $2,400$  y  $2,900 \text{ kg/m}^3$  (PCA, 2004:114).

## H. Absorción y humedad superficial

La estructura interna de una partícula de agregado está constituida de materia sólida y de vacíos que pueden o no contener agua. La absorción y la humedad se obtienen por el procedimiento establecido en la norma ASTM C 70. Se pueden encontrar en cuatro estados (PCA, 2004:115):

1. Secado al horno – Totalmente absorbente
2. Secado al aire – La superficie de las partículas está seca, pero su interior contiene humedad y, por lo tanto, aún es ligeramente absorbente.
3. Saturado con superficie seca (SSS) – No absorbente ni ceden agua al concreto
4. Húmedo – Contiene un exceso de humedad sobre la superficie (agua libre)

Gráfico 5: Cantidad de agua presente en los vacíos del agregado



(PCA, 2004:115).

## I. Sustancias perjudiciales para los agregados

Las sustancias perjudiciales que pueden estar presentes en los agregados incluyen impurezas orgánicas, limo, arcilla, esquisto, óxido de hierro, carbón mineral, lignito y ciertas partículas ligeras y suaves. En el siguiente cuadro se muestran algunos de los materiales reactivos (PCA, 2004:119):

Cuadro 5: Sustancias RAS y RAC

Sustancias reactivas álcali-silice*		Sustancias reactivas álcali-carbonato**
Andesitas	Esquistos	Calizas dolomíticas
Argilitas	Filitas	Dolomitas calcíticas
Calcedonia	Gneis granítico	Dolomitas finamente granuladas
Cherts	Grauvacas	
Cherts calcedónicos	Material volcánico vitrificado o criptocristalino	
Ciertas calizas silíceas y dolomitas	Metagrauvacas	
Cristobalita	Ópalo	
Cuarcitas	Pizarras opalinas	
Cuarzo deformado y otras formas de cuarzo	Pizarras silícicas	
Cuarzosas	Riolitas	
Dacita	Vidrio silícico natural y sintético	
	Tridmita	

(PCA, 2004:120).

Según la PCA «Los agregados son potencialmente peligrosos si contienen compuestos considerados químicamente reactivos con el concreto de cemento portland y si producen: (1) cambio significativo del volumen de la pasta, agregados o ambos, (2) interferencia en la hidratación normal del cemento y (3) otros productos secundarios dañinos» (2004: 119).

## J. Agregado fino

En el documento COGUANOR NTG41007:10 se establecen los límites que se deberían de cumplir los agregados finos para no comprometer la calidad del concreto (COGUANOR, 2010:10):

Cuadro 6: Porcentaje del tamiz 200 máximo permisible en agregados finos

Ítem	Porcentaje en más de la muestra total, máx	
	Arena Natural	Arena (manufacturada)
Terrones de arcilla y partículas Friables de arcilla	3,0	3,0
Material más fino que el tamiz 75µm (N°200)		
-Concreto sujeto a abrasión	3,0 <sup>A</sup>	5,0 <sup>B</sup>
-Cualquier otro concreto	5,0 <sup>A</sup>	7,0 <sup>B</sup>
Material de baja densidad (densidad relativa menor de 2,0)	c	c

(COGUANOR, 2010:10)

«<sup>A</sup> Estos límites podrán elevarse a 5 y 7 % respectivamente, siempre que el valor de azul de metileno (AASHTO TP 57) sea igual o inferior a 6 mg de azul por cada g de finos. (75 µm [No. 200]) » COGUANOR (2010:10).

«<sup>B</sup> Estos límites pueden elevarse a 8 y 15 % respectivamente, siempre que el valor de azul de metileno (AASHTO TP 57) sea igual o inferior a 6 mg de azul por cada g de finos. (< 75µm [No. 200]) y la estructura no esté sometida a abrasión severa» COGUANOR (2010:10).

«<sup>C</sup> En Guatemala, el material de baja densidad en forma de pómez y otros materiales piroclásticos es abundante en los agregados de origen volcánico. Para estos casos, el límite máximo aceptable debe establecerse por acuerdo entre comprador y proveedor, con base en la experiencia local. Cuando el material de baja densidad sea carbón, lignito, mica, horsteno u otro material liviano no piroclástico, el límite máximo permitido ser es 0.5 donde la apariencia del concreto es importante y de 1.0 para cualquier otro concreto»COGUANOR (2010:10).

Como indica la norma COGUANOR NTG41007:11 «El agregado fino debe estar libre de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas» (COGUANOR, 2010:10). Las impurezas orgánicas pueden retrasar el fraguado y el endurecimiento del concreto, reducir el desarrollo de resistencia y en algunos casos causar deterioro. Indicando que al efectuar pruebas según la norma ASTM C 40 (Impurezas orgánicas), los agregados que producen un color más oscuro que el estándar deben ser rechazados. En el siguiente cuadro se muestran los colores que son permisibles:

No. De color estándar Gardner	No. De placa orgánica
5	1
8	2
11	3 (Max. Permisible)
14	4
16	5

Gráfica 6: Comparación color estándar Gardner y Colorímetro



El agregado que no satisfaga esta prueba puede ser utilizado siempre y cuando, la coloración producida se deba principalmente a presencia de pequeñas cantidades de carbón, lignito o partículas similares. Y si tampoco satisface estas condiciones se puede utilizar siempre y cuando se demuestre que la resistencia relativa del mortero a los 7 días sea mayor a 95% de la resistencia de referencia, calculada mediante al método de ensayo ASTM C87 (COGUANOR, 2010:11).

De igual forma la norma COGUANOR NTG 41007:11 establece límites para la resistencia a disgregación de sulfatos: «el agregado fino sujeto a cinco ciclos de ensayo de resistencia a disgregación a los sulfatos, debe tener una pérdida promedio ponderada no mayor de 10% cuando se utiliza sulfato de sodio o de 15% cuando se utiliza sulfato de magnesio» (2010:11).

Si el agregado no cumple con el requisito anterior, se puede utilizar siempre y cuando se demuestre que el agregado de la fuente se ha desempeñado bien, al estar expuesto a una intemperización similar a la que se encontrará. Si no se cuenta con datos del desempeño previo del agregado, se puede evaluar si tiene resultados satisfactorios en concreto al ensayo de congelamiento y deshielo (ASTM C666) (COGUANOR, 2010:11).

## K. Agregado grueso

En el documento COGUANOR NTG41007 se establecen los límites que se deberían de cumplir los agregados gruesos para no comprometer la calidad del concreto (2010:14):

Cuadro 7: Límites de que deben cumplir los agregados gruesos para no comprometer la calidad del concreto

NOTA 1 vea la fig. 1 para ubicar las regiones de Intemperización y la Nota 9 para mayor información en la utilización del mapa. Las regiones de Imperización Son definidas como sigue:								
(S) Región de Intemperización severa. Un clima frío donde el concreto está expuesto a productos químicos descongelantes y otros agentes agresivos, donde el concreto puede saturarse por contacto continuo con humedad o agua libre antes de congelamientos y deshielo repetidos								
(M) Región de Intemperización moderada. Un clima donde se espera congelamiento ocasional, pero donde el concreto en servicio a la Intemperie estará continuamente expuesto a congelamiento y deshielo en presencia de humedad o de productos químicos descongelantes.								
(N) Región de Intemperización despreciable. Un clima donde el concreto está raramente expuesto al congelamiento en presencia de humedad.								
Designación de Clase	Tipo o Ubicación de la construcción de concreto	Máximo admisible, %						
		Terrones de Arcilla y Partículas frías	horsteno (menos de 2.40 de densidad (d2s))	Suma de terrones de Arcilla, partículas frías y horsteno (menos de 2.40 densidad (dss))	Ver <sup>B</sup> Material más fino Que el tamiz 75-µm (N° 200)	Ver** Carbón y Lignito 9	Abrasión	Resistencia a disgregación de los agregados al sulfato de magnesio (S ciclos) <sup>B</sup>
Regiones de Intemperización severa								
1S	Zapatatas, fundiciones, columnas y vigas no expuestas a la Intemperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas	10.0	----	----	1.0 <sup>C</sup>	1.0	50	----
2S	Pisos interiores sin revestimiento	5.0	----	----	1.0 <sup>C</sup>	0.5	50	----
3S	Muros de fundición por encima del nivel del terreno, muros de retención, estribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la Intemperie	5.0	5.0	7.0	1.0 <sup>C</sup>	0.5	50	18.0
4S	Pavimentos, tableros de puente, caminos y cordones, senderos, patios, pisos de garage, terrazas y pisos expuestos, o estructuras frente al agua, sujetas a mojarse frecuentemente.	3.0	5.0	5.0	1.0 <sup>C</sup>	0.5	50.0	18.0
5S	Concreto arquitectónico expuesto D	2.0	3.0	3.0	1.0 <sup>C</sup>	0.5	50.0	18.0
Regiones de Intemperización moderada								
1M	Zapatatas, fundiciones, columnas y vigas no expuestas a la Intemperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas	10.0	----	----	1.0 <sup>C</sup>	1.0	50	----
2M	Pisos interiores sin revestimiento	5.0	----	----	1.0 <sup>C</sup>	0.5	50	----
3M	Muros de fundición por encima del nivel del terreno, muros de retención, estribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la Intemperie	5.0	8.0	10.0	1.0 <sup>C</sup>	0.5	50	18.0
4M	Pavimentos, tableros de puente, caminos y cordones, senderos, patios, pisos de garage, terrazas y pisos expuestos, o estructuras frente al agua, sujetas a mojarse frecuentemente.	5.0	5.0	7.0	1.0 <sup>C</sup>	0.5	50	18.0
5M	Concreto arquitectónico expuesto D	3.0	3.0	5.0	1.0 <sup>C</sup>	0.5	50	18.0
Regiones de Intemperización Despreciable								
1N	Losas sujetas a abrasión en tráfico, tableros de puentes, pisos, senderos, pavimentos	5.0	----	----	1.0 <sup>C</sup>	0.5	50	----
2N	Todas las otras clases de concreto	10.0	----	----	1.0 <sup>C</sup>	1.0	50	----

<sup>A</sup> La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada está excluida de los requisitos de abrasión. La densidad aparente (masa unitaria) varillada o sacudida de la escoria. De alto horno enfriada al aire y triturada no debe ser menor de 1,120 lb/ft<sup>3</sup> (70 lb/ft<sup>3</sup>). La granulometría de la escoria utilizada en el ensayo de densidad aparente (masa Unitaria) deber ser conforme a la granulometría que se utilizará en el concreto. La pérdida de abrasión de la grava, grava triturada, o piedra debe ser determinada. Para el tamaño o tamaños de ensayo más cercano correspondiente a la granulometría o granulometrías que se utilizaran en el concreto. Cuando se vaya a utilizar más de una granulometría el límite de la pérdida por abrasión debe aplicarse a cada una.

<sup>B</sup> Los límites admisibles para resistencia a disgregación de los agregados al sulfato, debe ser de 12% si se utiliza sulfato de sodio.

<sup>C</sup> Este porcentaje bajo cualquiera de las siguientes condiciones: (1) puede ser aumentado a 15, si el material está esencialmente libre de arcilla o esquistos; o (2) si se sabe que la fuente del agregado fino a ser utilizado en el concreto contiene menos que la cantidad máxima especificada que pasa el tamiz 75-µm (N° 200) (Tabla 1) se puede aumentar el límite de porcentaje (L) sobre la cantidad en el agregado grueso a  $L = 1 + [(P)/(100-P)] (T-A)$ , donde P = porcentaje de arena en el concreto como un porcentaje que agregado total. T = el límite de la tabla 1 para la cantidad permitida en el agregado fino, y A = la cantidad real en el agregado fino (esto proporciona un cálculo ponderado diseñado para limitar la masa máxima de material que pasa el tamiz 75-µm (N° 200) en el concreto respecto al que se obtendría si ambos agregados fino y grueso fueran suministrados en el porcentaje máximo tabulado para cada uno de estos ingredientes.

<sup>D</sup> Para concretos arquitectónicos o pisos interiores o exteriores expuestos, no se garantiza que pese a cumplir con los límites máximos admisibles de arcilla, partículas frías o livianas, estas partículas pueden quedar expuestas y generar imperfecciones en el acabado.

\* En Guatemala se aplican los límites de la Tabla 1

\*\* En Guatemala se aplica a materiales de baja densidad.

Gráfico 7: Ubicación de regiones de intemperización en la república de Guatemala



Despreciable- Todo el país en general

(COGUANOR, 2010: 15)

## L. Reacción álcali-agregado

Los agregados pueden contener cantidades de constituyentes que reaccionen con los hidróxidos alcalinos en el concreto, esta reacción puede tener un potencial considerable sólo cuando producen una expansión significativa y no se presenta de inmediato. Existen dos tipos de reactividad álcali-agregado (RAA) que puede ser álcali-sílice (RAS) y álcali-carbonato (RAC). Es más preocupante la RAS porque hay una mayor probabilidad de ocurrencia ya que existen más minerales reactivos con sílice (PCA, 2004:121).

## M. Reacción álcali-sílice

La reacción álcali-sílice (RAS) a pesar de ser una fuente potencial de deterioro, no es tan común por las siguientes razones según la PCA:

- «La mayoría de los agregados son estables en concreto de cemento hidráulico.
- Agregados con buenos registros de servicio son abundantes en muchas áreas.

- La mayoría de los concretos en servicio están suficientemente secos para inhibir RAS.
- En muchas mezclas de concreto, el contenido de álcalis del concreto es suficientemente bajo para controlar la RAS.
- Algunas formas de RAS no producen expansión nociva significativa». ( 2004:119)

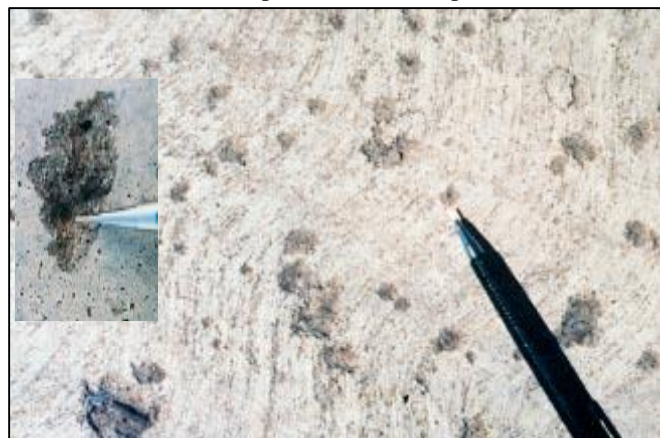
De los síntomas visuales que se pueden apreciar cuando se da la RAS podría ser una red de fisuras, juntas cerradas o lascadas, desplazamientos de diferentes partes de la estructura o la aparición de erupciones en la superficie (PCA, 2004:121).

Gráfico 8: Fisuras causadas por las RAS



(PCA, 2004:121)

Gráfico 9: Erupciones causadas por la RAS



(PCA, 2004:121)

La forma en que se da la RAS es cuando se forma un gel que se expande cuando absorbe agua de la pasta de cemento de su alrededor, esto puede inducir presión, expansión y fisuración del agregado y la pasta. Puede dividirse en dos etapas (PCA, 2004:122):

1. Hidróxido alcalino + gel de sílice reactiva → producto de la reacción (gel álcali-sílice)
2. Gel del producto de la reacción + humedad → expansión

La cantidad de gel que se produzca depende de la cantidad y tipo de sílice y de la concentración que haya de hidróxido de calcio. Sin embargo, la presencia de este gel en cualquier cantidad no siempre indica que ocurrirá un daño en el concreto por la RAS, para que esto ocurra deben estar presentes tres factores, si uno de ellos falta no ocurre la reacción (PCA, 2004:122):

1. Una forma reactiva de sílice en el agregado
2. Una solución en el poro altamente alcalina (pH)
3. Humedad suficiente

## **N. Reacción álcali-carbonato (RAC)**

Esta reacción se presenta comúnmente en ciertas rocas dolomíticas, cuando son reactivas tienen cristales grandes de dolomita dispersos y están rodeados por una matriz de granos finos de arcilla y calcita (nombre común para el carbonato de calcio-magnesio). Los agregados que están expuestos a esta reacción usualmente no son aptos para producir concreto por razones como la resistencia potencial. Según lo que indica Ozol y Swenson, deben estar presentes las siguientes características litológicas para que los agregados tengan un potencial para la RAC (PCA, 2004:126):

- a. Contenido de arcilla, o residuo insoluble, en el rango del 5% al 25%.
- b. Relación entre calcita y dolomita de aproximadamente 1:1.
- c. Aumento en el volumen de la dolomita hasta el punto que la textura entrelazada se vuelva un factor de restricción y
- d. Cristales dolomíticos discontinuos de pequeño tamaño dispersos en la matriz de arcilla.

### III. DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO

Hay varias definiciones de lo que es el concreto, en esta ocasión se tomará de referencia la mencionada en la PCA «El concreto (hormigón) es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava (piedra triturada piedra machacada, padrejón), creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua» (2004:1). En la actualidad los aditivos químicos se pueden considerar como parte de los componentes del concreto, ya que son esenciales para mejorar sus características en estado fresco y endurecido.

Los estados del concreto pueden clasificarse en fresco y endurecido, para esta investigación nos centraremos en analizar las características estado fresco ya que es en donde se presenta la contracción plástica y será la base para la evaluación, además en conocer las propiedades de los materiales que lo componen.

Para diseñar concreto existen diferentes métodos, uno de los más utilizados es el establecido por el ACI 2011.1 (Método práctico para seleccionar el proporcionamiento de concreto de peso normal, liviano y masivo). Por medio de este método se obtiene una primera aproximación de las cantidades de cada material, posteriormente se afinan detalles en base a las pruebas de bachadas.

Para seleccionar las proporciones de los materiales se considera que debe existir un balance entre los costos, resistencia, durabilidad, densidad y apariencia. Es importante conocer los requerimientos de la obra, ya que de ahí se parte en las necesidades del diseño. Se darán a conocer algunos de los conceptos más importantes que se utilizan frecuentemente al momento de diseñar y evaluar el concreto, basándose en las definiciones del ACI 211.1:

- **Manejabilidad:** Abarca las características de trabajabilidad y consistencia. La trabajabilidad se considera como la capacidad que tiene el concreto fresco para colocarse y consolidarse apropiadamente y darle un acabado sin segregación. La trabajabilidad está afectada por la gradación, forma y proporción de los agregados, la cantidad de cemento, la inclusión de aire y aditivos químicos (ACI 211.1, 2002: 3).
- **Consistencia:** Es la movilidad que tiene una mezcla de concreto, se mide con base al asentamiento. Afecta la facilidad con la que fluye el concreto durante la colocación, es relativo a la trabajabilidad pero no es lo mismo. Los agregados angulares requieren más agua para alcanzar determinado asentamiento, así mismo mientras más grande es el tamaño del agregado el concreto requieren menos agua para lograr el asentamiento deseado (ACI 211.1, 2002: 3).

- **Adiciones:** Según el ACI 211.1 es, «cualquier otro material que no sea agua, agregados, cemento hidráulico y fibra de refuerzo que es usado como ingrediente para el concreto o mortero agregado inmediatamente durante el antes o durante el mezclado» (2002: 4).

Generalmente se agregan aditivos químicos que sirven para mejorar las características del concreto. Se pueden clasificar de la siguiente manera:

Tipo A – Reductores de agua

Tipo B – Retardantes

Tipo C – Acelerantes

Tipo D – Reductores de agua y retardantes

Tipo E – Reductores de agua y acelerantes

Tipo F – Reductores de agua de alto rango

Tipo G – Reductores de agua de alto rango y retardante (ACI 211.1, 2002: 3).

## **A. Procedimiento para elaborar un diseño de mezcla**

Para dar una estimación más aproximada de las características que se desean en una mezcla de concreto se debe conocer la siguiente información de los materiales:

- Análisis granulométrico de los agregados
- Peso unitario del agregado grueso
- Gravedades específicas y absorciones de los agregados
- La relación Agua/Cemento necesaria para alcanzar la resistencia deseada.
- Gravedad específica del cemento

**Paso 1. Elección del asentamiento:** Cuando no se especifica el asentamiento, se puede seleccionar con base en el siguiente cuadro (ACI 211.1, 2002: 7):

Cuadro 8: Asentamientos recomendados para diversos tipos de obras

Tipo de estructuras	Asentamiento	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	2"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto Ciclópeo	2"	1"
Notas:		
1) El asentamiento puede incrementarse cuando se usan adirivos, siempre que no se modifique la relación A/C ni exista segregación ni exudación.		
2) El asentamiento puede incrementarse en 1" si no se usa vibrador en la compactación.		

