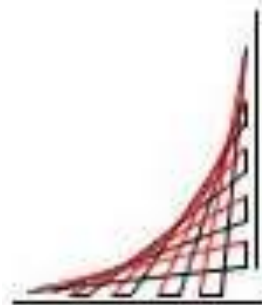


**VALORACION DEL AGRIETAMIENTO DE LOSAS
DE CONCRETO CON DIFERENTES
SISTEMAS DE CURADO**

GLORIA ALCIRA BECERRA SAMUDIO



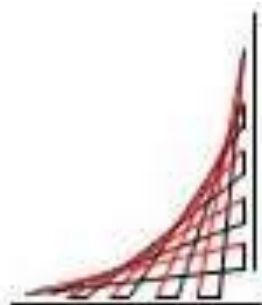
**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA JULIO GARABITO
ESPECIALICION DE ESTRUCTURAS
BOGOTA, D.C.
2013**

**VALORACION DEL AGRIETAMIENTO DE LOSAS
DE CONCRETO CON DIFERENTES
SISTEMAS DE CURADO**

GLORIA ALCIRA BECERRA SAMUDIO

Proyecto Final de Especializacion en Estructuras

**Director
JOSE GABRIEL GOMEZ CORTES
Ingeniero Civil Msc**



**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA JULIO GARABITO
ESPECIALICION DE ESTRUCTURAS
BOGOTA, D.C.
2013**

Nota de aceptación

Aprobada



Director de Proyecto

Ing. José Gabriel Gómez Cortés

Bogotá.DC Noviembre de 2013

*A mi esposo Edgar,
a mis hijos Nicolás
y Juan David
con todo mi amor*

Gloria

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A mi director de proyecto, Ing. Gabriel Gómez por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

También me gustaría agradecer a mis profesores durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación.

A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional especialmente con mis hijos.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION

1. MARCO TEORICO	1
1.1 El Curado del Concreto	1
1.1.1 Importancia del Curado	2
1.1.2 Requisitos Básicos del Curado	3
1.1.3 Fenómenos Dentro de la Mezcla	4
1.1.4 Comienzo, Duración e Influencia del Curado	6
1.1.5 Consideraciones Para El Curado	7
1.1.6 Métodos de Curado	11
1.1.7 Efectos de un Mal Curado	19
1.2 Agrietamiento por Retracción Plástica	30
1.2.1 Causas del Agrietamiento por Retracción plástica	31
2. INVESTIGACIONES RELACIONADAS	34
2.1 Comparación de la Efectividad de Sistemas de Curado Mediante la Evaluación de Agua Evaporada.....	35
2.2 Comparación de la Efectividad de Compuestos Curadores Mediante la Evaluación del Agua Evaporada.....	36
2.3 Plastic Shrinkage in Hot and Arid Environments	37
2.4 Effect of environmental conditions on the properties of fresh and hardened concrete	39
3. DISEÑO EXPERIMENTAL	44
3.1 Matriz Experimental	44
3.2 Caracterización de la Mezcla de Concreto	46
3.2.1 Cemento	47
3.2.1 Plastificante	47
3.3 Probetas.....	48
3.4 Sistemas de Curado	48

3.4.1	Sin curado, curado al aire libre sin viento	49
3.4.2	Sin curado, curado al aire libre con viento	49
3.4.3	Con curado, Recubrimiento con plástico inmediatamente.	50
3.4.4	Con curado, Recubrimiento con plástico inmediatamente dos horas después de fundida.....	50
3.4.5	Con curado, Con agua encharcado	51
3.4.6	Con curado, Con agua rociado intermitente.....	52
3.4.7	Con curado con compuesto curador desecación superficial.	52
3.4.8	Con curado con compuesto curador desecación superficial una hora después.	53
3.4.9	Con curado con compuesto curador desecación superficial dos horas 54	
3.4.10	Con curado con compuesto curador desecación superficial cuatro horas 55	
3.5	Métodos de Ensayo	55
3.5.1	Area de Agrietamiento	57
3.5.2	Indice de Agrietamiento	57
4.	CALCULO Y ANALISIS DE RESULTADOS	58
4.1	DETERMINACION DE AREA DE GRIETAS	58
4.1.1	Resultados	58
4.1.2	Analisis de Resultados	62
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
5.1	Conclusiones.....	73
5.2	Recomendaciones	74
6.	BIBLIOGRAFIA.....	76
7.	ANEXOS.....	79

TABLA DE GRAFICAS

Gráfica 1.1	<i>Nomograma para determinar la tasa de evaporación (Menzel 1954; NRMCA 1960.....</i>	10
Gráfica 1.2	<i>Eficacia de los diferentes sistemas de curado.</i>	22
Gráfica 1.3	<i>Efecto de la velocidad de viento en la retracción del concreto.</i>	23
Gráfica 1.4	<i>Efecto del contenido del cemento</i>	24
Gráfica 2.5	<i>Efecto del contenido de pasta en la retracción del concreto</i>	25
Gráfica 2.6	<i>Efecto de la finura del cemento en la retracción del concreto</i>	25
Gráfica 1.7	<i>Grafico de zonas potenciales de agrietamiento.</i>	27
Gráfica 1.8	<i>Efecto de la duración del curado en las propiedades del hormigón.</i>	29
Gráfica 1.9	<i>Efecto de la duración del curado en la resistencia del hormigón..</i>	30
Gráfica 1.10	<i>Efecto en de la velocidad del viento en la evaporación.....</i>	33
Gráfica 1.11	<i>Efecto del tipo de curado y del cementante en la retracción del concreto.....</i>	33
Gráfica 3.1	<i>Dosificación de la Mezcla.</i>	46
Gráfica 4.1	<i>Indice de agrietamiento</i>	63
Gráfica 4.2	<i>Indice de agrietamiento para muestras sin ningún tipo de curado</i>	64
Gráfica 4.3	<i>Indice de agrietamiento para métodos de curado con compuesto curador según tiempo de aplicación</i>	66
Gráfica 4.4	<i>Area de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra sin curar expuesta al viento.....</i>	67
Gráfica 4.5	<i>Indice de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra sin curar expuesta al viento.....</i>	68
Gráfica 4.6	<i>Area de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra curada con compuesto curador inmediatamente después de fundida</i>	68
Gráfica 4.7	<i>Indice de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra curada con compuesto curador inmediatamente después de fundida</i>	69
Gráfica 4.8	<i>Area de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra curada con compuesto curador aplicado después de una hora de fundida</i>	69
Gráfica 4.9	<i>Indice de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra curada con compuesto curador aplicado después de una hora de fundida</i>	70
Gráfica 4.10	<i>Area de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra curada con compuesto curador aplicado después de dos horas de fundida</i>	70

Gráfica 4.11 <i>Índice de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra curada con compuesto curador aplicado después de una hora de fundida</i>	71
Gráfica 4.12 <i>Área de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra curada con compuesto curador aplicado después de cuatro horas de fundida</i>	71
Gráfica 4.13 <i>Índice de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra curada con compuesto curador aplicado después de una hora de fundida</i>	72

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 <i>Niveles que potencialmente generan grietas.</i>	27
Tabla 3.1 <i>Dosificación de la Mezcla.</i>	46
Tabla 4.2 <i>Asentamiento del Concreto Fresco</i>	47
Tabla 3.3 <i>Asentamiento del Concreto Fresco</i>	56
Tabla 4.1 <i>Área de agrietamiento.</i>	58
Tabla 4.2 <i>Índice de agrietamiento</i>	62

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1.1 <i>Agrietamiento por retracción plástica aumentada por la acción del viento</i>	32
Fotografía 3.1 <i>Ensayo de asentamiento</i>	47
Fotografía 3.2 <i>Disposición de las formaletas</i>	48
Fotografía 4.3 <i>Sin curado, curado al aire libre sin viento</i>	49
Fotografía 4.4 <i>Sin curado, curado al aire libre con viento</i>	50
Fotografía 4.5 <i>Con curado, recubrimiento con plástico inmediatamente</i>	51
Fotografía 4.6 <i>Con curado, recubrimiento con plástico 2 horas después</i>	51
Fotografía 3.7 <i>Con curado, con agua encharcado</i>	52
Fotografía 3.8 <i>Con curado, rociado con agua</i>	53
Fotografía 3.9 <i>Con curado con compuesto curador desecación superficial</i>	53
Fotografía 3.10 <i>Con curado con compuesto curador desecación superficial+ 1 h</i>	54
Fotografía 3.11 <i>Con curado con compuesto curador desecación superficial+ 2 h</i>	54
Fotografía 3.12 <i>Con curado con compuesto curador desecación superficial+ 4 h</i>	55
Fotografía 4.1 <i>Fisuras presentadas CC-CC-DS-1</i>	59
Fotografía 4.2 <i>Fisuras presentadas CC-CC-DS1H-1</i>	60
Fotografía 4.3 <i>Fisuras presentadas CC-CC-DS2H-1</i>	60
Fotografía 4.4 <i>Fisuras presentadas CC-CC-DS4H-1</i>	61
Fotografía 4.5 <i>Disposición de muestras con compuesto curador</i>	65
Fotografía 4.6 <i>Disposición de muestras con compuesto curado y efecto de los rayos solares</i>	66

RESUMEN

El agrietamiento del concreto y de las estructuras con él construídas es uno de los problemas mas generalizados del mismo. Esto es debido al carácter de comportamiento frágil inherente al material. Dentro de los diferentes tipos de agrietamiento que puede sufrir el material, probablemente el más extendido es el agrietamiento debido a la retracción y asentamiento plástico del concreto. Es es debido a su vez por la generación de esfuerzos actuantes de tracción en el concreto, superiores a los esfuerzos resistentes del mismo. Y el alto valor de los efectos actuantes es a su vez producto de de una excesiva velocidad de evaporación del agua superficial, que supera a la velocidad de ascenso del agua capilar, ocasionando la desecación superficial.

Con la finalidad de estudiar el comportamiento de de concreto ante el agrietamiento se utiliza con una relación agua cemento A/C de 0.45 desde el punto de vista cuantificación de generación de agrietamiento, para diferentes sistemas de curado y momento de aplicación.

INTRODUCCION

Antecedentes

Las estructuras de concreto simple o reforzado, generalmente son diseñadas y construidas para satisfacer un conjunto de requisitos arquitectónicos, funcionales, estructurales, de comportamiento, de estabilidad, y de seguridad, durante un cierto periodo de tiempo, sin que se generen costos inesperados por mantenimiento o reparación.

Existen muchas razones por las cuales se agrietan las losas de concreto. La mayoría de ellas se pueden predecir y evitar con buenas prácticas de construcción, otras se originan a causa de errores de diseño que no se logran corregir oportunamente; hay otras en cambio, que se pueden atribuir a la mezcla de concreto o más bien al proveedor del concreto; probablemente el más extendido es el agrietamiento debido a retracción y asentamiento plástico del concreto generando el desarrollo de tensiones de tracción del material, el concreto es un material frágil con una baja capacidad para deformación bajo esfuerzos actuantes de tensión, el problema no solo es la grieta misma sino la determinación de las causas que la originan. Estos esfuerzos de tracción, con frecuencia como resultado formación de grietas que pueden afectar negativamente el desempeño del concreto. Sin embargo, el potencial para el agrietamiento se puede minimizar teniendo las precauciones adecuadas en el diseño de materiales, proporciones en las prácticas de construcción. Estas precauciones asegurarán de que el concreto puede ser utilizado satisfactoriamente por un período de tiempo prolongado sin ninguna pérdida significativa de la estética, vida útil, seguridad y de servicio.

Este agrietamiento genera por lo menos tres tipos de inconvenientes:

- Uno de tipo estético, el menos trascendente, pero el que genera mas rechazo.
- Una disminución de la durabilidad, al permitir o aumentar la penetración de sustancias agresivas, en especial si se trata de concreto reforzado.
- Una desmejora del comportamiento estructural, si el grado de agrietamiento es importante en espesor y profundidad, al disminuir la resistencia mecánica del elemento agrietado.

Durante el tiempo que se demora la hidratación en completarse es necesario mantener la mezcla bajo condiciones ambientales específicas. Este proceso es conocido como curado del hormigón. Las técnicas de curado y duración del curado del concreto reforzado tienen efectos cruciales en la resistencia y durabilidad del concreto, esto atado a las condiciones ambientales a las cuales estarán sometidas las estructuras de concreto reforzado, mismas que pueden provocar corrosión del acero de refuerzo, éstas son causas de daño o falla a temprana edad de estructuras de concreto reforzado, sin embargo estos parámetros regularmente no se toman en cuenta de manera conjunta, creando así la necesidad de otorgar al diseñador de mezclas de concreto, herramientas de diseño que logren obtener estructuras que cumplan el ciclo de vida para el cual fueron diseñadas.

Desafortunadamente, una de las mayores causas de generación de retracción plástica, y el consecuente agrietamiento, es la ausencia en nuestro medio de una verdadera “cultura de curado” por parte de nuestros constructores, que minimizan o ignoran su importancia y, en el mejor de sus casos, lo aplican de manera inadecuada, en especial iniciarlo en forma tardía, estando totalmente convencidos, en forma totalmente errónea, que esto no tiene mayor trascendencia. Otro error, desafortunadamente muy común, es despreciar el muy nocivo efecto del viento sobre la desecación superficial del concreto y consecuentemente, no tomar medidas.

La exposición del concreto a un ambiente no saturado de humedad provoca su contracción, tanto en el estado fresco como endurecido. Este fenómeno, que se produce a una temperatura ambiente, es favorecido a su vez, cuando existe una considerable acción del viento y también cuando aumenta la temperatura. Cuando la contracción es controlada, por sí sola no provoca efectos desfavorables sobre el material e inevitablemente se produce en los concretos convencionales, por ejemplo, en las pequeñas probetas de ensayo cuando son estacionadas en ambiente de laboratorio. Pero en las estructuras el concreto se encuentra restringido a los cambios de volumen, ya sea por substratos de fundación, encofrados, armaduras, por el hormigón subyacente sujeto a diferentes condiciones y aún por razones dimensionales, lo cual puede provocar una importante fisuración, tal como se verá más adelante.

La fisuración atenta contra la durabilidad y futuro comportamiento del hormigón, por cuanto las fisuras, además de provocar el debilitamiento del material, facilitan su agresión física química y, especialmente, la de las armaduras, y puede afectar su capacidad para soportar las cargas de diseño, además de dañar su apariencia. En sentido contrario, cuando el hormigón endurecido cuando se encuentra sumergido en agua o permanentemente expuesto a un ambiente saturado de humedad, experimenta una expansión de magnitud inferior a la contracción mencionada, expansión que normalmente no conduce a la fisuración del material y por lo tanto no atenta su durabilidad.

Las deformaciones que se producen en el hormigón en estado fresco debido a la pérdida del agua no combinada son de dos tipos: asentamiento plástico y contracción plástica, y la que se produce en estado endurecido, también por pérdida de agua no combinada, se denomina contracción por secado.

Objetivos de la investigación

El objetivo de esta investigación es estudiar el comportamiento de un tipo de mezcla de concreto (A/C de 0.45) desde el punto de vista cuantificación de generación de agrietamiento, para diferentes sistemas de curado y momento de aplicación.

RELACION A/C	CURADO	TIPO DE CURADO	FORMA DE CURADO
0.45	Sin Curado	Curado al aire libre, sin viento	
		Curado al aire libre, con viento	
	Con Curado	Plástico	Inmediatamente
			Dos (2) horas después
		Con agua	Encharcamiento
			Rociado intermitente
		Compuesto Curador	Al llegar a desecación superficial
			Desecación superficial + 1 hora
			Desecación superficial + 2 hora
			Desecación superficial + 3 hora
		Determinación de aparición de fisuras y determinación de dimensiones a edades de 1, 2,3,4,6,8 y 24 horas	

Sistemas de curado y momento de aplicación

Alcance

Este estudio esta enfocado en la determinación de aparición de fisuras y determinación de dimensiones de estas a edades de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 24 horas mediante inspección visual, de 20 muestras utilizando formaleta metálica para conformar placas rectangulares de 100 x 70 x 8 cm, dos muestras por cada forma de curado; según el tipo de curado planteados en la TABLA 1.1. Para este estudio se empleara una relación A/C de 0.45.

1. MARCO TEORICO

1.1 El Curado del Concreto

El curado es el mantenimiento de un adecuado contenido de humedad y temperatura en el concreto a edades tempranas, de manera que este pueda desarrollar las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla. El curado comienza inmediatamente después del vaciado y el acabado, de manera que el concreto pueda desarrollar la resistencia y la durabilidad deseada.

Sin un adecuado suministro de humedad, los materiales cementantes en el concreto, no pueden reaccionar para formar un producto de calidad. El secado puede eliminar el agua necesaria para esta reacción química denominada *hidratación* y por la cual el concreto no alcanzara sus propiedades potenciales.

La temperatura es un factor importante en un curado apropiado, basándose en la velocidad de hidratación y por lo tanto, el desarrollo de resistencia es mayor a más altas temperaturas. Generalmente, la temperatura del concreto debe ser mantenida por encima de los 50°F (10°C) para un ritmo adecuado de desarrollo de resistencias. Además debe mantenerse una temperatura uniforme a través de la sección del concreto, mientras esta ganando resistencia, para evitar las grietas por choque térmico.¹

Para el concreto expuesto, la humedad relativa y las condiciones del viento son también importantes, ellas contribuyen al ritmo de pérdida de humedad en el

¹ ACI Symposium Publication 227 "Shrinkage and Creep of Concrete". 2005

concreto y puede dar como resultado agrietamiento, una pobre calidad y durabilidad superficial. Las medidas de protección para el control de la evaporación de humedad de las superficies de concreto antes del momento del fraguado, son esenciales para evitar la fisuración por penetración plástica.

1.1.1 *Importancia del Curado*

El curado exige que el concreto se mantenga en ciertas condiciones de humedad y temperatura por un período mínimo de tiempo, el cual no siempre se respeta. En el último tiempo, en que las obras de construcción cada vez se realizan con mayor rapidez, los plazos de descimbre de los elementos de concreto se deben reducir considerablemente. Proteger el concreto en sus primeros días puede introducir restricciones a los tiempos de construcción y, en consecuencia, aumentar los costos correspondientes, pero a largo plazo, la falta de protección puede significar problemas mayores. Por lo tanto, es necesario, buscar una solución que compatibilice los tiempos constructivos, los costos y la obtención de concretos de mejor calidad.

Hay varias soluciones para el curado, las cuales difieren en eficiencia y costos. Decidir qué sistema de curado emplear en una obra debe considerar costos, tiempo disponible y además, en qué condiciones ambientales se encontrará el concreto, si recibirá recubrimiento, etc. La necesidad de encontrar sistemas de curado satisfactorio ha generado todo tipo de investigaciones. Diversos investigadores han estudiado los efectos del curado en distintas propiedades del concreto; otros se han interesado en comparar los tipos de curado en términos de su eficiencia en la pérdida de agua por evaporación. En el caso de pavimentos, la pérdida de agua se relaciona con la capacidad del concreto de exudar el agua sobrante de la mezcla, lo cual a su vez lo protege contra la evaporación debido a altas temperaturas, humedad relativa baja y vientos.

Los ensayos de laboratorio muestran que el curado en un ambiente seco puede perder tanto como un 50 % de su resistencia potencial, comparado con un concreto similar que es curado en condiciones húmedas. El concreto vaciado bajo condiciones de alta temperatura ganará una resistencia temprana rápidamente, pero después las resistencias pueden ser relativamente menores respecto a uno fundido a menor temperatura. El concreto vaciado en clima frío tomara más tiempo para ganar resistencia demorara la remoción del encofrado y construcción subsecuente.

El concreto bien curado tiene mejor dureza superficial y resistirá mejor el desgaste superficial y la abrasión. El curado también hace al concreto mas impermeable al agua, lo que evita que la humedad y las sustancias químicas disueltas en agua entren dentro del concreto, en consecuencia incrementa la durabilidad y la vida de servicio.

Una losa de concreto a la que se le ha permitido que se seque demasiado temprano, tendrá una superficie frágil con pobre resistencia al desgaste y la abrasión. El curado apropiado reduce el resquebrajamiento o cuarteo, la pulverización y el descascaramiento.

1.1.2 Requisitos Básicos del Curado

Para garantizar un curado adecuado se debe tener en cuenta:

- El concreto debe ser protegido de la pérdida de humedad hasta concluir el acabado empleando métodos adecuados como las barreras de viento, los atomizadores (aspersores) de agua y otros para evitar la fisuración por

retracción plástica. Después del acabado final la superficie del concreto debe permanecer continuamente humedecida o sellada para evitar la evaporación por un periodo de cómo mínimo varios días después del acabado.

- En clima frío no permita que el concreto se enfríe a un ritmo más rápido que 5°F (3°C) por hora para las primeras 24 horas. El concreto debe ser protegido de la congelación, utilizando materiales aislantes, hasta que alcance una resistencia a la compresión de 500 lb/in² como mínimo (3.5 MPa). Cuando las temperaturas de congelación se prevén, deben ser utilizados los métodos de curado que retienen la humedad, mejor que el curado húmedo.
- Se debe proteger el concreto contra cambios rápidos de temperatura después de quitar las medidas de protección.
- En clima caliente, una temperatura de curado inicial más alta dará resultado una ganancia rápida de resistencias y resistencias últimas más bajas. Agua de curado y aspersión pueden ser utilizadas para lograr bajar la temperatura de curado en verano. Debe protegerse contra temperaturas extremas nocturnas, que permitan un enfriamiento más rápido de 5°F (3°C) por hora, durante las primeras 24 horas.

1.1.3 Fenómenos Dentro de la Mezcla

Cuando se termina la mezcla de los componentes del concreto, éste se encuentra en un estado relativamente homogéneo, pero a medida que avanza el tiempo, la gravedad y las fuerzas capilares comienzan a desplazar las partículas. Las más pesadas se van al fondo (agregados y cemento) y las más livianas suben a la superficie (agua). Dependiendo del tipo de cemento que se tenga, esta segregación puede ser considerable. En conjunto con esta reacomodación, el agua de amasado comienza a exudar, y lo que se observa es una capa de agua que está separada de la masa de hormigón, ubicada en la superficie, fenómeno conocido como

exudación o sangrado.

El contenido de agua puede variar, dependiendo de las condiciones a las cuales se encuentra el hormigón. El cemento necesita una cantidad de agua mínima para lograr hidratarse completamente. Si este contenido no es suficiente la hidratación no se desarrollará completamente. Se ha demostrado que la relación crítica agua y cemento es 0.42 a 0.50.² Bajo estos valores se corre el riesgo de no tener suficiente agua y no lograr la hidratación completa. Sobre estos valores se tiene exc,eso de agua, lo cual perjudica las propiedades finales del hormigón.

La humedad relativa del aire, la temperatura atmosférica, y la velocidad del viento en conjunto con la temperatura del hormigón, generan una tasa de evaporación que puede llegar a ser dañina para el hormigón.

La exudación propiamente tal, no es un fenómeno dañino para el hormigón. El problema se genera cuando la tasa de evaporación superficial de agua es mayor que la tasa a la cual el agua aflora a la superficie. En este caso, la superficie se seca excesivamente y además, el agua que debe hidratar el cemento podría perderse.

Pero si se protege la superficie antes de que el agua superficial desaparezca, también se tendrán resultados deficientes a futuro. Si el acabado previo del hormigón se realiza antes de que termine de aflorar el agua, ésta queda atrapada, creando una capa de baja resistencia (alta relación A/C). En general, la evaluación visual es difícil ya que la superficie puede verse seca pero solo porque la tasa de evaporación iguala o supera la tasa de sangrado.

Por otro lado, el fenómeno de exudación depende de la mezcla, el espesor, y del método de consolidación. La principal característica que afecta el resultado es el

² Meeks, K., Carino, N. (1999). Curing of high-performance concrete: Report of the State-of-the-art.

contenido de agua y por lo tanto, la relación A/C. De forma menos importante, afectan el tipo de cemento, el tipo de agregados, los aditivos incorporados y el contenido de aire.

- Agregados: Mientras más pequeño el grano del agregado (agregados que pasan por la malla de 0,25 [mm]), mayor es su capacidad de retención y absorción de agua. En consecuencia, se tendrá menor agua libre tanto para la hidratación como para la exudación.
- Tipo de cemento: La capacidad de retener el agua depende de la composición química del cemento. Mientras menor sea esta capacidad, mayor será la exudación. Se cree que los cementos que no retienen bien el agua de la mezcla también tienen baja resistencia contra el ataque del medio ambiente, agua de mar, etc. Se ha llegado a la conclusión de que los cementos con altos valores de aluminato tricálcico presentan buena resistencia al ataque medioambiental, por lo que es posible que tengan buena retención de agua.³
- Aditivos: Aquellos aditivos que se utilizan para disminuir el contenido de agua, aumentando la resistencia, sin perder trabajabilidad, son denominados plastificantes o reductores de agua. Existen diversas formulaciones de estos aditivos, lo que afectará en su influencia final dentro de la mezcla. Ensayos⁴ han determinado que al incorporar estos compuestos y comparando con razones de A/C iguales, la exudación aumenta.

4

1.1.4 Comienzo, Duración e Influencia del Curado

El tiempo curado puede durar desde el vaciado del concreto fresco hasta muchos

³ Uno, Paul J. (1998). Plastic shrinkage cracking and evaporation formulas.

⁴ Guo Cheng-ju (1991). Early-age behavior of Portland cement paste.

días después de terminado. La duración del curado dependerá de las siguientes características:

- Composición, dosificación de la mezcla y relación A/C
- Características del agregado
- Propiedades deseadas
- Características del medio ambiente: temperatura, humedad relativa y viento
- Tasa de desarrollo de estas propiedades durante y después del curado.
- Eficiencia del método empleado para curar.

Mientras más alejado de la superficie esté el punto considerado, menor será la influencia del proceso de curado. Ensayos han demostrado que, utilizando una membrana de curado, al cabo de 7 días sobre la superficie del hormigón hay alrededor de un 60% de humedad relativa, pero que a mayor profundidad, la humedad se mantiene cercana a 90%. En el otro extremo, al no utilizar ningún método de curado, sobre la superficie del hormigón hay alrededor de un 25% de humedad relativa, y a 25 [mm] la humedad es casi tan alta como en el caso de superficie con curado. Es decir, la zona que se ve afectada por el curado se encuentra entre los 5 y 20 [mm] de profundidad desde la superficie.⁵

Como método de curado inicial se pueden utilizar retardadores de evaporación los cuales se describirán en el capítulo 4 y como métodos de curado final existen las prácticas que añaden humedad a la superficie y otras que protegen la humedad existente. Dentro de este último grupo se encuentran los compuestos líquidos que forman membranas las cuales se describirán en el capítulo 4.

1.1.5 Consideraciones Para El Curado

⁵ Spears, Ralph. (1983). The 80% solution to inadequate curing problems.

Antes de elegir un método de curado es importante conocer las condiciones a las cuales se encontrará el hormigón y como afectarán éstas a su desarrollo. Para eso se deben tomar datos medioambientales. Los datos que se conocen son aquellos obtenidos por estaciones meteorológicas, pero estos no son los más adecuados, ya que las estaciones miden datos desde 2 a 12 [m] de altura desde su base y no representan las condiciones a las cuales está la superficie.

Los datos deben medirse de la siguiente manera:

- La temperatura del aire, entre 1,2 y 1,8 [m] sobre la superficie de hormigón y a la sombra.
- La humedad relativa, también a la sombra, entre 1,2 y 1,8 [m] sobre la superficie de hormigón y en el extremo anterior al sentido del viento, para que la humedad del hormigón no afecte este valor.
- La velocidad del viento se debe medir a 0,5 [m] sobre la superficie, considerando las fluctuaciones a lo largo del día.