(ACI 211.1, 2002: 7)

**Paso 2. Elección del tamaño máximo del agregado:** El tamaño máximo del agregado debe elegirse con base en su costo y a las dimensiones de la estructura. No debe exceder 1/5 de la distancia entre formaletas, 1/3 de la altura en el caso de las losas ni 3/4 de la distancia entre formaletas. Cuando se desea diseñar concretos de alta resistencia, se pueden obtener mejores resultados si se reduce el tamaño máximo nominal del agregado ya que producen resistencias más altas con una relación agua cemento dada (ACI 211.1, 2002: 7).

**Paso 3. Estimación de la cantidad de agua y aire:** La cantidad de agua por unidad de volumen de concreto requerida para alcanza el asentamiento deseado depende del tamaño nominal máximo del agregado, la forma de las partículas (angulosas o redondas), la gradación de los agregados, la temperatura del concreto, la cantidad de aire, y el uso de aditivos químicos. La cantidad de cemento no afecta significativamente el asentamiento (ACI 211.1, 2002: 8).

El siguiente cuadro provee un estimado de la cantidad dependiendo del tamaño de los agregados, con y sin aire incluido en la mezcla:

Cuadro 9: Estimación de la cantidad de agua y contenido de aire

Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado								
	Agua kg/m <sup>3</sup> para el concreto de agregado de tamaño nominal máximo mm (Pulg) indicado							
Revenimiento, cm (Pulg)	9.5 (3/8")	12.5 (1/2)	19 (3/4)	25 (1)	38 (1 1/2)	50 (2)	75 (3)	150 (6)
<b>Concreto sin aire incluido</b>								
2.5 (1) a 5 (2)	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 (3) a 10 (4)	228	216	205	193	181	169	145	124
15 (6) a 17.5 (7)	243	228	216	202	190	178	160	-
<b>Cantidad aproximada de aire sin aire incluido, por ciento</b>	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>Concreto con aire incluido</b>								
2.5 (1) a 5 (2)	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 (3) a 10 (4)	202	193	184	175	165	157	133	119
15 (6) a 17.5 (7)	216	205	197	174	174	166	154	-
<b>Promedio recomendado de contenido de aire total, por ciento, según el nivel de exposición</b>								
<b>Exposición ligera</b>	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
<b>Exposición moderada</b>	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
<b>Exposición Severa</b>	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

(ACI 211.1, 2002: 8)

En la misma gráfica se puede observar que existe una cantidad aproximada en porcentaje de aire incluido en la mezcla de concreto, esto depende de la exposición al ambiente que tendrá.

- **Exposición baja:** esto incluye cuando el concreto no está expuesto a ciclos de hielo y deshielo, es decir, la inclusión de aire tendrá un efecto beneficioso que es distinto a la durabilidad como en el caso de mejorar la cohesión o la trabajabilidad (ACI 211.1, 2002: 9).
- **Exposición media:** el concreto probablemente estará expuesto a la congelación pero no estará a la humedad o al agua fría por largos periodos y tampoco se verá afectada por agentes químicos dañinos (ACI 211.1, 2002: 9).
- **Exposición extrema:** el concreto estará expuesto a productos químicos anticongelantes, u otros agentes nocivos en donde el concreto podría verse afectado por el agua de la congelación (ACI 211.1, 2002: 9).

**Paso 4. Elección de la relación agua-cemento (A/C):** La selección de la relación A/C no solo se determina en base a la resistencia que se desea alcanzar, sino que también depende de la durabilidad que se desea en la estructura. En este la resistencia que se desea alcanza no solo depende de la relación A/C sino que también de la calidad de los agregados y del uso de aditivos químicos (ACI 211.1, 2002: 9). Es importante considerar que existen tres criterios para determinar la resistencia requerida, el primero considera la existencia de registros históricos de al menos 30 datos de resistencia en los últimos 24 meses, de concretos que fueron fabricados con los mismos materiales (ACI 318, 2008: 74):

Cuadro 10: Resistencia promedio requerida a compresión cuando existen datos disponibles para establecer una desviación estándar

Resistencia a compresión especificada $f'c$	Resistencia promedio requerida a compresión $f'cr$ , $\text{kgf/cm}^2$
$f'c \leq 350 \text{ kgf/cm}^2$	$f'cr = f'c + 1.34S$ $f'cr = f'c + 2.33S - 35$ Usar el mayor valor que se obtenga
$f'c > 350 \text{ kgf/cm}^2$	$f'cr = f'c + 1.34S$ $f'cr = 0.90f'c + 2.33s$ Usar el mayor valor que se obtenga

(ACI 318, 2008: 74)

El segundo criterio, considera que se disponen de 15 a 29 datos de resistencia en los últimos 24 meses. En este caso se aplica un factor de corrección al criterio anterior para aumentar la resistencia requerida cuando menor sea la cantidad de datos que se dispone (ACI 318, 2008: 73):

Cuadro 11: Factor de modificación a la desviación estándar cuando existen de 15 a 29 datos disponibles

No. De pruebas	Factor de modificación para la desviación estándar**
< 15	ver el cuadro No. 12
15	1.16
20	1.08
25	1.03
$\geq 30$	1
* Interpolarse para números intermedios de pruebas	
** Desviación estándar modificada a ser usada para determinar la resistencia promedio requerida a partir del cuadro no. 10	

(ACI 318, 2008: 73)

El tercer criterio considera que no se cuenta con registros de resistencia o se tienen menos de 15 datos. Cuando se inicia el diseño de mezcla de una cantidad de concretos y no se dispone de información del desempeño de los materiales, generalmente el factor de seguridad es mayor, puede ir disminuyendo conforme se aumenta la cantidad de datos (ACI 318, 2008: 74).

La desviación estándar entre las diferentes muestras influye ya que mientras más pequeña sea, menor será el incremento de resistencia que se deberá hacer para garantizar alcanzar la resistencia especificada.

Cuadro 12: Resistencia promedio requerida a compresión cuando no se dispone de datos para establecer una desviación estándar

Resistencia a compresión especificada $f'_c$ , kgf/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo promedio requerido a compresión $f'_{cr}$ , kgf/cm <sup>2</sup>
< 210	$f'_c+70$
210-350	$f'_c+84$
> 350	$1.10f'_c+49$

(ACI 318, 2008: 74)

Después de determinar la  $f'_{cr}$  (resistencia requerida) se proceda a encontrar la relación A/C que se necesita para alcanzarla:

Cuadro 13: Valores de la relación A/C para determinada resistencia

Correspondencia entre la relación A/C y la resistencia a la compresión del concreto		
Resistencia a la compresión a los 28 días kg/cm <sup>2</sup> (PSI)	Relación A/C por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420 (6000)	0.41	-
350 (5000)	0.48	0.40
280 (4000)	0.57	0.48
210 (3000)	0.68	0.59
140 (2000)	0.82	0.74

(ACI 211, 2002: 9)

En el siguiente cuadro se considera que si el concreto está expuesto a diferentes ambientes como a continuos ciclos de hielo y deshielo, al agua de los océanos o a sulfatos se debe de considerar una relación A/C. Además considera el tipo de estructura que se estará construyendo (ACI 211, 2002: 10).

Cuadro 14: Máximas relaciones A/C para concreto expuesto a condiciones severas

Tipo de estructura	Estructura mojada continua o frecuentemente, y ex puesta a ciclos de hielo y deshielo	Estructura expuesta al agua del océano o a sulfatos
Secciones delgadas (barandillas, bordillos, repisas, cornisas, trabajos ornamentales) y secciones menores que 1 pulgada, cubriendo acero.	0.45	0.4
Todas las demás estructuras	0.5	0.45

(ACI 211, 2002: 10)

**Paso 5. Cálculo de la cantidad de cemento:** Este cálculo es sencillo, con los valores de la cantidad de agua determinado en el paso 3 dividido entre la relación A/C calculada en el paso 4 se puede obtener la cantidad de cemento necesaria para la resistencia requerida. Es importante recordar que estos valores pueden variar dependiendo el tipo de cemento que se esté utilizando (ACI 2011, 2002: 12).

**Paso 6. Estimación de la cantidad de agregado grueso:** Para calcular la cantidad de agregado grueso por unidad de concreto, se puede utilizar el siguiente cuadro. Este dato depende del tamaño máximo nominal del agregado y del módulo de finura del agregado fino (ACI 2011, 2002: 12):

Cuadro 15: Volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto

Tamaño máximo nominal del agregado, mm (pulg)	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2.4	2.6	2.8	3
9.5 (3/8)	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4)	0.66	0.64	0.62	0.6
25 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2)	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3)	0.82	0.8	0.78	0.76
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

(ACI 2011, 2002: 12)

**Paso 7. Estimación del contenido de agregado fino:** Una vez estimados los materiales de los pasos anteriores solamente queda pendiente la cantidad de agregado fino. Se puede determinar por medio de dos métodos, el primero es el método del peso y el segundo el método del volumen absoluto (ACI 2011, 2002: 12).

Si se utiliza el método del peso, por experiencia se puede estimar o asumir un peso total del concreto fresco por unidad de volumen y restar el peso del cemento, agua y agregado grueso para determinar la cantidad de agregado fino. Sino se puede estimar el peso unitario del concreto fresco, se puede utilizar la información del siguiente cuadro para tener una primera estimación, y posteriormente hacer los ajustes necesarios a la mezcla (ACI 2011, 2002: 12).

Cuadro 16: Estimación del peso unitario del concreto, dependiendo del tamaño nominal máximo del agregado

Tamaño Nominal Máximo del Agregado, Pulgadas	Primera estimación del peso unitario del concreto, kg/m <sup>3</sup>	
	Sin aire incluido	Con aire incluido
3/8	2280	2200
1/2	2310	2230
3/4	2345	2275
1	2380	2290
1 1/2	2410	2350
2	2445	2345
3	2490	2405
6	2530	2435

(ACI 2011, 2002: 12)

El método de volumen absoluto es más exacto, consiste en dividir el volumen de cada material dentro de su gravedad específica, se resta a 1 el resultado de cada material para obtener la cantidad de agregado fino y este resultado se multiplica por su gravedad específica (ACI 2011, 2002: 12).

**Paso 8. Ajuste por humedad de los agregados:** Generalmente se diseña asumiendo que el agregado está en la condición saturada de superficie seca, sin embargo, en la práctica los agregados pueden tener un valor de humedad superior o inferior a su absorción. Si la humedad es superior a la absorción se debe obtener la diferencia, para restar esta cantidad al valor obtenido en el paso 3, ya que el agua que está afuera del agregado entrará en contacto con el cemento y sino se resta la relación A/C incrementaría. Si la humedad es inferior a la absorción, se debe obtener la diferencia para adicionarla a la cantidad de agua obtenido en el paso 3, sino el asentamiento será inferior al estimado y la relación A/C disminuirá (ACI 2011, 2002: 13).

Se prefiere que la humedad sea mayor que la absorción, porque si es inferior el agregado tendrá que absorber agua y en ese periodo el asentamiento puede disminuir. Existen procedimientos normados para obtener la absorción y las humedades de los agregados gruesos y finos (ACI 2011, 2002: 13).

**Paso 9. Mezcla de prueba y ajustes:** Después de haber calculado las proporciones de los materiales se hace una muestra de concreto para prueba, solo se debe agregar la cantidad de agua suficiente para lograr el asentamiento deseado, además se debe medir el peso unitario (ASTM C 138), rendimiento (ASTM C 173) y contenido de aire (ASTM C 231). Si el asentamiento no fue el correcto se incrementa en 4.5 libras por cada pulgada que se desea subir. Se deben hacer las mezclas de prueba necesarias para lograr los resultados deseados. Además se debe evaluar el desempeño de la mezcla en resistencia a la compresión por medio de cilindros (ACI 2011, 2002: 13).

## B. Ejemplo de diseño de mezcla

Se va a diseñar una mezcla de concreto a ser utilizada en la fundición de una zapata de cimentación; la resistencia de diseño del concreto especificada en los planos es  $f'_c = 3000$  psi (210 Kg/cm<sup>2</sup>). Se cuenta con la siguiente información de los materiales:

Cuadro 17: Datos para el ejercicio del diseño de mezcla

Arena	Arena	Agregado grueso (3/4")	Cemento	Agua
Húmedad	2.94%	0.20%	-	-
Absorción	0.86%	0.87%	-	-
Gravedad específica	2.68	2.68	3.15	1
Peso unitario compactado	1618 kg/m <sup>3</sup>	1558 kg/m <sup>3</sup>	-	-
Módulo de finura	2.64	-	-	-

**Paso 1. Elección del asentamiento:** El asentamiento permitido oscila entre 1" a 3" por lo que elegimos el menor de los dos para luego evaluar la trabajabilidad en la mezcla, entonces. Asentamiento = 1" (2.5 cm).

**Paso 2. Elección del tamaño máximo del agregado:** Depende de las dimensiones del elemento a fundir y la distribución del acero; en nuestro caso para este ejemplo suponemos una zapata aislada de 1.50 x 1.50 m y espesor de 30 cm con acero espaciado @ 20 cm (7.9") en ambos sentidos.

Revisando los requisitos impuestos por el ACI 211.1 se tiene que el agregado no debe exceder al menor de:

- $1/5 (1.50 \text{ m}) = 30 \text{ cm} (12")$
- $1/3 (0.30 \text{ m}) = 10 \text{ cm} (4")$  del Tamaño máximo del agregado
- $3/4 (0.20 \text{ m}) = 15 \text{ cm} (6")$

Actualmente se dispone de agregado grueso con un tamaño máximo de 3/4", utilizaremos este en la práctica. Por temas de bombeo, disponibilidad de agregado y acabado se puede optar por un tamaño máximo del agregado acorde a la necesidad.

**Paso 3. Estimación de la cantidad de agua y aire:** Según el cuadro del paso 3, para concreto sin aire incluido con un agregado de tamaño máximo de 3/4" y asentamiento de 1" (2.5 cm) el ACI 2011 recomienda una cantidad de agua preliminar de 190 Kg/m<sup>3</sup>.

**Paso 4. Elección de la relación agua-cemento (A/C):** se debe elegir la resistencia  $f'_{cr}$ , suponiendo que no existen datos preliminares de resistencia.

$$f'_{cr} = f'_c + 85 f'_{cr} = 210 + 85 = 295 \text{ Kg/cm}^2 \text{ o } f'_{cr} = 4,195 \text{ psi}$$

Según el cuadro del paso 4 para concreto sin aire incluido tenemos que para una resistencia de 4000 psi (280 Kg/cm<sup>2</sup>) se necesita una relación  $A/C = 0.57$  y para una resistencia de 5000 psi (350 kg/cm<sup>2</sup>) la relación  $A/C = 0.48$ , entonces por regla de tres tenemos que para la resistencia que se necesita:

$$4000 - 0.57$$

$$4195 - W/C$$

$$5000 - 0.48 \rightarrow W/C = 0.55$$

**Paso 5. Cálculo de la cantidad de cemento:**

$C =$  Cantidad de agua / Relación  $A/C$

$$C = 190 / 0.55 = 345.5 \text{ Kg/m}^3$$

**Paso 6. Estimación de la cantidad de agregado grueso:** Conociendo el módulo de finura y el tamaño máximo del agregado grueso se puede utilizar el cuadro descrito en el paso 6 para conocer el volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto, 64% al multiplicarlo por su peso unitario da el volumen en kg/m<sup>3</sup> siendo 997.1 kg/m<sup>3</sup>.

**Paso 7. Estimación del contenido de agregado fino:** Utilizando el método volumétrico, asumiendo un porcentaje de aire del 2%.

$$\text{Volumen cemento} = 345.5 / (3.15 \times 1000) = 0.11$$

$$\text{Volumen agregado grueso} = 997.1 / (2.68 \times 1000) = 0.37$$

$$\text{Volumen agua} = 190 / (1.00 \times 1000) = 0.19$$

$$\text{Volumen aire} = 2 / 100 = 0.02$$

$$\text{Cantidad de agregado fino en volumen (m}^3/\text{m}^3) = 1.00 - (0.11 + 0.37 + 0.19 + 0.02) = 0.31 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$\text{Cantidad de agregado fino en peso (kg/m}^3) = \text{Cantidad de agregado fino en volumen} \times G_s \times 1,000 = 0.31 \times 2.68 \times 1,000 = 830.8 \text{ Kg/m}^3$$

Resumen de las cantidades de los materiales

Cemento = 345.5 Kg/m<sup>3</sup>

Agregado fino = 830.8 Kg/m<sup>3</sup>

Agregado grueso = 997.1 Kg/m<sup>3</sup>

Agua = 190 Kg/m<sup>3</sup>

Se hará una mezcla de prueba con un volumen de 0.05 m<sup>3</sup>:

Cemento = 345.5 (0.05) = 17.3 Kg

Agregado fino = 830.8 (0.05) = 41.5 Kg

Agregado grueso = 997.1 (0.05) = 49.9 Kg

Agua = 190 (0.05) = 9.5 Kg = 9.5 lt

### **Paso 8. Ajuste por humedad de los agregados:**

Humedad del agregado grueso (3/4") = 0.20%

Humedad del agregado fino = 2.94%

Absorción del agregado grueso (3/4") = 0.87%

Absorción del agregado fino = 0.86%

El agua en los agregados para una mezcla de 50lt (0.05m<sup>3</sup>) es:

$$\text{Agua en agregados} = \frac{A. \text{Fino} \times (\text{Humedad} - \text{absorción})}{100} + \frac{A. \text{grueso} \times (\text{Humedad} - \text{Absorción})}{100}$$

$$\text{Agua en agregados} = \frac{41.9 \times (2.94 - 0.86)}{100} + \frac{49.9 \times (0.20 - 0.87)}{100} = 0.87 - 0.33 = 0.54$$

Agua neta = 9.5 - 0.54 = 8.96 Kg para una mezcla de 0.05 m<sup>3</sup>. Cantidad que deberá de verificarse y ajustarse en la práctica según el asentamiento requerido.

Cantidad Corregida de Agregado Grueso y Fino:

*Agregado = Peso Seco x Humedad x Volumen de Batida*

*Agregado fino = 830.8(1.0294)(0.05) = 42.8 Kg*

*Agregado grueso = 997.2(1.0020)(0.05) = 50.0 Kg*

Resumen de cantidades corregidas en mezcla de prueba:

Cemento = 18.7 Kg

Agregado fino = 42.8 Kg

Agregado grueso = 50.0 Kg

Agua = 8.96 Kg

### **Paso 9. Mezcla de prueba y ajustes**

La prueba para determinar el peso unitario del concreto dio como resultado un P.U.=2,415 Kg/m<sup>3</sup>.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso total}}{\text{P.U.}}$$

Dónde:

$$\text{Peso total} = \sum \text{de los pesos de los materiales del concreto}$$

Entonces:

$$\text{Peso total} = 18.7\text{Kg} + 42.8\text{Kg} + 50.0\text{Kg} + 8.96\text{Kg} = 120.46\text{Kg}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{117.2 \text{ Kg}}{2415 \text{ Kg/m}^3} = 0.04987 \text{ m}^3$$

$$\text{Rendimiento Relativo} = \frac{\text{Rendimiento}}{\text{Volumen Teórico}} = \frac{0.04987\text{m}^3}{0.05 \text{ m}^3} = 0.9976$$

Después de hacer la muestra de prueba con el concreto fresco, se debe evaluar el desempeño del concreto endurecido y en base a la resistencia alcanzada se efectúan los ajustes necesarios. Es importante recordar que cuando se diseña una mezcla de concreto debe cumplir con los requisitos de calidad y además ser económicamente viable.

## **IV. CLIMA CALUROSO**

Es importante poder definir que es clima caluroso para ello se toma de referencia lo indicado por el ACI 305R se define al clima caluroso como cualquier combinación de las siguientes condiciones que tiendan a deteriorar la calidad del concreto recién mezclado o del endurecido al acelerar la rapidez de pérdida de humedad y la rapidez de hidratación del cemento, o que de otra manera produzca resultados perjudiciales:

- Alta temperatura ambiental
- Alta temperatura del concreto
- Baja humedad relativa
- Velocidad del viento
- Radiación solar (1999:2)

Generalmente el agrietamiento por contracción plástica se presenta en concreto colocado en clima caluroso en las zonas que son áridas, es más frecuente verlo en elementos planos como losas y pavimentos, aunque puede afectar elementos como vigas y cimientos, además puede desarrollarse en otros climas cuando la superficie del concreto se seca y se contrae (ACI 305R, 1999:2).

### **A. Problemas potenciales en climas calurosos**

Los problemas potenciales al colocar concreto en climas tropicales calurosos o en climas áridos se pueden dar en cualquier época, y frecuentemente ocurre en verano en otros climas. A continuación se listan los principales problemas potenciales que se pueden presentar en el concreto recién colocado según el ACI 305R:

- Mayor avidez de agua.
- Mayor pérdida de asentamiento y la tendencia correspondiente a agregar agua en el sitio de la obra.
- Mayor rapidez de fraguado, que implica una mayor dificultad con el manejo, compactación y terminado y un mayor riesgo de juntas frías.
- Mayor tendencia al agrietamiento por contracción plástica.
- Mayor dificultad para controlar el aire incluido (1999:2).

Hay elementos especiales que se pueden ver afectados seriamente por las altas temperaturas, como es el caso de las secciones de grandes dimensiones que se denominan como masivos. Para disminuir el impacto se puede utilizar un cemento de bajo calor de hidratación para evitar el choque térmico, aplicar hielo en sustitución del agua de mezclado a un 75% máximo según recomendación del ACI 305R (1999:10), mantener inundada de agua la superficie expuesta al ambiente hasta que las temperaturas de las diferentes áreas se estabilicen, planear una logística que permita aprovechar los horarios con mayor fluidez de tráfico y que la temperatura del ambiente sea la más favorable para poder reducir la cantidad de aditivos en la mezcla.

Además el clima caluroso puede generar problemas al concreto endurecido, según el ACI 305R (1999:2) pueden ser los siguientes:

- Menores resistencias a 28 días y a mayor edad derivadas ya sea de una mayor avidez de agua y/o de niveles más altos de temperatura del concreto en el momento de la colocación o durante los primeros días
- Mayor propensión a la contracción por secado y al agrietamiento por temperatura ya sea por enfriamiento de toda la estructura o por diferenciales de temperatura dentro de la sección transversal del miembro
- Menor durabilidad derivada del agrietamiento
- Mayor variabilidad del acabado superficial tal como: la presencia de juntas frías o diferencias de color, debidas a diferentes velocidades de hidratación o a distintas relaciones agua – materiales cementantes
- Mayor potencial de corrosión del acero de refuerzo. Lo que hace posible el ingreso de soluciones corrosivas.
- Mayor permeabilidad como resultado del alto contenido de agua, curado inadecuado, carbonatación, agregados de peso ligero, o proporciones inapropiadas de matriz – agregado.

El ACI 305R (1999:3) detalla algunos procedimientos y medidas para reducir o evitar problemas potenciales derivados del concreto en climas calurosos:

- Seleccionar materiales para concreto y proporcionamientos de los mismos que hayan tenido éxito al usarse en el campo bajo condiciones climáticas calurosas
- Enfriar el concreto.
- Emplear una consistencia del concreto tal que permita la colocación rápida y la consolidación eficiente.
- Minimizar el tiempo para transportar, colocar, consolidar y terminar el concreto
- Planear el trabajo a fin de evitar una exposición perjudicial del concreto al medio ambiente; programar las operaciones de colado en horas del día o de la noche que tengan condiciones climáticas favorables

- Proteger al concreto contra pérdidas de humedad en todo momento durante la colocación y durante su periodo de curado
- Programar una conferencia previamente a la colocación para discutir requisitos del colado del concreto en clima caluroso.

## **B. Tasa de evaporación**

Un método para determinar si existe posibilidad de fisuras es por medio de las tasas de evaporación como indica el CIP 5 «Cuando altas tasas de evaporación provocan que la superficie del concreto se seque antes de que haya fraguado, es muy probable que ocurra el agrietamiento por contracción plástica» (2008:1).

Generalmente se piensa que se generan tasas de evaporación altas como para inducir fisuras cuando se coloca concreto en climas calurosos, sin embargo, existen varios factores que afectan la tasa de evaporación como (CIP5, 2008:1):

- La temperatura del aire
- La humedad relativa
- La temperatura del concreto
- La velocidad del viento (CIP5, 2008:1)

Para medir la tasa de evaporación se utiliza un nomograma, el cual está basado en métodos para estimar la rapidez de evaporación del agua desde los lagos y embalses, por eso los resultados obtenidos son más exactos cuando la superficie del concreto está cubierta de agua de sangrado. En el caso que la superficie no esté cubierta con agua de sangrado, se tiende a sobreestimar la rapidez de la pérdida del agua desde la superficie del concreto en un factor de 2 o más (ACI 305R, 1999:6).

Con este método se puede estimar el potencial de evaporación de las condiciones ambientales, más que como un estimador de la rapidez real de la pérdida de agua en el concreto. Según pruebas realizadas, cuando se está en la etapa temprana del proceso de sangrado y las tasas de evaporación son menores o iguales a 1 kg/m<sup>2</sup>/hr el método da buenos resultados al compararlo con la pérdida de agua (ACI 305R, 1999:6).

Es importante considerar que la velocidad del viento se debe medir a 20 pulgadas (0.50 m) por encima de la superficie de evaporación, porque la velocidad del viento incrementa con la altura por encima de la superficie del concreto y se sobreestimaría la rapidez de evaporación. Además se deben tomar mediciones de la velocidad del viento en diferentes momentos, sin registrar ráfagas de viento que son pasajera. La humedad relativa y la temperatura del aire deben medirse aproximadamente entre 1.2 a 1.8 metros sobre la superficie de evaporación (ACI 305R, 1999:6).

El valor que se considera crítico en la tasa de evaporación porque la rapidez de evaporación podría alcanzar a la velocidad de sangrado es de 0.2 lb/pie<sup>2</sup>/hr (1.0 kg/m<sup>2</sup>/hr). Según experiencias cuando se adiciona humo de sílice se han especificado tasas de evaporación máximas permisibles de 0.05 lb/pie<sup>2</sup>/hr (0.025 kg/m<sup>2</sup>/hr), esto por el efecto de estas adiciones en el retardo de sangrado que se discutió anteriormente (ACI 305R, 1999:8).

Puede aumentar la probabilidad de que aparezcan grietas por contracción plástica si se retrasa el tiempo de fraguado del concreto, cuando se utiliza cemento de fraguado lento, una dosificación excesiva de aditivo retardante, ceniza volante como sustituto de cemento o concreto enfriado (ACI 305R, 1999:8).

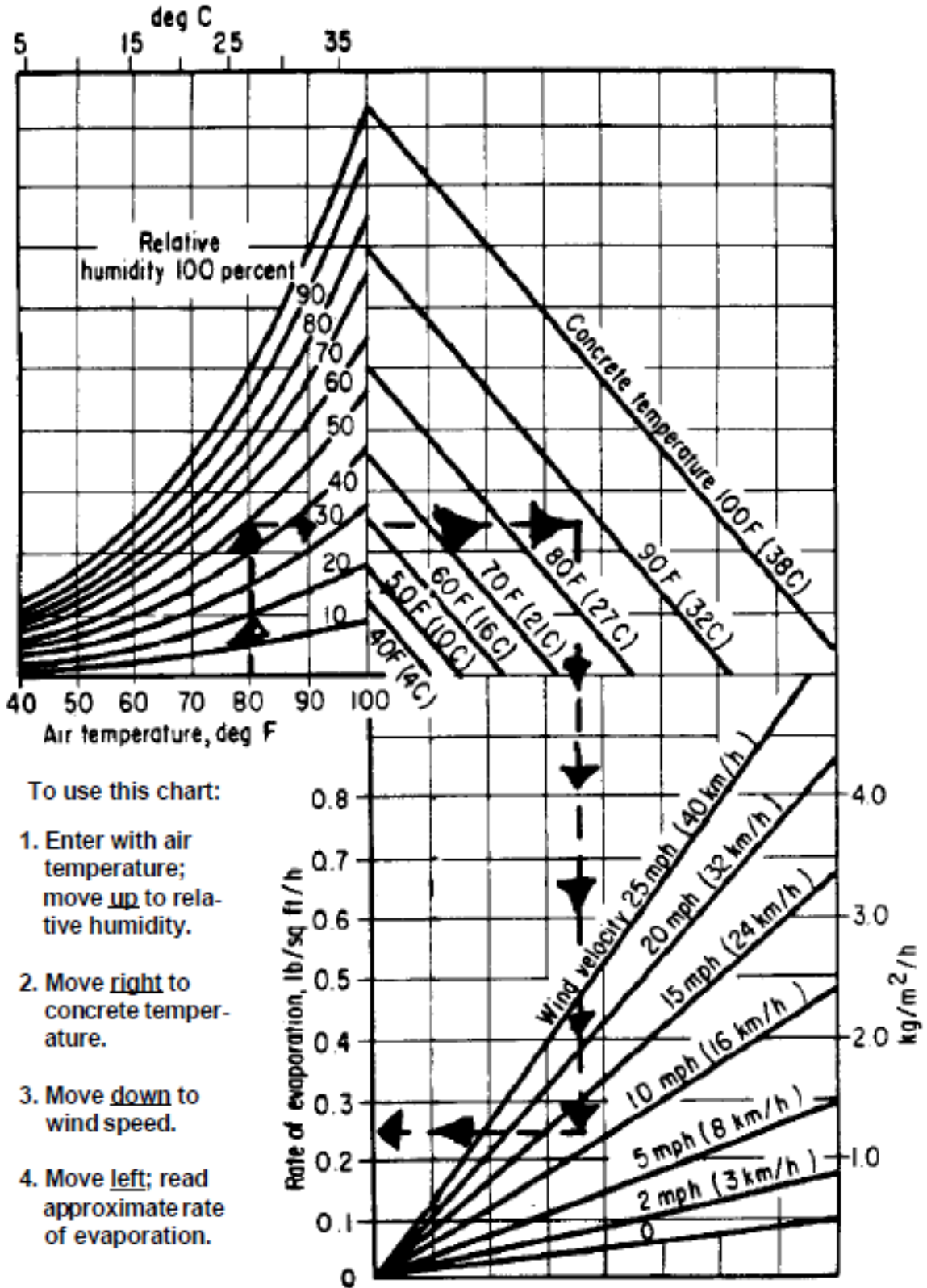
En climas calurosos no siempre es práctico recomendar una temperatura máxima del concreto o del ambiente, ya que la humedad relativa o la velocidad del viento pueden ser bajos, permitiendo colocar el concreto sin inconvenientes. Con lo anterior se puede detectar que la condición de cada obra es diferente, por lo que no se pueden generalizar con los resultados obtenidos en proyectos previos sino únicamente se toman como referencia.

### **C. Efecto del agua en el concreto**

Según el documento de la PCA, la contracción por secado se incrementa con el contenido total de agua (2004:13). En los climas calurosos con frecuencia incrementa la demanda de agua en el concreto, para lograr un asentamiento determinado o existe la necesidad de adicionarla en obra, y con ello aumenta la posibilidad de contracción plástica por secado subsecuente. El concreto que se coloca en clima caluroso también puede agrietarse por contracción térmica al enfriarse, generando un mayor agrietamiento que el observado (PCA, 2004:13).

La cantidad de agua que se necesita para producir un determinado asentamiento aumenta conforme el tiempo transcurre a partir de que el cemento se humedeció. Como se puede observar en las siguientes gráficas, la cantidad de agua necesaria para obtener un asentamiento aumenta con la temperatura (ACI 305R, 1999: 8):

Gráfico 10: Nomograma para el cálculo de la tasa de evaporación



(ACI 305R, 1999:7)

Gráfico 11: Efecto de la temperatura del concreto en el asentamiento y en el agua necesaria para cambiar el asentamiento

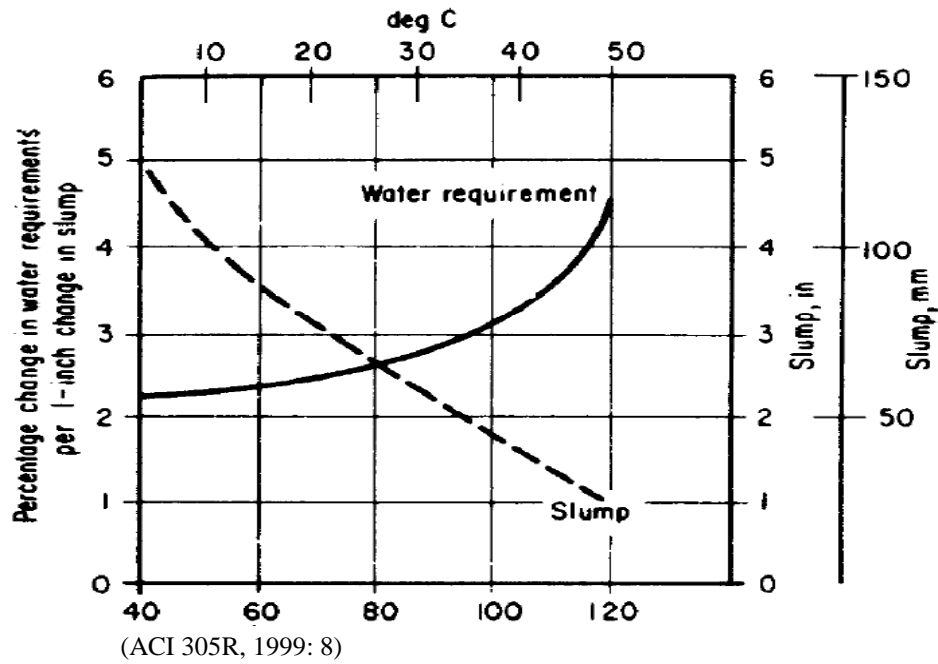
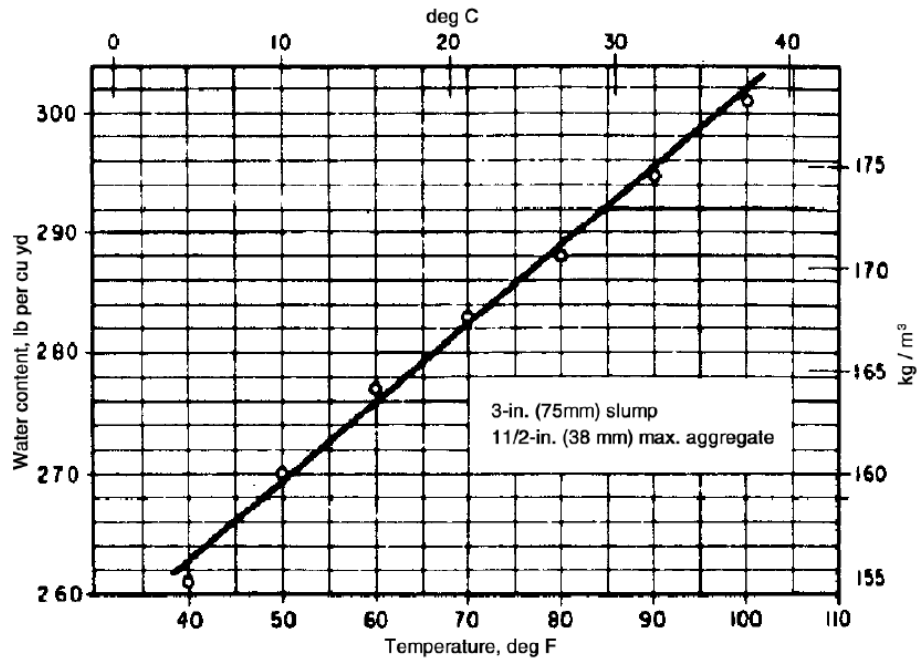


Gráfico 12: Efecto del aumento de temperatura en los requerimientos de agua para el concreto



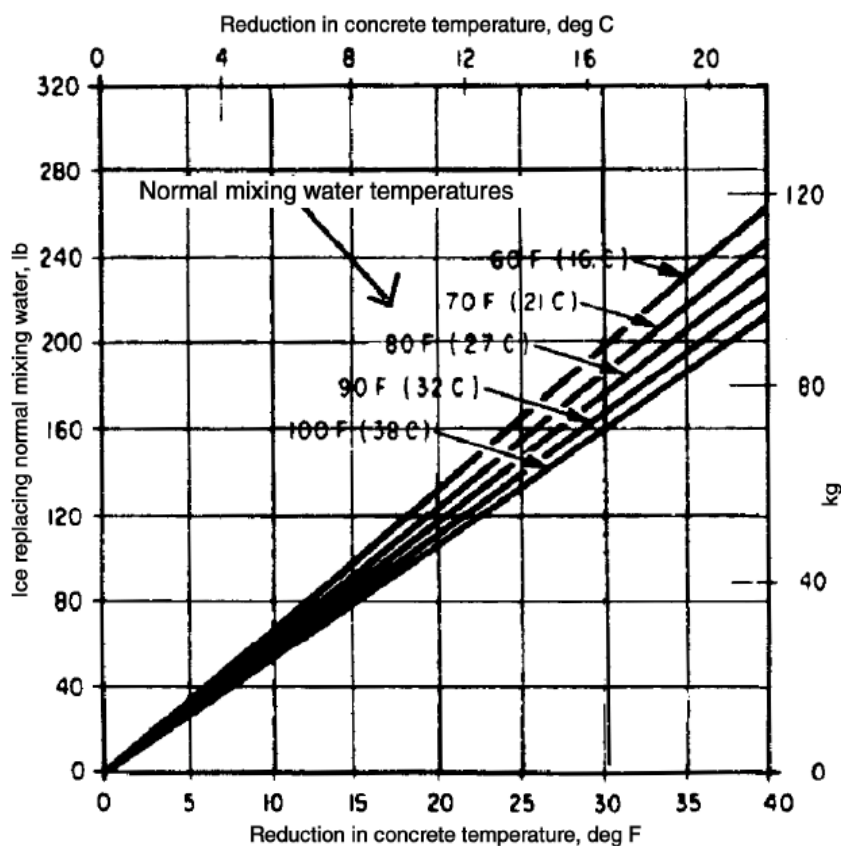
El agua por tener un calor específico del orden de cinco a cuatro veces el del cemento o el de los agregados, tiene un efecto mayor por unidad de masa sobre la temperatura del concreto, además su temperatura es más fácil de controlar que la de los demás materiales, a pesar de ser usada en menores

cantidades. Según el ACI 305R «la disminución de la temperatura del agua de mezclado entre 2 a 2.2 °C (3.5 a 7 F) se reducirá la temperatura del concreto en aproximadamente 0.5°C (1F) ». Unos de los métodos para enfriar el agua pueden ser por medio de enfriadores, nitrógeno líquido, hielo o tecnología de bombas de calor (1999:9).

Utilizar hielo para reemplazar agua de mezclado es el método que resulta más eficiente, ACI 305R indica que «El sólo derretimiento absorberá calor con una rapidez de 144 Btu/lb (335J/gr)» además indica que «Su volumen deberá estar limitado a aproximadamente el 75% de la cantidad necesaria de agua de mezclado». El hielo se debe triturar, raspar o picar y colocarse directo en la mezcla de concreto, es importante asegurarse que se derrita completamente (1999:9).

En la siguiente gráfica se muestran posibles reducciones de temperatura en el concreto si se sustituyen diferentes cantidades de agua a la temperatura mostrada, por hielo a una a 32 F (0°C). Para una mayor reducción de temperatura se puede utilizar nitrógeno líquido, requiere de un mejor manejo porque puede causar quemaduras y es más costoso (ACI 305R, 1999:9).

Gráfico 13: Efectos generales del hielo en el agua del mezclado sobre la temperatura del concreto. Las temperaturas corresponden a los valores del agua de mezclado normal



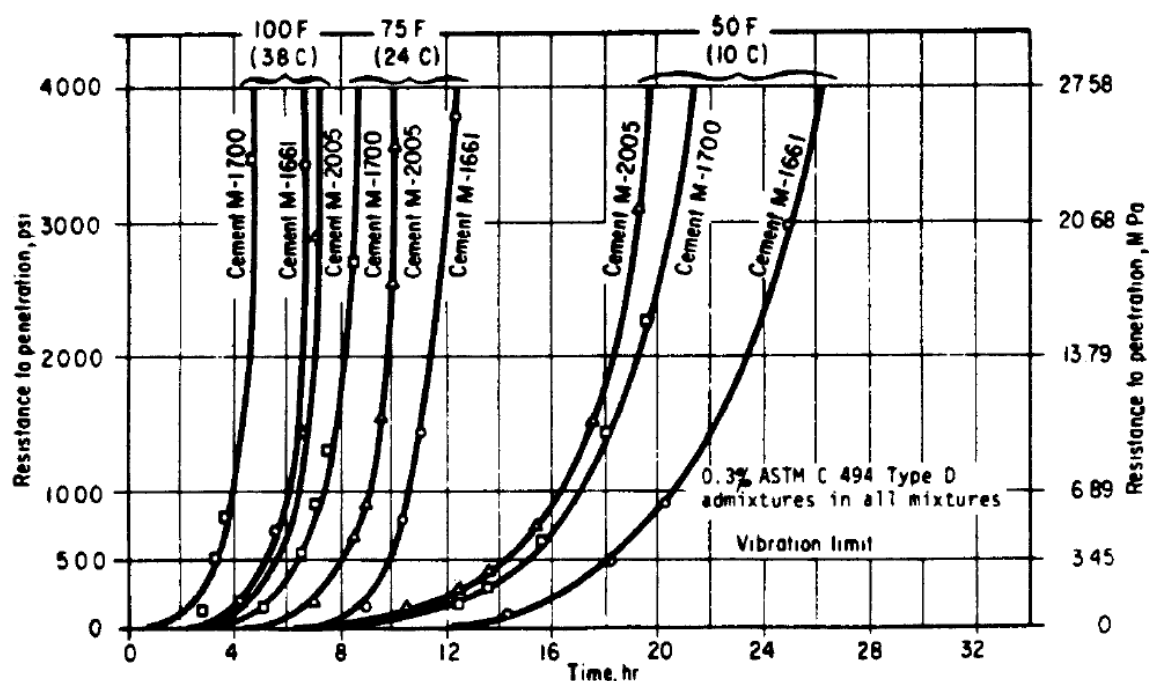
(ACI 305R, 1999:9).