Para determinar cómo afectarán estos datos a la tasa de evaporación, se ha ocupa un gráfico conocido como nomograma introducido entre los años 50 y 60 el cual se puede observar en la gráfica 2.1. El nomograma se diseñó a partir de las siguientes fórmulas:⁶

⁶ Uno, Paul J. (1998). Plastic shrinkage cracking and evaporation formulas.

Presión saturada del vapor [kPa]:

$$e_s = 0.61 \cdot e^{\left(\frac{17.3 T}{237.3+T}\right)} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

T = Temperatura en °C

Tasa de evaporación [kg/m²/h]:

$$E = 0.313(e_{so} - r \cdot e_{sa}) \cdot (0.253 + 0.06 V) \quad \text{[Ecuación 2]}$$

e_{so} = Presión de vapor en la superficie de hormigón [kPa]

e_{sa} = Presión de vapor del aire [kPa]

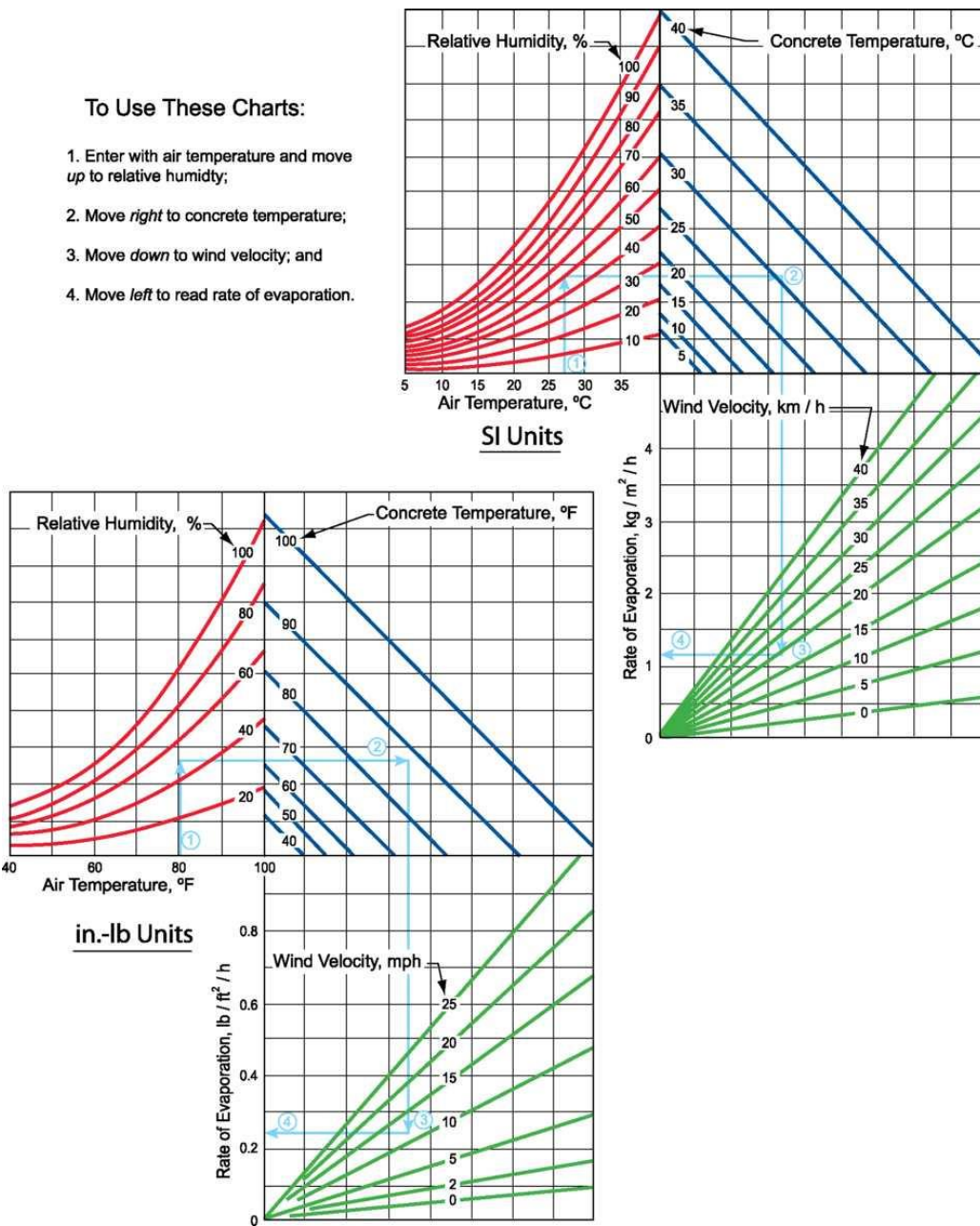
r = Humedad relativa [%]/100

V = Velocidad del viento [km/hr]

La calibración de este grafico se realizo utilizando superficies que tenían agua, por lo que para obtener la tasa de evaporación de una superficie mas seca exixten otros métodos aun no estandarizados. A través de variados estudios se ha llegado a la conclusión de que mientras más desfavorables son las condiciones atmosféricas, el resultado obtenido por este grafico sobreestima la más la tasa de evaporación.⁷

⁷ Hover, Kenneth C. (2006). Evaporation of Water from Concrete Surfaces.

Gráfica 1.1 Nomograma para determinar la tasa de evaporación (Menzel 1954; NRMCA 1960)



Nomograma para estimar la velocidad de evaporación de agua desde una superficie de hormigón. Las flechas muestran un ejemplo de un día donde la temperatura del aire ambiente es de 80 °F (27 °C), la humedad relativa es 50%, la temperatura del hormigón es de 87 °F (31 °C), y la velocidad del viento es 12 mph (19 km / h). La tasa resultante de la evaporación es de aproximadamente 0,25 lb/ft²/h (1,2 kg/m²/h) (cortesía de la figura de Portland Cement Association) 2

Gráfica 1.2 Nomograma para determinar la tasa de evaporación (Menzel 1954; NRMCA 1960)

1.1.6 Métodos de Curado

La humedad del concreto puede ser mantenida mediante diversos métodos de curado, que se pueden clasificar como siguen:

- Métodos que suministran humedad adicional a la superficie del concreto durante el periodo inicial de endurecimiento. Estos incluyen la inundación o inmersión, el rociado o pulverización y el uso de cubiertas húmedas. Tales métodos proporcionan, por efecto de la evaporación, cierto grado de enfriamiento, que es beneficioso en tiempo caluroso
- Métodos que impiden las pérdidas de humedad mediante el sellado o impermeabilización de la superficie del concreto. Esto puede conseguirse empleando papel impermeable, películas plásticas, compuesto de curado y por medio de moldes y encofrados dejados en su lugar.
- Métodos que aceleran el endurecimiento del concreto, suministrándole calor y humedad. Esto se lleva usualmente a cabo mediante vapor vivo o resistencias eléctricas.⁸

El método o la combinación de los métodos seleccionados dependen de factores tales como la disponibilidad de materiales de curado, complejidad y dimensiones de la superficie de concreto, aspecto estético y economía.

1.1.6.1 Inmersión o Encharcamiento

En superficies tales como las de los pavimentos, techos planos y pisos, puede recurrirse al curado por inundación. Diques de tierra o arena dispuestos sobre el perímetro de la superficie a curar, retienen el agua dentro de ella, formando un

⁸ Portland Cement association. "Curing of Concrete"

estanque. Además de constituir un método eficiente para evitar pérdidas de humedad en el hormigón, el curado por inundación es también efectivo para mantener a aquél a una temperatura uniforme. Sin embargo la temperatura del agua de curado no deberá estar más de unos 11° C por debajo de la del hormigón para prevenir tensiones de origen térmico, que podrían fisurarlo. Como este método requiere considerable supervisión y mano de obra, frecuentemente no resulta práctico, excepto para pequeñas obras. El método de inundación no es recomendable cuando el hormigón fresco está expuesto a temperaturas de congelación.

El método de curado húmedo más efectivo, aunque raramente usado, consiste en la total inmersión en agua del elemento de hormigón terminado. Este método ha sido usado con cierta frecuencia en la industria de la prefabricación, pero su uso es más común para el curado de probetas de hormigón en laboratorio. Cuando es importante mantener la apariencia superficial, el agua a usar para el curado, por inundación o inmersión, deberá estar libre de sustancias que puedan manchar o decolorar el hormigón.

1.1.6.2 Rociado o Pulverización

El rociado o pulverización con agua es un excelente método de curado cuando la temperatura está bien por encima de la congelación. Una fina pulverización de agua puede aplicarse en forma continua por medio de un sistema de picos o una barra regadora. Los rociadores comunes para jardín son efectivos siempre que cubran toda el área a curar y el escurrimiento del agua no origine inconvenientes. Una desventaja del rociado o pulverización puede ser su costo. Este método requiere un adecuado suministro de agua y cuidadosa supervisión. Si los riegos se hacen a intervalos, deberá cuidarse de evitar el secado del hormigón entre sucesivos riegos; los correspondientes ciclos de humedecimiento y secado pueden causar el agrietamiento del hormigón. Deberá cuidarse también que el agua de rociado no

erosione la superficie del hormigón fresco.

1.1.6.3 Cubiertas húmedas

Cubiertas de esteras de algodón u otras con capacidad para retener la humedad, son usadas extensamente para el curado. Puede disponerse también de cubierta tratada, que refleje la luz y sea resistente a la putrefacción y al fuego. Los requerimientos que debe cumplir la cubierta están descritos en las "Especificaciones para Telas de Arpillera de Yute o Similares"(Asociación de Funcionarios Viales y de Transporte del Estado, AASHTO, M182 y los correspondientes para cubiertas de arpillera blanca de polietileno aparecen en la "Especificación para Material en Láminas para el Curado del Hormigón"(Sociedad Americana para Ensayo de Materiales - ASTM- C 171 o AASHTO M171

Las cubiertas mojadas deberán ser colocadas tan pronto como es estado de hormigón lo permita, evitando dañar la superficie. Deberá tenerse cuidado de cubrir toda la superficie expuesta, incluyendo los bordes de las losas, como las de pavimentos. Las cubiertas deberán mantenerse continuamente húmedas a fin de que permanezca sobre la superficie del hormigón una lámina de agua, a través de todo el período de curado.

Las capas húmedas de tierra, arena y aserrín de la mayoría de las maderas, son efectivas para el curado, pero en años recientes su uso ha sido restringido debido a su alto costo. Sin embargo este método frecuentemente es útil en obras pequeñas. Los materiales mencionados deben ser distribuidos uniformemente sobre la superficie del hormigón previamente humedecida, con un espesor de alrededor de 5 cm y mantenidos permanentemente húmedos.

El heno o la paja húmedos pueden ser utilizados en el curado de superficies planas.

Este método ha sido reemplazado por otros procedimientos de curado que ahorran mano de obra. Si se usan dichos materiales, deben ser colocados en capas de un espesor mínimo de 15 cm, debidamente resguardados contra la acción del viento y mantenidos permanentemente húmedos.

La mayor desventaja del uso de tierra, arena, aserrín, paja o heno en el curado consiste en la posibilidad de decoloración del hormigón, que afectaría su apariencia.

1.1.6.4 Papel impermeable

El papel impermeable utilizado para el curado del hormigón consiste de dos láminas de papel Kraft adheridas entre sí por un ligante bituminoso y provistas de un refuerzo de fibras. Satisfaciendo las normas ASTM C171 o AASHTO M171 este material es un eficiente medio de curado para superficies horizontales o estructuras de formas relativamente simples. Una importante ventaja de este método es que no son necesarios riegos periódicos de agua. El curado con papel impermeable asegura una adecuada hidratación del cemento, impidiendo pérdidas de humedad del hormigón.

Las láminas de papel, del mayor ancho que sea practicable, deberán aplicarse sobre la superficie del hormigón tan pronto como éste haya endurecido suficientemente, para evitar dañarlo y luego que la superficie haya sido completamente humedecida. Los bordes de las láminas adyacentes deberán solaparse suficientemente y sellarse con arena, tabloncillos de madera, cinta adhesiva, mastic o cola. Las láminas deberán llevar pesos encima (4) que las mantengan en estrecho contacto con la superficie del hormigón durante todo el período de curado.

El curado con papel impermeable puede causar manchas por decoloración, especialmente si el hormigón contiene cloruro de calcio y la terminación ha sido efectuada con llana metálica. Esta decoloración ha sido observada cuando el papel se colocó con arrugas. En una obra de importancia, resulta dificultoso y requiere tiempo alisar el papel para hacer desaparecer las arrugas que éste puede formar. La decoloración puede ser evitada inundando ocasionalmente la superficie por debajo de las láminas, pero cuando es importante lograr uniformidad de color, deberá recurrirse a otros métodos de curado.

El papel empleado en el curado provee al hormigón de cierta protección contra daños inherentes a las posteriores operaciones constructivas, como también lo preserva de la acción directa del sol. Deberán inspeccionarse las láminas para detectar la presencia de rasgaduras o agujeros, que permitirán pérdidas de humedad, en desmedro de la efectividad del curado. El papel deberá ser de color claro y no manchar el hormigón, siendo preferible usar papel de color blanco cuando se trabaja en tiempo caluroso.

1.1.6.5 Laminas de material Plástico

Para el curado del hormigón se usan también láminas de material plástico, como las de polietileno. Estas láminas son muy livianas, constituyen una barrera efectiva contra la humedad y son fácilmente aplicables tanto sobre superficies simples como complejas. La forma de aplicación es la misma que la descrita anteriormente para el papel impermeable. Como en el caso de este último, el curado con láminas de polietileno puede causar manchas por decoloración si las láminas no se mantienen bien extendidas sobre la superficie del hormigón.

Este material deberá cumplir las normas ASTM C171 ó AASHTO M171. Ambas especifican un espesor de 100 micrones y se refieren únicamente a láminas opacas de color claro o blanco. Sin embargo, las láminas de color negro son satisfactorias en ciertas condiciones. Aunque el color blanco es el que debe adoptarse durante la estación calurosa, para reflejar los rayos de sol, el negro puede ser usado en tiempo frío o en lugares cubiertos. Las láminas de color claro tienen muy pequeña influencia en la absorción de calor.

1.1.6.6 Compuestos curadores

Los compuestos líquidos capaces de formar membranas de curado, que están constituidos por parafina, resinas, caucho clorado y solventes de alta volatilidad, pueden ser usados para retardar o evitar la evaporación de agua del hormigón. Ellos son útiles no solamente para el curado del hormigón fresco, sino también para el posterior curado después de la remoción de los moldes o encofrados o después del curado húmedo inicial.

Los compuestos de curado son de dos tipos: claros o transparentes y con pigmento blanco. Los primeros pueden presentar un tinte fugaz, que desaparece rápidamente después de su aplicación. Esto ayuda a asegurar un completo recubrimiento de la superficie expuesta del hormigón. Durante los días soleados y calurosos, los compuestos con pigmento blanco son más efectivos ya que reflejan los rayos del sol, reduciendo así la temperatura del hormigón. Los compuestos pigmentados deberán ser mantenidos en agitación dentro de los recipientes para evitar que el pigmento sedimente.

Los compuestos líquidos se aplican por aspersion mediante equipos de accionamiento manual o mecánico, después de las operaciones de terminación del hormigón y una vez que ha desaparecido el brillo superficial. Normalmente la

superficie del hormigón deberá estar saturada cuando se aplica el producto, de tal manera que éste no sea absorbido por los poros superficiales. No obstante, en días secos, calurosos y con viento o durante períodos con condiciones climáticas adversas, que pueden dar lugar a la fisuración plástica, la aplicación del producto de curado inmediatamente después de efectuada la terminación y antes que se evapore todo el agua superficial, puede evitar la formación de fisuras. Los equipos distribuidores con accionamiento mecánico son recomendables para lograr una aplicación uniforme en obras importantes. Para evitar pérdidas del producto por acción del viento estos equipos deberán estar provistos de picos pulverizadores y pantallas protectoras.

Normalmente se aplica el producto en una sola capa uniforme, pero puede ser necesario hacerlo en dos capas para asegurar un recubrimiento completo. Cuando se efectúa una segunda aplicación ésta deberá realizarse en dirección perpendicular a la primera. Deberá lograrse un completo recubrimiento de la superficie, debido a que aún los pequeños huecos en la membrana permitirán la evaporación de la humedad del hormigón.

Los compuestos de curado pueden impedir la adherencia entre el hormigón fresco y el endurecido; consiguientemente aquellos productos no deberán ser usados cuando es necesario conseguir adherencia. Por ejemplo, no deberán aplicarse compuestos de curado a la losa de base de un piso de dos capas, ya que aquellos pueden impedir la adherencia de la capa superior. De igual forma, algunos compuestos de curado afectan la adherencia de la pintura o de los revestimientos elásticos sobre los pisos de hormigón. Para determinar si un producto pertenece a esta categoría, deberá consultarse a su fabricante.

Los compuestos de curado deberán responder a las especificaciones para "Compuestos Líquidos que Forman Membranas para el Curado del Hormigón"(ASTM C309 ó AASHTO M148) ó también a la de "Curado del Hormigón,

Líquidos que forman Membrana", (Junta de Especificaciones del Gobierno Canadiense 90-GP - la). En el "Método de Ensayo de Retención de Agua en Materiales para el Curado del Hormigón"(ASTM C156 ó AASHTO T155) se describe un método para determinar la eficiencia de los compuestos de curado, así como del papel impermeable y de las membranas plásticas.

1.1.6.7 Encofrados o moldes dejados en sitio

Los Encofrados proveen protección satisfactoria contra las pérdidas de humedad, si la superficie expuesta superior del hormigón se mantiene húmeda. Una manguera para riego es excelente para este fin. Los moldes deberán dejarse colocados tanto como sea posible.

Los encofrados de madera que se dejan colocados deben mantenerse saturados mediante rociado, especialmente durante tiempo caluroso y seco. De no procederse así, los encofrados deberán ser removidos tan pronto como sea posible y aplicarse sin pérdida de tiempo otro procedimiento de curado.

1.1.6.8 Curado con vapor

El curado con vapor es ventajoso cuando es importante desarrollar una resistencia temprana en el hormigón o cuando se requiere calor adicional para completar la hidratación, como en el hormigonado en tiempo frío. Dos métodos se usan actualmente para desarrollar mayor resistencia inicial mediante curado por vapor: curado con vapor a la presión atmosférica (para estructuras cerradas moldeadas en sitio y piezas prefabricadas de hormigón) y curado a alta presión en autoclave (para pequeñas unidades prefabricadas).

El ciclo de curado por vapor consiste en (1) un intervalo inicial de espera, previo a la acción del vapor; (2) un período de incremento de temperatura; (3) un período en que se mantiene la temperatura constante, y (4) un período de disminución de temperatura.

En muchos casos el lapso comprendido entre el moldeo y el cierre del vapor permanece aproximadamente constante en 18 horas. El curado con vapor a la presión atmosférica se realiza generalmente en una cámara de vapor u otro recinto cerrado, para disminuir al mínimo las pérdidas de calor y humedad. Las lonas impermeables se usan frecuentemente para formar el recinto (carpa). La aplicación de vapor dentro del recinto deberá demorarse como mínimo dos horas después de finalizada la colocación del hormigón, para permitir cierto endurecimiento del colocado recientemente. No obstante, una demora de 4 a 5 horas, previa a la inyección del vapor, permitirá obtener máximas resistencias iniciales. La resistencia no aumenta significativamente si la máxima temperatura del vapor es llevada de 65 a 80° C. Deberán evitarse temperaturas máximas del vapor por encima de los 82° C; ellas son antieconómicas y pueden conducir a una inaceptable reducción de la resistencia final.

1.1.7 Efectos de un Mal Curado

Un efecto negativo que presenta el concreto es la retracción ó disminución de su volumen, si bien este efecto no es controlado o minimizado a tiempo se puede presentar agrietamiento afectando la estética, comprometiendo la durabilidad y resistencia y así afectando el comportamiento estructural del elemento construido con este material.⁹

⁹ Gabriel Gomez C. Retraccion del concreto.

Este fenómeno se presenta principalmente al efecto de la pérdida creciente de agua en la masa del concreto. Se presentan cinco tipos de retracción:

- Plástica
- Autógena
- Térmica inicial
- Hidráulica
- Por Carbonatación

El agrietamiento por retracción plástica, por lo general se presenta durante las tres primeras horas cuando el concreto se encuentra en estado plástico. En la etapa inicial se presenta fisuración en la interface agregado grueso-mortero. Debido al aumento de los esfuerzos de tracción, se aumenta el espesor y profundidad de las fisuras iniciales. Si en obra no se realiza la inspección desde el inicio, no se podrá identificar realmente el momento en que inicia el agrietamiento y como es costumbre se concluirá erróneamente que la aparición de fisuras se presentó a una edad madura.

Dentro de los factores que afectan la retracción se encuentran:

1. Composición del Concreto:

- Contenido de pasta
- Relación agua/cementante
- Proporciones de materiales
- Características del cemento (finura, tipo)
- Características de los agregados (porosidad, granulometría, módulo elástico)

- Grado de compactación

2. Geometría del Elemento

- Relación superficie libre/volumen
- Espesor mínimo

3. Curado del Concreto

- Tipo y duración del curado
- Temperatura de curado
- Humedad de curado

4. Medio Ambiente

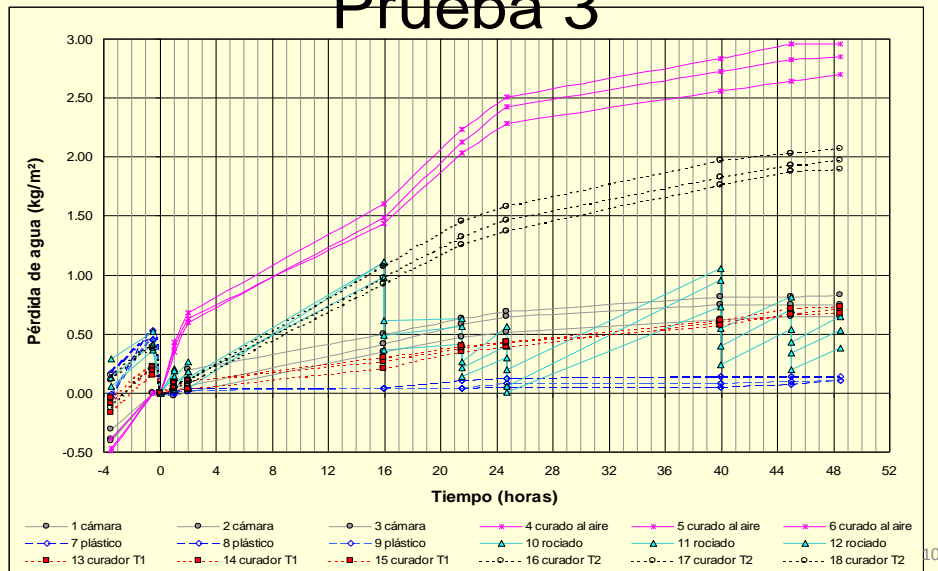
- Humedad relativa
- Temperatura del concreto
- Temperatura ambiente
- Velocidad del viento

La acción del viento es de todos los factores enumerados anteriormente el de mayor influencia negativa y el mas difícil de controlar durante todas las etapas el proceso constructivo.

El uso de compuestos curadores, en especial los de bajo contenido de sólidos, no garantiza evitar la eliminación de la evaporación de agua del concreto que genera fenómeno de retracción plástica, dado que estos permiten la pérdida de agua en cantidades apreciables. Este fenómeno se ve aumentado si la aplicación del compuesto es tardía (posterior al “punto de llana”) y muy especialmente si existe una alta velocidad de viento sobre la superficie del elemento.

A/C: 0.45 Agregado fino bajo contenido pasa tamiz 200
(Bustamante Herrera)

Resultados - Pérdida de agua Prueba 3

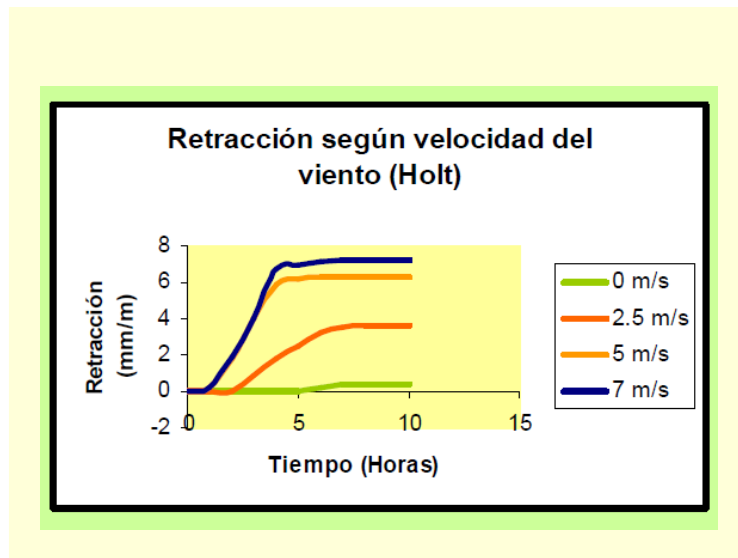


Gráfica 1.3 Eficacia de los diferentes sistemas de curado.

En la tesis de Maestría de Estructuras de la Ing. Adriana Bustamante Herrera “Comparación de la efectividad de sistemas de curado mediante evaluación del agua evaporada” (Facultad de Ingeniería U.N. Bogotá 2005), se puede apreciar la eficacia de diferentes sistemas de curado, valorada desde el punto de vista cantidad de agua perdida (o pérdida de peso) en el tiempo, se ilustra en la gráfica 2.2. Se observa que el curado mediante compuesto curador de bajo contenido de sólidos

(T2) no es el mejor, pues permite una apreciable pérdida de agua, mientras que los curados con plástico presentan un muy buen comportamiento.

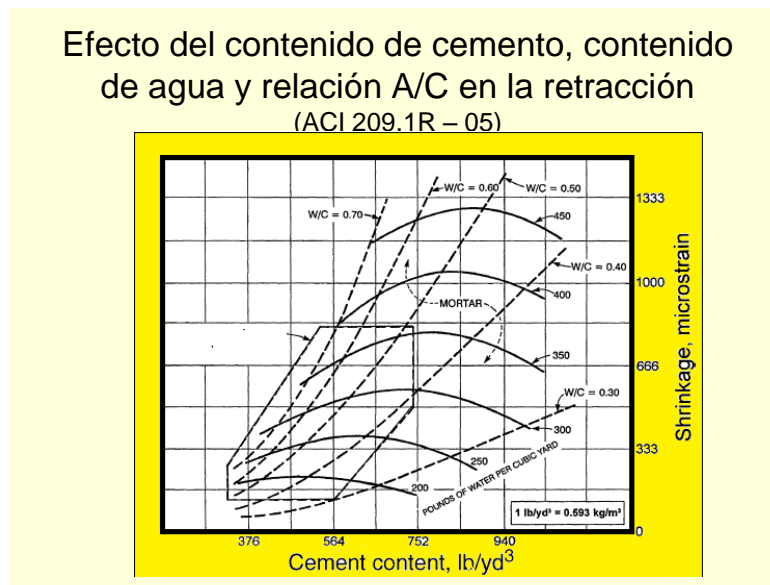
El nomograma que se muestra en la gráfica 2.1 ampliamente conocida y denominada “Nomograma de Menzel” (ACI-308 “Standard Practice for Curing Concrete”), es un método comúnmente utilizado para estimar las tasas de evaporación. Allí se aprecia claramente que, por ejemplo, para un tipo dado de concreto, el pasar de una velocidad de viento nula a una de 8 k/h duplica la cantidad de agua evaporada y a una velocidad de 32k/h sextuplica esa cantidad de agua evaporada.



Gráfica 1.4 Efecto de la velocidad de viento en la retracción del concreto.