## D. Efecto del cemento

Al incrementar la temperatura del concreto tiene como consecuencia el incremento de la rapidez de hidratación del cemento, lo cual genera que el concreto tenga un tiempo de fraguado más rápido y si se desea mantener o alcanzar determinado asentamiento se deba agregar más agua, lo cual puede tener la consecuencia de inducir fisuras y pérdida de resistencia (ACI 305R, 1999:10).

Al momento de colocar concreto en un clima caluroso, se recomienda elegir adecuadamente el tipo de cemento que usualmente es uno de bajo calor de hidratación. Como se puede ver en el siguiente gráfico, un cemento con un bajo calor de hidratación puede prolongar el tiempo para alcanzar su fraguado final a comparación de uno que tiene un alto calor de hidratación. Un cemento tipo portland tipo II, de mezclado tipo IP o IS como los clasifica la ASTM C 150 pueden mejorar la trabajabilidad del concreto en climas calurosos (ACI 305R, 1999:10).

Gráfico 14: Efecto de la temperatura y de la marca de cemento en las características del tiempo de fraguado de los morteros de concreto



(ACI 305R, 1999:10).

Según el ACI 305R «El concreto que contiene los cementos con fraguado más lento puede ser más propenso a presentar agrietamiento por contracción plástica» (1999:11):

Otra ventaja de utilizar cementos de hidratación más lenta según el ACI 305R es la siguiente «La menor rapidez de generación de calor y la disipación simultánea de calor del concreto traen como resultado menores temperaturas pico. Se tendrá una menor expansión térmica y se reducirá el riesgo de agrietamiento

por temperatura al enfriarse el concreto» (1999:11). Ya que el incremento en la temperatura del concreto es proporcional al contenido de cemento, en clima caluroso solo debe utilizarse la cantidad de cemento suficiente para lograr la resistencia y durabilidad que se necesitan.

Según el ACI 305R:11 «Las mezclas de concreto consistirán de aproximadamente 10 a 15% de cemento. Esto incrementará la temperatura del concreto en aproximadamente 1F (0.5°C) por cada 8F (4°C) de incremento en la temperatura del cemento» (1999:11).

## **E. Aditivos químicos**

Los aditivos químicos que se utilizan en el concreto están regidos por la norma ASTM C 494 (Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto). Gracias a los aditivos se pueden mejorar características del concreto, se ha logrado un mejor manejo del concreto fresco en climas cálidos, ayudando a reducir la demanda de agua, prologar el tiempo de manejo y logrando obtener buenas resistencias en comparación con concretos producidos sin aditivos (ACI 305R, 1999:12).

Los aditivos químicos pueden tener diferente reacción química, dependiendo del tipo de cemento y de los agregados. La ASTM C494 califica los aditivos en diferentes tipos, por ejemplo los de tipo D son reductores de agua y retardante estos ayudan a que la demanda de agua sea menor para lograr el asentamiento deseado, y a reducir la cantidad de cemento para alcanzar la resistencia especificada. Además pueden aumentar el sangrado prematuro, pudiendo beneficiar para evitar que se seque la superficie del concreto que se coloca a altas temperaturas y con baja humedad, en donde la tasa de evaporación podría ser alta. Es importante considerar que en estos casos el concreto se debería de consolidar una vez se presente la mayor parte del sangrado, con el fin de evitar fisuras por asentamiento diferencial inducidas por el acero de refuerzo (ACI 305R, 1999:12).

Según el ACI 305R «Si el aditivo reduce la resistencia a la tensión y la capacidad de resistir las deformaciones por tensión, se puede aumentar la tendencia a la contracción plástica» (1999:12).

Los aditivos catalogados como tipo G la ASTM C 494 que son reductores de agua de alto rango y retardantes, conocidos como superfluidificantes pueden utilizarse para producir concretos que requieran una buena fluidez, Según el ACI 305R:12 «para asentamientos altos, la generación de calor debida a la fricción interna durante el mezclado del concreto será menor» (1999:12).

Los aditivos reductores de agua de medio rango de tipo A y algunos F según la ASTM C 494, no retardan significativamente el tiempo de fraguado del concreto, según el ACI 305R:13 «El uso de reductores de agua de rango medio es benéfico en aquellos casos cuando las propiedades del agregado contribuyen a una pobre trabajabilidad o a dificultades en el acabado» (1999:13).

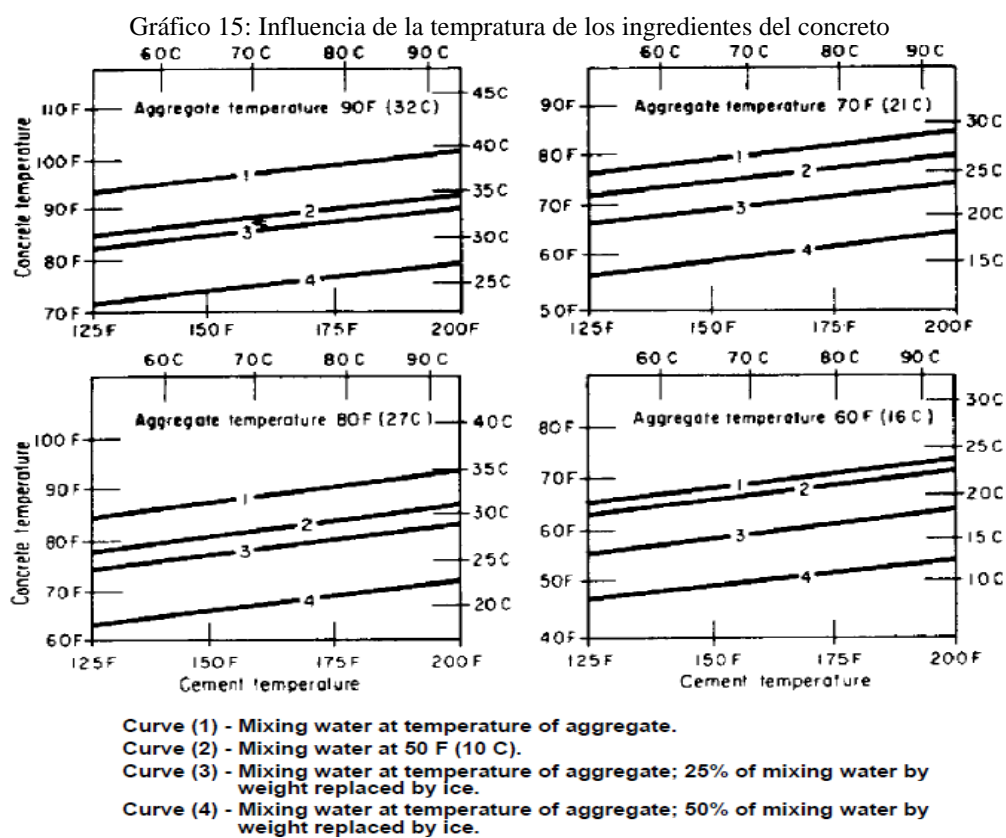
## F. Control de la temperatura del concreto

Como indica el ACI 305R, el clima caluroso no debería ser una limitante para producir concreto, «El concreto se puede producir en climas calurosos sin establecer límites máximos de la temperatura de colocación y se comportará de manera satisfactoria si se toman las debidas precauciones en el momento de la dosificación, producción, entrega, colocación y curado» (1999:15).

Mantener la temperatura del concreto lo más baja que se pueda, ayuda considerablemente a eliminar características indeseadas en el concreto, un ejemplo teórico es que para reducir 1F (0°C) se puede lograr si se reduce la temperatura de los materiales consecutivos en cualquiera de las siguientes proporciones: 8F (4°C) en el cemento, 4F (2°C) en el agua, 2F (1°C) en los agregados (ACI 305R, 1999:16).

Los agregados por ocupar la mayor parte de la proporción de los materiales para producir concreto hidráulico, al reducir su temperatura ayuda a reducir la temperatura del concreto. Una manera práctica de mantener baja la temperatura del pedrín y la arena es almacenarlos en un lugar con sombra y rociarlos con agua o nebulizaciones de los volcanes (ACI 305R, 1999:16).

En las siguientes gráficas tomadas del ACI 305R se puede apreciar la influencia de los ingredientes en la temperatura de la mezcla de concreto (1999:17):



(ACI 305R, 1999:17)

Es importante conocer el significado del término retemplado, que según el ACI 305R se define de la siguiente manera: «la adición de agua y remezclado del concreto, o el mortero que ha perdido la suficiente trabajabilidad como para no poder colocarse o venderse» (1999:18).

Al agregarle demasiada agua de remezclado al concreto para recuperar la trabajabilidad en campo, se incrementa la relación agua/Cemento y como resultado se reduce la resistencia a la compresión y la durabilidad. Es importante evaluar el efecto de los aditivos plastificantes en campo cuando se aplican en lugar de agua de remezclado, ya que si la temperatura del concreto es alta, después de incrementar la fluidez del concreto puede que sea momentáneo y se empiece a endurecer de forma brusca, dificultando la compactación, el acabado, calidad del elemento y pudiendo dañar equipos (ACI 305R, 1999:18).

## V. CONTRACCIÓN PLÁSTICA

Durante el proceso de endurecimiento y secado del concreto, el exceso del agua de mezclado se evapora, lo cual genera una disminución de volumen, a este proceso se le conoce como contracción plástica (PCA, 2004:4). Existen varios documentos de referencia sobre los efectos que tiene la contracción plástica en el concreto fresco, además en la actualidad hay diferentes métodos para reducir las fisuras que se pueden generar si se tiene una tasa de evaporación muy alta.

### A. Fisuras por contracción plástica

El efecto perjudicial de la contracción plástica en el concreto son las fisuras, como indica el ACI 305R se producen cuando el concreto se queda sin agua en la superficie, «Debido a que el secado de la superficie de evaporación se inicia cuando la rapidez de evaporación excede la rapidez del sangrado, la probabilidad de agrietamiento por contracción plástica, por lo tanto, se incrementa siempre que las condiciones ambientales incrementan la evaporación, o cuando el concreto tiene una reducida velocidad de sangrado» (ACI 305R, 1999:6). Además el CIP 5 indica que «Las grietas por contracción plástica son causadas por una rápida pérdida de agua de la superficie del concreto antes de que éste haya fraguado. La condición crítica existe cuando la tasa o velocidad de evaporación de la humedad superficial excede la tasa en el cual el agua de exudación (sangrado) que sube puede reemplazarla» (2008:1).

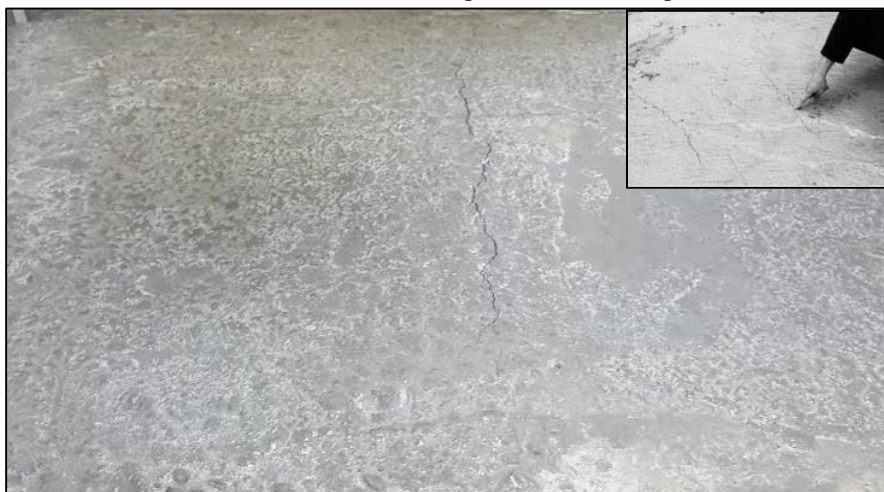
Es importante considerar que cuando el concreto está expuesto a altas temperaturas, velocidades de viento o baja humedad, ya sea de forma independiente o en combinación entonces el agua superficial tiende a evaporarse rápidamente. Mientras que el agua de sangrado depende más de los materiales y proporciones de la mezcla, del peralte del elemento y de la forma de compactación y dar acabado. Con esto podemos analizar que el concreto se puede fisurar si las condiciones ambientales incrementan la tasa de evaporación y/o el concreto tiene una lenta velocidad de sangrado (ACI 305R, 1999:6).

Cuando a las mezclas de concreto se les adiciona ceniza volante, humo de sílice o cementos finos, la velocidad de sangrado puede ser baja o nula lo cual lleva a que sean muy sensibles al secado de la superficie y a la contracción plástica pudiéndose fisurar. Cuando el clima es caluroso pero tiene una tasa de evaporación superior al 80% el riesgo de que aparezcan fisuras por contracción plástica es bajo (ACI 305R, 1999:6).

Como indica el CIP 5 generalmente las fisuras por contracción plástica no comprometen estructuralmente a los elementos de concreto, «Las grietas de contracción plástica son antiestéticas, pero raramente afectan la resistencia o la durabilidad de los pisos de concreto y los pavimentos» (2008:1). Además indica que tienen una forma y distancia definida «Usualmente son paralelas entre sí a una distancia del orden de 1 a 3 pies (0.3 a 0.9 m), relativamente superficiales y generalmente interceptan el perímetro de la losa» (2008:1).

Es importante saber reconocer si las fisuras que son causadas por contracción plástica, puesto que pueden confundirse con las ocasionadas por asentamiento del concreto alrededor de las barras de refuerzo al momento de retraerse, por el movimiento del encofrado, agrietamiento térmico temprano o cuando existe asentamiento diferencial en un cambio de sección de concreto. Las grietas por contracción plástica es difícil de cerrarlas una vez se forman (CIP5, 2008:1).

Gráfico 16: Fisuras causadas por la contracción plástica



(CIP5, 2008:1)

## VI. EVALUACIÓN DEL AGRIETAMIENTO POR CONTRACCIÓN PLÁSTICA

Para evaluar la influencia que tiene el tamaño del agregado grueso y la cantidad de la cantidad de mortero en la contracción plástica del concreto elaborado con cemento hidráulico, se toma de referencia la norma ASTM C 1579-13 (Método de prueba estándar para la evaluación del agrietamiento por contracción plástica restringida del hormigón reforzado con fibras).

El alcance de esta norma incluye comparar el desempeño de concretos con diferentes proporciones de mezcla, concretos con o sin fibra, concretos con diferentes proporciones de diferentes tipos de fibras, y concretos con diferentes cantidades y tipos de aditivos. Para este trabajo se aprovecha el método para evaluar la influencia del agregado y la pasta en la aparición de fisuras por contracción plástica, en las últimas pruebas se efectúa un diseño de mezcla con fibra (ASTM C1579, 2013:1).

En la prueba se diseñan diferentes paneles de concreto en base a los requisitos indicados por la norma, estos se someten a condiciones controladas de secado severas a manera de que induzcan las fisuras por contracción plástica antes de que alcancen su fraguado final. Se debe lograr una tasa de evaporación mínima de  $1\text{kg}/\text{m}^2 * \text{hr}$ , para que las muestras de concreto se fisuren antes de alcanzar su fraguado final (ASTM C1579, 2013:1).

Para que las comparaciones sean significativas, las condiciones de evaporación deben ser las necesarias producir fisuras con un ancho promedio de al menos 0.50 en los especímenes. Además la tasa de evaporación medida debe estar dentro del  $\pm 5\%$  para cada prueba (ASTM C1579, 2013:2).

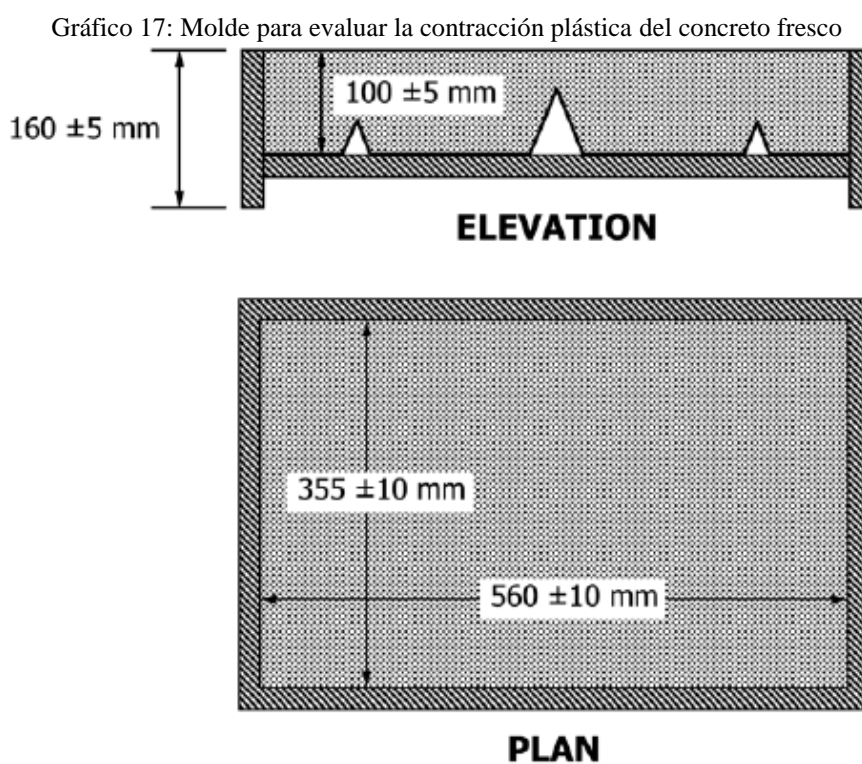
Para monitorear la tasa de evaporación se colocan dentro de la cámara recipientes con dimensiones conocidas, así conocer la pérdida de agua en el tiempo. La prueba finaliza cuando el concreto alcanza su fraguado final, el cual es medido según la norma ASTM C 403 (ASTM C1579, 2013:1).

Las variables atmosféricas que se tratan de controlar por medio de este método para obtener resultados significativos. Además existen otras variables como el módulo de finura del cemento, gradación del agregado, el volumen del agregado, los procedimientos de mezclado, el asentamiento, el contenido de aire, la temperatura del concreto y el acabado superficial que también pueden influir en las fisuras, por eso se debe tratar de mantener constantes las mezclas como sea posible (ASTM C1579, 2013:2).

## A. Equipos

**1. Moldes:** cuando el tamaño del agregado es igual o menor que 19 mm (3/4"), se debe utilizar un molde con una profundidad de  $100 \pm 5$  mm y dimensiones rectangulares de  $355 \pm 10$  mm por  $560 \pm 15$  mm. El molde puede ser fabricado de metal, plástico o de plywood. Cuando se utiliza plywood debe tener baja absorción, y debe usarse aproximadamente 50 veces (ASTM C1579, 2013:2).

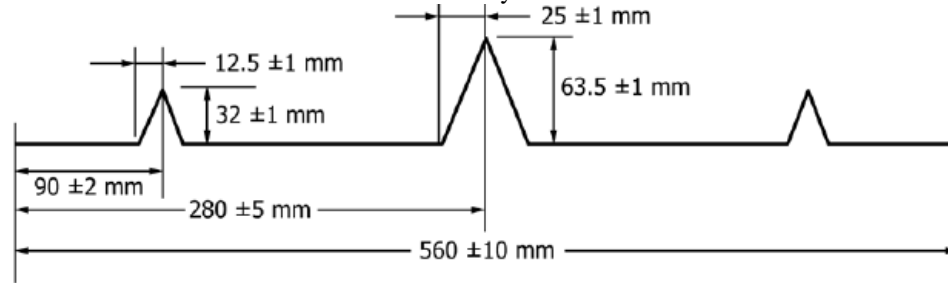
Este ensayo está diseñado para agregados menores o iguales a 19 mm, para agregados mayores, la profundidad del molde debe ser al menos 65 mm más 2 veces el tamaño máximo del agregado (ASTM C1579, 2013:2).



(ASTM C1579, 2013:2)

**2. Elevador de tensión y sistema de retención interno:** Debe ser fabricado de una pieza de metal doblada o de una pieza sólida de metal. En la siguiente figura se ven las dimensiones de esta pieza, el elevador de tensión central es de  $64 \pm 2$  mm y sirve como punto de inicio para las fisuras. Este elevador de tensión deberá estar encajado en la parte inferior del molde, se utiliza aceite para recubrirlo y evitar que el concreto se adhiera a la placa (ASTM C1579, 2013:2).

Gráfico 18: Elevador de tensión y sistema de retención interno



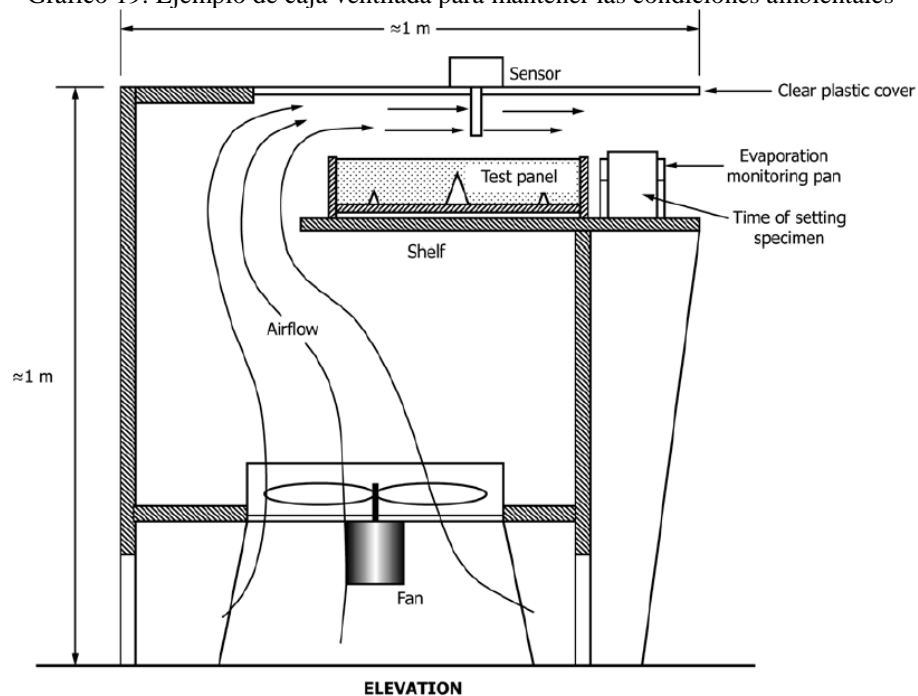
### Stress Riser Geometry

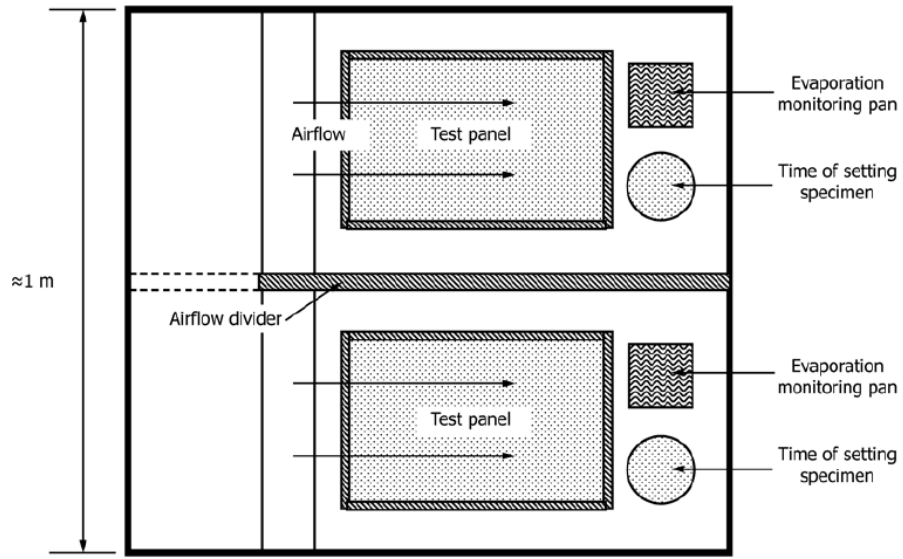
(ASTM C1579, 2013:2)

**3. Ventilador de velocidad variable:** Tiene que ser capaz de alcanzar una velocidad del viento de más de 4.7 m/s sobre la superficie del panel de ensayo (ASTM C1579, 2013:3).

**4. Cámara ambiental:** La forma más práctica para lograr un flujo de aire uniforme sobre la superficie del panel, es utilizar una caja de ventilador en una cámara ambiental. Una cubierta transparente sobre los paneles ayudará a obtener un flujo uniforme de aire y a observar la formación de fisuras (ASTM C1579, 2013:3).

Gráfico 19: Ejemplo de caja ventilada para mantener las condiciones ambientales

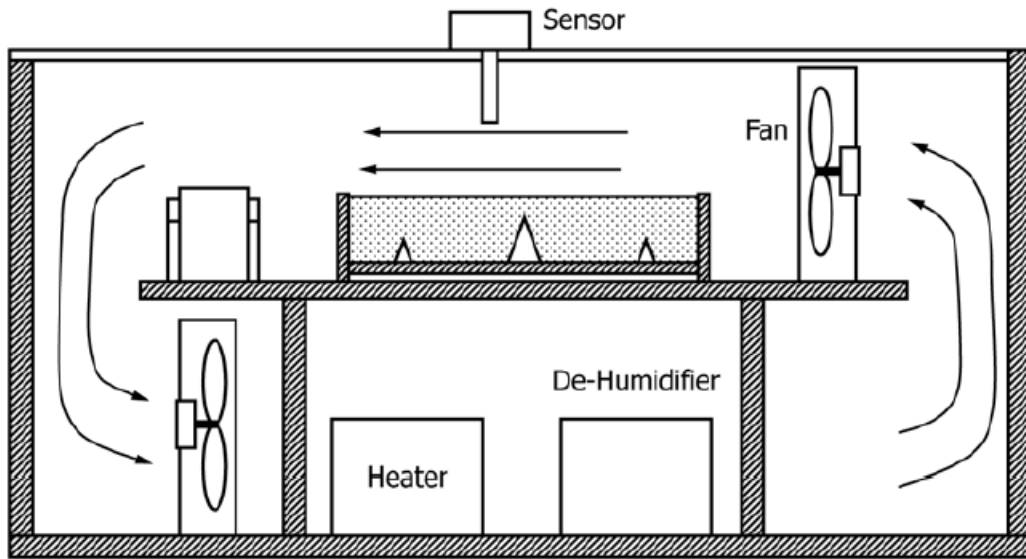




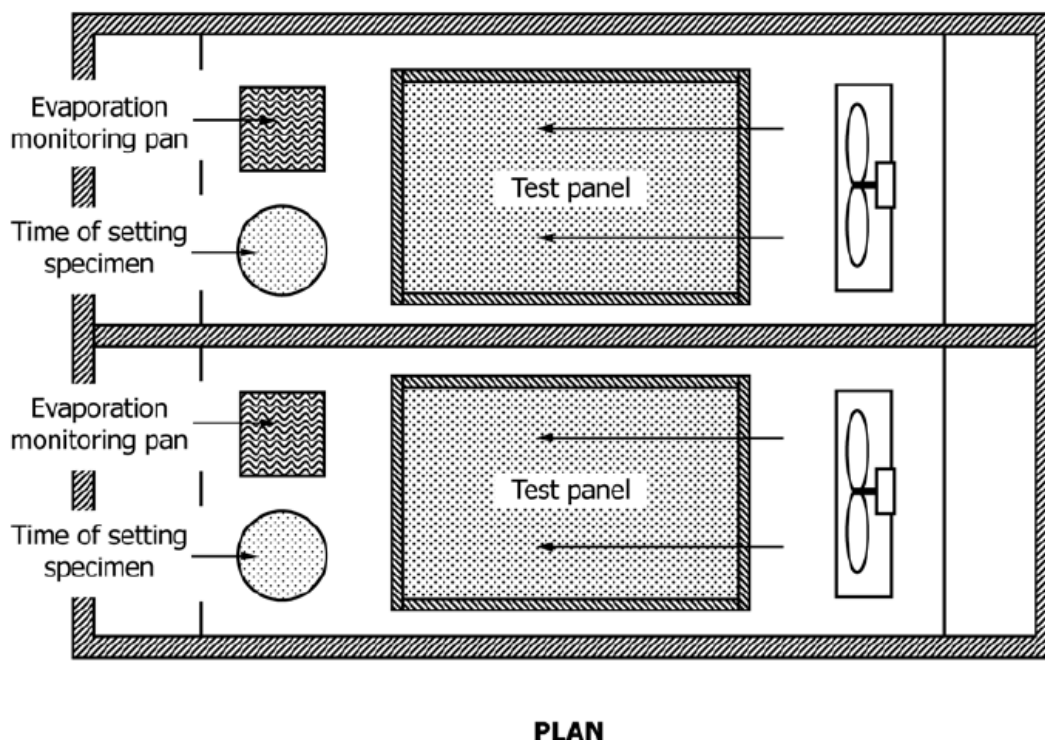
(ASTM C1579, 2013:4)

En el siguiente gráfico se muestra otro diseño de la cámara ambiental:

Gráfico 20: Ejemplo de cámara mantener las condiciones ambientales



ELEVATION



(ASTM C1579, 2013:5)

En este sistema se muestra la incorporación de un calentador comercialmente disponible, humidificador y deshumidificador con la finalidad de mantener la condición del medio ambiente especificada (ASTM C1579, 2013:3).

Cualquiera de los dos sistemas se pueden utilizar para llevar a cabo la prueba, siempre que se alcance la tasa de evaporación mínima de  $1 \frac{kg}{m^2} * hr$ . La temperatura debe mantenerse entre  $36 \pm 3^\circ C$ , la humedad relativa debe ser entre  $30 \pm 10\%$  y la velocidad del viento lo suficiente para alcanzar la tasa de evaporación mínima (ASTM C1579, 2013:3).

**5. Sensores:** Es necesario que se utilicen sensores de temperatura, humedad y velocidad del viento, para medir la temperatura del aire del ambiente y de la superficie del concreto con una precisión de  $0.5^\circ C$ , humedad relativa con una precisión del 1% y velocidad del aire con una precisión del  $0.1 \text{ m/s}$  (ASTM C1579, 2013:3).

**6. Plataforma vibratoria:** Puede utilizarse cualquier dispositivo que permita consolidar adecuadamente el panel de ensayo, por ejemplo un vibrador externo que cumpla con los requisitos de frecuencia especificados en la ASTM C29 (ASTM C1579, 2013:3).

**7. Equipo para acabado superficial:** Se utiliza una regla de hierro para darle acabado a la superficie del concreto después de la vibración. Una regla de magnesio, acero, o una paleta de madera se utiliza para el acabado de la superficie de la muestra luego de emparejarla (ASTM C1579, 2013:3).

**8. Cacerola de monitoreo:** Debe ser adecuado para estar expuesta al agua y a la corriente de aire. Los lados deben ser verticales, y debe ser del tamaño suficiente para exponer al menos  $0.1 \pm 0.01 \text{ m}^2$  de agua a la corriente de aire. El borde expuesto de la cacerola no debe exceder más de 5 mm sobre el nivel del agua cuando inicie el ensayo (ASTM C1579, 2013:3).

**9. Escala:** Si se requiere medir la tasa de pérdida de humedad de los paneles de prueba, se pesan en una balanza que tenga la capacidad al menos 100 kg y una precisión del 0.1% de la carga de prueba. Se deben pesar las cacerolas de monitoreo de la tasa de evaporación con una balanza o báscula que tenga la capacidad de al menos 3 kg y una precisión de 5 g (ASTM C1579, 2013:3).

**10. Herramienta de medición de la fisura:** Puede utilizarse un microscopio de mano, un comparador de fisuras o un sistema de análisis de imágenes. La herramienta debe ser capaz de medir la fisura al menos al 0.05 mm más cercano (ASTM C1579, 2013:3).

## **B. Procedimiento**

- Determinar el asentamiento por medio de la norma ASTM C 143 (ASTM C1579, 2013:3).
- Fabricar especímenes para calcular el tiempo de fraguado, según el procedimiento establecido en la norma ASTM C 403. Estos especímenes se deben colocar en las mismas condiciones que los paneles para evaluar la contracción plástica (ASTM C1579, 2013:3).
- Rellenar los moldes utilizando una capa de concreto, consolidarlos por medio de vibración externa hasta que el concreto esté aproximadamente al nivel de la parte superior del molde. Emparejar los especímenes perpendicular al elevador de tensión tres veces (ASTM C1579, 2013:3).
- Después de nivelar, dé el acabado de la superficie dándole un determinado número de pasadas. Si se va a determinar la pérdida de humedad desde el panel, se debe eliminar cualquier adherencia de residuos de concreto en el exterior del molde y se deben pesar los paneles en los moldes (ASTM C1579, 2013:3).

- Colocar el panel de concreto en la cámara ambiental debajo de la corriente del ventilador.
- Se enciende el ventilador que se estableció para alcanzar la velocidad suficiente para para obtener la tasa de evaporación requerida (mínima  $1 \frac{kg}{m^2} * hr$ ). La evaluación de las fisuras empieza en ese momento (ASTM C1579, 2013:3).
- Llevar registro a un intervalo de cada 30 minutos, de la temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del flujo de aire localizado a una distancia de  $150 \pm 5$  mm sobre la superficie de los paneles. Se puede documentar el momento en el que empezaron a aparecer las fisuras. Además se lleva el control de la prueba de penetración ASTM C 403, en este intervalo de tiempo (ASTM C1579, 2013:3).
- La tasa de evaporación se calcula, al determinar la masa de agua en la cacerola que se pierde cada 30 minutos, y se divide dentro del área de la cacerola utilizada. La prueba se descarta si la tasa de evaporación es menor a  $1 \frac{kg}{m^2} * hr$ . Se deben hacer ajustes en la velocidad del viento para incrementar la tasa de evaporación (ASTM C1579, 2013:3).
- Cuando se llega al fraguado final, se debe documentar las variables atmosféricas, detener los ventiladores, anotar el tiempo y determinar el total de agua perdida de las cacerolas de control. Si se desea determinar la pérdida de humedad en los paneles, se deben pesar los paneles en su molde. Almacenar los paneles en el laboratorio a una temperatura de  $23 \pm 2^{\circ}C$  y bajo hojas de plástico para minimizar la evaporación mientras se están midiendo el ancho de las fisuras (ASTM C1579, 2013:3)

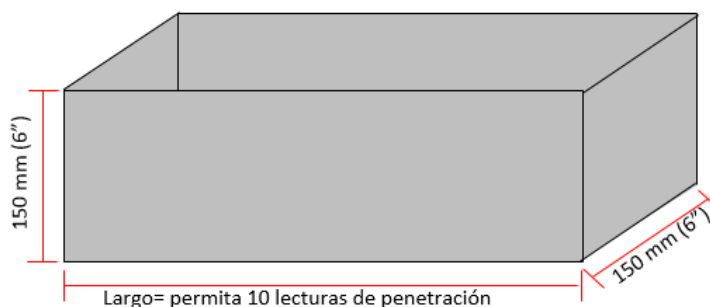
## VII. DETERMINACIÓN DEL FRAGUADO POR SU RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (COGUANOR NTG 41017 h12)

La norma NTG 41017 h12 (ASTM C C403/C403M-08), muestra un método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del concreto hidráulico mediante el incremento que el mortero tiene a la penetración. En esta norma se define el tiempo que se requiere para alcanzar valores que se han establecido de resistencia a la penetración. Es aplicable para concreto, morteros y grauts (COGUANOR, 2013:5).

### A. Equipo

**1. Contenedores para las especificaciones de mortero:** Deben ser rígidos, herméticos, no absorbentes, libres de aceite o de grada, pueden ser cilíndricos o rectangulares en sección transversal. Deben tener un área de superficie de mortero que permita hacer 10 lecturas de resistencia a la penetración de acuerdo con los requisitos de distancias libres entre lecturas especificadas en el procedimiento de ensayo. La dimensión lateral debe ser de por lo menos 150 mm (6") y la altura debe ser de por lo menos 150 mm (6") (COGUANOR, 2013:7).

Gráfico 21: Dimensiones de los contenedores para las especificaciones de mortero



**2. Agujas de penetración:** Deben ser agujas que se puedan acoplar al aparato de carga y que tengan las siguientes áreas de contacto: 645, 323, 161, 65, 32 y 16mm<sup>2</sup> (1, 1/2, 1/4, 1/10, 1/20 y 1/40 pulg<sup>2</sup>). Cada espiga de las agujas debe ser marcada circunferencialmente a una distancia de 25 mm (1 pulg) del área de contacto. La longitud de la aguja de 16 mm<sup>2</sup> (1/40 pulg<sup>2</sup>) no debe ser mayor de 90 mm (3 1/2 pulg) (COGUANOR, 2013:7).

**3. Aparato de aplicación de carga:** Debe tener un dispositivo para medir la fuerza requerida para causar la penetración de las agujas, además debe ser capaz de medir la fuerza de penetración con una exactitud de  $\pm 10\text{N}$  ( $\pm 2\text{lb}$ ) y debe tener una capacidad de por lo menos  $600\text{N}$  ( $130\text{lb}$ ) (COGUANOR, 2013:7).

Gráfico 22: Ejemplo de penetrómetro



**4. Varilla apisonadora:** De ser una varilla de acero redonda y recta de  $16\text{mm}$  ( $\frac{5}{8}$  pulg) de diámetro y de aproximadamente  $600\text{mm}$  ( $24$  pulg) de longitud, que tenga el extremo de apisonar a ambos extremos redondeados en una punta semiesférica cuyo diámetro sea de  $16\text{mm}$  ( $\frac{5}{8}$  pulg) (COGUANOR, 2013:7).

**5. Pipeta:** Aparato apropiado para extraer agua de exudación de la superficie del espécimen de ensayo (COGUANOR, 2013:7).

**6. Termómetro:** Según la norma NTG 41017h12, debe medir la temperatura del mortero recién mezclado con una aproximación de  $\pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$  ( $\pm 1^\circ\text{F}$ ). Se consideran satisfactorios, los termómetros ASTM de líquido en vidrio que tengan un rango de temperatura de  $-20$  a  $50\text{ }^\circ\text{C}$  ( $0$  a  $120\text{ }^\circ\text{F}$ ) y que cumpla con los requisitos del Termómetro 97F (o 97C), prescritos en la especificación ASTM E2251. Otros termómetros de la exactitud requerida, incluidos los metálicos del tipo de inmersión, también son aceptables (COGUANOR, 2013:7).

## B. Muestreo

Del concreto que no se utilizó para efectuar ensayos de contenido de aire y asentamiento, se toma una muestra que sea suficiente para llenar el contenedor con mortero a una profundidad de por lo menos 140 mm (5 ½”). Para obtener la muestra de mortero, se tamiza en húmedo el concreto, a través de un tamiz de 4.75 mm sobre una superficie que no sea absorbente. Esto de acuerdo a la norma NTG 41057 (práctica normada para el concreto recién mezclado) (COGUANOR, 2013:8).

**1. Tamizado en húmedo NTG 41057 (ASTM C172):** Después de muestrear el concreto por medio de los métodos establecidos en la misma norma, pasar el concreto sobre el tamiz designado y remover y descartar el agregado retenido. Esto debe ser hecho antes de remezclar. Sacudir o vibrar el tamiz manual o mecánicamente hasta que no quede ningún material de tamaño menor sobre el tamiz. El mortero adherido al agregado retenido en el tamiz no debe ser removido de él antes de ser descartado. Poner solo suficiente concreto sobre el tamiz cada vez, de manera que después del tamizado, el espesor de la capa de agregado retenido no sea mayor que el espesor de una partícula. El concreto que pasa el tamiz debe caer dentro de una batea de mezclado de tamaño adecuado la cual ha sido humedecida antes de su utilización o sobre una superficie limpia, húmeda, no absorbente. Raspar el mortero adherido a los lados del equipo de tamizado de concreto fresco dentro de la mezcla. Después de remover las partículas de agregado más grandes por tamizado del concreto fresco vuelva a mezclar la amasada con una pala lo mínimo necesario para asegurar la uniformidad y proceder a ensayar inmediatamente (COGUANOR, 2010:6).