El mismo documento establece que sobrepasar una tasa de pérdida de agua de 1 kg/m²/hora puede llevar a que se presente agrietamiento dentro del concreto. En la gráfica 2.3, tomada de Holt (Holt Erika “De donde vinieron esas grietas?” Concrete International) que muestra que pasar de una velocidad de viento de 0 m/s a 2.5 m/s prácticamente multiplica por seis la cantidad retracción medida y pasar a 5.0 m/s prácticamente multiplica por doce la cantidad de retracción medida.

Otro factor que afecta la retracción plástica es el tipo y contenido de cemento, si aumentamos la resistencia del concreto resulta contraproducente desde el punto de vista retracción plástica, dado que ese aumento de resistencia implica usualmente un aumento en el contenido de cemento, y por lo tanto en el contenido de pasta, ya que usualmente la manejabilidad se mantiene constante y ello se traduce en una mayor retracción. Este hecho se ilustra en las gráficas 2.4¹⁰ y 2.5¹¹ que muestran claramente como aumenta la retracción con el contenido de pasta, contenido de cemento y relación agua/cemento



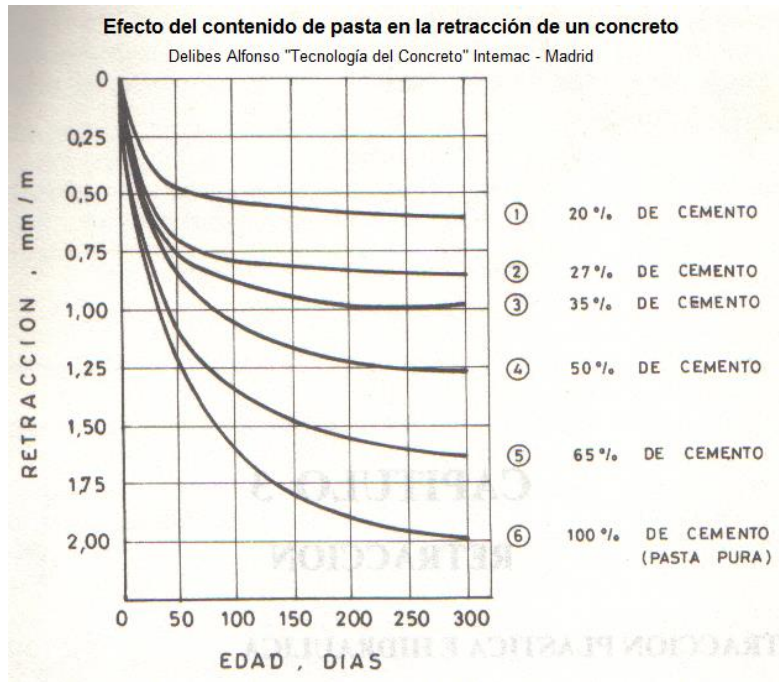
Gráfica 1.5 Efecto del contenido del cemento

En la actualidad la tendencia de hacer ganar resistencia rápidamente al concreto hace que se utilicen cementos mas finos, aumentando la retracción del concreto generando mayor, ya que esa mayor finura aumenta la retracción. La situación se ilustra en la gráfica 2.6¹²

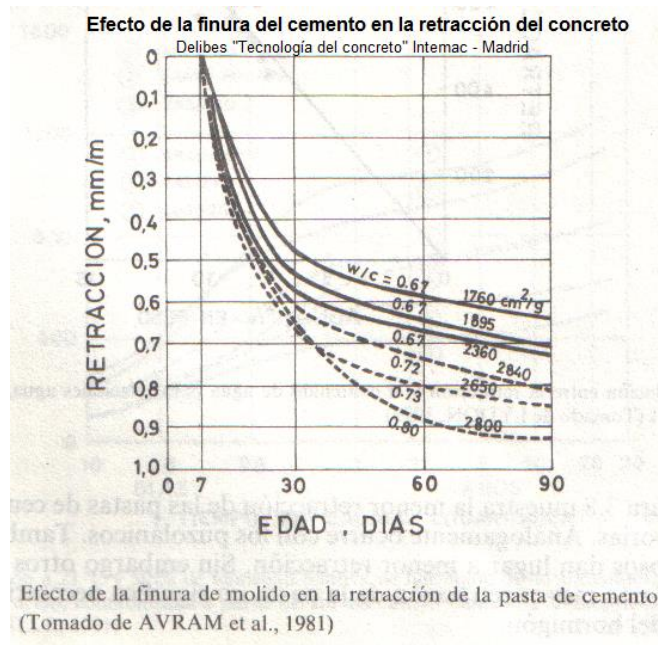
¹⁰ ACI 209.1R - 05

¹¹ Delibes Liniers Adolfo (1994). Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón.

¹² Benford, Gregory, Davidson, AVRAM et al; (1981)



Gráfica 1.6 Efecto del contenido de pasta en la retracción del concreto



Gráfica 1.7 Efecto de la finura del cemento en la retracción del concreto

Los efectos que tiene una evaporación excesiva de agua son negativos para los resultados futuros del hormigón. El ejemplo más claro son las grietas visibles en hormigones adultos. A pesar de que la pérdida de agua no es la principal razón de esta falla, no es tampoco la menos importante. Debido a las tensiones que provoca la evaporación, originadas por las capas con mayor contenido de agua y aquellas con menor contenido, existe la posibilidad que la superficie de hormigón se agriete. Mientras más rápida sea la evaporación, mayores serán las tensiones, y por lo tanto, las grietas. En el futuro, las grietas darán pie a otras fallas funcionales tales como baches, fisuras que atraviesan la losa, etc.

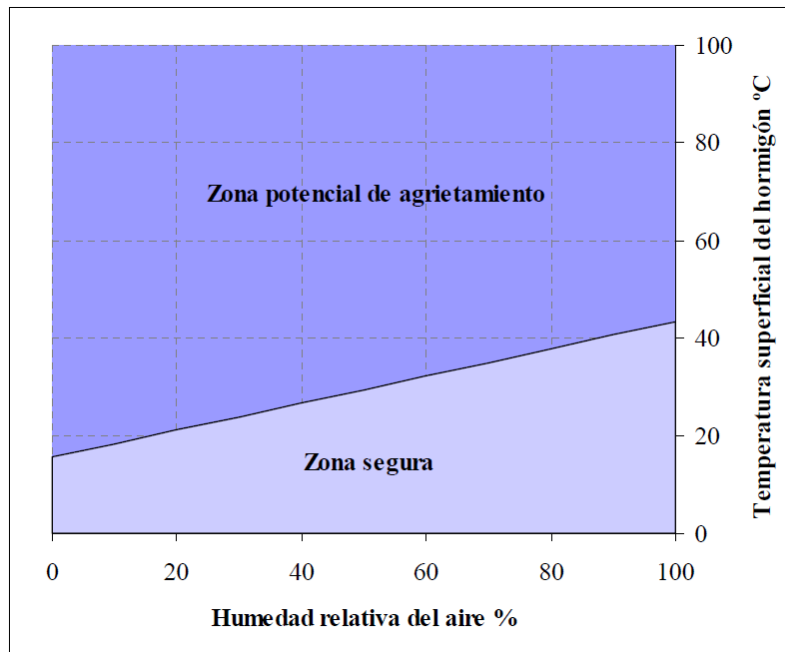
Las grietas son un problema importante a considerar cuando se hormigona en climas, denominados cálidos,¹³ que combinan temperatura elevada de aire, humedad relativa baja, alta velocidad del viento. A partir de la gráfica 2.1 del capítulo 2.1.4 se confeccionó una tabla que muestra a qué niveles de humedad y temperatura es posible que el hormigón sufra agrietamiento plástico. La tabla 2.1 se preparó suponiendo una velocidad del aire igual a 16 [km/h] y una diferencia de temperatura entre el aire y el hormigón de 5,6 °C.

¹³ ACI Standards and Reports (1991). ACI 305: Hot weather concreting.

Temperatura del hormigón °C	Humedad relativa del aire %
40,6	90
37,8	80
35,0	70
32,2	60
29,4	50
26,7	40
23,9	30

Fuente: ACI 305: Hot weather concreting

Tabla 1.1 Niveles que potencialmente generan grietas.



Gráfica 1.8 Grafico de zonas potenciales de agrietamiento.

Otro efecto que tienen estas tensiones es el alabeo de losas, el cual generará grietas en los bordes. Este alabeo podría controlarse disminuyendo el largo de la losa pero también protegiendo la superficie expuesta de la evaporación excesiva. El alabeo es provocado por la tendencia de la superficie expuesta al aire, a disminuir

su tamaño. De esta manera se producen tensiones que son mayores en los bordes de la losa, provocando grietas. Si la superficie se protege de manera adecuada, las contracciones serán menores y en consecuencia, el alabeo será más controlado.

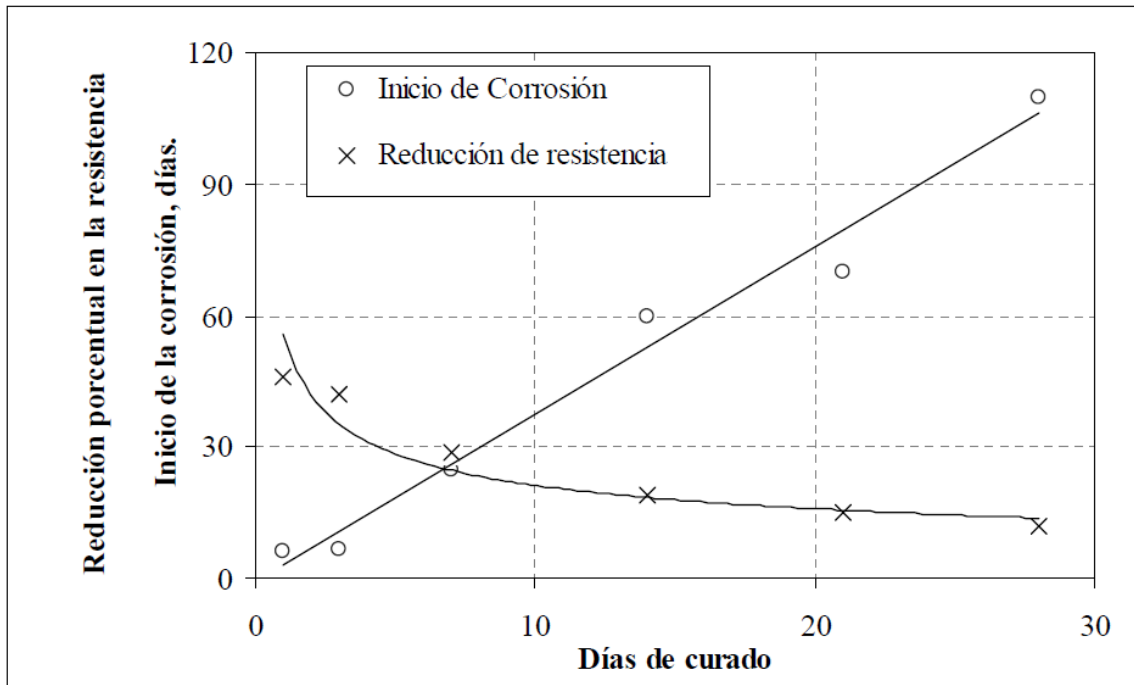
Un mal curado puede afectar la durabilidad del hormigón, se entiende por durabilidad del hormigón la capacidad de protección en el tiempo frente a agresiones de tipo física o química. Específicamente, debe poder protegerse de las heladas y deshielos, ataque de cloruros y sulfatos, proteger las estructuras en su interior de la corrosión, etc. El hormigón puede encontrarse bajo el agua, en ambientes con temperaturas extremadamente frías o con productos químicos en el ambiente. El efecto del curado sobre la durabilidad se puede ver a través de la permeabilidad (capacidad de absorción), ya que mientras más permeable sea el hormigón, más expuesto estará a ataques físicos o químicos.

Se ha demostrado¹⁴ que mientras más largo sea el período de curado, el ingreso de sustancias dañinas para el acero, como cloruros o dióxido de carbono, comienza más tarde y por lo tanto, la corrosión de las barras que se encuentran en el interior de un hormigón armado demora más tiempo. Es decir, la protección que presenta el hormigón frente a ataques dañinos para el acero aumenta utilizando un curado que dure más tiempo, o un curado que sea más eficiente.

Asimismo, el resultado¹⁵ de exponer un hormigón al ataque de sulfatos también se ve afectado. Mientras menor sea el tiempo de curado (gráfica 2,8), mayor será el daño provocado, que se ve reflejado en la resistencia final del hormigón.

¹⁴ Rasheeduzzafar, Al-Gahtani & Al-Saadoun, (1988). Influence on construction practices on concrete durability.

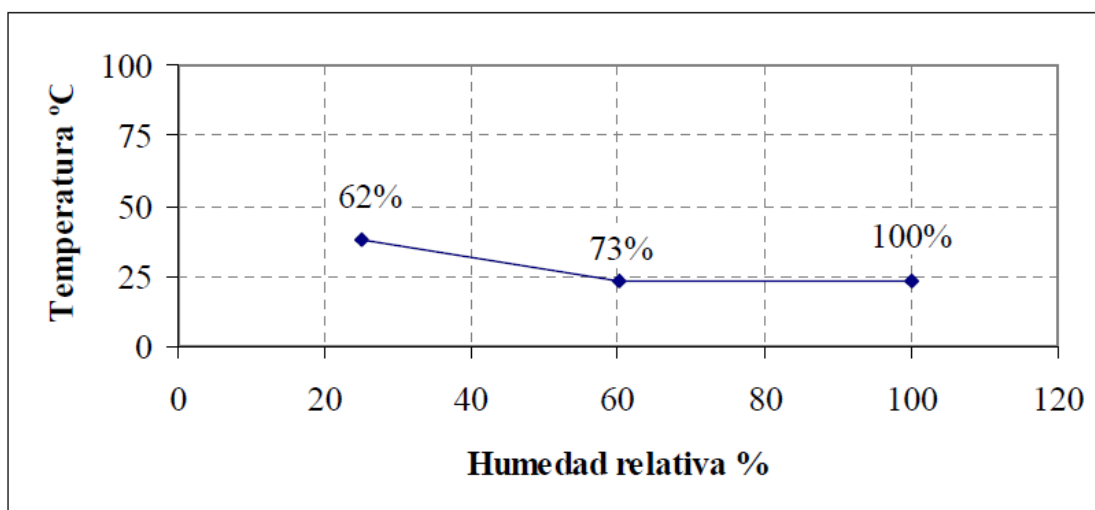
¹⁵ Blanks, R., Meissner, H & Tuthill, L. (1946). Curing concrete with sealing compounds.



Gráfica 1.9 Efecto de la duración del curado en las propiedades del hormigón.

Cuando se hormigona en climas perjudiciales y no se protege adecuadamente el hormigón, la resistencia a los 28 días se ve afectada. Si la temperatura de curado es muy elevada (gráfica 2.9), la resistencia del hormigón se desarrolla más rápido, pero al cabo de 28 días la resistencia será menor. Se ha determinado¹⁶ que un hormigón expuesto al aire con temperatura de 23°C y humedad relativa del 60% y otro con temperatura de 38 °C y humedad relativa del 25% logran un 73% y 62%, Respectivamente, de la resistencia a los 28 días de un mismo elemento de hormigón curado en agua a una temperatura de 23°C.

¹⁶ ACI Standards and Reports (1991). ACI 305: Hot weather concreting.



Gráfica 1.10 Efecto de la duración del curado en la resistencia del hormigón.

1.2 Agrietamiento por Retracción Plástica

Las grietas por retracción plástica se forman en la superficie del concreto fresco inmediatamente después de su vaciado y mientras permanece en estado plástico. Estas grietas aparecen fundamentalmente en las superficies horizontales.

Usualmente son paralelas entre sí a una distancia del orden de 0.3 a 0.9 m, relativamente superficiales, y generalmente no interceptan el perímetro de la losa. 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.

Las grietas de contracción plástica son antiestéticas, pero raramente afectan la resistencia o la durabilidad de los pisos de concreto y los pavimentos. El desarrollo de estas grietas puede ser minimizado si se toman medidas apropiadas antes y durante el vaciado y el acabado o terminación del concreto.

1.2.1 Causas del Agrietamiento por Retracción plástica.

Las grietas por contracción plástica son causadas por una rápida pérdida de agua de la superficie del concreto antes que este 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.

El agua que se encuentra por debajo de la superficie del concreto forma un mecanismo entre partículas finas de cemento y de agregados causando una fuerza de tensión que se desarrolla en las capas superficiales. Si la superficie del concreto ha comenzado a fraguar y ha desarrollado suficiente resistencia a la tensión para resistir dichas fuerzas, no se forman las grietas. Si la superficie se seca muy rápidamente, el concreto puede permanecer plástico y las grietas que no se desarrollan en ese momento, pero se formaran seguramente tan pronto como el concreto se endurezca un poco más. La incorporación de un refuerzo de fibras sintéticas en la mezcla de concreto puede ayudar a resistir la tensión cuando el concreto es muy frágil.

Las condiciones que generan altas tasas de evaporación en la superficie del concreto, y por lo tanto incrementan la posibilidad del agrietamiento por contracción plástica, son:

- Una velocidad de viento superior a 8 km/h
- Una baja humedad relativa
- Altas temperaturas ambientales y/o del concreto

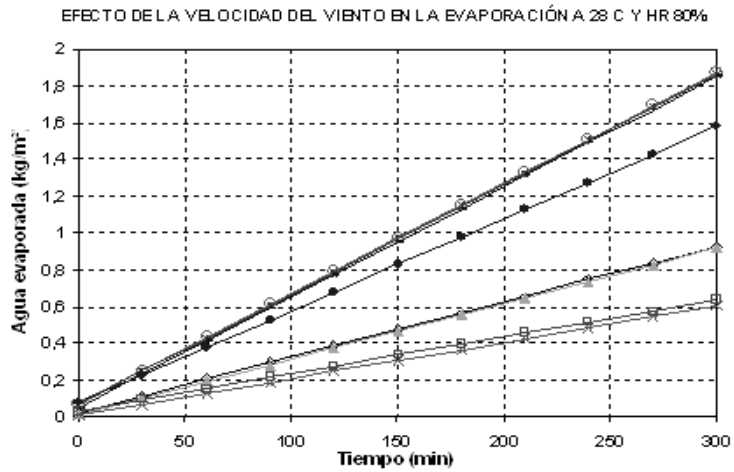
Pequeños cambios en cualquiera de estos factores pueden modificar significativamente la tasa de evaporación.

Agrietamiento por retracción plástica aumentada por acción del viento



Fotografía 1.1 *Agrietamiento por retracción plástica aumentada por la acción del viento*

Las mezclas de concreto con una baja exudación, reducida, son susceptibles al agrietamiento por contracción plástica aun cuando las tasas de evaporación sean bajas. Los factores que reducen la cantidad de exudación son un alto contenido de materiales cementantes, un alto contenido de finos, un contenido reducido de agua, aire incorporado, y una elevada temperatura del concreto y las secciones más finas. El concreto que contiene humo de sílice requiere particular atención para evitar el secado superficial durante el vaciado.

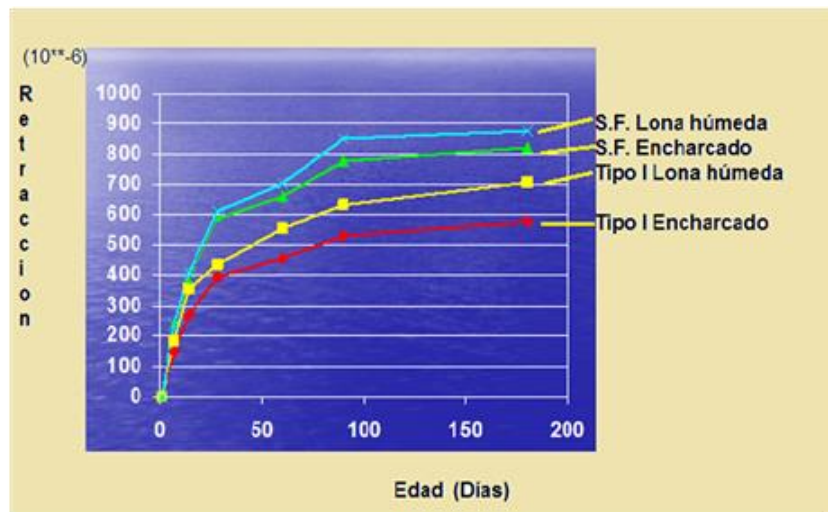


Gráfica 1.11 Efecto en de la velocidad del viento en la evaporación

Cualquier factor que retrase el fraguado incrementa la posibilidad de agrietamiento por contracción plástica.

Efecto del tipo de curado y del cementante en la retracción del concreto

(Maslehuiddin – King Fath University)



Gráfica 1.12 Efecto del tipo de curado y del cementante en la retracción del concreto

2. INVESTIGACIONES RELACIONADAS

Las técnicas de curado y duración del curado del concreto tienen efectos cruciales en la resistencia y durabilidad del concreto, en 1802, el químico inglés John Dalton planteó la relación general siguiente: la tasa de evaporación depende de la diferencia entre la presión del vapor de agua en la superficie de evaporación, y la presión a vapor del agua en el aire encima de esa superficie, y será posteriormente influenciada por la velocidad del viento que lleva lejos las moléculas de agua evaporadas. Diversidad de ecuaciones empíricas han sido elaboradas a partir de las relaciones de Dalton, hasta llegar a las del ACI según el nomograma conocido.

De esto se han derivado múltiples investigaciones con el fin de determinar la efectividad de los sistemas de curado planteados hasta el momento y la afectación en las propiedades físicas del concreto. Dentro de las investigaciones realizadas podemos citar las realizadas por la universidad King Saud y centro de Investigación y Pruebas de Concreto que se encuentran en Riad, Arabia Saudita donde se ha estudiado la influencia de la dosis de los compuestos curadores y la temperatura del ambiente en el desarrollo del agrietamiento en el concreto con la investigación "Plastic Shrinkage in Hot and Arid Environments". Realizada por Abdulrahman M. Alhozaimy y Abbulaziz I. Al-Negheimish.

A nivel nacional se han venido desarrollando investigaciones como las realizadas por en la Universidad Nacional de Colombia tituladas "Comparación de la efectividad de los Compuestos Curadores Mediante la Evaluación del Agua Evaporada", realizada por Xiomara E. Melo y Milton E. Pardo y "Comparación de la Efectividad de los Compuestos Curadores Mediante la Evaluación del agua Evaporada", realizada por Adriana P. Bustamante Herrera.

2.1 Comparación de la Efectividad de Sistemas de Curado Mediante la Evaluación de Agua Evaporada

Esta tesis realizada por Xiomara E. Melo y Milton E. Pardo tiene como objetivo comparar la efectividad de los compuestos curadores del mercado nacional mediante la determinación de la pérdida de agua por evaporación.

Se realizaron once (11) sistemas de curado, de los cuales ocho (8) correspondían a compuestos curadores y se tomaron como referencia tres sistemas de curado tradicionales: curado con plástico, curado a ambiente laboratorio, y curado con viento; se emplearon dos relaciones A/C en el estudio (0.45 y 0.65).

Como resultado de este estudio se concluye:

- La eficiencia del curado se ve afectada por varios factores, como las condiciones climáticas, la relación A/C, características de los materiales que conforman la mezcla y la cantidad y tipo de compuesto curador aplicado a la superficie expuesta.
- Se revela la necesidad de aplicar altas cantidades de compuesto curador con el fin de lograr una eficiencia aceptable.
- Para la relación A/C de 0.65 no se cumple con la norma ASTM C-309, donde se establece un límite para los compuestos curadores en cuanto a la pérdida de agua que durante las primeras 72 horas de curado (0.55 kg/m^2).
- La efectividad de los sistemas de curado para la relación A/C de 0.45 en la mayoría de los casos fue superior al 80%, caso contrario para la relación A/C de 0.65.
- Se comprobó que el plástico es el más efectivo de los sistemas de curado al permitir las menores pérdidas de agua.
- Se determinó y clasificó la eficiencia de los compuestos curadores utilizados.

2.2 Comparación de la Efectividad de Compuestos Curadores Mediante la Evaluación del Agua Evaporada

Tesis de Maestría de Estructuras realizado por Adriana P. Bustamante Herrera bajo la dirección del Ingeniero José Gabriel Gómez, en el año 2005.

En la cual se plantea como objetivo evaluar el comportamiento de dos compuestos curadores y verificar la influencia del sistema de curado en la resistencia a compresión del concreto mediante la comparación de seis (6) sistemas de curado evaluando la pérdida de peso por evaporación. Se analizaron sistemas de curado en cámara bajo condiciones de humedad relativa y temperatura apropiadas, curado al aire o sin ningún tratamiento para evitar la evaporación de agua de mezcla, y cubrimiento con plástico. Se considero otra variable en el estudio; la relación agua – cemento por esto se emplearon dos relaciones A/C (0.45 y 0.65).

La diferencia entre los compuestos curadores utilizados se diferenciaron por estar uno constituido por una solución de parafina en solventes orgánicos y el otro una base acuosa.

Los ensayos realizados fueron dos: Pérdida de peso por evaporación de agua, basado en una modificación al procedimiento de la norma ASTM C-156 debido a las limitaciones que existían en cuanto a equipos y resistencia a la compresión a 28 y 56 días.

De este estudio se concluyo:

- El sistema de curado con cubrimiento plástico presento la mayor efectividad (97%), mientras que se comprobó que el curado al aire permite mayor evaporación de agua. La diferencia en pérdida de agua, para los tres tipos de concreto, en las probetas recubiertas con plástico es mínima,

demostrando que el sistema es bastante eficiente, es decir, mantiene un buen contenido de humedad en el concreto independiente de la relación A/C.

- La capacidad de retención de agua difiere ampliamente de un compuesto curador al otro. Pero ninguno de los compuestos estudiados cumple con los requisitos de la norma ASTM C-309 en cuanto al límite máximo de pérdida de agua durante las primeras 72 horas (0.55 kg/m^2).
- El sistema de rociado con agua es un buen sistema de curado en términos de resistencia a la compresión.
- No se encontró una relación directa entre la capacidad de retención de agua y el desarrollo de resistencia a la compresión.

2.3 Plastic Shrinkage in Hot and Arid Environments

Corresponde a un estudio exhaustivo de los efectos de las condiciones climáticas y la influencia de los compuestos curadores en el desarrollo del agrietamiento del concreto; realizado por Abdulrahman M. Alhozaimy y Abbulaziz I. Al-Negheimish, en la King Saud University en Arabia Saudita, en el centro de la Península Arábiga.

Donde el clima de verano en Riad puede ser severo, los rangos promedio durante el día la temperatura de 40° a 45°C (104 a 113°F), y la humedad relativa promedio es de alrededor del 15%, se ha comprobado que el uso retardantes la pérdida de agua por evaporación y el control de la temperatura del concreto puede mitigar los efectos nocivos sobre la producción y entrega del concreto en clima caluroso.

Se fundieron 26 losas y se utilizó formaletas metálicas de $1.0 \times 1.0 \text{ m}$ y 10 cm de altura, cada losa se reforzó en ambas direcciones con cuatro barras de refuerzo de 8 mm de diámetro espaciadas a 31.7 cm . Con respecto a la mezcla se utilizaron cinco tipos de mezclas.

Los ensayos se realizaron bajo tres condiciones de exposición:

Tres condiciones de exposición, al aire libre, bajo techo con ventilador, y en el interior. Para las pruebas en interiores-con-ventiladores, se dispusieron de forma tal al flujo de aire de un ventilador en el interior del laboratorio, para las pruebas al aire libre y expuesto al sol y medio ambiente, para interior las losas fueron dispuestas en el interior del laboratorio, pero no fueron expuestas a aire en movimiento.

La fundida se llevo a cabo al medio día en agosto para representar las condiciones climáticas extremas, se realizo en días separados para cada mezcla.