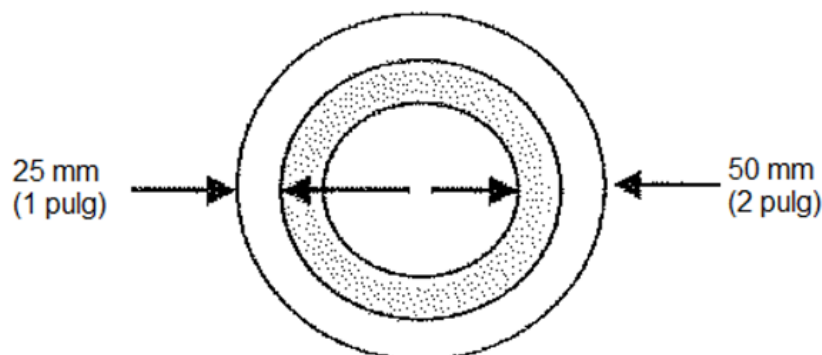
Después de haber tamizado en húmedo la muestra, se procede a remezclarla completamente por métodos manuales y sobre la superficie no absorbente, se mide y se registra la temperatura. Se coloca el mortero en el contenedor en una sola capa. Se consolida el mortero para eliminar las bolsas de aire en el espécimen y se nivela la superficie. Esto puede lograrse oscilando el contenedor hacia adelante y hacia atrás sobre una superficie sólida, golpeando los lados del contenedor con la varilla apisonadora o colocando el contenedor en una mesa vibradora (COGUANOR, 2013:9).

Si utiliza la varilla, se varilla el mortero una vez por cada 645 mm<sup>2</sup> (1 pulg<sup>2</sup>) de área de la superficie superior del espécimen y se distribuyen los golpes uniformemente en toda la sección transversal del espécimen. Después de completado el varillado, se golpean ligeramente los lados de los contenedores para cerrar los vacíos que deja el varillado y para ayudar en la nivelación de la superficie del espécimen. Después de completar la preparación del espécimen, la superficie del mortero debe quedar a por lo menos 10 mm (½ pulg) bajo el borde superior del contenedor, para proveer espacio para la recolección y remoción del agua de exudación y así evitar el contacto entre la superficie del mortero y el recubrimiento protector (COGUANOR, 2013:9).

## C. Procedimiento

- Antes de efectuar el ensayo de penetración, se debe remover el agua de exudación de la superficie del espécimen de mortero, utilizando una pipeta. Para que sea más fácil recolectar el agua, se inclina el espécimen a un ángulo de  $10^\circ$  de la horizontal, y se coloca un bloque debajo de uno de los extremos por unos 2 minutos antes de la remoción del agua (COGUANOR, 2013:9).
- Se procede a insertar en el aparato de resistencia a la penetración una aguja de penetración de tamaño apropiado dependiendo del grado de endurecimiento (fraguado) del mortero, y se lleva la superficie de apoyo de la aguja en contacto con la superficie del mortero. Se aplica gradual y uniformemente una fuerza hacia abajo en el aparato hasta que la aguja penetra el mortero hasta una profundidad de  $25 \pm 2\text{mm}$  ( $1 \pm 1/16$  pulg), como se indica por la marca en la aguja. El tiempo requerido para penetrar la profundidad de 25mm (1 pulg) debe ser de  $10 \pm 2$  s. Registrar la fuerza requerida para producir la penetración de 25mm (1 pulg), y el tiempo de la aplicación, medido como el tiempo transcurrido después del contacto inicial del cemento con el agua (COGUANOR, 2013:10).
- Calcular la resistencia a la penetración, dividiendo la fuerza aplicada, dentro del área de apoyo de la aguja, y se registrar la misma como resistencia a la penetración. En los subsiguientes ensayos de penetración debe tenerse el cuidado de evitar áreas donde el mortero haya sido alterado por ensayos previos. La distancia libre entre las impresiones de la aguja, debe ser de dos diámetros de la aguja que se esté usando, pero no menor de 15 mm ( $1/2$  pulg). La distancia libre entre cada impresión de la aguja y el lado del contenedor debe ser de por lo menos 25mm (1 pulg) pero no mayor que 50 mm (2 pulg) como se indica en la siguiente figura (COGUANOR, 2013:10):

Gráfico 23: Distancia que debe quedar libre entre impresiones con las agujas



El área oscura define donde se permiten las penetraciones.

- Se deben hacer por lo menos seis penetraciones para cada ensayo de tiempo de fraguado, con intervalos de tiempo de tal duración que produzca una curva satisfactoria de resistencia a la penetración en función del tiempo transcurrido (incluyendo puntos antes y después del fraguado inicial y final). Luego se continúa el ensayo hasta obtener por lo menos una lectura de resistencia a la penetración que iguale o exceda de 27.6 MPa (4000 PSI) (COGUANOR, 2013:11).
- Se procede a preparar una gráfica colocando en la ordenada la resistencia a la penetración y en la abscisa el tiempo transcurrido, por medio de un programa de computadora se puede determinar el valor del tiempo para alcanzar el fraguado inicial 3.50 MPa (500 PSI) y el fraguado final 27.6 MPa (4,000 PSI) (COGUANOR, 2013:11).

## VIII. ENSAYO PRÁCTICO

### A. Documentación de las pruebas

Se pretende comprobar la hipótesis que una mezcla de concreto al tener un tamaño máximo de agregado grueso más grande y una mayor proporción del mismo, se reducirá las fisuras por contracción plástica. Para ello se evaluaron dos tipos de concreto, uno con un tamaño máximo de agregado grueso de 3/8" y otro de 3/4". En cada tipo de concreto se evaluó el testigo (diseño base) partiendo de este se efectuó un diseño con un 4% más de agregados gruesos (4% menos de agregado fino), y otro con un 4% menos de agregado grueso (4% más de agregado fino). Se elaboraron baches de 0.045 m<sup>3</sup>.

En los siguientes gráficos se documentan las pruebas efectuadas en cada muestra de concreto:

Gráfico 24: Elaboración de mezclas de prueba (0.045 m3)



Gráfico 25: Prueba de asentamiento



Gráfico 26: Prueba de temperatura



Gráfico 27: Prueba de peso de campo



Gráfico 28: Prueba de porcentaje de aire



Gráfico 29: Cilindros para prueba de concreto endurecido



Gráfico 30: Cribado en húmedo



Gráfico 31: Molde para fabricación de especímenes de prueba.



Gráfico 32: Pruebas en túnel de viento (temperatura, humedad, velocidad del viento, tasa de evaporación y fraguado)



Gráfico 33: Prueba de penetrómetro para determinar el tiempo de fraguado



Gráfico 34: Medición del ancho de la fisura



En los siguientes gráficos se ve la forma de la fisura en cada muestra que se evaluó:

Gráfico 35: Fisura en muestra de concreto testigo 4000 PSI tamaño máximo de 3/8"

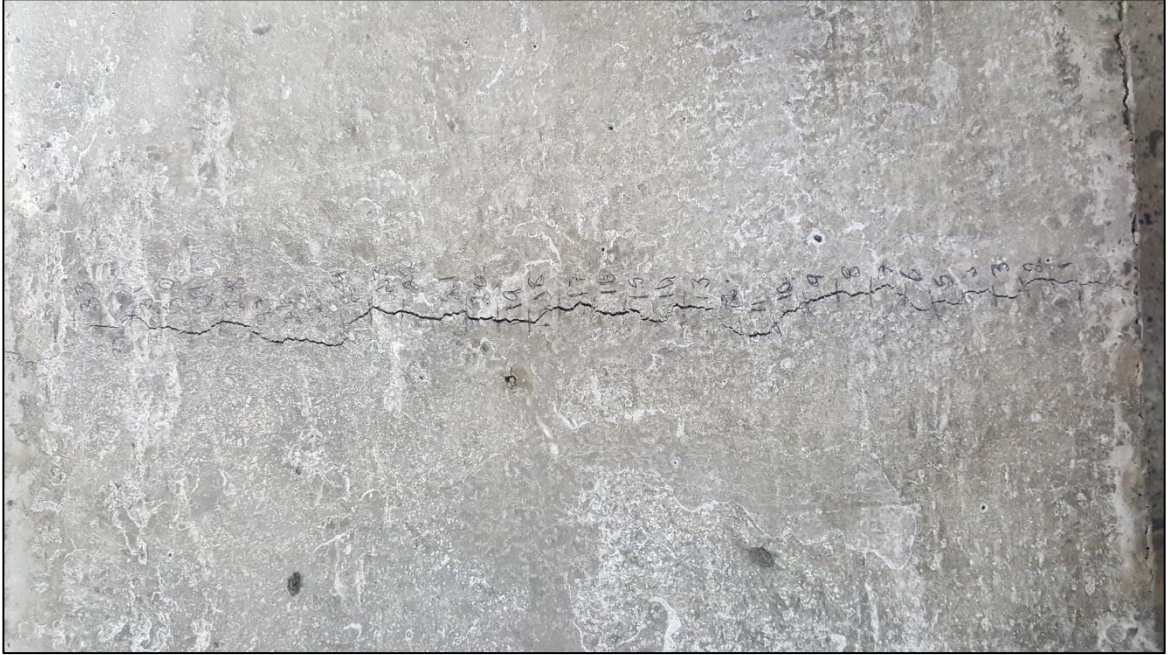


Gráfico 36: Fisura en muestra de concreto 4000 PSI tamaño máximo de 3/8", 4% menos de agregado grueso



Gráfico 37: Fisura en muestra de concreto 4000 PSI tamaño máximo de 3/8", 4% más de agregado grueso

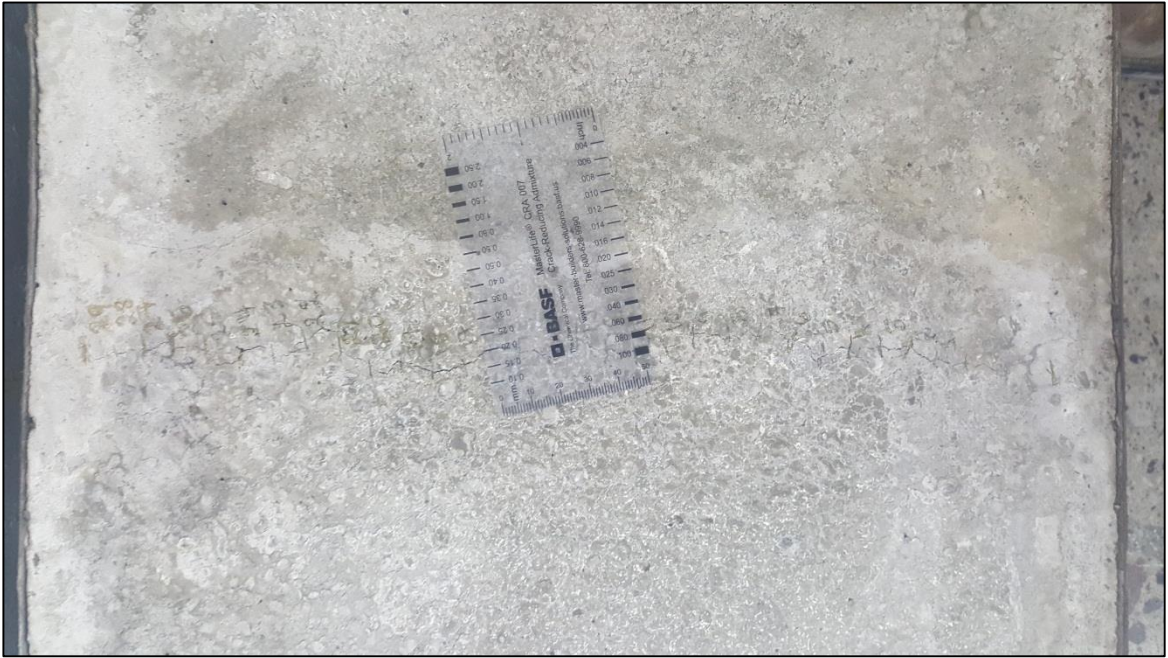


Gráfico 38: Fisura en muestra de concreto testigo 4000 PSI tamaño máximo de 3/4"



Gráfico 39: Fisura en muestra de concreto 4000 PSI tamaño máximo de 3/4", 4% menos de agregado grueso

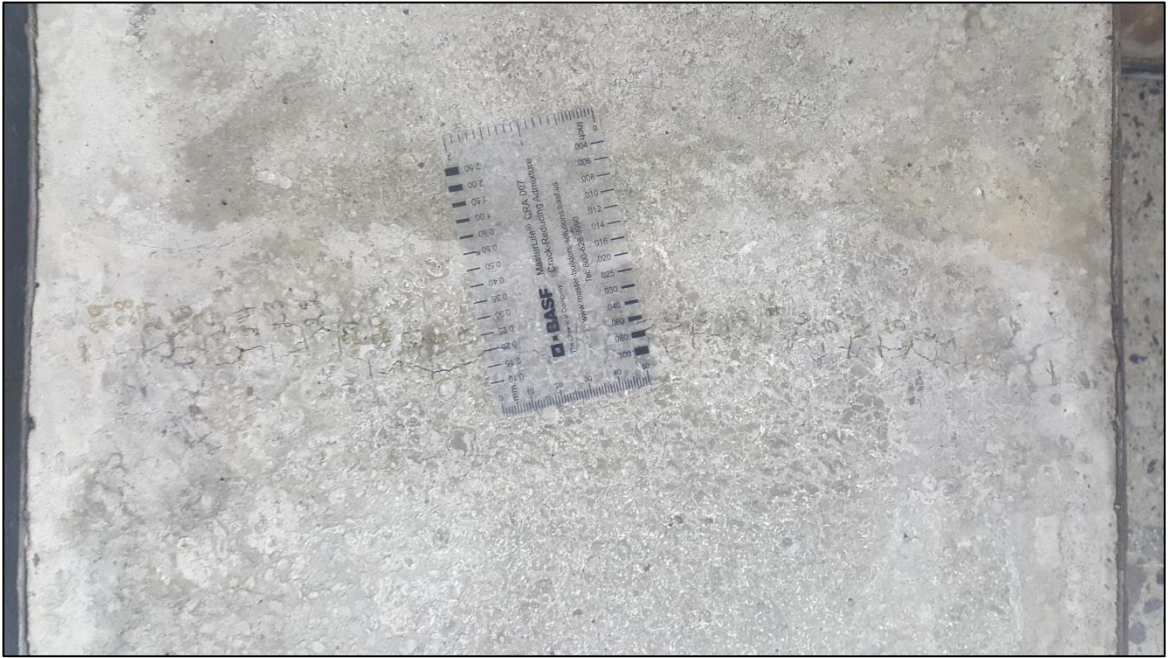


Gráfico 40: Fisura en muestra de concreto 4000 PSI tamaño máximo 3/4", 4% más de agregado grueso



En los siguientes cuadros se muestra en los resultados obtenidos en de las muestras en el túnel de viento:

Cuadro No.18: Resultados obtenidos en túnel de viento para la muestra del concreto 4000 con tamaño máximo 3/8" (testigo)

Identificación de la mezcla:	Concreto 4,000 PSI, tamaño máximo de agregado 3/8", testigo						
Fecha:	19-sep						
Hora inicio diseño:	10:35						
Área del recipiente:	0.07						
Peso inicial del recipiente:	4.030						
Hora inicio prueba en tunel:	11:15						
Hora	Peso del recipiente	Diferencia	Tasa de evaporación	Vel. Viento	Temperatura amb (°C)	Humedad relativa (%)	Observación
11:45	3.992	0.038	1.09	3.60	29	50	
12:15	3.952	0.040	1.14	3.60	34	40	
12:45	3.914	0.038	1.09	3.70	35	39	Aparece 1er fisura
13:15	3.870	0.044	1.26	3.70	34	39	
13:45	3.828	0.042	1.20	4.30	35	38	
14:15	3.782	0.046	1.31	4.20	35	38	
14:45	3.740	0.042	1.20	4.10	34	38	
15:00	3.716	0.024	1.37	4.10	33	40	Finaliza prueba
<b>Promedio</b>			<b>1.21</b>	<b>3.91</b>	<b>34</b>	<b>40</b>	

Cuadro No.19: Resultados obtenidos en túnel de viento para la muestra del concreto 4000 con tamaño máximo de 3/8", con 4% menos de agregado grueso

Identificación de la mezcla:	Concreto 4000 PSI, tamaño máximo agregado 3/8", 4% menos de agregado gruesos						
Fecha:	19-sep						
Hora inicio diseño:	15:50						
Área del recipiente:	0.07						
Peso inicial del recipiente:	3.873						
Hora inicio prueba en tunel:	16:25						
Hora	Peso del recipiente	Diferencia	Tasa de evaporación	Vel. Viento	Temperatura amb (°C)	Humedad relativa (%)	Observacion
16:55	3.834	0.039	1.11	4.1	34	40	
17:25	3.794	0.040	1.14	4.0	34	39	
17:55	3.752	0.042	1.20	4.6	35	39	Aparece 1er. fisura
18:25	3.704	0.048	1.37	4.7	36	37	
18:55	3.656	0.048	1.37	4.4	37	37	
19:25	3.612	0.044	1.26	4.2	35	39	
19:55	3.564	0.048	1.37	4.3	36	36	Finaliza prueba
<b>Promedio</b>			<b>1.26</b>	<b>4.3</b>	<b>35</b>	<b>38</b>	

Cuadro No.20: Resultados obtenidos en túnel de viento para la muestra del concreto 4000 con tamaño máximo de 3/8", con 4% más de agregado grueso

Identificación de la mezcla:	Concreto 4,000 PSI, tamaño máximo de agregado 3/8", 4% más de agregado grueso						
Fecha:	20-sep						
Hora inicio diseño:	10:30						
Área del recipiente:	0.07						
Peso inicial del recipiente:	3.900						
Hora inicio prueba en tunel:	10:55						
Hora	Peso del recipiente	Diferencia	Tasa de evaporación	Vel. Viento	Temperatura amb (°C)	Humedad relativa (%)	Observacion
11:25	3.868	0.032	0.91	4.10	31	42	
11:55	3.832	0.036	1.03	4.30	34	38	
12:25	3.782	0.050	1.43	4.30	36	37	
12:55	3.742	0.040	1.14	4.50	37	37	
13:25	3.688	0.054	1.54	4.50	38	36	
13:55	3.634	0.054	1.54	4.40	39	36	Aparece 1er. Fisura
14:25	3.588	0.046	1.31	4.40	39	35	
14:55	3.532	0.056	1.60	4.50	39	33	
15:00	3.512	0.020	1.14	4.30	38	35	Finaliza prueba
<b>Promedio</b>			<b>1.30</b>	<b>4.37</b>	<b>37</b>	<b>37</b>	

Cuadro No.21: Resultados obtenidos en túnel de viento para la muestra del concreto 4000 con tamaño máximo de 3/4" (testigo)

Identificación de la mezcla:	Concreto 4,000 PSI, tamaño máximo de agregado 3/4", testigo						
Fecha:	23-sep						
Hora inicio diseño:	07:45						
Área del recipiente:	0.07						
Peso inicial del recipiente:	3.846						
Hora inicio prueba en tunel:	09:20						
Hora	Peso del recipiente	Diferencia	Tasa de evaporación	Vel. Viento	Temperatura amb (°C)	Humedad relativa (%)	Observacion
09:50	3.814	0.032	0.91	4.10	30	45	
10:20	3.782	0.032	0.91	4.00	33	41	
10:50	3.748	0.034	0.97	4.30	33	40	
11:20	3.710	0.038	1.09	4.00	34	40	
11:50	3.670	0.040	1.14	3.80	34	41	Aparece 1er. fisura
12:20	3.630	0.040	1.14	3.80	35	43	
12:50	3.594	0.036	1.03	4.00	35	43	
13:20	3.552	0.042	1.20	4.10	35	41	
13:40	3.528	0.024	1.37	4.00	35	38	Finaliza prueba
<b>Promedio</b>			<b>1.09</b>	<b>4.01</b>	<b>34</b>	<b>41</b>	

Cuadro No.22: Resultados obtenidos en túnel de viento para la muestra del concreto 4000 con tamaño máximo de 3/4", con 4% menos de agregado grueso

Identificación de la mezcla:	Concreto 4,000 PSI, tamaño máximo agregado 3/4", 4% menos de agregado grueso						
Fecha:	21-sep						
Hora inicio diseño:	14:05						
Área del recipiente:	0.07						
Peso inicial del recipiente:	3.912						
Hora inicio prueba en tunel:	14:35						
Hora	Peso del recipiente	Diferencia	Tasa de evaporación	Vel. Viento	Temperatura amb (°C)	Humedad relativa (%)	Observacion
15:05	3.872	0.040	1.14	5.00	33	40	
15:35	3.828	0.044	1.26	5.20	36	37	
16:05	3.784	0.044	1.26	5.10	37	36	
16:35	3.736	0.048	1.37	4.80	38	35	Aparece fisura
17:05	3.682	0.054	1.54	5.10	38	35	
17:35	3.630	0.052	1.49	5.10	38	34	
18:05	3.572	0.058	1.66	5.00	38	34	
18:45	3.522	0.050	1.43	5.00	39	33	Finaliza prueba
<b>Promedio</b>			<b>1.39</b>	<b>5.04</b>	<b>37</b>	<b>36</b>	

Cuadro No.23: Resultados obtenidos en túnel de viento para la muestra del concreto 4000 con tamaño máximo de 3/4", con 4% más de agregado grueso

Identificación de la mezcla:	Concreto 4,000 PSI, tamaño máximo 3/4", 4% más de agregado grueso						
Fecha:	01-oct						
Hora inicio diseño:	08:20						
Área del recipiente:	0.075						
Peso inicial del recipiente:	7.940						
Hora inicio prueba en tunel:	08:50						
Hora	Peso del recipiente	Diferencia	Tasa de evaporación	Vel. Viento	Temperatura amb (°C)	Humedad relativa (%)	Observacion
09:20	7.895	0.045	1.19		30	40	
09:50	7.815	0.080	2.12		31	43	
10:20	7.745	0.070	1.85		32	42	
10:50	7.660	0.085	2.25		32	43	
11:20	7.580	0.080	2.12		32	42	
11:50	7.495	0.085	2.25		32	42	Aparece la fisura
12:20	7.420	0.075	1.99		33	43	
12:50	7.330	0.090	2.38		33	40	
13:20	7.235	0.095	2.52		33	41	
13:35	7.195	0.040	2.12		33	42	Finaliza prueba
<b>Promedio</b>			<b>2.08</b>		<b>32</b>	<b>42</b>	

En los siguientes cuadros y gráficas, se presentan los resultados del fraguado inicial y final en base a la resistencia a la penetración:

Cuadro No.24: Resultados de la prueba de fraguado por medio del penetrómetro, a la muestra de concreto 4000 PSI con tamaño máximo de 3/8", testigo

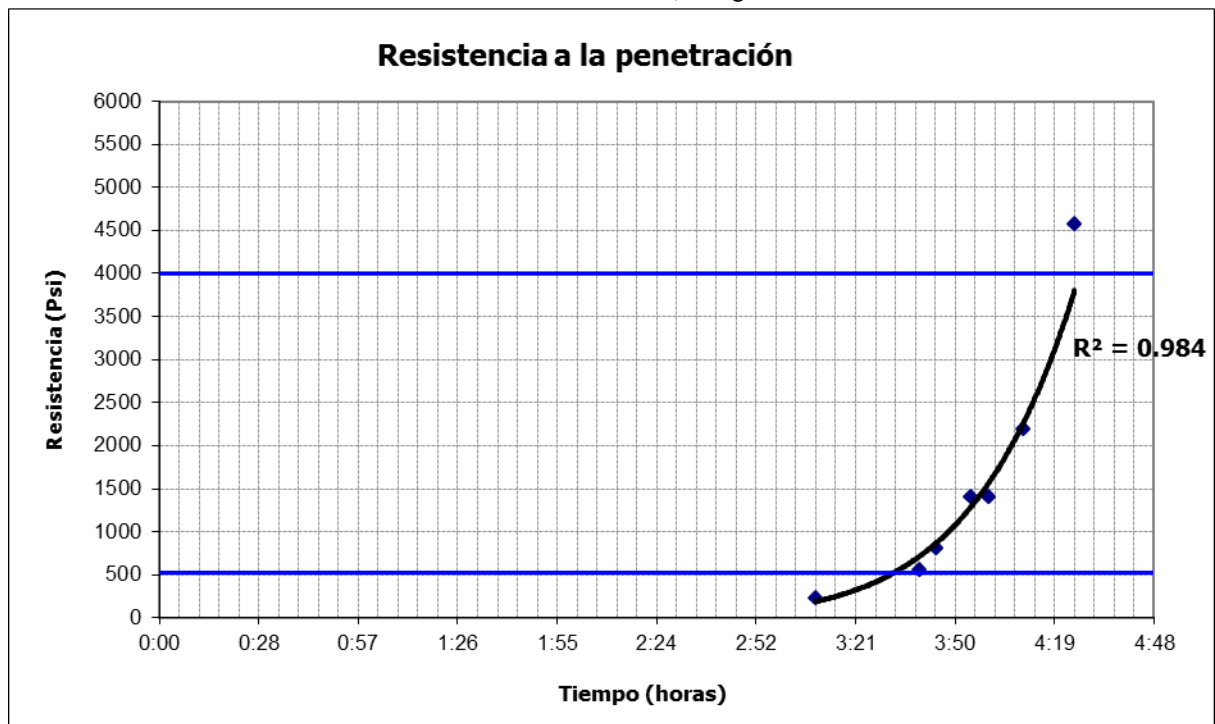
Identificación de la mezcla:	Concreto 4,000 PSI, tamaño máximo agregado 3/8", testigo				
Fecha:	19-sep				
Hora de inicio:	10:30				

#	Hora:	Tiempo real	Área en plg <sup>2</sup>	Carga (Lbs)	Resistencia penetración (psi)
1	13:45	13:45	0.50	114.4	228.8
2	14:15	14:15	0.25	138.6	554.4
3	14:20	14:20	0.10	81.4	814
4	14:30	14:30	0.10	140.8	1408
5	14:35	14:35	0.050	70.4	1408
6	14:45	14:45	0.050	110	2200
7	15:00	15:00	0.025	114.4	4576

	PSI	Interp	
Fraguado inicial	500	03:34	
fraguado final	4000	04:21	

Gráfico 41: Gráfico del tiempo de fraguado por medio del penetrómetro para el concreto de 4000 PSI con tamaño máximo de 3/8", testigo



Cuadro No.25: Resultados de la prueba de fraguado por medio del penetrómetro, a la muestra de concreto 4000 PSI con tamaño máximo de 3/8", 4% menos de agregado grueso

Identificación de la mezcla:	Concreto 4,000 PSI, tamaño máximo agregado 3/8", 4% menos agregado grueso
Fecha:	19-sep
Hora de inicio:	15:30

#	Hora:	Tiempo real	Área en plg <sup>2</sup>	Carga (Lbs)	Resistencia penetración (psi)
1	18:25	02:35	0.50	24.2	48.4
2	18:55	03:05	0.1	50.6	506
3	19:15	03:25	0.10	123.2	1232
4	19:15	03:25	0.05	74.8	1496
5	19:30	03:40	0.050	116.6	2332
6	19:45	03:55	0.025	123.2	4928
7	19:55	04:05	0.025	140.8	5632

	PSI	Interp	
Fraguado inicial	500	<b>03:24</b>	
fraguado final	4000	<b>04:09</b>	

Gráfico 42: Gráfico del tiempo de fraguado por medio del penetrómetro para el concreto de 4000 PSI con tamaño máximo de 3/8", 4% menos de agregado grueso



Cuadro No.26: Resultados de la prueba de fraguado por medio del penetrómetro, a la muestra de concreto 4000 PSI con tamaño máximo de 3/8", 4% más de agregado grueso

Identificación de la mezcla:	Concreto 4,000 PSI, tamaño máximo agregado 3/8", 4% más de agregado grueso				
Fecha:	20-sep				
Hora de inicio:	10:30				
#	Hora:	Tiempo real	Área en plg <sup>2</sup>	Carga (Lbs)	Resistencia penetración (psi)
1	13:30	03:00	0.50	48.4	96.8
2	14:00	03:30	0.1	55	550
3	14:15	03:45	0.10	112.2	1122
4	14:30	04:00	0.05	77	1540
5	14:45	04:15	0.050	121	2420
6	15:00	04:30	0.025	123.2	4928

	<b>PSI</b>	<b>Interp</b>	
Fraguado inicial	500	<b>03:26</b>	
fraguado final	4000	<b>04:24</b>	

Gráfico 43: Gráfico del tiempo de fraguado por medio del penetrómetro para el concreto de 4000 PSI con tamaño máximo de 3/8", 4% más de agregado grueso



Cuadro No.27: Resultados de la prueba de fraguado por medio del penetrómetro, a la muestra de concreto 4000 PSI con tamaño máximo de 3/4", testigo

Identificación de la mezcla:	Concreto 4,000 PSI, tamaño máximo de agregado 3/4", testigo
Fecha:	23-sep
Hora de inicio:	08:40

#	Hora:	Tiempo real	Área en plg <sup>2</sup>	Carga (Lbs)	Resistencia penetración (psi)
1	12:20	03:40	0.50	103.4	206.8
2	12:50	04:10	0.25	138.6	554.4
3	12:50	04:10	0.10	70.4	704
4	13:05	04:25	0.10	136.4	1364
5	13:05	04:25	0.050	72.6	1452
6	13:20	04:40	0.050	99	1980
7	13:35	04:55	0.025	88	3520
8	13:40	05:00	0.025	112.2	4488

	PSI	Interp	
Fraguado inicial	500	<b>04:05</b>	
fraguado final	4000	<b>04:57</b>	

Gráfico 44: Gráfico del tiempo de fraguado por medio del penetrómetro para el concreto de 4000 PSI con tamaño máximo de 3/4", testigo



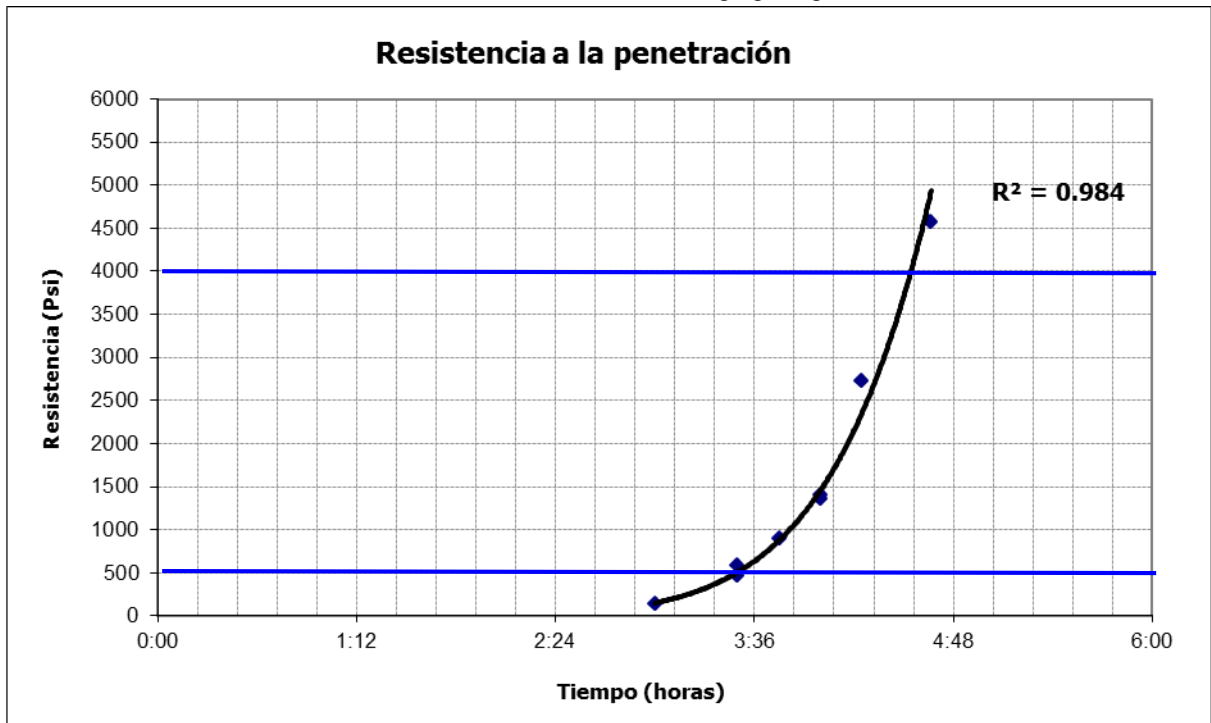
Cuadro No.28: Resultados de la prueba de fraguado por medio del penetrómetro, a la muestra de concreto 4000 PSI con tamaño máximo de 3/4", 4% menos de agregado grueso

Identificación de la mezcla:	Concreto 4,000 PSI, tamaño máximo agregado 3/4", 4% menos de agregado grueso
Fecha:	21-sep
Hora de inicio:	15:30

#	Hora:	Tiempo real	Área en plg <sup>2</sup>	Carga (Lbs)	Resistencia penetración (psi)
1	17:05	03:00	0.50	72.6	145.2
2	17:35	03:30	0.25	116.6	466.4
3	17:35	03:30	0.10	59.4	594
4	17:50	03:45	0.10	90.2	902
5	18:05	04:00	0.100	136.4	1364
6	18:05	04:00	0.050	70.4	1408
7	18:20	04:15	0.025	68.2	2728
8	18:45	04:40	0.025	114.4	4576

	PSI	Interp	
Fraguado inicial	500	<b>03:24</b>	
fraguado final	4000	<b>04:26</b>	

Gráfico 45: Gráfico del tiempo de fraguado por medio del penetrómetro para el concreto de 4000 PSI con tamaño máximo de 3/4", 4% menos de agregado grueso



Cuadro No.29: Resultados de la prueba de fraguado por medio del penetrómetro, a la muestra de concreto 4000 PSI con tamaño máximo de 3/4", 4% más de agregado grueso

Identificación de la mezcla:	Concreto 4,000 PSI, tamaño máximo agregado 3/4", 4% más de agregado grueso				
Fecha:	01-oct				
Hora de inicio:	08:30				
#	Hora:	Tiempo real	Área en plg <sup>2</sup>	Carga (Lbs)	Resistencia penetración (psi)
1	11:50	03:20	0.50	72.6	145.2
2	12:20	03:50	0.25	88	352
3	12:50	04:20	0.10	88	880
4	13:05	04:35	0.05	81.4	1628
5	13:20	04:50	0.050	116.6	2332
6	13:35	05:05	0.025	112.2	4488
7					

	PSI	Interp	
Fraguado inicial	500	03:37	
fraguado final	4000	04:52	

Gráfico 46: Gráfico del tiempo de fraguado por medio del penetrómetro para el concreto de 4000 PSI con tamaño máximo de 3/4", 4% más de agregado grueso



En los siguientes cuadros se muestran los resultados obtenidos al medir las fisuras en los especímenes 24+/- 2 horas como lo establece la norma ASTM C 1579.

Cuadro No.30: Resultados de la medición de ancho de fisura promedio en las muestras de concreto 4000 PSI con tamaño máximo de 3/8”

Muestra:	Testigo 3/8”				4% menos de agregado grueso				4% más de agregado grueso			
Fecha:	19-sep-16				19-sep-16				20-sep-16			
Lectura	ancho (mm)	Lectura	ancho (mm)	Lectura	ancho (mm)	Lectura	ancho (mm)	Lectura	ancho (mm)	Lectura	ancho (mm)	
1	0.35	17	0.80	1	0.15	17	1.00	1	0.10	17	0.15	
2	0.50	18	0.50	2	0.15	18	1.00	2	0.10	18	0.35	
3	0.50	19	0.80	3	0.20	19	1.00	3	0.10	19	0.30	
4	0.40	20	0.80	4	0.50	20	1.00	4	0.10	20	0.25	
5	0.40	21	0.80	5	0.80	21	0.80	5	0.10	21	0.10	
6	0.35	22	0.80	6	1.00	22	0.80	6	0.10	22	0.20	
7	0.50	23	0.50	7	1.00	23	0.50	7	0.10	23	0.10	
8	0.80	24	0.50	8	0.80	24	0.50	8	0.10	24	0.10	
9	0.80	25	0.50	9	1.00	25	0.50	9	0.10	25	0.10	
10	0.50	26	0.50	10	1.00	26	0.50	10	0.10	26	0.10	
11	0.80	27	0.40	11	1.00	27	0.50	11	0.10	27	0.10	
12	0.40	28	0.40	12	0.80	28	0.35	12	0.10	28	0.10	
13	0.80	29	0.40	13	1.00	29	0.30	13	0.10	29	0.10	
14	0.80	30	0.35	14	1.00	30	0.25	14	0.10	30		
15	0.80	31	0.30	15	0.80	31		15	0.10	31		
16	0.80	32	0.20	16	1.00	32		16	0.20	32		
Promedio			0.56	Promedio			0.71	Promedio			0.13	
CRR			0.00	CRR			-25%	CRR			77%	

Cuadro No.31: Resultados de la medición de ancho de fisura promedio en las muestras de concreto 4000 PSI con tamaño máximo 3/4”

Muestra:	Testigo 3/4”				4% menos de agregado grueso				4% más de agregado grueso			
Fecha:	24-sep-16				21-sep-16				01-oct-16			
Lectura	ancho (mm)	Lectura	ancho (mm)	Lectura	ancho (mm)	Lectura	ancho (mm)	Lectura	ancho (mm)	Lectura	ancho (mm)	
1	0.10	17	0.10	1	0.10	17	0.8	1	0.10	17	0.2	
2	0.10	18	0.10	2	0.1	18	1	2	0.1	18	0.35	
3	0.10	19	0.10	3	0.1	19	0.5	3	0.1	19	0.4	
4	0.10	20	0.10	4	0.1	20	1	4	0.1	20	0.4	
5	0.15	21	0.10	5	0.1	21	1	5	0.1	21	0.4	
6	0.10	22	0.15	6	0.1	22	1	6	0.1	22	0.4	
7	0.10	23	0.10	7	0.1	23	1	7	0.1	23	0.4	
8	0.15	24	0.10	8	0.1	24	1	8	0.1	24	0.3	
9	0.15	25	0.10	9	0.1	25	1	9	0.1	25	0.35	
10	0.15	26	0.10	10	0.1	26	0.8	10	0.1	26	0.35	
11	0.15	27	0.10	11	0.1	27	0.8	11	0.1	27	0.35	
12	0.15	28	0.10	12	0.8	28	0.8	12	0.1	28	0.1	
13	0.15	29	0.10	13	0.5	29	0.1	13	0.1	29	0.1	
14	0.15	30	0.10	14	0.8	30	0.1	14	0.1	30	0.1	
15	0.15	31	0.10	15	0.5	31	0.1	15	0.1	31	0.1	
16	0.10	32	0.10	16	0.8	32	0.25	16	0.1	32	0.1	
Promedio			0.12	Promedio			0.49	Promedio			0.19	
CRR			0.00	CRR			-326%	CRR			-62%	

Los diseños y el resumen de los resultados en las pruebas se muestran a continuación:

Cuadro No.32: Datos de las mezclas a ensayar y resumen de resultados obtenido

	<b>Tipo de concreto</b>	<b>4000 PSI con tamaño máximo 3/8"</b>			<b>4000 PSI con tamaño máximo 3/4"</b>		
	Asignación	Testigo	4% menos de gruesos	4% más de gruesos	Testigo	4% menos de gruesos	4% más de gruesos
	<b>Muestra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Datos Diseño Teórico (componentes para 1 m3)</b>	Cemento CFB (kg)	360	360	360	335	335	335
	Agua (kg)	207	207	207	190	190	190
	1" (kg)				630	600	670
	3/8" (kg)	830	760	900	340	300	380
	Arena 0 - 1/4" (kg)	906	974	838	839	908	761
	Relación A/C	0.58	0.58	0.58	0.57	0.57	0.57
	% pasa tamiz No. 100 (arena)	20	20	20	20	20	20
	% pasa tamiz No. 200 (arena)	12	12	12	11	11	11
	Mortero (Kg)	<b>1,473</b>	<b>1,541</b>	<b>1,405</b>	<b>1,364</b>	<b>1,433</b>	<b>1,286</b>
	Porcentaje gruesos	<b>48%</b>	<b>44%</b>	<b>52%</b>	<b>54%</b>	<b>50%</b>	<b>58%</b>
<b>Resultados de laboratorio</b>	Asentamiento	7 1/4	6 1/2	7 1/2	7 1/2	8	7 1/2
	Temp concreto (°C)	20	25	24	22	24	23
	% de aire	1.8	1.7	1.7	1.2	1.4	1.1
	Peso Teórico (kg/m³)	2,303	2,301	2,305	2,334	2,333	2,336
	Peso Campo (kg/m³)	2,304	2,330	2,315	2,361	2,350	2,358
	Rendimiento	1.00	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99
	f'c a 3 días (PSI)	3625	3625	3680	3530	3360	3550
	f'c a 7 días (PSI)	4565	4615	4420	4360	4495	
	Tasa de evaporacion (kg/m²-h)	1.21	1.26	1.30	1.09	1.39	2.08
	Fraguado final del concreto (hr)	04:26	04:10	04:24	04:57	04:23	05:07
	Ancho promedio de fisura (mm)	0.56	0.71	0.13	0.12	0.49	0.19
	Relacion de reduccion fisuras	0.00	-25%	77%	0.00	-326%	-62%
	Observaciones/comentarios	-	-			-	

**Nota:**

El porcentaje del agregado grueso referencia está definido en la fila *porcentaje de gruesos* de la columna *testigo*, siendo para esta investigación **48%** para el concreto con tamaño máximo de agregado de 3/8", y **54%** para el concreto con tamaño máximo de agregado de 3/4". En la misma fila se indican los porcentajes que varían en los ensayos.