El comportamiento obtenido fue:

- Las muestras en ambientes exteriores e interiores con ventilador presentaron índice de agrietamiento por área. La mayoría de grietas se presentaron a lo largo las barras de refuerzo subyacentes.
- La relación entre la fisuración por contracción plástica y la temperatura de concreto es lineal para la condición de exposición al aire libre.
- Se observo reducción en las grietas para temperaturas más altas de concreto.
- El efecto de la temperatura del concreto y la dosis de retardador de fisuración por retracción plástica se puede vincular directamente a los tiempos de fraguado.
- En la mayoría de los casos, se observaron grietas por primera vez en las primeras 1 a 2,5 horas después de la fundida.
- El tiempo de agrietamiento inicial pueden estar relacionado con tiempos de fraguado, con independencia de las condiciones de exposición.
- La disminución del tiempo de fraguado asociada con el calor afecta a la viabilidad general de la mezcla de hormigón y reduce significativamente el tiempo disponible para la colocación y el acabado.

- Una temperatura baja de hormigón combinado con una dosis alta retardante puede extender significativamente el tiempo de fraguado del hormigón, por lo tanto aumentar sustancialmente el riesgo de agrietamiento por contracción plástica. La dosificación del mismo retardante en una mayor temperatura se obtienen como resultado concretos en un tiempo de fraguado razonable, que proporciona suficiente tiempo para el acabado de hormigón sin aumentar el riesgo de agrietamiento por contracción plástica.
- El agrietamiento por contracción plástica tiende a disminuir con el aumento de temperatura de hormigón.
- Para las mezclas de hormigón con la temperatura similar, el uso de aditivos retardantes tiende a aumentar agrietamiento por retracción plástica.
- El agrietamiento por retracción plástica tiende a aumentar con el tiempo de fraguado, retardantes, pero cuando se utilizan para mantener (no para ampliar) el tiempo de fraguado del concreto, el riesgo de fisuración por retracción plástica se limita.
- La primera aparición de grietas tiende a ser retrasada al aumentar el tiempo de fraguado. Este resultado es beneficioso ya que permite el tiempo suficiente para tomar medidas preventivas para controlar la fisuración por retracción plástica.

2.4 Effect of environmental conditions on the properties of fres and hardened concrete

Estudio realizado para evaluar el efecto de las condiciones ambientales sobre las propiedades del concreto fresco y endurecido, realizado por Abdullah A. Almusallman en el Departamento de Ingenieria Civil de la Universidad Rey Fhad de Petróleo y Minerales, Dharan 32261 en Arabia Saudita.

Se estudiaron los efectos de la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento sobre las propiedades del hormigón fresco y endurecido. Analizando como se genera la aceleración de la contracción plástica del concreto por una temperatura elevada y una baja humedad relativa o la acción de ambos simultáneamente. La contracción plástica es el origen del agrietamiento Si la contracción plástica es contenida se forman grietas. En muchas zonas áridas y semiáridas del mundo, este tipo de dificultad del concreto se presenta frecuentemente, cuando las debidas precauciones no se adoptan. Si se combinan los siguientes factores una elevada temperatura, baja humedad y vientos fuertes se fomenta rápidamente la evaporación del agua sangrante que se produce en la contracción de concreto que induce tensiones de tracción en ella.

Este estudio se llevó a cabo para evaluar el efecto de la exposición en condiciones seguras, en el momento de la fundida, en las propiedades del concreto fresco y endurecido. El efecto de las condiciones de exposición en las propiedades del concreto fresco se evaluó mediante la medición de la evaporación del agua, el tiempo del agrietado, área agrietada y deformación por contracción plástica. El efecto de las condiciones de clima caliente en las propiedades del concreto endurecido fue evaluado mediante la valoración del desarrollo de la resistencia, la velocidad del pulso y la distribución de tamaño de poro.

Las mezclas de concreto se prepararon con contenido de cemento de 350kg/m³ y un relación agua / cemento de 0,40. El valor del asentamiento de todas las mezclas de concreto se mantuvo en el rango de 50 - 75 mm. Un

súper plastificante basado en naftaleno se utilizó para obtener la trabajabilidad deseada.

Las muestras de concreto utilizadas para evaluar el efecto de las condiciones de exposición en las propiedades del concreto fresco fueron 915 x 915 x 51mm³ de tamaño. Se utilizaron formaletas de aluminio y plexiglás, estas formaletas no permiten la absorción de la humedad de la mezcla. Esto mejora la uniformidad de condiciones entre todas las pruebas, aumenta el sangrado, las fuerzas de un movimiento del agua de una sola dimensión y ofrece un escenario en el peor de los casos de agrietamiento por contracción plástica, mediante la simulación de la fundición de una losa sobre un plástico.

Las muestras de concreto fueron expuestas en una cámara con instalaciones para controlar la temperatura, la humedad y la velocidad del viento. La temperatura requerida se mantuvo usando calentadores eléctricos controlados por termostatos. Para la circulación del aire en la cámara se utilizó un ventilador. El ventilador se colocó de tal manera que cubriera toda el área de la losa de manera uniforme. La dirección del movimiento del aire es paralela al plano de la superficie. La velocidad del aire se midió con un anemómetro digital. La humedad relativa en la cámara fue controlada mediante el uso de humidificador y deshumidificador. Los componentes del concreto se mezclaron en una mezcladora eléctrica de 0,17 m³ de capacidad. Después de mezclar, el concreto fue vertido en los moldes y vibrado en una mesa vibratoria y fueron nivelados por un borde recto, sin balanceo de lado o de movimiento. Dos muestras de concreto fueron expuestas a la combinación de las condiciones de exposición siguientes: Temperatura: 30 ° C y 45 ° C, Humedad relativa: 25%, 50% y 95%; Velocidad del viento: 0 a 15 km / h

La cantidad de agua evaporada se calculó como el radio de agua evaporada del total de agua añadido a la mezcla de concreto, mientras que la tasa de evaporación se evaluó mediante la división del agua evaporada en 6 h por la superficie de la losa, es decir, 450 x 450 mm². El cambio en la masa de la mezcla de concreto, debido a la evaporación del agua, se registró en intervalos periódicos, de hasta 6 horas, colocando el molde lleno de hormigón en una balanza digital de 0,1 g. de sensibilidad.

La fisuración por retracción plástica se evaluó mediante el control del momento de iniciación de las grietas y su área. El ancho y la longitud promedio de las grietas se registraron y la superficie total de las grietas se expresó como porcentaje de la superficie de la losa. Para medir la tensión por contracción plástica, cuatro postes fueron colocados en los cuatro lados de las muestras. Los pernos se incorporaron a la mitad de la profundidad de la muestra. Las muestras se mantuvieron en observación durante 6 horas. Después de 24 horas, las muestras se retiraron de la cámara y colocadas al aire libre. Se cubrieron con mantas húmedas seguidas por una lámina de plástico para evitar la evaporación de agua. Después de 28 días de curado, se tomaron las lecturas de velocidad de pulso en varios lugares en las losas. Seis muestras de base representativa, de 50 mm de diámetro, se obtuvieron de las losas para evaluar la resistencia a la compresión y distribución de tamaño del poro.

El efecto de las condiciones de exposición, en el momento de la fundición, en la distribución de tamaño de poro se evaluó mediante la realización de porosimetría de intrusión de mercurio.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Las condiciones de exposición en el momento de la fundida afectan significativamente las propiedades tanto del concreto fresco como del endurecido.
- La tasa de evaporación del agua, la tensión y la contracción de la zona de grietas aumenta con la exposición a temperaturas cada vez mayores y la velocidad del viento, y la disminución de la humedad relativa.
- Las fisuras por retracción plástica fueron mayores en las muestras de concreto expuestas a temperaturas elevadas y a una humedad relativa baja, en comparación con las muestras expuestas a baja temperatura y alta humedad.
- Se presento mayor agrietamiento en las muestras expuestas a condiciones de viento que aquellas que no estaban expuestas al viento.
- Las condiciones de exposición también influyen en las propiedades del concreto endurecido. La exposición a temperatura elevada disminuyó la resistencia a la compresión y a la velocidad del pulso. La resistencia a la compresión de probetas de hormigón fundido y expuestas a 30 ° C fue más de las que fueron expuestas a 45 ° C.
- La velocidad del pulso de las muestras de hormigón a 30 ° C fue más que los emitidos a 45 ° C.
- Las condiciones de exposición afectan de manera significativa la estructura porosa del hormigón. Poros gruesos se presentaron en las muestras de concreto fundidas a 45 ° C que en los emitidos a 30 ° C.

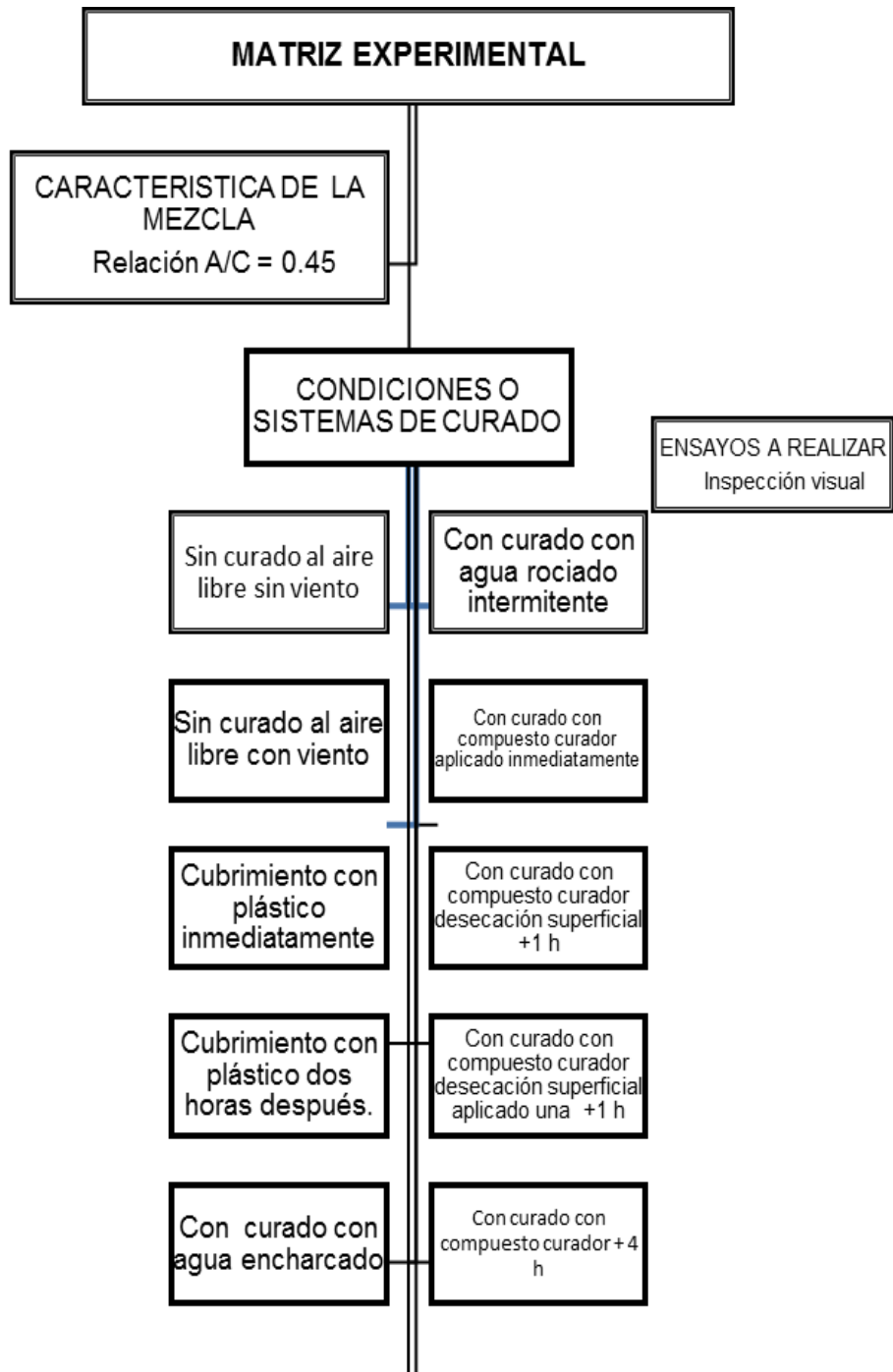
3. DISEÑO EXPERIMENTAL

3.1 Matriz Experimental

Con la finalidad de valorar el agrietamiento de losas se emplearon las siguientes condiciones y sistemas de curado:

- Sin curado al aire libre sin viento
- Sin curado al aire libre con viento
- Cubrimiento con plástico inmediatamente
- Cubrimiento con plástico dos horas después.
- Con curado con agua encharcado
- Con curado con agua rociado intermitente
- Con curado con compuesto curador desecación superficial aplicado inmediatamente
- Con curado con compuesto curador desecación superficial aplicado una hora después
- Con curado con compuesto curador desecación superficial aplicado dos horas después
- Con curado con compuesto curador desecación superficial aplicado cuatro hora después

Para el estudio se empleo una relación agua cemento $A/C = 0.45$; para cada tipo de curado se elaboraron dos muestras para un total de 20 muestras.



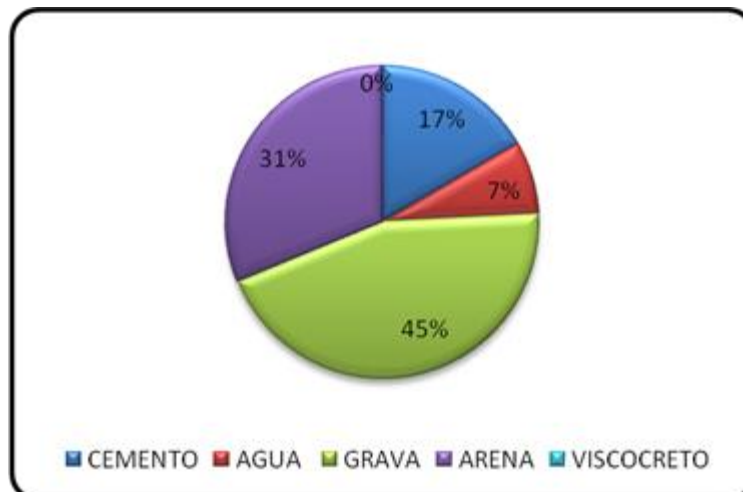
3.2 Caracterización de la Mezcla de Concreto

Para la relación A/C de 0.45 utilizada la dosificación de la mezcla se presenta en la tabla 4.1; el asentamiento de cada una de las mezclas realizadas se presenta en la tabla 4.2.

MATERIAL	A/C = 0.45
Cemento (kg/m ³)	409.09
Agua (lt/m ³)	184.09
Grava (kg/m ³)	1090.09
Arena (kg/m ³)	763.09
Viscroqueto (lt/m ³)	1.31

Tabla 3.1 *Dosificación de la Mezcla.*

Se realizaron 8 mezclas debido a la capacidad de la mezcladora era solamente para 0.17 m³, los asentamientos obtenidos se presentan en la tabla 4.2.



Gráfica 3.1 *Dosificación de la Mezcla.*



Fotografía 3.1 *Ensayo de asentamiento*

A/C =0.45 Mezcla 1	A/C =0.45 Mezcla 2	A/C =0.45 Mezcla 3	A/C =0.45 Mezcla 4	A/C =0.45 Mezcla 5	A/C =0.45 Mezcla 6	A/C =0.45 Mezcla 7	A/C =0.45 Mezcla 8
22.5 cm	18.8 cm	15 cm	6.5 cm	7 cm	19.5 cm	15 cm	7 cm

Tabla 3.2 *Asentamiento del Concreto Fresco*

3.2.1 *Cemento*

Para la realización del ensayo se utilizo cemento Portland tipo 3, con un peso específico o densidad 3.08 gr/cm³.

3.2.1 *Plastificante*

Se utilizo aditivo plastificante, solución acuosa, concentrada y empleada para mejorar la manejabilidad del concreto fresco. La dosificación estuvo dentro del rango recomendado por el fabricante y se empleo una cantidad de aditivo equivalente a 0.3% del peso del cemento utilizado en la mezcla.

3.3 Probetas

Para la realización de este ensayo se fabricaron 20 formaletas metálicas soldadas en lámina de 3/16 calidad ASTM A-36 de las siguientes dimensiones:

Largo = 1.0 m

Ancho = 0.7 m

Alto = 18 de 8 cm y 2 de 10 cm para las losas encharcadas

3.4 Sistemas de Curado

Los sistemas de curado seleccionados son la muestra de los métodos frecuentemente utilizados en nuestro medio para losas. Las formaletas se dispusieron sobre una losa de concreto, cubiertas con carpas en la parte superior como se puede observar en la fotografía 4.2



Fotografía 3.2 *Disposición de las formaletas.*

3.4.1 Sin curado, curado al aire libre sin viento

Las muestras se mantuvieron dispuestas bajo la carpa, sin aplicar ninguna técnica de curado bajo las condiciones del medio ambiente que para ese día se tenía una humedad relativa del 71% y una temperatura de 20°C.



Fotografía 3.3 *Sin curado, curado al aire libre sin viento.*

3.4.2 Sin curado, curado al aire libre con viento

Las muestras se mantuvieron dispuestas bajo la carpa, sin aplicar ninguna técnica de curado sometidas al viento mediante un ventilador común. El viento le fue aplicado de 2:50 pm a 3:00 am.



Fotografía 3.4 Sin curado, curado al aire libre con viento.

3.4.3 Con curado, Recubrimiento con plástico inmediatamente.

Las formaletas se recubrieron con una lámina plástica transparente, garantizando que la losa estuviera siempre cubierta, de tal forma que no se permitiera la evaporación de agua.

Se mantuvo cubierta la losa por casi 19 horas.

3.4.4 Con curado, Recubrimiento con plástico inmediatamente dos horas después de fundida.

Las formaletas se recubrieron con una lámina plástica transparente dos horas después de fundida, garantizando que la losa estuviera siempre cubierta, de tal forma que no se permitiera la evaporación de agua.

Se mantuvo cubierta la losa por casi 17 horas.



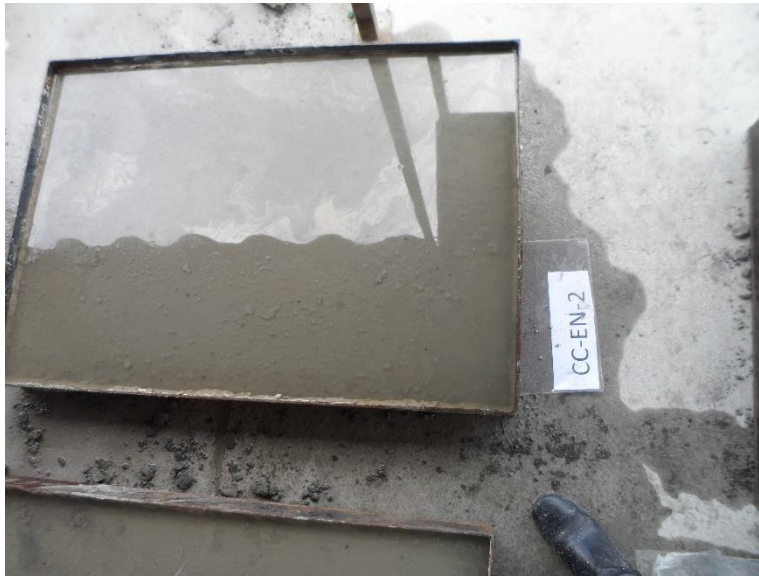
Fotografía 3.5 *Con curado, recubrimiento con plástico inmediatamente.*



Fotografía 3.6 *Con curado, recubrimiento con plástico 2 horas después.*

3.4.5 Con curado, Con agua encharcado

Para estas muestras la altura de la formaleta era mayor para permitir que 2 cm de agua cubrieran la losa garantizando el encharcamiento los bordes fueron sellados con arcilla.



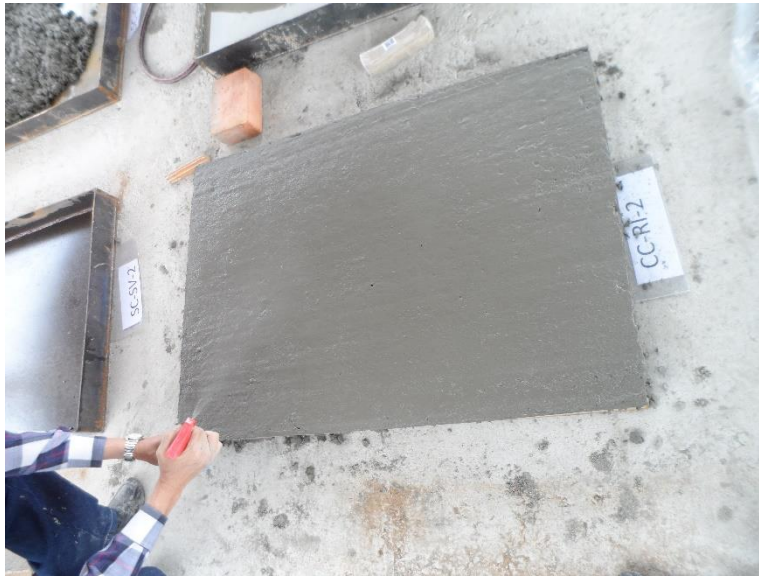
Fotografía 3.7 *Con curado, con agua encharcado.*

3.4.6 *Con curado, Con agua rociado intermitente*

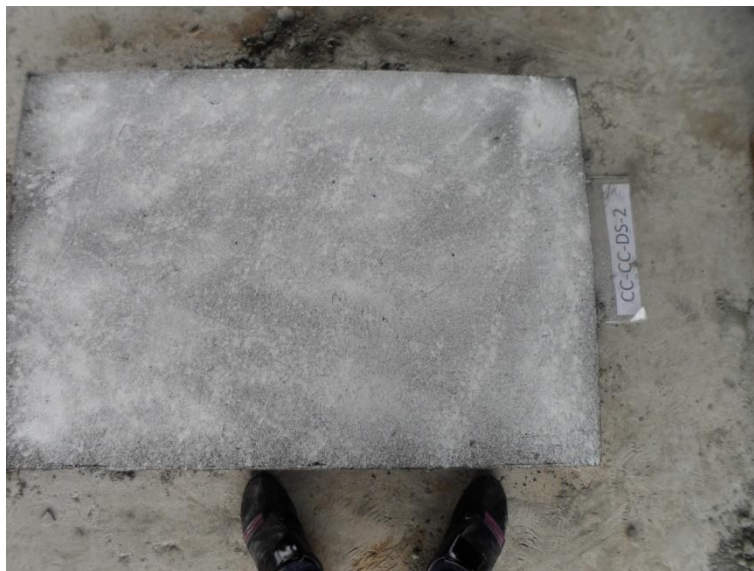
Una de las técnicas de curado más usuales en nuestro medio es mediante el rociado de agua de las superficies de concreto. Las losas fueron rociadas con un atomizador manual periódicamente después de la fundida aproximadamente durante 6 horas.

3.4.7 *Con curado con compuesto curador desecación superficial.*

La aplicación del compuesto curador se efectuó por medio de un atomizador manual inmediatamente después de fundida las muestras.



Fotografía 3.8 *Con curado, rociado con agua.*



Fotografía 3.9 *Con curado con compuesto curador desecación superficial*

3.4.8 *Con curado con compuesto curador desecación superficial una hora después.*

Las muestras fueron cubiertas por el compuesto curador una hora después de fundidas mediante un atomizador.



Fotografía 3.10 *Con curado con compuesto curador desecación superficial+ 1 h*

3.4.9 *Con curado con compuesto curador desecación superficial dos horas*

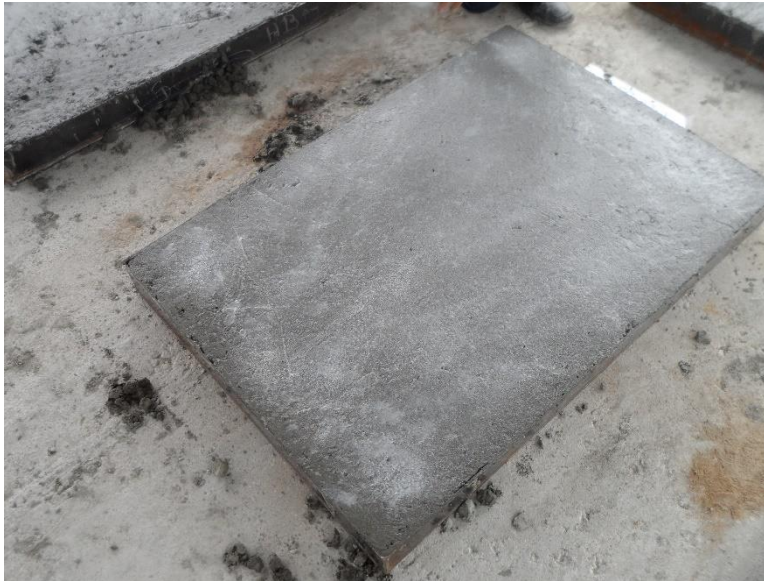
Las muestras fueron cubiertas por el compuesto curador dos horas después de fundidas mediante un atomizador.



Fotografía 3.11 *Con curado con compuesto curador desecación superficial+ 2 h*

3.4.10 Con curado con compuesto curador desecación superficial cuatro horas

Las muestras fueron cubiertas por el compuesto curador cuatro horas después de fundidas mediante un atomizador.



Fotografía 3.12 Con curado con compuesto curador desecación superficial+ 4 h

3.5 Métodos de Ensayo

El presente ensayo consiste en evaluar el comportamiento de losas de concreto desde el punto de vista de la cuantificación de generación de agrietamiento, para diferentes sistemas de curado y su momento de aplicación; debido a que no existe un procedimiento estándar disponible para evaluar el agrietamiento por retracción plástica del concreto se tomo como base en los ensayos realizados por Abdulrahman M. Alhozaimy y Abbulaziz I. Al-Negheimish, en el estudio titulado Plástico Shrinkage in Hot and Arid Environments.

Para lograr este objetivo se realizaron ensayos a 20 placas, dos muestras por cada sistema de curado descritos en el capítulo 4.

La mezcla utilizada según la tabla 4.1, la fundida se llevo a cabo desde las 10:24 am y la última losa se fundió a las 2:50 pm. Para todas las mezclas se tuvo humedad promedio relativa del 7% y una temperatura promedio de 20 C.

Para cada una de las mezclas se realizo el ensayo de asentamiento de acuerdo con la norma ASTM C143, obteniendo así los siguientes asentamientos:

SIGLA	SISTEMA DE CURADO	Hora de fundida	ASENTAMIENTO (cm)
SC-SV-1	Sin Curado curado al aire libre sin viento 1	02:05	7
SC-SV-2	Sin Curado curado al aire libre sin viento 2	02:50	7
SC-CV-1	Sin curado curado al aire libre con viento 1	02:50	7
SC-CV-2	Sin curado curado al aire libre con viento 2	02:50	7
CC-PI-1	Con curado plástico inmediatamente 1	12:35	15
CC-PI-2	Con curado plástico inmediatamente 2	12:35	15
CC-P2H-1	Con curado plástico 2 h después	01:00	19.5
CC-P2H-2	Con curado plástico 2 h después	01:00	19.5
CC-EN-1	Con curado con agua encharcado	02:05	7
CC-EN-2	Con curado con agua encharcado	02:05	7
CC-RI-1	Con curado con agua rociado intermitente	01:20	15
CC-RI-2	Con curado con agua rociado intermitente	01:20	15
CC-CC-DS-1	Con curado con compuesto curador desecación superficial	11:35	6.5
CC-CC-DS-2	Con curado con compuesto curador desecación superficial	11:35	6.5
CC-CC-DS1H-1	Con curado con compuesto curador desecación superficial +1	11:35	6.5
CC-CC-DS1H-2	Con curado con compuesto curador desecación superficial +1	12:35	15
CC-CC-DS2H-1	Con curado con compuesto curador desecación superficial +2	11:09	18.8
CC-CC-DS2H-2	Con curado con compuesto curador desecación superficial +2	11:09	18.8
CC-CC-DS4H-1	Con curado con compuesto curador desecación superficial +4	10:24	22.5
CC-CC-DS4H-2	Con curado con compuesto curador desecación superficial +4	10:24	22.5

Tabla 3.3 Asentamiento del Concreto Fresco

Inmediatamente después de terminar de fundir cada una de las losas fueron monitoreadas para observar el momento de iniciación de las grietas. Las muestras permanecieron siempre al aire libre durante la duración del ensayo.

Para cada muestra se esbozo el patrón de agrietamiento y en cada toma se midieron longitudes de grieta y anchos, para la detección de las grietas se hizo con la ayuda de una lupa.

3.5.1 Area de Agrietamiento

Agrietamiento por retracción plástica se evaluó mediante monitorización tiempo al momento de la iniciación de las grietas y la zona. La longitud y la anchura media de las grietas se registraron y se determinó el área total de las grietas.

El área de cada grieta se calculó multiplicando su longitud por su ancho promedio y el área de agrietamiento para cada losa es el resultado de la suma de las áreas de cada grieta.

3.5.2 Indice de Agrietamiento

Se obtuvo dividiendo el área de agrietamiento en mm² por el área de la losa en m², el índice de agrietamiento se expresó como un porcentaje de la superficie de la losa. La formulación empleada es la siguiente:

$$I_a = \frac{A_g}{A_l}$$

Donde:

I_a = Índice de agrietamiento

A_g = Área de grietas, en mm²

A_l = Área losa, en m²

4. CALCULO Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 DETERMINACION DE AREA DE GRIETAS

4.1.1 *Resultados*

Las lecturas tomadas de las mediciones realizadas se presentan como el área de agrietamiento en la tabla 5.1 en cada una de la toma correspondiente a la 3, 18, 25 y 44 horas. Las características de retracción plástica se resumen en las tablas 5.1 y 5.2 para todas las mezclas.

AREA DE GRIETAS mm2				
MUESTRA	TOMA 1	TOMA2	TOMA3	TOMA4
SC-SV-1	0	0	0	0
SC-SV-2	0	0	3	3
SC-CV-1	0	4	6	7
SC-CV-2	0	2	5	5
CC-PI-1	0	0	0	0
CC-PI-2	0	0	0	0
CC-P2H-1	0	0	0	0
CC-P2H-2	0	0	0	0
CC-EN-1	0	0	0	0
CC-EN-2	0	0	0	0
CC-RI-1	0	0	0	0
CC-RI-2	0	0	0	0
CC-CC-DS-1	0	2	3	24
CC-CC-DS-2	0	9	9	9
CC-CC-DS1H-1	1	12	12	18
CC-CC-DS1H-2	60	75	75	162
CC-CC-DS2H-1	28	59	59	104
CC-CC-DS2H-2	0	13	13	19
CC-CC-DS4H-1	19	62	62	129
CC-CC-DS4H-2	13	95	95	124

Tabla 4.1 Área de agrietamiento.

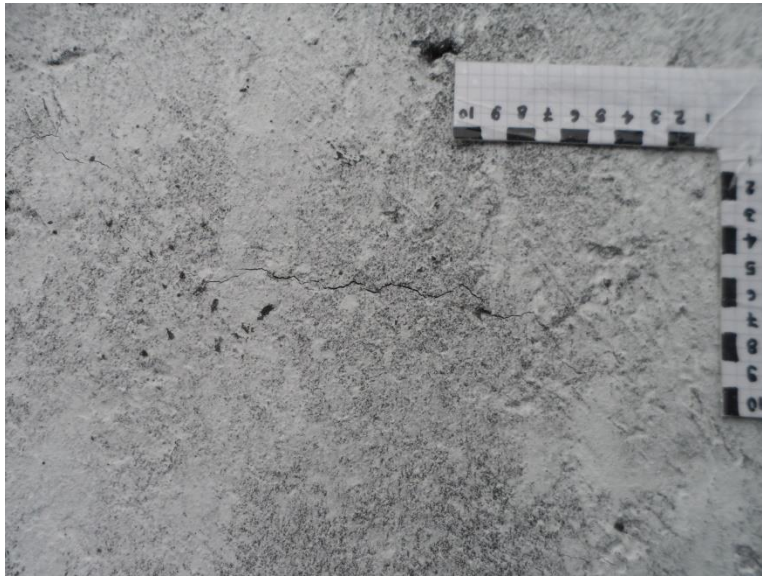
Todas las muestras a las cuales no se les aplicó ningún tipo especial de sistema de curado SC-SV-1, SC-SV-2, SC-CV-1 y SC-CV-2 no presentaron agrietamiento o un agrietamiento mínimo.

De las losas curadas con agua CC-PI-1, CC-PI-2, CC-P2H-1, CC-P2H-2, CC-EN-1, CC-EN-2, CC-RI-1 Y CC-RI-2, en cualquiera de los sistemas ya sea rociado intermitente inmediatamente o a las dos horas, cubrimiento con plástico inmediatamente o a las dos horas y encharcado se pudo observar que en ninguna se presentó agrietamiento.

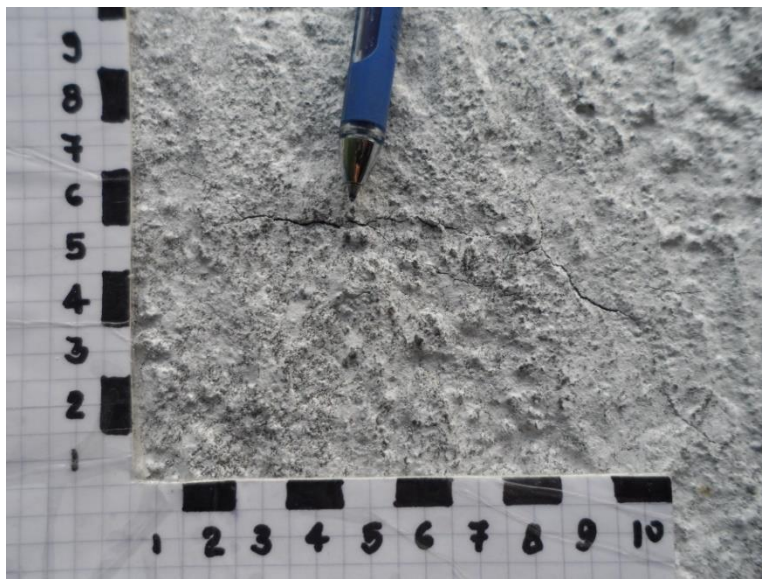


Fotografía 4.1 Fisuras presentadas CC-CC-DS-1

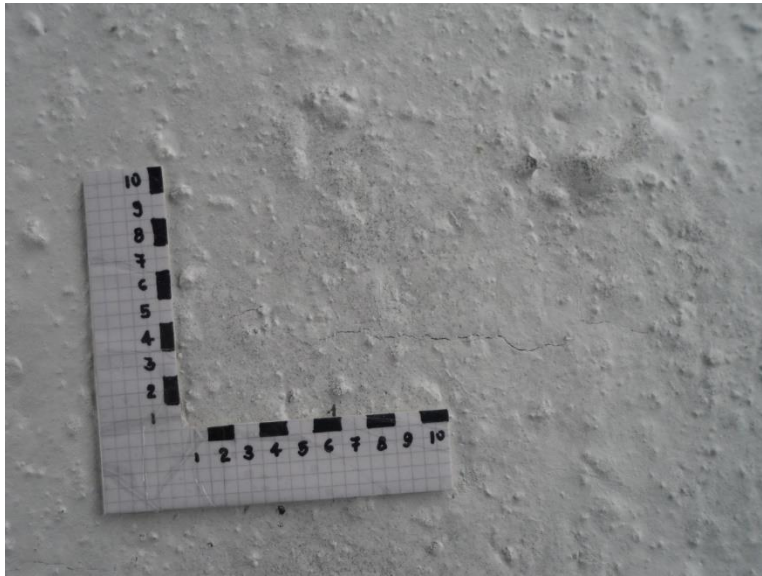
Al contrario para las muestras curadas con compuesto curador CC-CC-DS-1, CC-CC-DS-2, CC-CC-DS1H-1, CC-CC-DS1H-2, CC-CC-DS2H-1, CC-CC-DS2H-2, CC-CC-DS4H-1 y CC-CC-DS4H-2 encontramos la presencia de grietas con índices hasta de 231 mm^2/m^2 .



Fotografía 4.2 *Fisuras presentadas CC-CC-DS1H-1*



Fotografía 4.3 *Fisuras presentadas CC-CC-DS2H-1*



Fotografía 4.4 *Fisuras presentadas CC-CC-DS4H-1*

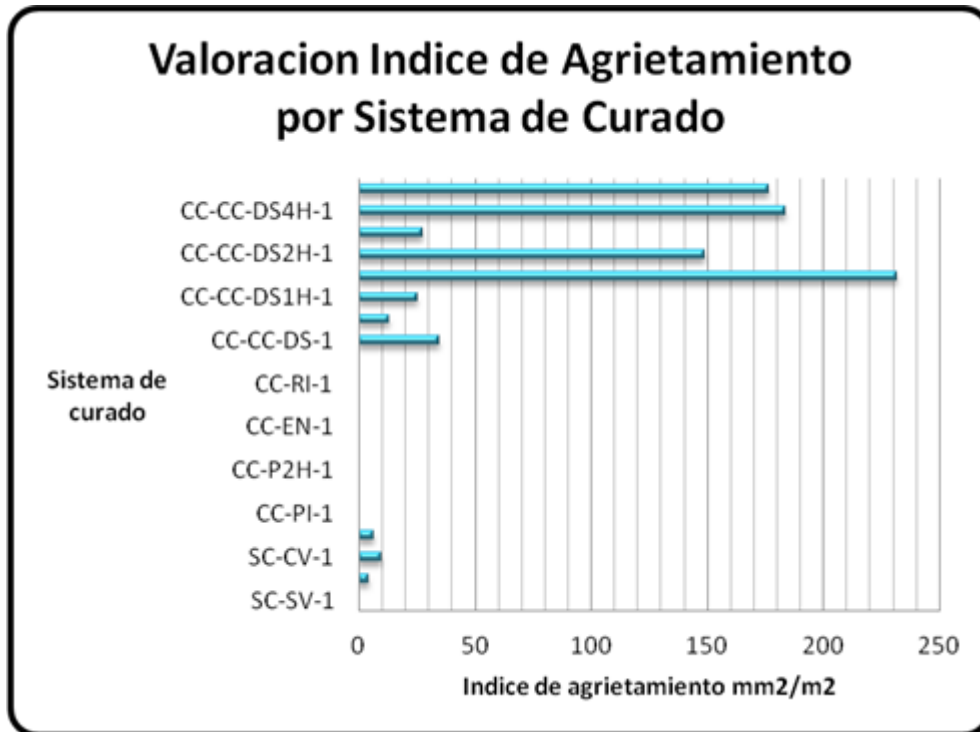
INDICE DE AGRIETAMIENTO mm ² /m ²				
MUESTRA	TOMA 1	TOMA2	TOMA3	TOMA4
SC-SV-1	0	0	0	0
SC-SV-2	0	0	4	4
SC-CV-1	0	5	8	10
SC-CV-2	0	2	6	6
CC-PI-1	0	0	0	0
CC-PI-2	0	0	0	0
CC-P2H-1	0	0	0	0
CC-P2H-2	0	0	0	0
CC-EN-1	0	0	0	0
CC-EN-2	0	0	0	0
CC-RI-1	0	0	0	0
CC-RI-2	0	0	0	0
CC-CC-DS-1	0	3	4	34
CC-CC-DS-2	0	13	13	13
CC-CC-DS1H-1	1	18	18	25
CC-CC-DS1H-2	86	107	107	231
CC-CC-DS2H-1	40	84	84	149
CC-CC-DS2H-2	0	18	18	27
CC-CC-DS4H-1	27	88	88	184
CC-CC-DS4H-2	19	135	135	176

Tabla 4.2 *Indice de agrietamiento*

4.1.2 Analisis de Resultados

En las muestras que presentaron agrietamiento se observaron grietas por primera vez en las primeras 1 a 3 horas después de fundida, el tiempo de agrietamiento inicial está relacionado con el tiempo de fraguado, independiente de las condiciones

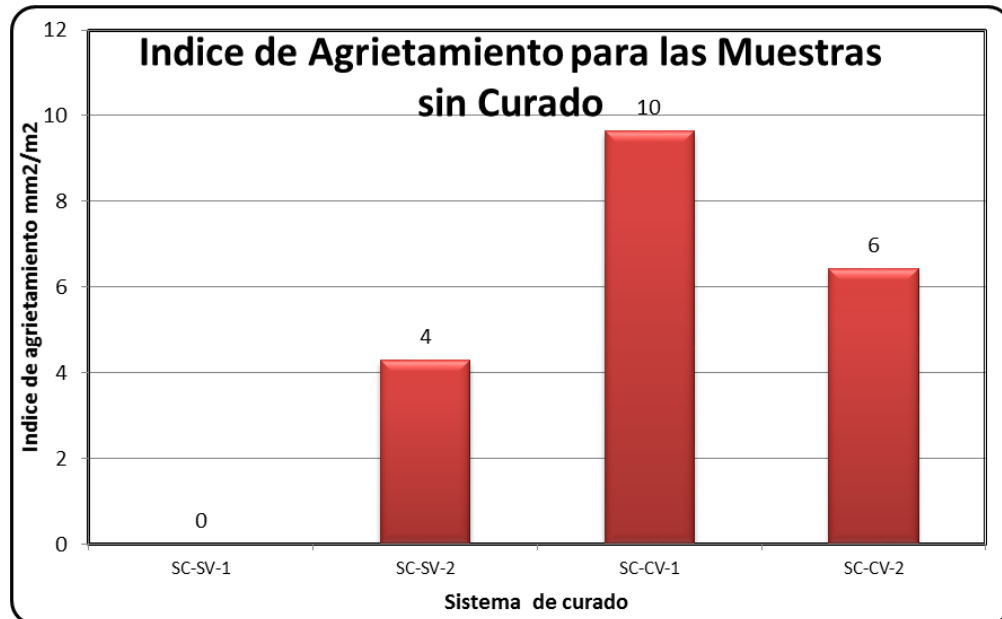
de exposición, esto indica que se tiene el tiempo para tomar las medidas preventivas para controlar la fisuración por retracción plástica.



Gráfica 4.1 Índice de agrietamiento

Los resultados indican que las condiciones de exposición en el momento de la fundida afectan significativamente la retracción plástica del concreto, después de ver los resultados obtenidos se analizó que pudo generar estos resultados inesperados, se encontró que no se ha debido cubrir la zona del ensayo, debido a que esto favorecía que no se presentara la retracción plástica, si estudiamos la experiencia del ensayo realizado por Abdulrahman M. Alhozaimy y Abbulaziz I. Al-Negheimish, se realizó en las condiciones más críticas en cuanto a exposición ambiental. Por otra parte como la carpa instalada no tenía cubrimiento lateral para las muestras CC-CC-DS2H-1, CC-CC-DS2H-2, CC-CC-DS4H-1 y CC-CC-DS4H-2

Los rayos del sol les daban directamente, siendo esta una desventaja con relación a las demás muestras.



Gráfica 4.2 Índice de agrietamiento para muestras sin ningún tipo de curado

Al observar las gráfica 5.1 se puede afirmar que los sistemas de curado en los que se utiliza agua son los sistemas más eficientes en cuanto a control de la retracción plástica, debido a que no permitieron la fisuración estas muestras.

Analizando cada uno de los sistemas ensayados para este estudio tenemos:

- Para las muestras en las cuales no se aplicó ningún sistema de curado y en las cuales el agrietamiento presentado fue mínimo o casi cero, se considera que el hecho de estar cubierto altero los resultados esperados.
- De las muestras expuestas al viento, se hubiera espera que esta condición climática fuese un factor determinante en el proceso de curado ya que acelera la pérdida de agua y por ende el agrietamiento esperado fuese mayor, pero sucedió todo lo contrario, al igual que la anterior la acción de instalar las carpas generó esta notable disminución en la fisuración.

- Como se menciona anteriormente las muestras rociadas con agua inmediatamente y al cabo de una hora representan un buen y eficiente sistema de curado a nivel de retracción platica debido a la no presencia de grietas en estas muestras.
- Igualmente para el método utilizado encharcamiento y cubrimiento con plástico inmediatamente y a la hora los podemos clasificar como excelentes sistemas de curado para control de fisuración en el concreto.

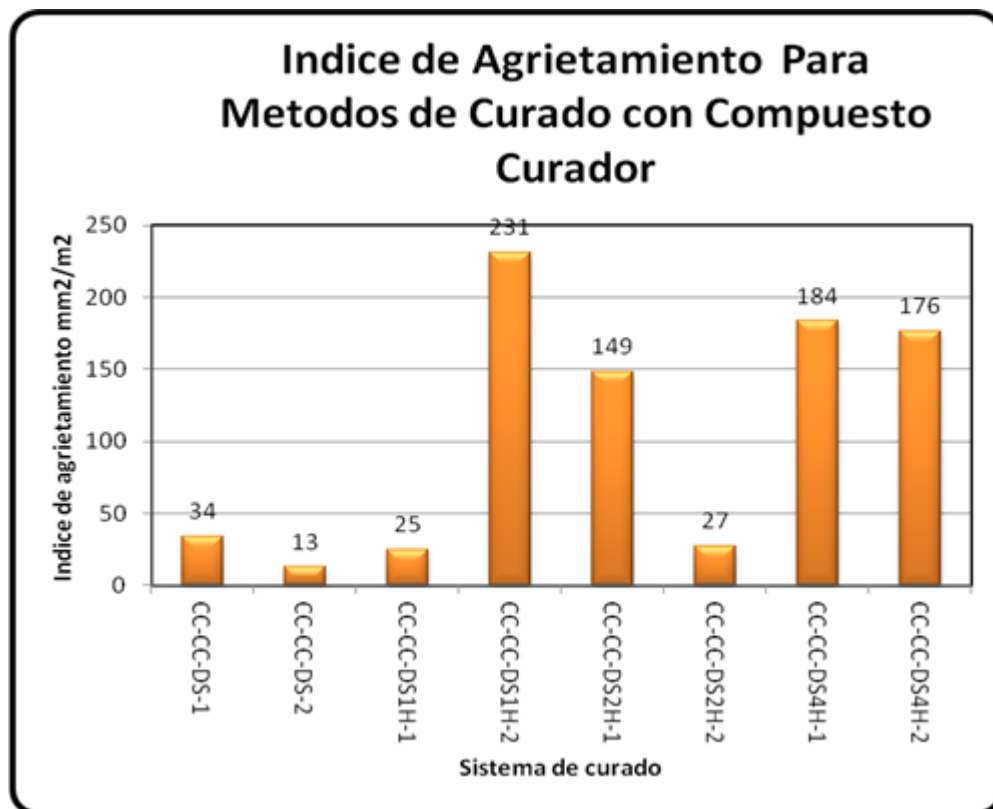


Fotografía 4.5 *Disposición de muestras con compuesto curador.*

- Con relación a los métodos de curado en los cuales se empleo compuesto curador se observa en la gráfica 5.3 resultado disparejos en los pares de muestras ensayados correspondiente a las muestras CC-CC-DS1H-1, CC-CC-DS1H-2, CC-CC-DS2H-1, CC-CC-DS2H-2, atribuimos estas diferencias al efecto de los rayos del sol, los cuales actuaron de forma diferente para cada par de muestras. Ver fotografías 5.1 y 5.2.



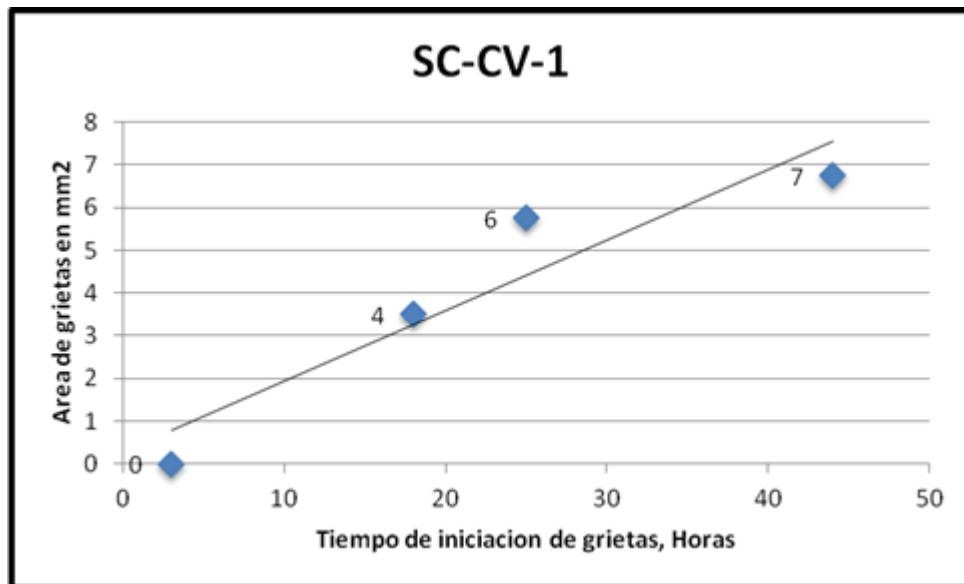
Fotografía 4.6 Disposición de muestras con compuesto curado y efecto de los rayos solares.



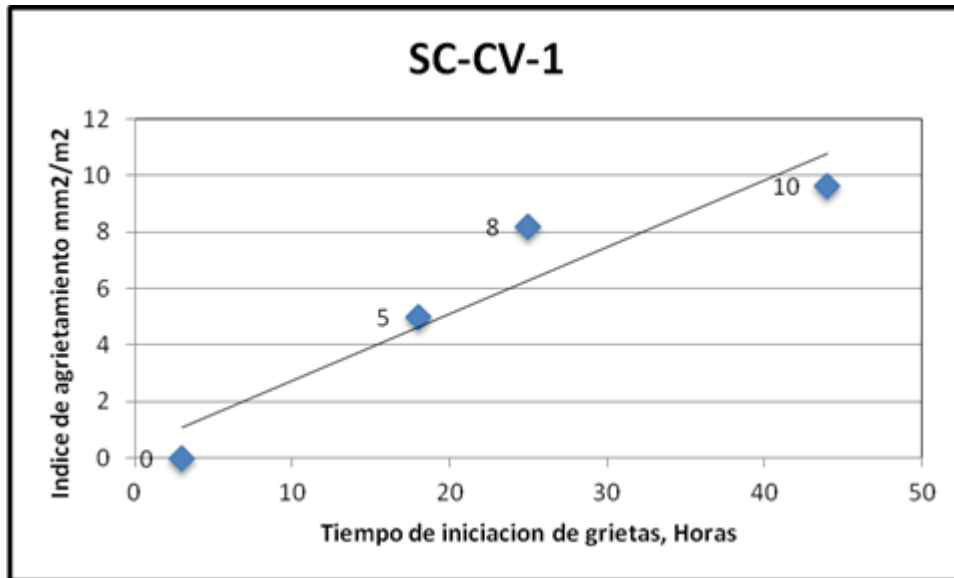
Gráfica 4.3 Índice de agrietamiento para métodos de curado con compuesto curador según tiempo de aplicación

- Por otra parte no se obtuvo homogeneidad en los resultados de la prueba técnica para medir la consistencia del concreto mediante asentamiento en cono de Abrams; las mezclas presentaron asentamientos que variaron 6.5 a 22.5 cm. Como se puede observar en la tabla 4.3. Para diferentes estructuras y condiciones de colocación del concreto hay diferentes asentamientos apropiados; Para losas y pavimentos compactados manualmente con varilla el asentamiento debe ser del orden de 50- 100 mm. (2"- 4"). Para los valores tan altos de asentamiento se pudo haber presentado segregación y por lo tanto generar mayor índice de agrietamiento.

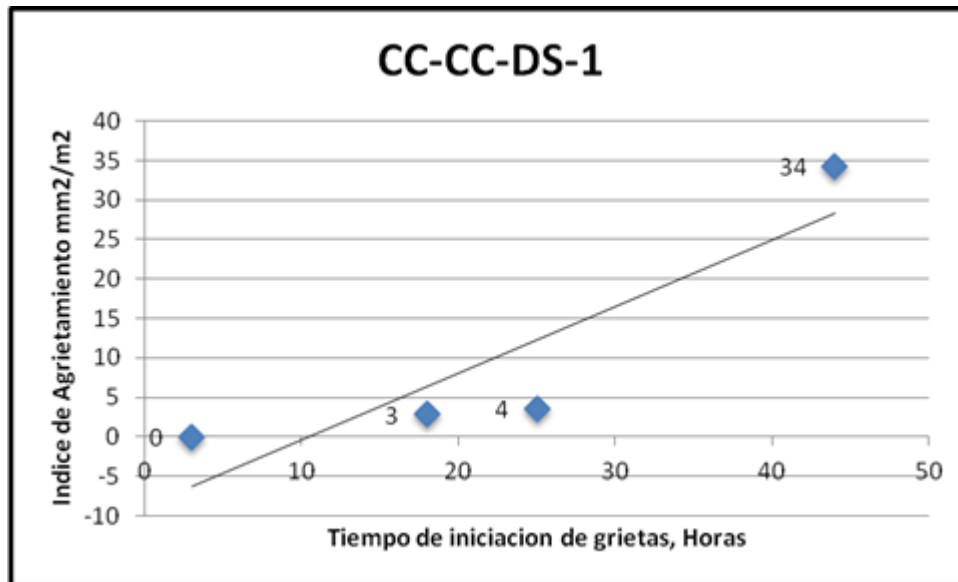
La retracción plástica se puede vincular directamente con los tiempos de fraguado como se puede observar en las gráficas 5.4 a 5.13 para cada uno de los métodos de curado utilizado donde se presento fisuración. En estas gráficas se muestra la relación entre la unidad de área de grieta frente al tiempo de fraguado.