## B. Análisis de los resultados

En los ensayos de asentamiento no existió una variación mayor a 1", en algunas ocasiones fue necesario ajustar una cantidad pequeña agua para alcanzar el valor deseado. La temperatura del concreto tuvo variaciones, probablemente por el cambio de la temperatura ambiente y porque las mezclas con agregado de tamaño máximo de 3/4" requirieron menos cemento para alcanzar la resistencia especificada, en comparación con las mezclas que tenían tamaño máximo de agregado 3/8".

El porcentaje de aire fue menor en las mezclas de concreto con agregado más grueso, por tener menos vacíos entre partículas, hubo poca variación entre concretos que tenían el mismo tamaño de agregado. El rendimiento relativo en todas las mezclas fue similar y cercano a 1, lo que garantiza que al momento de elaborar el diseño los materiales se dosificó adecuadamente.

Cuando se efectuaron los diseños con 4% menos de agregado grueso, hubo una tendencia a adicionar más agua para alcanzar el asentamiento deseado, esto debido a que los agregados finos en mayor cantidad requieren más agua, además se observó que los especímenes presentaban mayor exudación que las muestras testigo y que los especímenes con 4% más de agregado grueso.

Para las pruebas efectuadas no se utilizaron aditivos químicos para alcanzar el asentamiento deseado, sin embargo, en la actualidad existe una tendencia a utilizarlos por el desempeño que aportan en las características, tanto en estado fresco como endurecido, por ejemplo, ayudan a reducir las fisuras por contracción plástica ya que disminuyen la demanda de agua en la mezcla de concreto.

En todos los ensayos se tuvo una tasa de evaporación mayor a 1 kg/m<sup>2</sup>-hr, cumpliendo con el requisito establecido por la norma ASTM C 1579. Lograr las condiciones ambientales adecuadas fue importante para promover el fisuramiento en las planchas de mezclas de concreto.

Al comparar la evolución de resistencias entre las diferentes muestras, se observa que no existe una diferencia significativa. En algunos diseños fue necesario agregar una cantidad pequeña de agua para alcanzar el asentamiento deseado, sin embargo, no impactó considerablemente en la relación A/C ni en la confiabilidad de la prueba. Es por ello que es importante que cuando se hagan ensayos en muestras para comparar su desempeño, se evalúen resultados en estado fresco y endurecido.

En el Cuadro No. 32 se puede apreciar que existe una tendencia a que disminuya la relación de reducción de fisuras (CRR) en los especímenes con tamaño máximo de 3/8", cuando se utiliza una mayor proporción de agregado grueso. Al comparar la muestra a la que se le aumentó el 4% de agregado grueso respecto a la mezcla testigo la CRR fue de 77% (disminuyó el ancho promedio de la fisura), mientras que al comparar la muestra a la que se le disminuyó el 4% en relación a la mezcla testigo el resultado de la CRR fue de -25% (aumentó el ancho promedio de la fisura).

En el Cuadro No. 32 se puede apreciar que existe una tendencia a que aumente la relación de reducción de fisuras (CRR) en los especímenes con tamaño máximo de  $3/4''$ , cuando se utiliza una proporción menor de agregado grueso. Como caso aislado, en uno de los resultados, al incrementar la proporción de agregado grueso en un 4% aumentó el ancho promedio de la fisura, probablemente se debió a que esta muestra estuvo expuesta a una tasa de evaporación de casi el doble ( $2.08 \text{ kg/m}^2\text{-hr}$ ), en comparación con la muestra testigo ( $1.09 \text{ kg/m}^2\text{-hr}$ ). Mientras que al comparar la muestra a la que se le disminuyó el 4% en relación a la mezcla testigo el resultado de la CRR fue de -326% (aumentó el ancho promedio de la fisura). Con estos resultados se puede deducir que la muestra testigo está proporcionada adecuadamente, la muestra que tenía 4% más de agregado grueso parecía mostrar una tendencia a segregarse y a causar problemas de bombeo o acabado.

Al comparar el ancho promedio de la fisura de las mezclas de concreto de tamaño de  $3/8''$  y de  $3/4''$ , se observa una tendencia generalizada que el ancho promedio de la fisura es menor cuando se utiliza un agregado de mayor tamaño.

Con estos resultados, se comprueba la importancia que al momento de diseñar una mezcla de concreto se debe utilizar el mayor tamaño del agregado y en la mayor proporción posible, como lo indican el código ACI 211.1 siempre que se tome en cuenta los criterios del Código ACI 318-14 en cuanto a la elección del tamaño máximo de agregado.

Es importante determinar la tasa de evaporación en campo cuando se coloque concreto en un ambiente cálido para optar medidas que reduzcan o eviten la aparición de fisuras por contracción plástica, que aunque no comprometen estructuralmente el elemento, no son estéticamente aceptables.

## IX. CONCLUSIONES

- Se comprobó que la hipótesis es verdadera, al afirmar que cuando se utiliza un mayor tamaño de agregado grueso ya una proporción mayor, se tiene un impacto en la disminución de fisuras por contracción plástica.
- El ancho promedio de fisuras en las muestras ensayadas disminuye al incrementar la proporción de agregados gruesos.
- Una tasa de evaporación muy alta provoca fisuras con un ancho promedio mayor, porque el secado del agua superficial es más rápido. Esta variable pudo haber influido en algunos de los resultados.
- Cuando se incrementa la proporción de mortero en la mezcla de concreto, también tiende a incrementar la cantidad de agua necesaria para alcanzar el asentamiento deseado, esto puede generar una mayor contracción plástica.

## **X. RECOMENDACIONES**

### **A. ENSAYOS:**

- Es importante aplicar los lineamientos establecidos en códigos y normas al momento de diseñar las mezclas de concretos, así mismo considerar las recomendaciones de normativas existentes respecto a producción, transporte, colocado y curado, para reducir o evitar la aparición de fisuras provocadas por la contracción plástica.
- Al momento de efectuar los ensayos indicados en esta norma, es necesario considerar el buen estado de los aparatos, para generar resultados confiables, tomando en cuenta lo extenso que pueden ser las pruebas.
- La persona que efectúe los ensayos debe tener la capacidad técnica para que los resultados sean confiables y representativos. Existen programas de certificación ACI, es necesario que tenga la certificación del ACI o de un programa equivalente.

### **B. INVESTIGACIÓN:**

Se recomienda ampliar el tema efectuando los siguientes ensayos en una investigación posterior:

- Aplicar fibras sintéticas y/o metálicas y otros componentes especiales, para analizar su efecto en la reducción de fisuras por contracción plástica.
- Utilizar curadores diferentes (por ejemplo blanco, rojo o agua), para verificar la efectividad que tienen por medio del ensayo definido en la norma ASTM C 1579 -13.
- Generar diferentes tasas de evaporación, con el fin de conocer si incrementa el ancho de fisura y el tiempo en el que aparecen.
- Diseñar y evaluar el tamaño promedio de la fisura y la relación de reducción de fisuras, en concretos con tamaños mayores de agregado.
- Comparar por medio de la norma ASTM C 1579 -13 concretos diseñados con diferentes tipos de cemento, para conocer si tiene algún impacto en las fisuras por contracción plástica.

- El efecto que tienen los aditivos en mejorar las características del concreto para reducir las fisuras por contracción plástica.

### **C. CONSTRUCCIÓN:**

- Disponer de los equipos necesarios para medir la tasa de evaporación en las obras, tomando en cuenta que los factores ambientales varían dependiendo del lugar y de la época del año.
- Si en obra se detecta una tasa de evaporación superior a  $1 \text{ kg/m}^2\text{-hora}$ , tomar acciones para reducir o evitar la aparición de fisuras por contracción plástica. Por ejemplo: colocar barreras de viento, curado apropiado, colocar el concreto buscando un horario favorable, utilizar aditivos para reducir la cantidad agua en la mezcla, reducir la temperatura del concreto por medio de hielo o agua fría, entre otras.
- Cuando se funden elementos con características especiales (dimensiones, ubicación, expuesto a condiciones climáticas, entre otras), se recomienda que el constructor y el proveedor del concreto analicen si la tasa de evaporación puede afectar negativamente al concreto, para definir las acciones a tomar.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute (ACI)*. 2008. *Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-08)*. Schaeffer Thomas. Estados Unidos, Farmington Hills. 518 págs.
- American Concrete Insitute (ACI)*. 1999. *Especificación para concreto en clima cálido (ACI 305RR-99)*. Estados Unidos, Farmington Hills. 25 págs.
- Portland Cement Association (PCA)*. 2004. *Fundamentos del concreto. Estados Unidos*. 24 págs.
- \_\_\_\_\_; 2004 a. *Agregados para concreto* 32 págs.
- \_\_\_\_\_; 2004 b. *Diseño y proporcionamiento de mezclas de concreto*. 32 págs.
- National Ready Mixed Concrete (NRMA)*.2008. *Agrietamiento por contracción plástica*. Federación Iberoamericana del Hormigón. Estados Unidos. 2 págs.
- American Concrete Insitute (ACI)*. 2002. *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. Estados Unidos, Farmington Hills. 38págs.
- American Society for Testing and Materials (ASTM)*. 2013. *Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete*, ASTM C 1579-13. ASTM. Estados Unidos. 7 págs.
- Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR)*. 2013. *NTG 41017 h12 Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por su resistencia a la penetración*. Guatemala, ICCG. 18 págs.
- Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR)*.2010. *NTG 41007 Agregados para concreto, especificaciones*. Guatemala, ICCG. 24 págs.
- Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR)*.2011. *NTG 41010 h4 Método de ensayo. Determinación de materia orgánica en los agregados finos para concreto*. Guatemala, ICCG. 8 págs.
- Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR)*.2010. *NTG 41057 Práctica para el muestreo del concreto recién mezclado*. Guatemala, ICCG. 7 págs

## XII. ANEXOS

### Resultados de resistencia



CEMENTOS PROGRESO, S.A.  
CENTRO TECNOLÓGICO  
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181



Fecha impresión: 2016.09.27  
Página: 1 de 1  
Usuario: DVILLATORO  
OT: 28702-1  
Fecha OT: 2016.09.21

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS
Dirección: 15 AV. 18-01 Z. 6 PLANTA LA PEDRERA	Dirección:
Contacto: MARIO DE LEON	Muestra: CILINDROS
Teléfono: 22864100	Analista: DELBERT VILLATORO

#### INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPÉCIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm <sup>2</sup> )	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm <sup>2</sup> )	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1		28702-1-05		2016.09.19	2016.10.17	28	TESIS							
2		28702-1-06		2016.09.19	2016.10.17	28	TESIS							
3		28702-1-01		2016.09.19	2016.09.22	3	TESIS		3.83	8091	198.3	24.5	3560	3
4		28702-1-02		2016.09.19	2016.09.22	3	TESIS		3.81	8091	205.7	25.4	3690	3
5		28702-1-03		2016.09.19	2016.09.26	7	TESIS		3.82	8091	251.9	31.1	4520	2
6		28702-1-04		2016.09.19	2016.09.26	7	TESIS		3.83	8091	257.4	31.8	4610	3

T. Rot: 1 = Cónica; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos;  
6 = Similar tipo 5 pero extremo puntagudo

Observaciones:

Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas.  
No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

Analista

Jefe Laboratorio/Coordinador

SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06



**CEMENTOS  
PROGRESO®**

Compartamos Sueños. Construimos Realidades.

CEMENTOS PROGRESO, S.A.  
CENTRO TECNOLÓGICO  
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181



ACREDITADO  
OGA-LE-052-13

Fecha impresión: 2016.09.27

Página: 1 de 1

Usuario: DVILLATORO

OT: 28702-2

Fecha OT: 2016.09.21

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS
Dirección: 15 AV. 18-01 Z. 6 PLANTA LA PEDRERA	Dirección:
Contacto: MARIO DE LEON	Muestra: CILINDROS
Teléfono: 22864100	Analista: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE  
CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1


No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm <sup>2</sup> )	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm <sup>2</sup> )	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1		28702-2-05		2016.09.19	2016.10.17	28	TESIS							
2		28702-2-06		2016.09.19	2016.10.17	28	TESIS							
3		28702-2-01		2016.09.19	2016.09.22	3	TESIS		3.83	8091	203.9	25.2	3660	2
4		28702-2-02		2016.09.19	2016.09.22	3	TESIS		3.84	8091	200.4	24.8	3590	2
5		28702-2-03		2016.09.19	2016.09.26	7	TESIS		3.86	8091	257.5	31.8	4620	2
6		28702-2-04		2016.09.19	2016.09.26	7	TESIS		3.86	8091	257.3	31.8	4610	2

T. Rot: 1 = Cónica; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos;  
6 = Similar tipo 5 pero extremo puntiagudo

Observaciones:

Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas.  
No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

  
Analista

  
Jefe Laboratorio/Coordinador  
SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06



CEMENTOS PROGRESO, S.A.  
CENTRO TECNOLÓGICO  
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181



Fecha impresión: 2016.09.28  
Página: 1 de 1  
Usuario: DVILLATORO  
OT: 28702-3  
Fecha OT: 2016.09.21

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS
Dirección: 15 AV. 18-01 Z. 6 PLANTA LA PEDRERA	Dirección:
Contacto: MARIO DE LEON	Muestra: CILINDROS
Teléfono: 22864100	Analista: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm <sup>2</sup> )	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm <sup>2</sup> )	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1		28702-3-05		2016.09.20	2016.10.18	28	TESIS							
2		28702-3-06		2016.09.20	2016.10.18	28	TESIS							
3		28702-3-01		2016.09.20	2016.09.23	3	TESIS		3.83	8C91	204.9	25.3	3670	2
4		28702-3-02		2016.09.20	2016.09.23	3	TESIS		3.83	8C91	206.1	25.5	3690	2
5		28702-3-03		2016.09.20	2016.09.27	7	TESIS		3.81	8C91	240.5	29.7	4310	2
6		28702-3-04		2016.09.20	2016.09.27	7	TESIS		3.83	8C91	252.5	31.2	4530	2

T. Rot: 1=Cónica; 2=Cónica y vertical; 3=Columnar; 4=Diagonal; 5=Fractura en los extremos;  
6=Similar tipo 5 pero extremo puntiagudo

Observaciones:

Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas.  
No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

  
Analista

  
Jefe Laboratorio/Coordinador  
SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06



CEMENTOS PROGRESO, S.A.  
CENTRO TECNOLÓGICO  
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181



Fecha impresión: 2016.09.28  
Página: 1 de 1  
Usuario: DVILLATORO  
OT: 28702-4  
Fecha OT: 2016.09.21

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS
Dirección: 15 AV. 18-01 Z. 6 PLANTA LA PEDRERA	Dirección:
Contacto: MARIO DE LEON	Muestra: CILINDROS
Teléfono: 22864100	Analista: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE  
CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm <sup>2</sup> )	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm <sup>2</sup> )	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1		28702-4-05		2016.09.20	2016.10.18	28	TESIS							
2		28702-4-06		2016.09.20	2016.10.18	28	TESIS							
3		28702-4-01		2016.09.20	2016.09.23	3	TESIS		3.91	8091	194.7	24.1	3490	3
4		28702-4-02		2016.09.20	2016.09.23	3	TESIS		3.89	8091	198.9	24.6	3570	3
5		28702-4-03		2016.09.20	2016.09.27	7	TESIS		3.92	8012	238.1	29.7	4310	2
6		28702-4-04		2016.09.20	2016.09.27	7	TESIS		3.89	8012	243.4	30.4	4410	2

T. Rot: 1 = Cónica; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos;  
6 = Similar tipo 5 pero extremo puntiagudo

Observaciones:

Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas.  
No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

Jefe Laboratorio/Coordinador

SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06



CEMENTOS PROGRESO, S.A.  
CENTRO TECNOLÓGICO  
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181



Fecha impresión: 2016.09.29  
Página: 1 de 1  
Usuario: DVILLATORO  
OT: 28702-5  
Fecha OT: 2016.09.21

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS
Dirección: 15 AV. 18-01 Z. 6 PLANTA LA PEDRERA	Dirección:
Contacto: MARIO DE LEON	Muestra: CILINDROS
Teléfono: 22864100	Analista: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm <sup>2</sup> )	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm <sup>2</sup> )	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1		28702-5-05		2016.09.21	2016.10.19	28	TESIS							
2		28702-5-06		2016.09.21	2016.10.19	28	TESIS							
3		28702-5-01		2016.09.21	2016.09.24	3	TESIS		3.88	8091	183.0	22.6	3280	2
4		28702-5-02		2016.09.21	2016.09.24	3	TESIS		3.85	8091	192.0	23.7	3440	2
5		28702-5-03		2016.09.21	2016.09.28	7	TESIS		3.89	8012	240.0	30.0	4350	3
6		28702-5-04		2016.09.21	2016.09.28	7	TESIS		3.88	8091	236.9	29.3	4250	3

T. Rot: 1=Cónica; 2=Cónica y vertical; 3=Columnar; 4=Diagonal; 5=Fractura en los extremos;  
6=Similar tipo 5 pero extremo puntiagudo

Observaciones:

Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas.  
No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

Jefe Laboratorio/Coordinador

SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06



CEMENTOS PROGRESO, S.A.  
CENTRO TECNOLÓGICO  
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181



Fecha impresión: 2016.09.29  
Página: 1 de 1  
Usuario: DVILLATORO  
OT: 28702-6  
Fecha OT: 2016.09.21

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS
Dirección: 15 AV. 18-01 Z. 6 PLANTA LA PEDRERA	Dirección:
Contacto: MARIO DE LEON	Muestra: CILINDROS
Teléfono: 22864100	Analista: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm <sup>2</sup> )	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm <sup>2</sup> )	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1		28702-6-05		2016.09.21	2016.10.19	28	TESIS							
2		28702-6-06		2016.09.21	2016.10.19	28	TESIS							
3		28702-6-01		2016.09.21	2016.09.24	3	TESIS		3.91	8091	199.4	24.6	3570	2
4		28702-6-02		2016.09.21	2016.09.24	3	TESIS		3.90	8091	197.0	24.3	3530	2
5		28702-6-03		2016.09.21	2016.09.28	7	TESIS		3.90	8091	252.4	31.2	4520	3
6		28702-6-04		2016.09.21	2016.09.28	7	TESIS		3.90	8091	249.2	30.8	4470	3

T. Rot: 1=Cónica; 2=Cónica y vertical; 3=Columnar; 4=Diagonal; 5=Fractura en los extremos;  
6=Similar tipo 5 pero extremo puntiagudo

Observaciones:

Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas.  
No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

  
Analista

  
Jefe Laboratorio/Coordinador

SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06



CEMENTOS PROGRESO, S.A.  
CENTRO TECNOLÓGICO  
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181



Fecha impresión: 2016.09.30  
Página: 1 de 1  
Usuario: DVILLATORO  
OT: 28702-7  
Fecha OT: 2016.09.28

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO	Proyecto: TESIS
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 GUATEMALA	Dirección:
Contacto: ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono:	Analista: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPÉCIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm <sup>2</sup> )	Carga (KN)	Resistencia (N/mm <sup>2</sup> )	Resistencia (PSI)	T. Rot
1		28702-7-03		2016.09.24	2016.10.01	7	TESIS							
2		28702-7-04		2016.09.24	2016.10.01	7	TESIS							
3		28702-7-05		2016.09.24	2016.10.22	28	TESIS							
4		28702-7-06		2016.09.24	2016.10.22	28	TESIS							
5		28702-7-01		2016.09.24	2016.09.29	5	TESIS		3.85	8091	213.7	26.4	3830	3
6		28702-7-02		2016.09.24	2016.09.29	5	TESIS		3.88	8091	233.4	28.8	4180	3

T. Rot: 1 = Cónica; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos; 6 = Similar tipo 5 pero extremo puntiagudo

Observaciones:

Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas.  
No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

  
Analista

  
Jefe Laboratorio/Coordinador

SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06