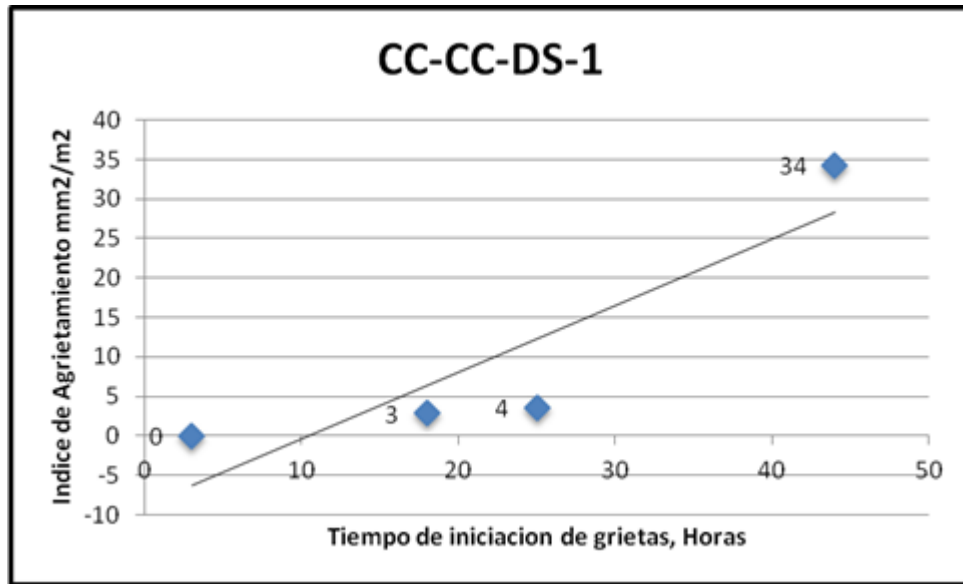
Gráfica 4.4 Área de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra sin curar expuesta al viento



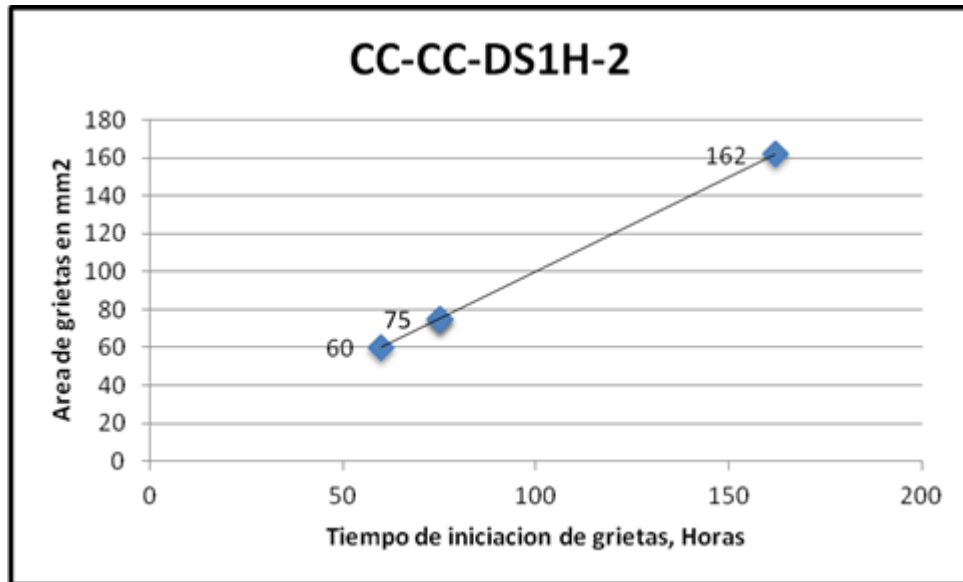
Gráfica 4.5 Índice de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra sin curar expuesta al viento



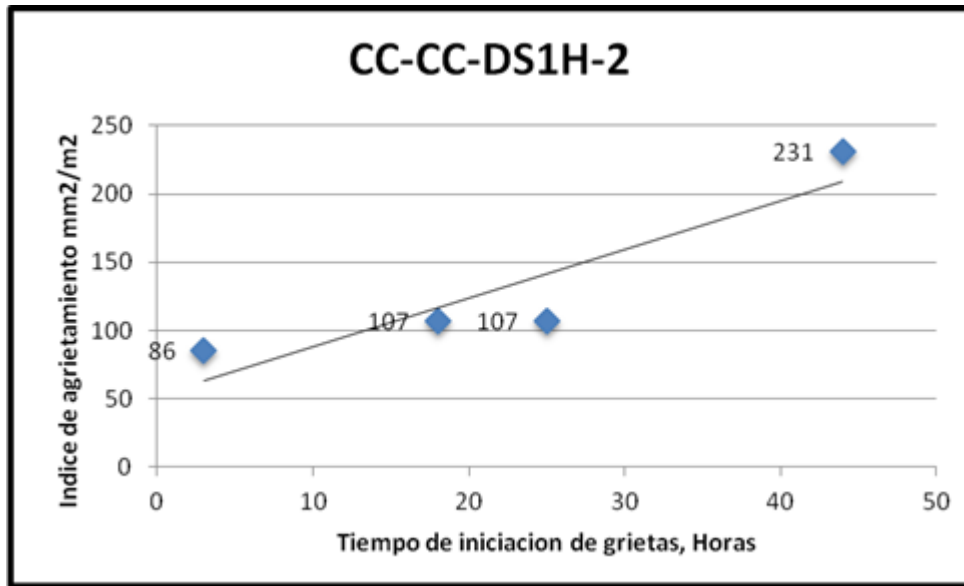
Gráfica 4.6 Área de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra curada con compuesto curador inmediatamente después de fundida



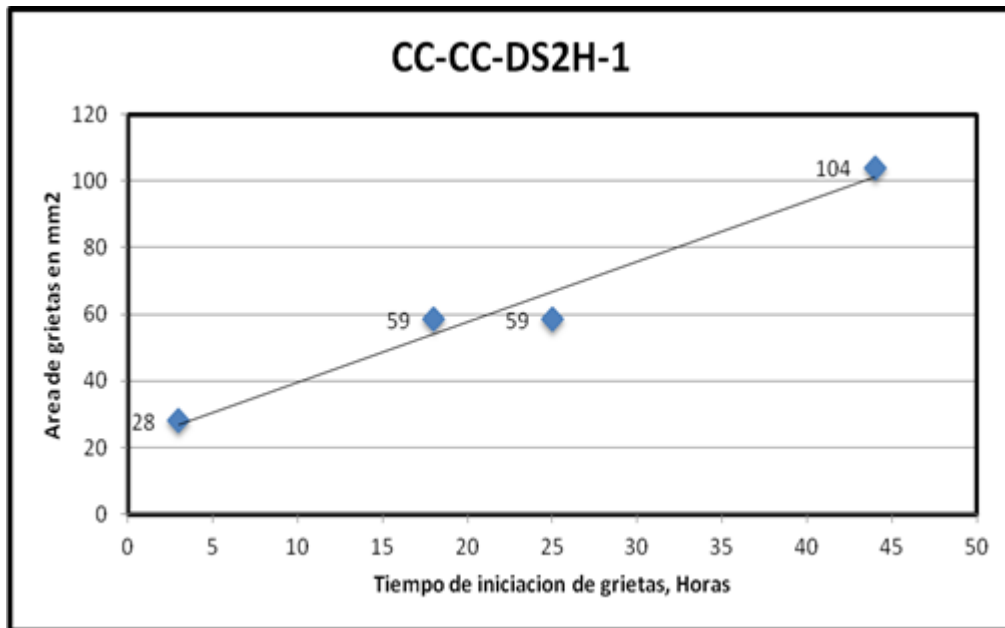
Gráfica 4.7 Índice de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra curada con compuesto curador inmediatamente después de fundida



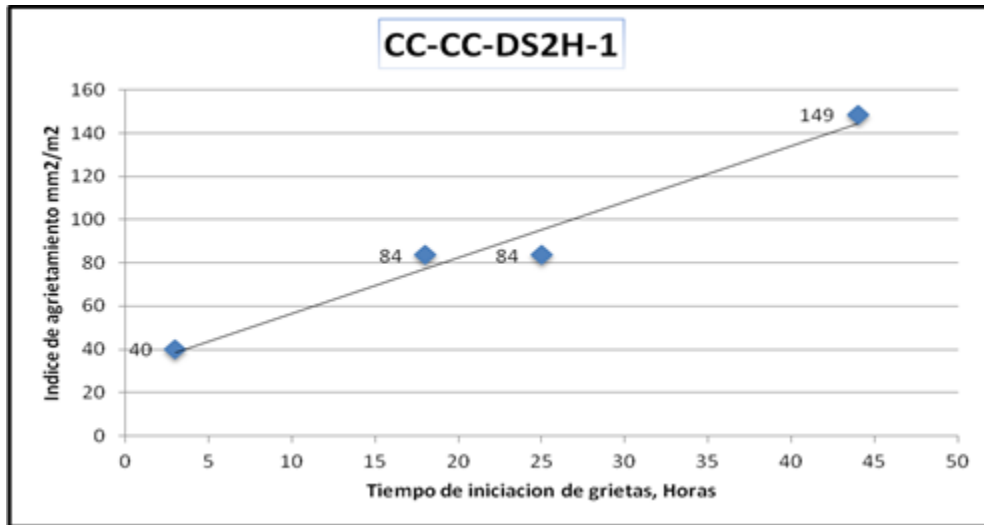
Gráfica 4.8 Área de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra curada con compuesto curador aplicado después de una hora de fundida



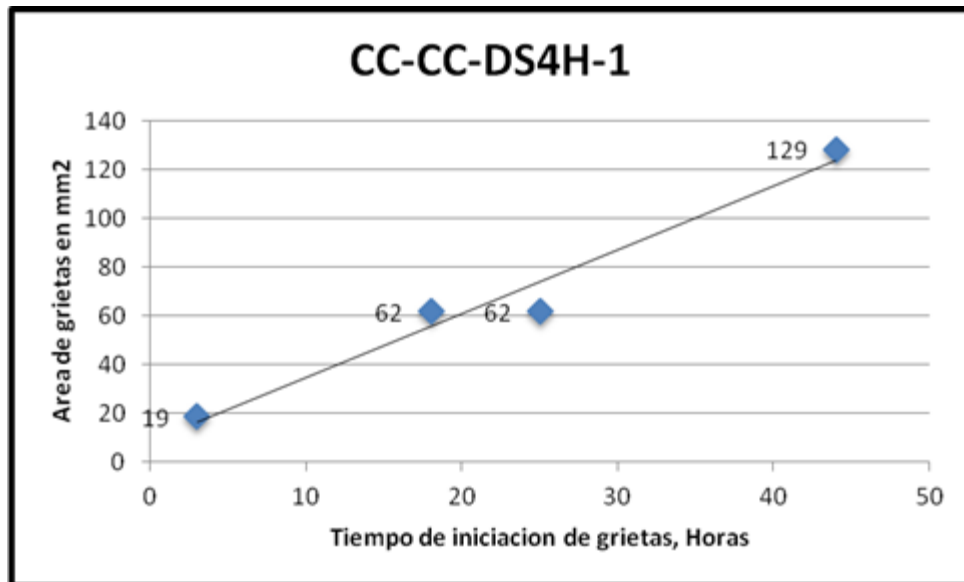
Gráfica 4.9 Índice de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra curada con compuesto curador aplicado después de una hora de fundida



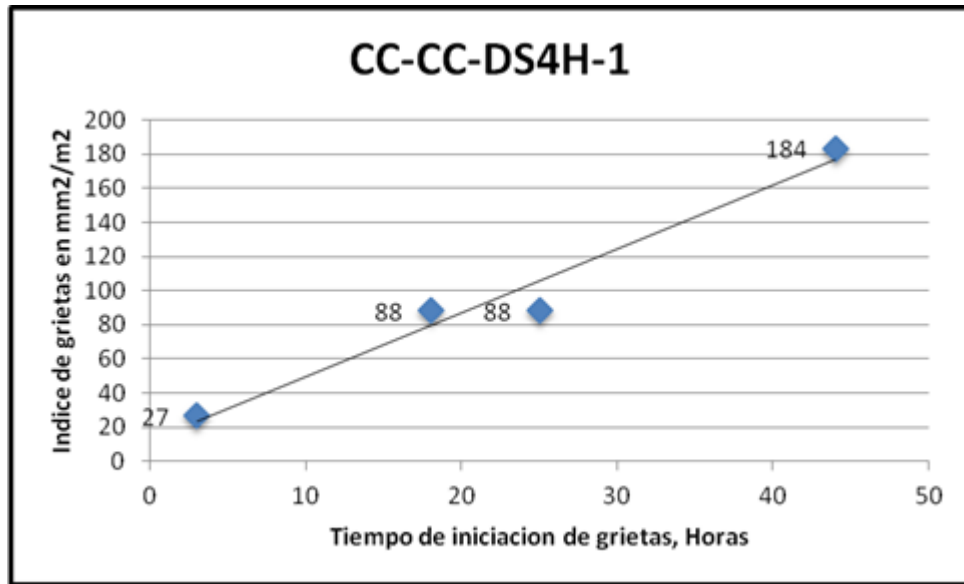
Gráfica 4.10 Área de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra curada con compuesto curador aplicado después de dos horas de fundida



Gráfica 4.11 Índice de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra curada con compuesto curador aplicado después de una hora de fundida



Gráfica 4.12 Área de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra curada con compuesto curador aplicado después de cuatro horas de fundida



Gráfica 4.13 *Indice de agrietamiento vs tiempo de curado para muestra curada con compuesto curador aplicado después de una hora de fundida*

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Los datos generados en este estudio revelan las siguientes conclusiones:

- La exposición y condiciones en el momento de fundir afectan significativamente a las propiedades del concreto fresco y endurecido, resultado que se observó en las muestras a las que los rayos del sol les daba directamente y por lo tanto la zona de grietas aumenta con la exposición a temperatura creciente.
- Las grietas se presentaron, como se señaló anteriormente en las probetas de concreto expuestas a condiciones de viento que aquellos expuestos a nada de viento, aunque se esperaba que el fenómeno de agrietamiento en las muestras con viento hubiese sido de mayor magnitud, realmente el hecho de cubrir con carpa el ensayo realizado disminuyó el efecto por la acción del viento.
- Las operaciones de construcción (enrasado y acabado) tiene un efecto muy significativo en la formación de grietas por contracción plástica, esto se pudo observar en las muestras que se fundieron primero CC-CC-DS2H-1, CC-CC-DS2H-2, CC-CC-DS4H-1, CC-CC-DS4H-2 en las cuales el enrasado realizado fue deficiente presentaron mayor agrietamiento.
- Los métodos de curado húmedo, tales como el rociado o el cubrimiento con plástico húmedo y encharcado, retardan la contracción hasta que el curado se haya acabado, después de los cuales, el hormigón se seca y se contrae a una tasa normal. Estos sistemas de curado son eficientes para controlar el agrietamiento por retracción plástica.

- El agrietamiento por retracción plástica tiende a aumentar con el tiempo de fraguado, y el momento de aplicación de este, ya que en las muestras en las cuales se aplicó después de la hora aumentó notablemente el agrietamiento.
- La primera aparición de grietas tiende a ser retrasada al aumentar el tiempo de fraguado. Este resultado es beneficioso ya que permite el tiempo suficiente para tomar medidas preventivas para controlar la fisuración por retracción plástica.
- Las muestras realizadas con las mezclas con mayores asentamientos presentaron mayor fisuración.
- El curado se debe coordinar con el tiempo de fraguado inicial del concreto, Se debe iniciar en estado plástico del concreto (punto de llana). El curado se debe completar antes que los esfuerzos debidos a la contracción induzcan las tensiones que producen las grietas.
- Las estructuras de concreto simple o reforzado, generalmente son diseñadas y construidas para satisfacer un conjunto de requisitos arquitectónicos, funcionales, estructurales, de comportamiento, de estabilidad, y de seguridad, durante determinado periodo de tiempo, sin que generen costos inesperados por mantenimiento y reparación; el agrietamiento es un efecto negativo que atenta contra todos los requisitos mencionados anteriormente, por lo tanto debemos estudiar este fenómeno para establecer las mejores condiciones para el curado.

5.2 Recomendaciones

- Ante la imposibilidad de evitar la retracción plástica, se debe garantizar un curado, que disminuya drásticamente la pérdida de agua y la acción negativa del viento y el medio ambiente. Esto incluye un curado húmedo permanente (no esporádico), con elementos que retengan la humedad (como plástico), cubrimientos del concreto con elementos que eviten la acción del viento

sobre la superficie y eventualmente la previsión de juntas de retracción con un espaciamiento adecuado.

- En futuros ensayos encaminados a valorar el agrietamiento que se acerquen más a la realidad, es recomendable garantizar que todas las muestras se encuentren en las mismas condiciones ambientales, con el fin de evaluar cuales sistemas de curado son más eficientes desde el punto de vista agrietamiento.
- Evaluar las variables más importantes que se deban considerar antes de comenzar los ensayos. Esto puede incluir garantizar la homogeneidad de la mezcla estableciendo un rango aceptable de asentamiento.
- Es muy importante tomar en cuenta la temperatura ambiental y humedad relativa para el fraguado del concreto, ya que afecta directamente el efecto de contracción.

6. BIBLIOGRAFIA

1. ACI committee 308, *Standard Practice for Curing Concrete*. ACI 308R-01. American Concrete Institute Farmington Hills, MI. Agosto de 2001.
2. ACI committee 308, *Standard Practice for Curing Concrete*. ACI 308. 1-98. American Concrete Institute, abril de 1998.
3. ACI Symposium Publication 227 “Shrinkage and Creep of Concrete”. 2005
4. ACI Standards and Reports (1991). ACI 305: Hot weather concreting. (1988).
5. ACI 209.1R – 05
6. ACI Standards and Reports (1991). ACI 305: Hot weather concreting.
7. ACI 224. 1R-07 “Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures”.
8. ACI 209.1R-05 “Guide to factors affecting shrinkage and hardened concrete in engineering”
9. Alhozaimy A., Al-negheimish A. “Plastic Shrinkage in hot and arid environments”. Concrete International ACI. September 2009.
10. Benford, Gregory, Davidson, AVRAM et al; (1981)
11. Blanks, R., Meissner, H & Tuthill, L. (1946). Curing concrete with sealing compounds

12. Bustamante Herrera Adriana "Comparación de la efectividad de sistemas de curado mediante evaluación del agua evaporada". Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería U.N. Bogotá 2005.
13. "Cracking risks associated with early age shrinkage" Holt E. & Leivo M.) Cement and Concrete Composites.
14. Delibes Liniers Adolfo (1994). Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón.
15. Gómez Gabriel "Materiales para Ingeniería Civil" Universidad Nacional de Colombia.
16. Guo Cheng-ju (1991). Early-age behavior of Portland cement paste.
17. Holt Erika "¿De donde vinieron esas grietas?" Concrete International.
18. Hover, Kenneth C. (2006). Evaporation of Water from Concrete Surfaces.
19. Lozano L.G y Mejía M. "Retracción en concretos de 210, 240 y 350 kg/cm²". Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería Universidad Nacional.
20. Meeks, K., Carino, N. (1999). Curing of high-performance concrete: Report of the State-of-the-art.
21. Melo Zabala Xiomara; Pardo Romero Milton: Coparacion de la Efectividad de Compuestos Curadores Mediante la Evaluacion del Agua Evaporada"
22. NRMCA Publication No. 53, National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, MD. "Effect of Curing Curing Condition o Compressive Strength of Concrete Test Specimens".

23. Olivér Fenyvesi - Zsuzsanna Józsa "Early age shrinkage cracking of fibre reinforced concrete". Concrete Structures 2010.
24. Portland Cement Association. "Curing of Concrete"
25. Rasheeduzzafar, Al-Gahtani & Al-Saadoun, (1988). Influence on construction practices on concrete durability.
26. Spears, Ralph. (1983). The 80% solution to inadequate curing problems.
27. Uno, Paul J. (1998). Plastic shrinkage cracking and evaporation formulas.

7. ANEXOS

SC-SV-1 SIN CURADO AL AIRE LIBRE SIN VIENTO

HORA FUNDIDA 2:05

ACENTAMIENTO 7 cm



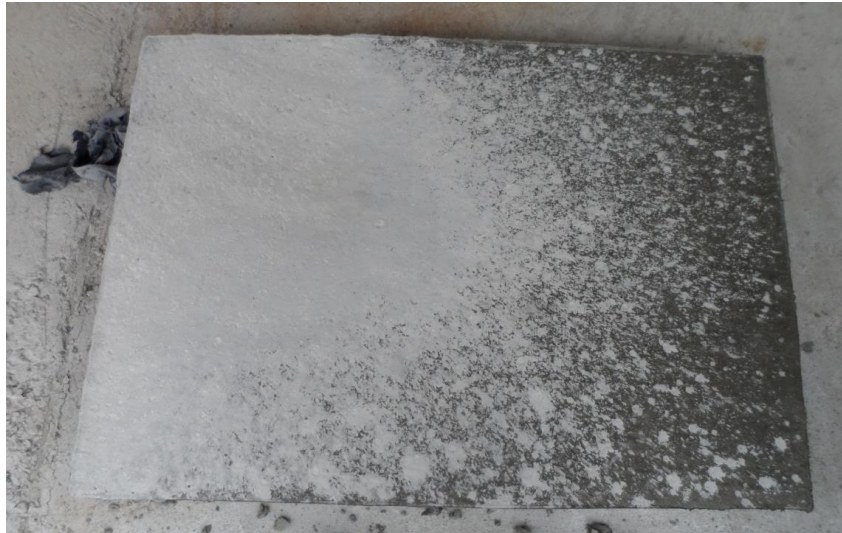
SC-SV-1 - INSPECCION

Fecha: 26/05/2012

Hora: 8:10 am



Fecha: 26/05/2012
Hora: 3:40 pm



SC-SV-2 SIN CURADO AL AIRE LIBRE SIN VIENTO

HORA FUNDIDA 2:50

ASCENTAMIENTO 7 cm



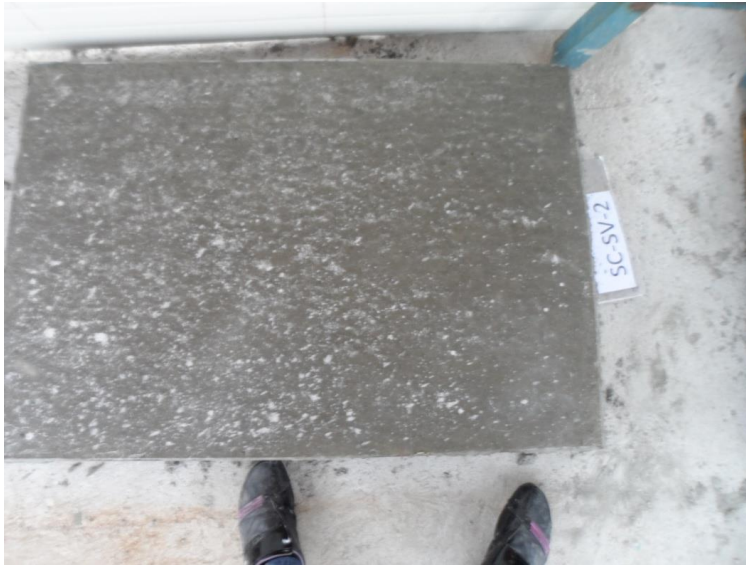
SC-SV-2

Fecha: 26/05/2012

Hora: 8:20 am



SC-SV-2
Fecha: 26/05/2012
Hora: 3:45 pm



SC-CV-1 SIN CURADO AL AIRE LIBRE CON VIENTO

HORA FUNDIDA 2:50

ASCENTAMIENTO 7 cm



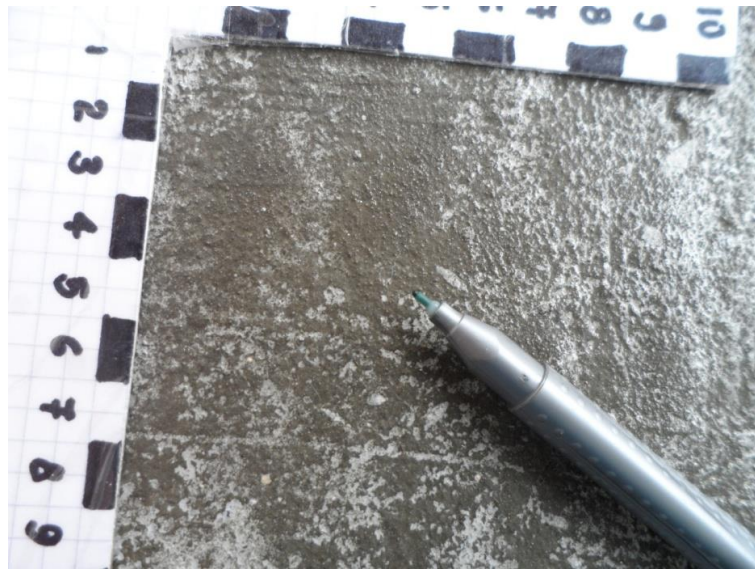
SC-CV-1

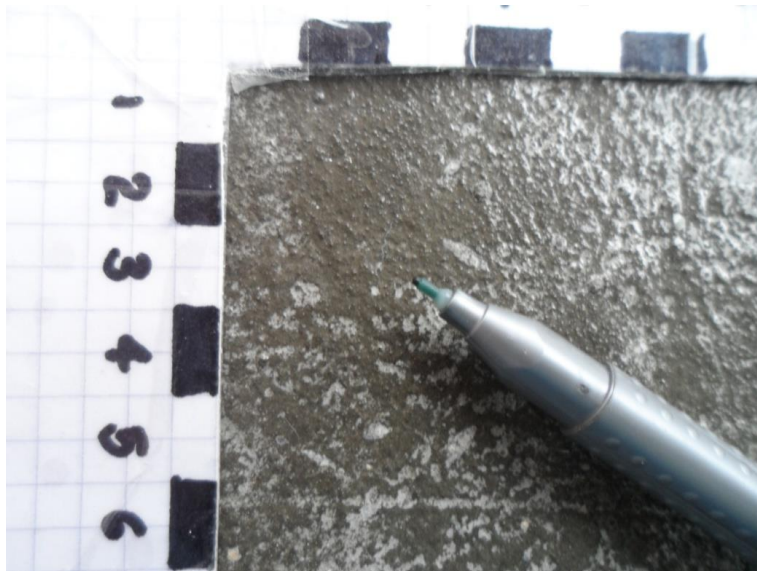
Fecha: 26/05/2012

Hora: 9:00 am



SC-CV-1
Fecha: 26/05/2012
Hora: 4:00 pm





SC-CV-2 SIN CURADO AL AIRE LIBRE CON VIENTO

HORA FUNDIDA 2:50 pm

ASCENTAMIENTO 7 cm

SC-CV-2

Fecha: 26/05/2012

Hora: 8:45 am



CC-RI-1 CON CURADO CON AGUA ROCIADO INTERMITENTE

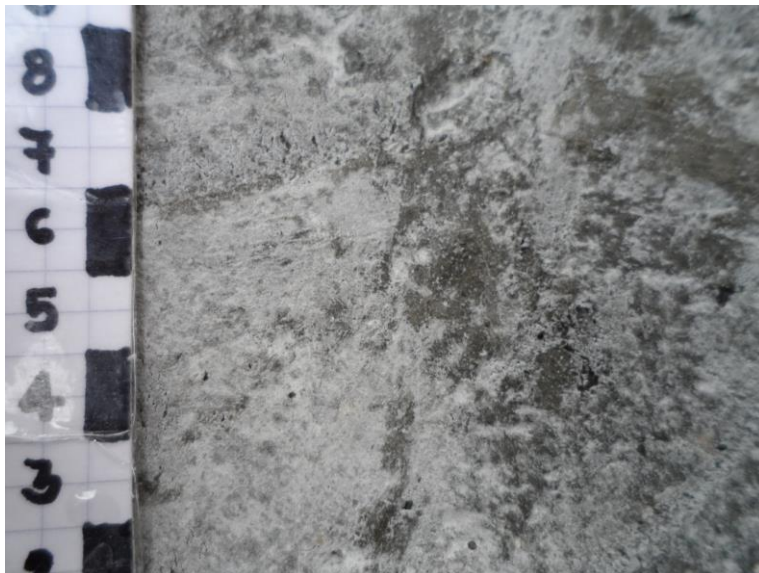
HORA FUNDIDA 2:50 pm

ASCENTAMIENTO 7 cm

CC-RI-1

Fecha: 26/05/2012

Hora: 9:45 am



CC-RI-1
Fecha: 26/05/2012
Hora: 4:30 am



CC-RI-2 CON CURADO CON AGUA ROCIADO INTERMITENTE

HORA FUNDIDA 1:20 pm

ASCENTAMIENTO 7 cm

CC-RI-2

Fecha: 26/05/2012

Hora: 9:45 am



CC-RI-2

Fecha: 26/05/2012

Hora: 4:30 am



CC-EN-1 CON CURADO CON AGUA ENCHARCADO

HORA FUNDIDA 2:05 pm

ASCENTAMIENTO 7 cm

CC-EN-1

Fecha: 26/05/2012

Hora: 2:05 PM



CC-EN-2 CON CURADO CON AGUA ENCHARCADO

HORA FUNDIDA 2:05 pm

ASCENTAMIENTO 7 cm

CC-EN-2

Fecha: 26/05/2012

Hora: 2:05 pm



CC-PI-1 CON CURADO PLASTICO INMEDIATAMENTE

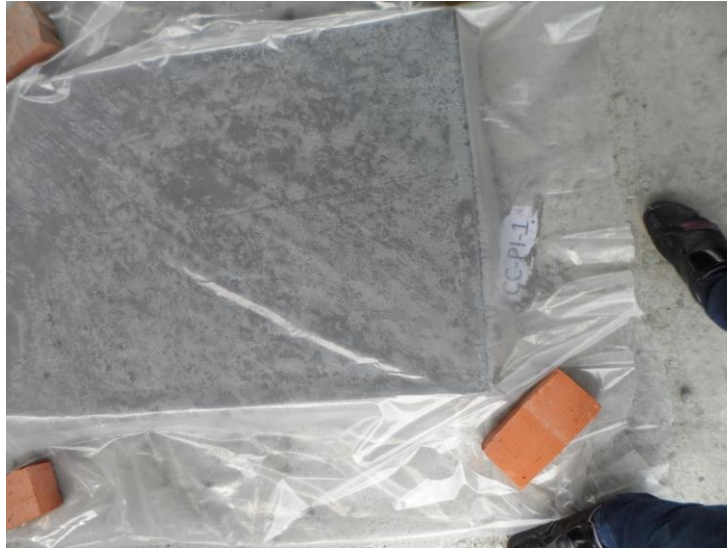
HORA FUNDIDA 12:35 pm

ASCENTAMIENTO 7 cm

CC-PI-1

Fecha: 26/05/2012

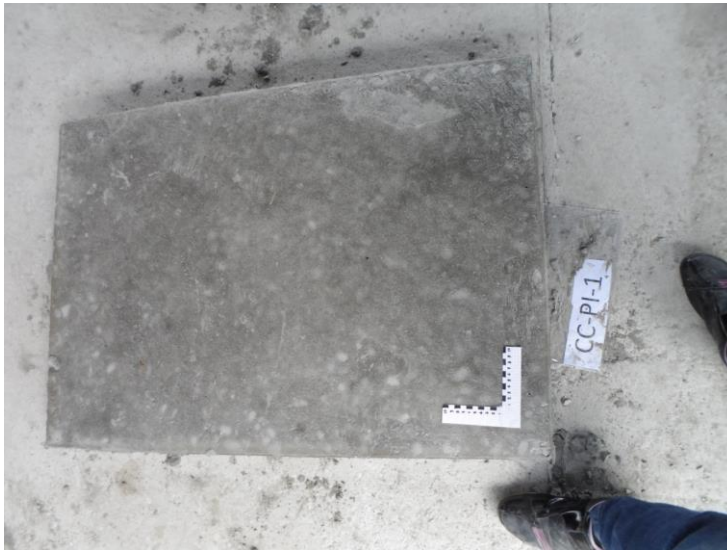
Hora: 9:25 am



CC-PI-1

Fecha: 26/05/2012

Hora: 4:37 pm



CC-PI-2 CON CURADO PLASTICO INMEDIATAMENTE

HORA FUNDIDA 12:35 pm
ASCENTAMIENTO 15 cm

CC-PI-2
Fecha: 26/05/2012
Hora: 9:30 am



CC-PI-2
Fecha: 26/05/2012
Hora: 4:20 pm



CC-P2H-1 CON CURADO PLASTICO 2 HORAS DESPUES

HORA FUNDIDA 1:00 pm

ASCENTAMIENTO 19.5 cm

CC-P2H-1

Fecha: 26/05/2012

Hora: 9:25 am



CC-P2H-1

Fecha: 26/05/2012

Hora: 4:28 pm



CC-P2H-2 CON CURADO PLASTICO 2 HORAS DESPUES

HORA FUNDIDA 1:00 pm

ASCENTAMIENTO 19.5 cm

CC-P2H-2

Fecha: 26/05/2012

Hora: 9:25 am



CC-P2H-2

Fecha: 26/05/2012

Hora: 4:28 pm



C-CC-DS-1 CON CURADO CON COMPUESTO CURADOR DESECACION SUPERFICIAL

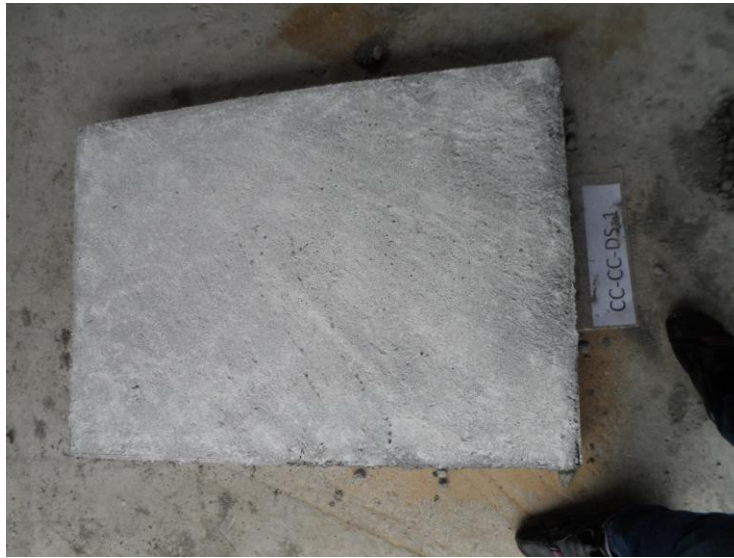
HORA FUNDIDA 11:35 pm

ASCENTAMIENTO 6.5 cm

CC-CC-DS-1

Fecha: 26/05/2012

Hora: 10:00 am

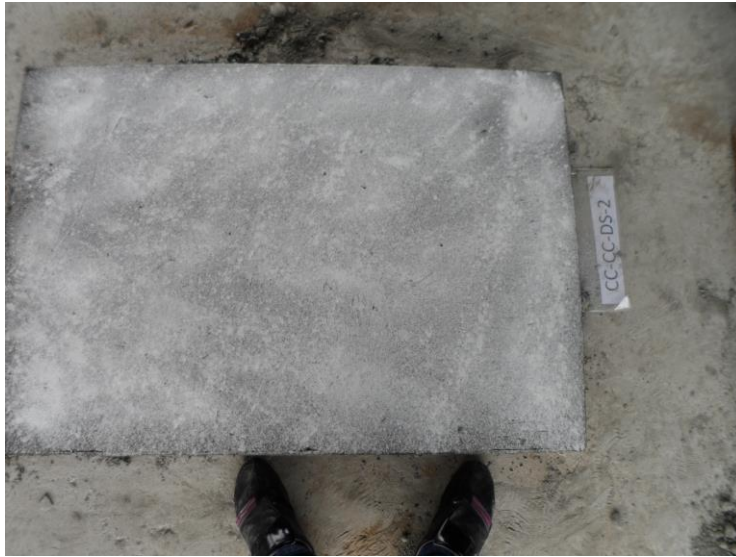


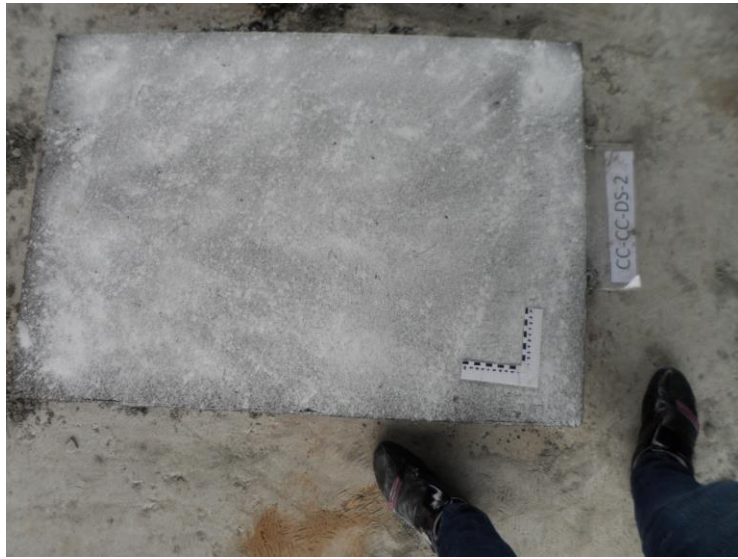
CC-CC-DS-1
Fecha: 26/05/2012
Hora: 4:40 pm

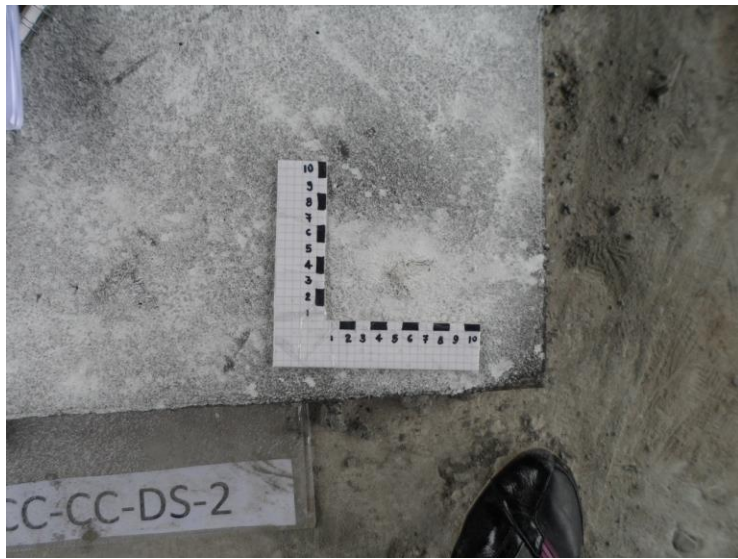


CC-CC-DS-2 CON CURADO CON COMPUESTO CURADOR DESECACION SUPERFICIAL
HORA FUNDIDA 11:35 pm
ASCENTAMIENTO 6.5 cm

CC-CC-DS-2
Fecha: 26/05/2012
Hora: 10:10 am







CC-CC-DS-2
Fecha: 26/05/2012
Hora: 4:50 pm



**CC-CC-DS1H-1 CON CURADO CON COMPUESTO CURADOR DESECACION SUPERFICIAL UNA HORA
DESPUES**

HORA FUNDIDA 11:35 pm
ASCENTAMIENTO 6.5 cm

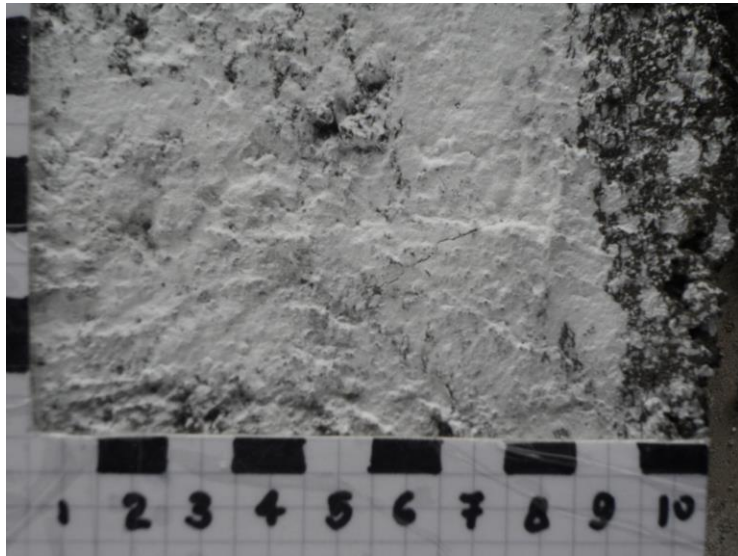
CC-CC-DS1H-1
Fecha: 26/05/2012
Hora: 10:35 am

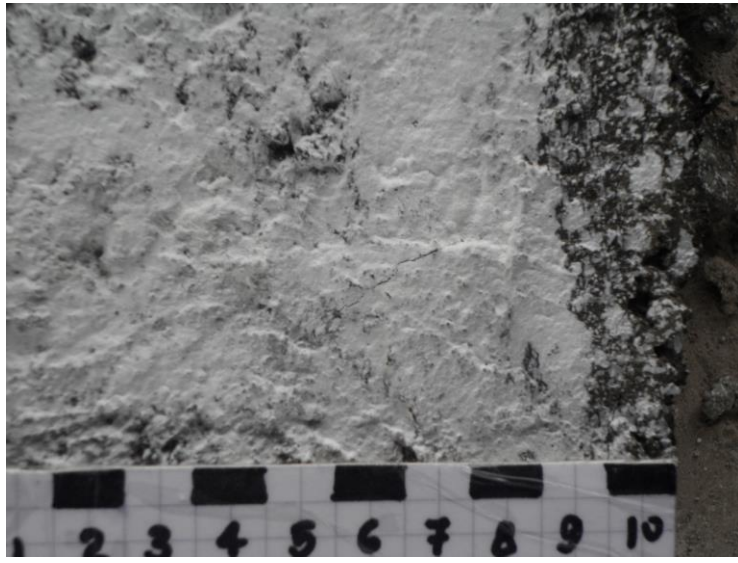
















CC-CC-DS1H-1
Fecha: 26/05/2012
Hora: 5:00 pm



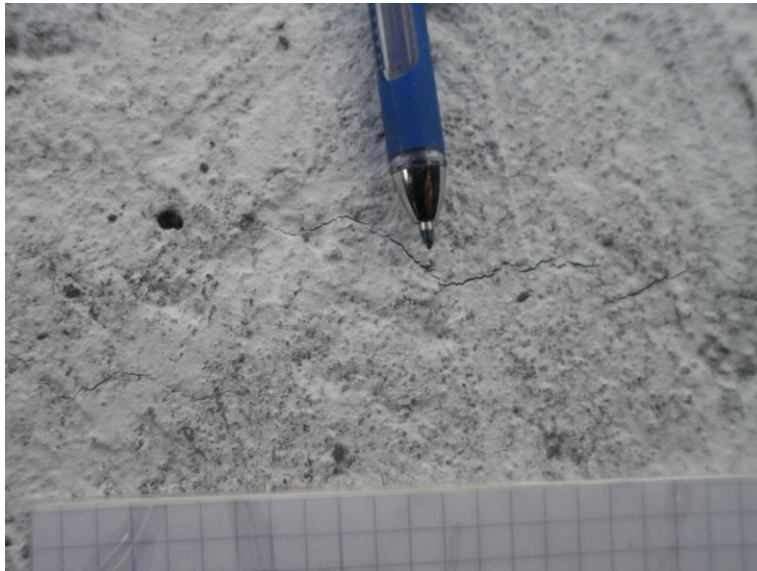




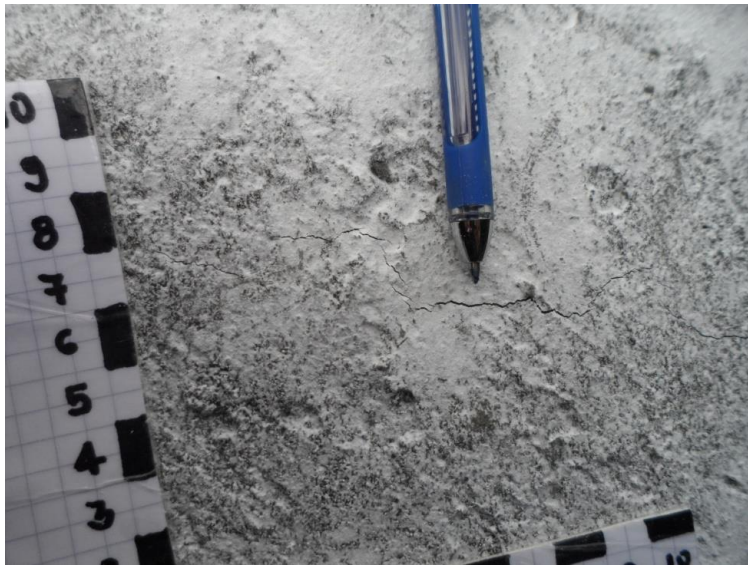
CC-CC-DS1H-1
Fecha: 27/05/2012
Hora: 9:55 am

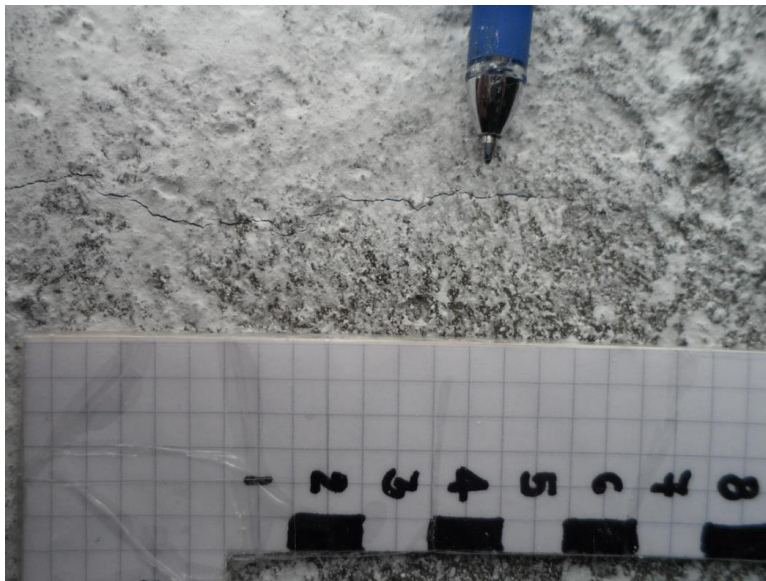
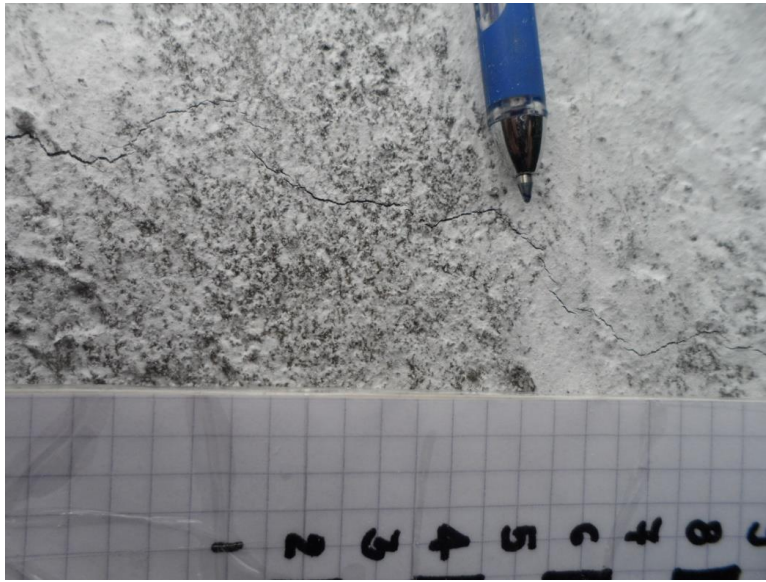










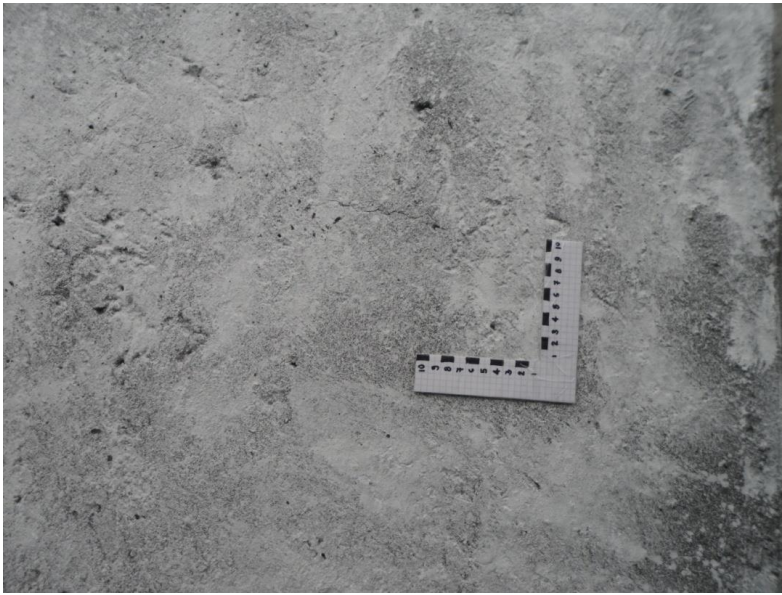


**CC-CC-DS1H-2 CON CURADO CON COMPUESTO CURADOR DESECACION SUPERFICIAL UNA HORA
DESPUES**

HORA FUNDIDA 12:35 pm
AGENTAMIENTO 15 cm

CC-CC-DS1H-2
Fecha: 26/05/2012
Hora: 10:35 am







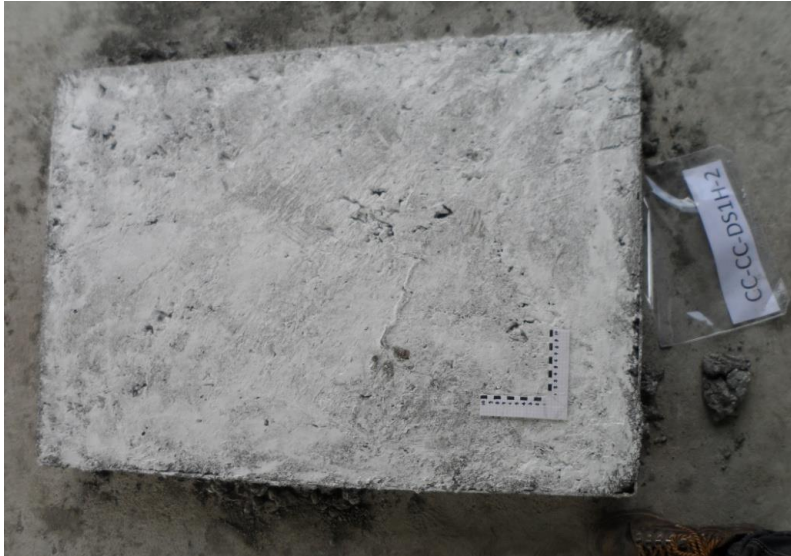




CC-CC-DS1H-2
Fecha: 26/05/2012
Hora: 5:05 pm



CC-CC-DS1H-2
Fecha: 27/05/2012
Hora: 9:55 am



CC-CC-DS2H-1 CON CURADO CON COMPUESTO CURADOR DESECACION SUPERFICIAL DOS HORAS DESPUES

HORA FUNDIDA 11:09 pm
ACENTAMIENTO 18.8 cm

CC-CC-DS2H-1
Fecha: 26/05/2012
Hora: 11:00am





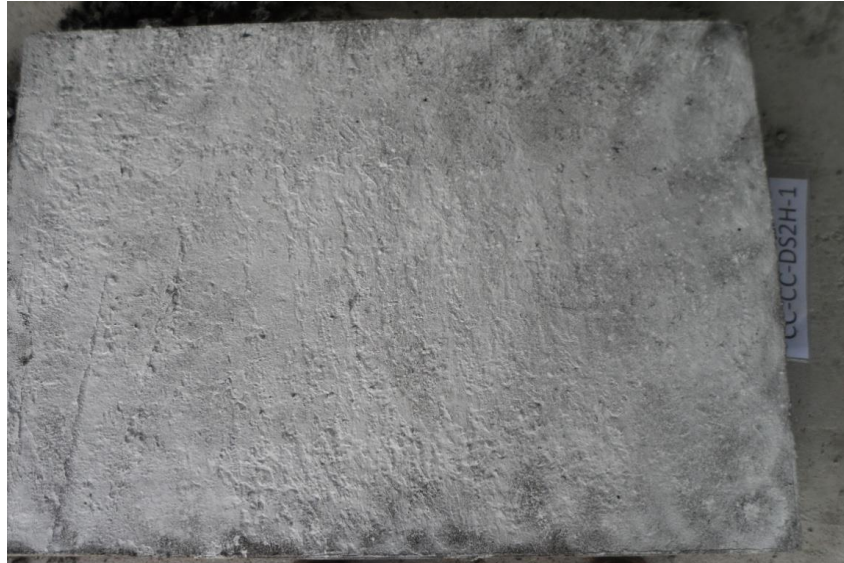




CC-CC-DS2H-1
Fecha: 26/05/2012
Hora: 5:25 pm



CC-CC-DS2H-1
Fecha: 27/05/2012
Hora: 9:40 am





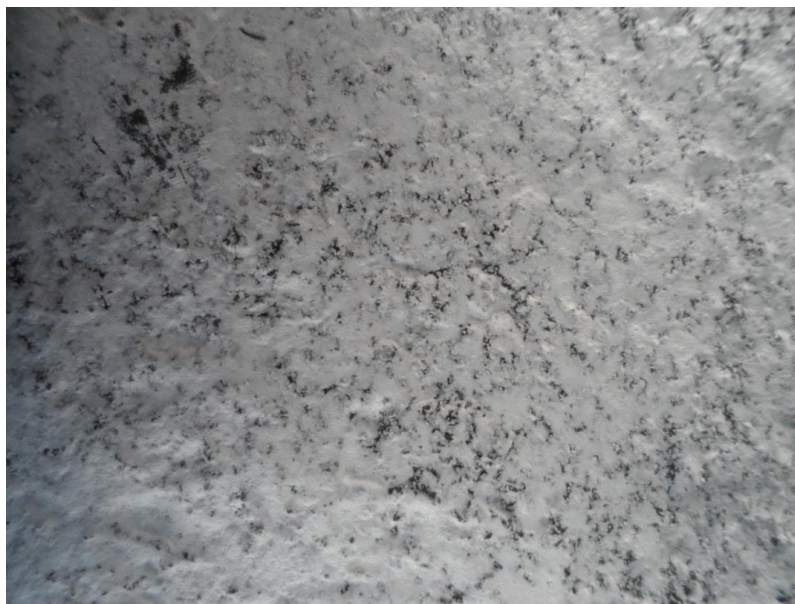
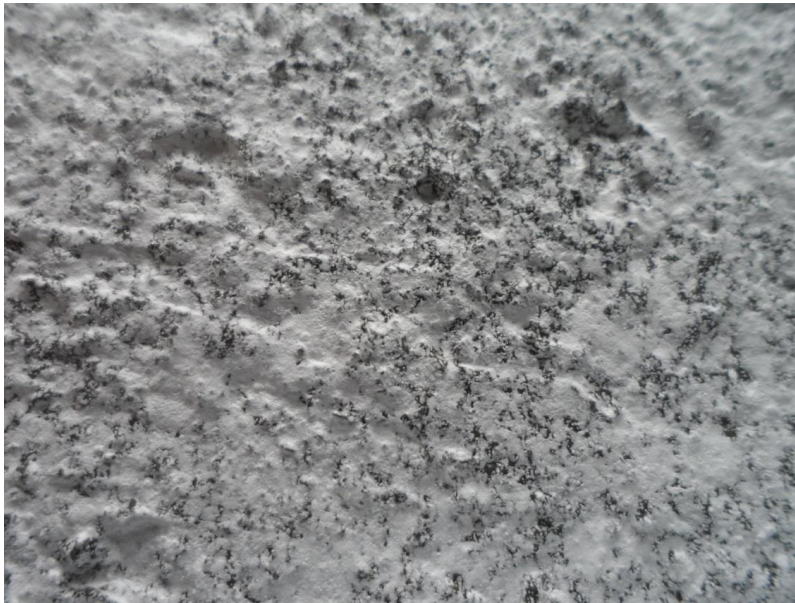


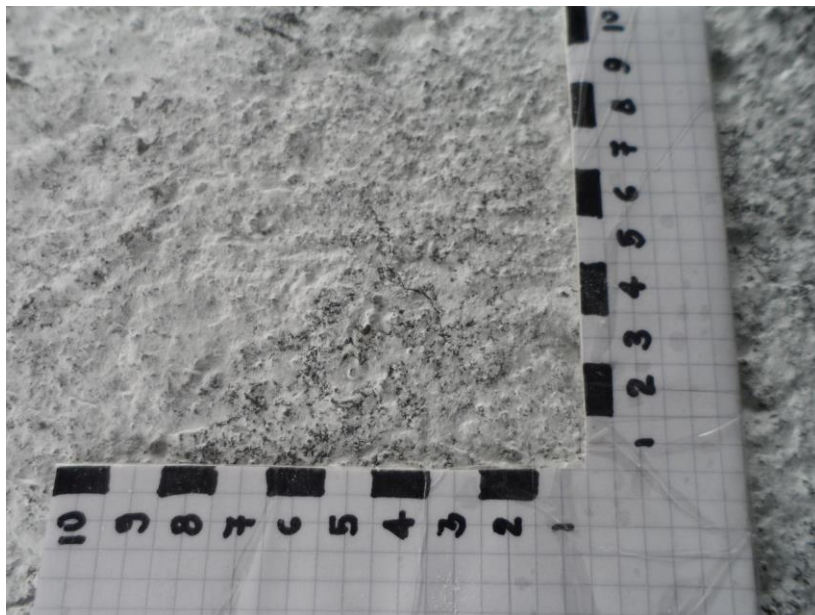
**CC-CC-DS2H-2 CON CURADO CON COMPUESTO CURADOR DESECACION SUPERFICIAL DOS HORAS
DESPUES**

HORA FUNDIDA 11:09 am
AGENTAMIENTO 18.8 cm

CC-CC-DS2H-2
Fecha: 26/05/2012
Hora: 10:10 am





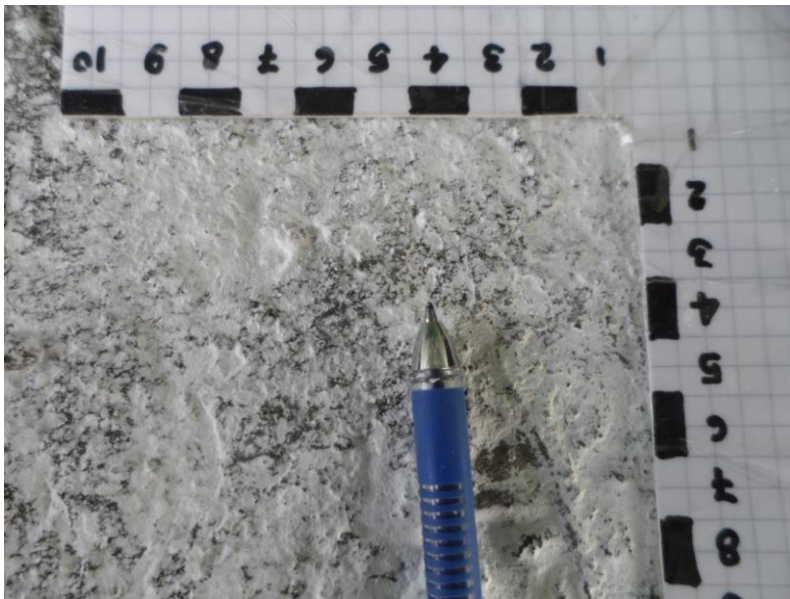
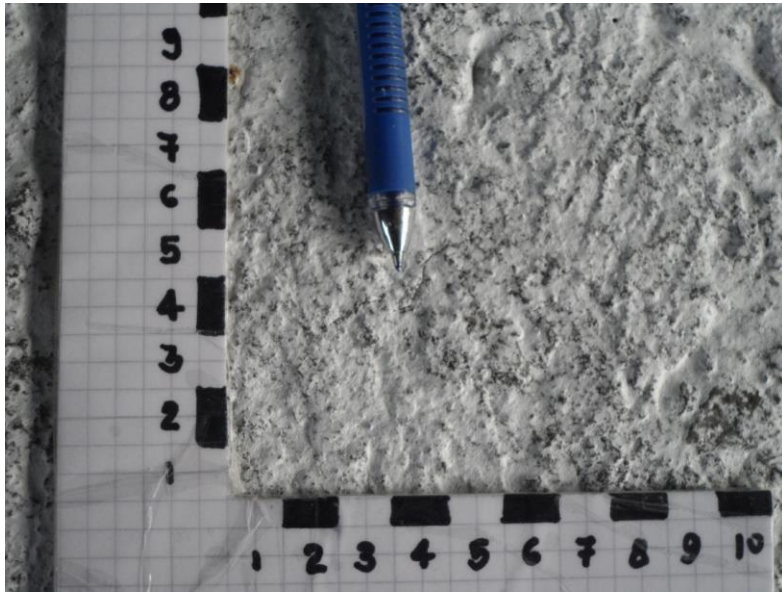


CC-CC-DS2H-2
Fecha: 26/05/2012
Hora: 5:15 pm



CC-CC-DS2H-2
Fecha: 27/05/2012
Hora: 9:30 am







CC-CC-DS4H-1 CON CURADO CON COMPUESTO CURADOR DESECACION SUPERFICIAL CUATRO HORAS DESPUES

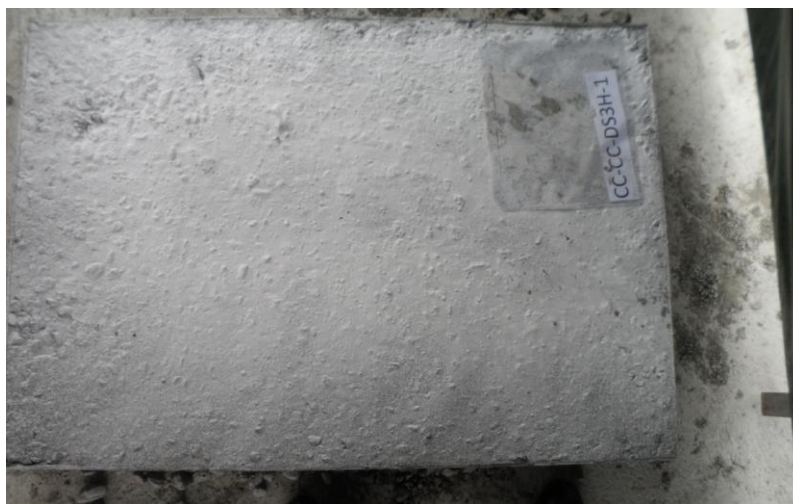
HORA FUNDIDA 10:24 am

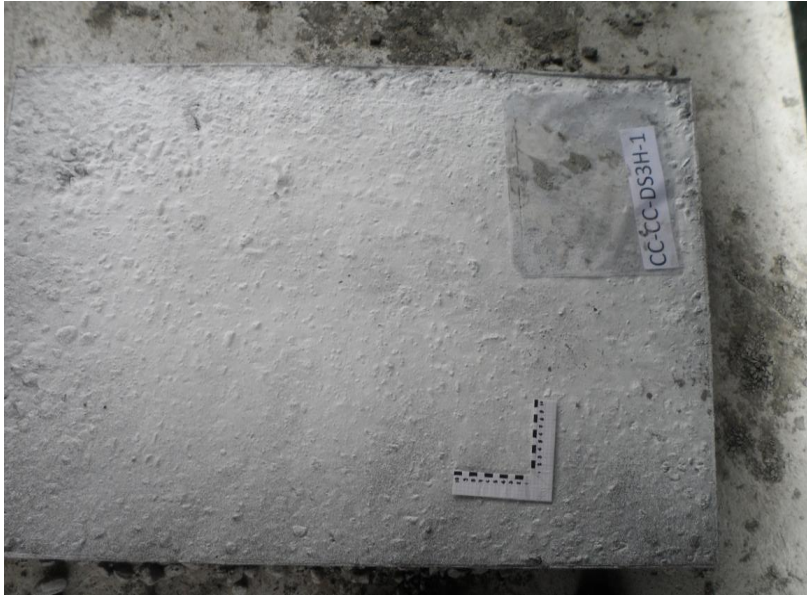
ASCENTAMIENTO 22.5 cm

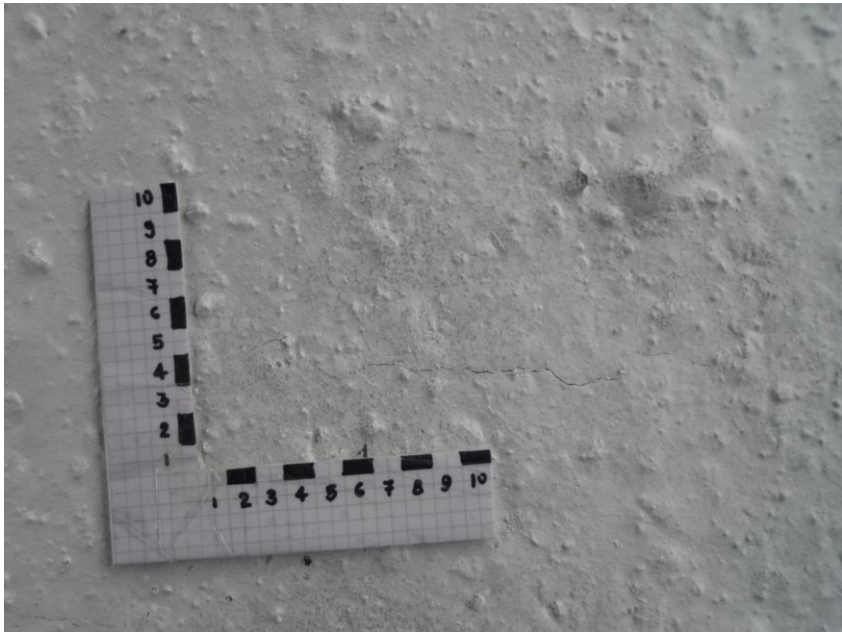
CC-CC-DS4H-1

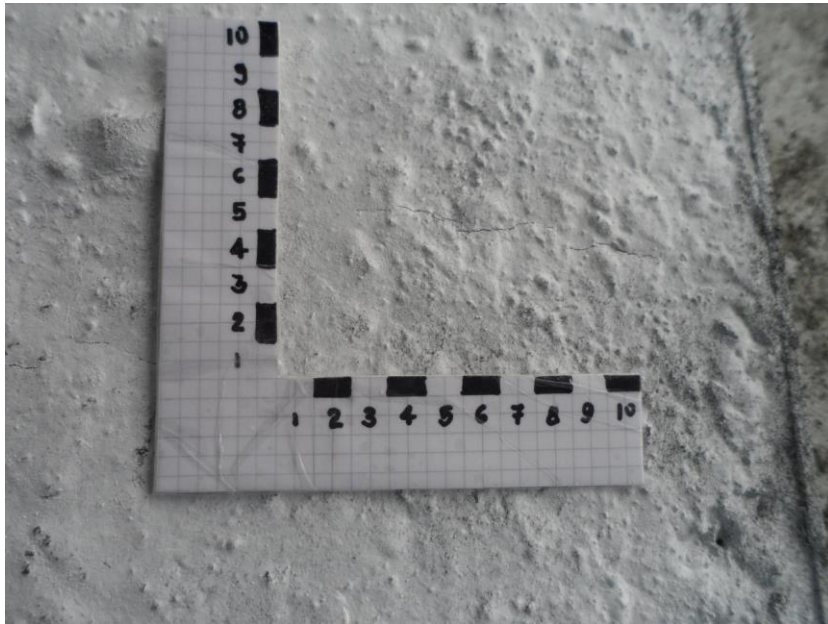
Fecha: 26/05/2012

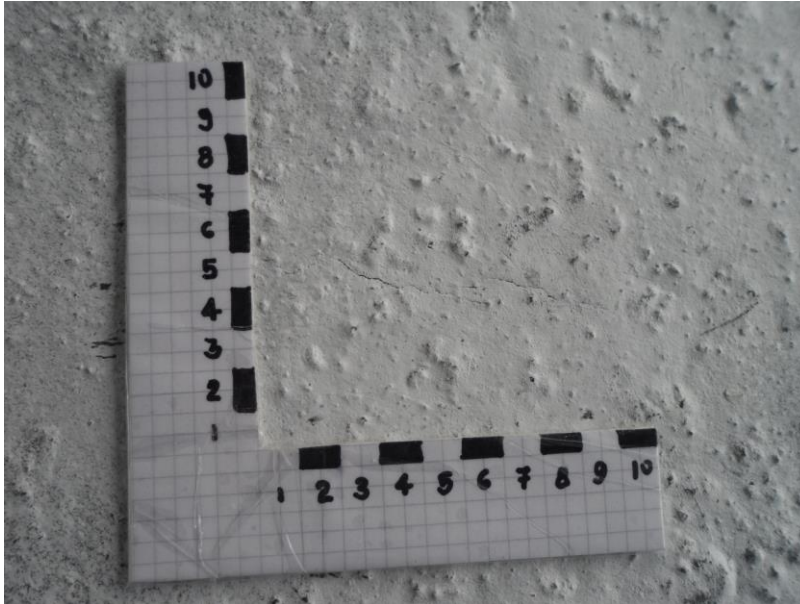
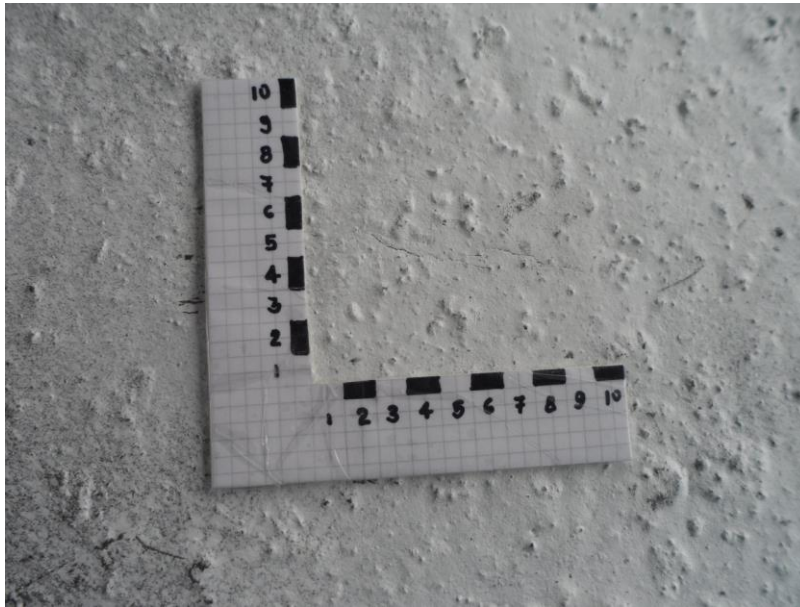
Hora: 11:25am









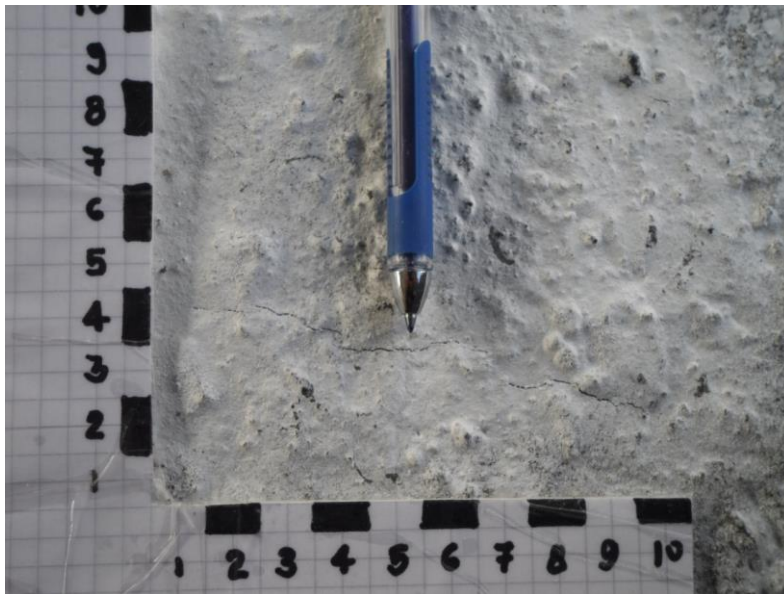


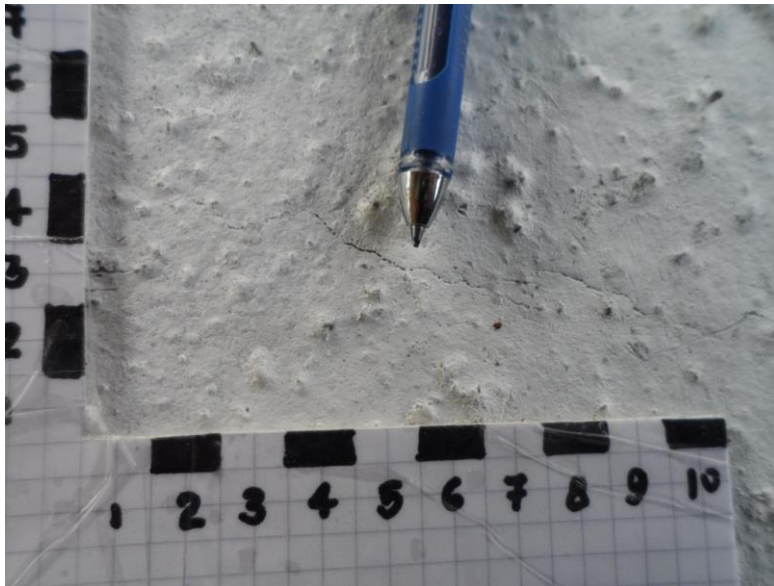
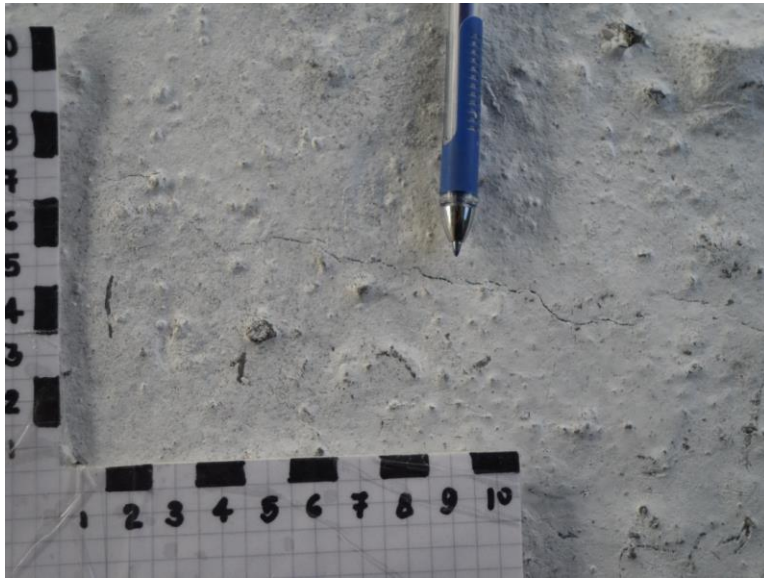
CC-CC-DS4H-1
Fecha: 26/05/2012
Hora: 5:38 PM

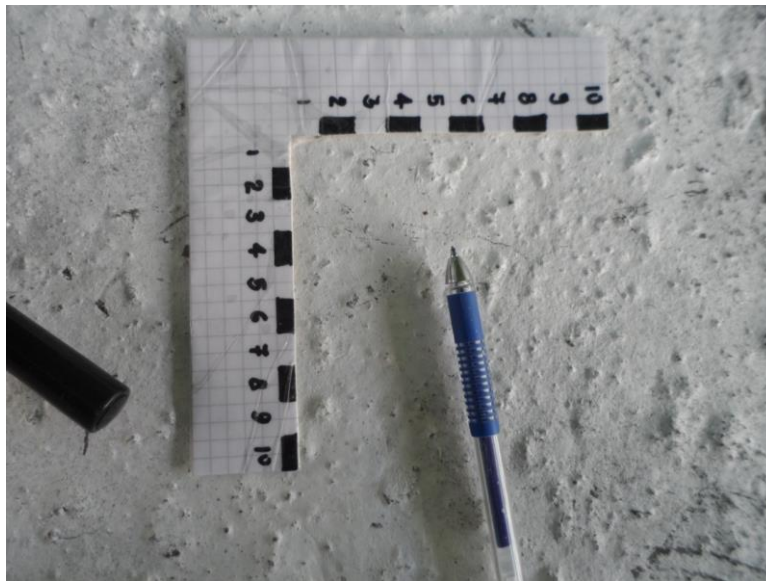
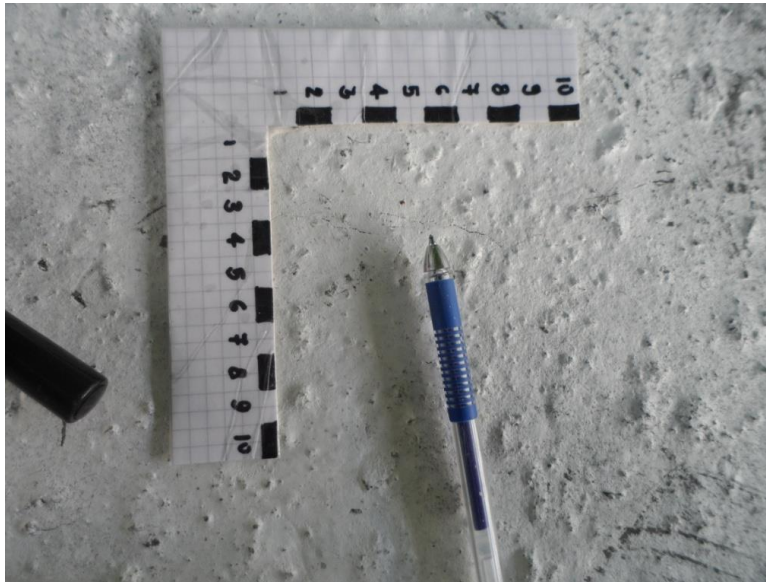


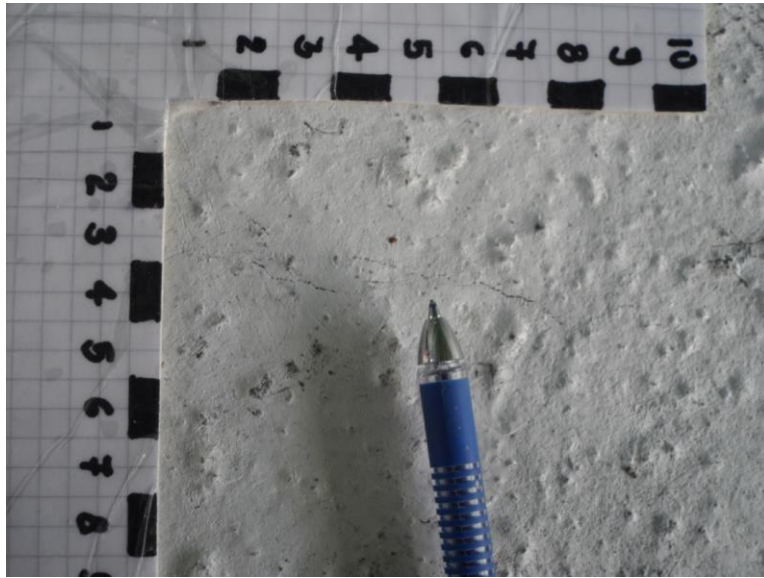
CC-CC-DS4H-1
Fecha: 27/05/2012
Hora: 8:50 am





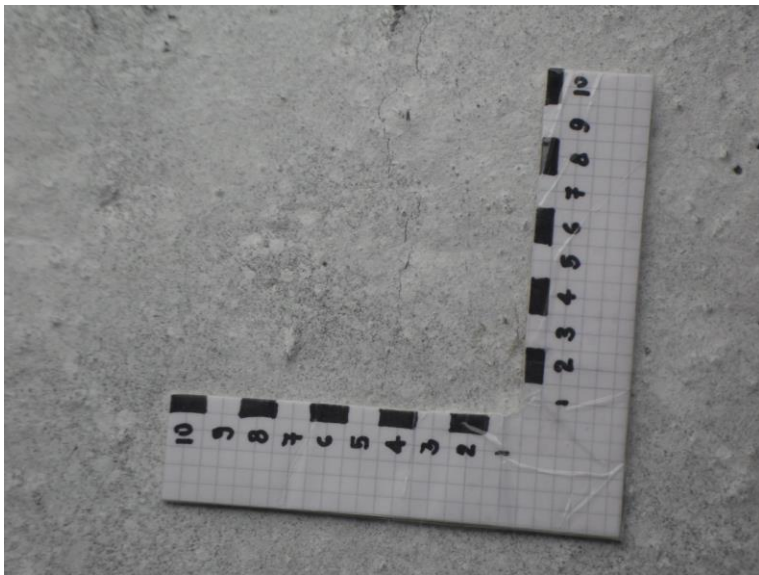
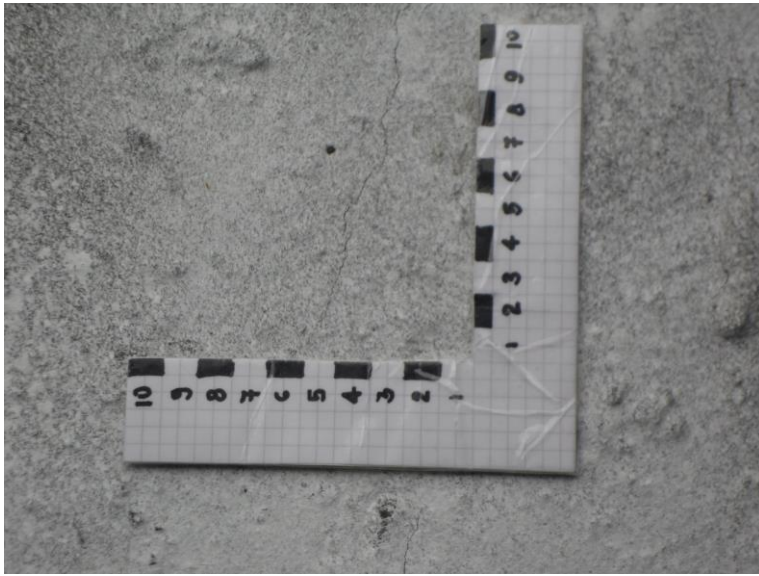


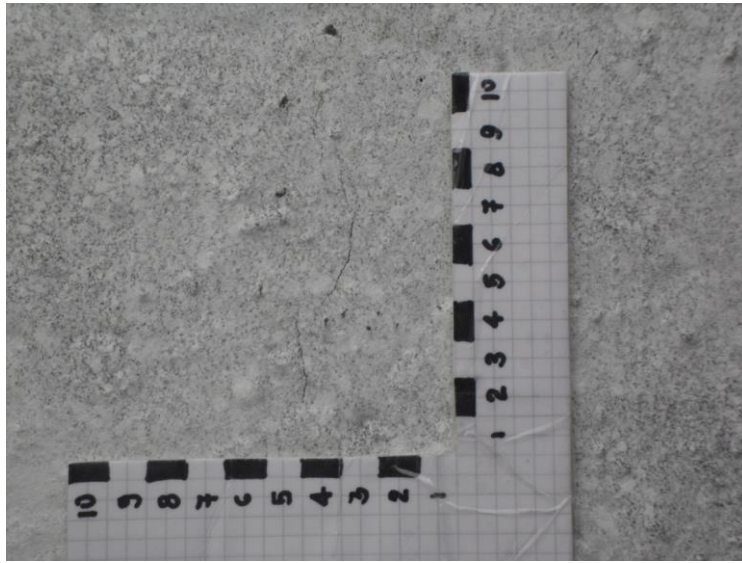




CC-CC-DS4H-2
Fecha: 26/05/2012
Hora: 11:30am







CC-CC-DS4H-2
Fecha: 26/05/2012
Hora: 5:50 PM



CC-CC-DS4H-2
Fecha: 27/05/2012
Hora: 8:50 am







