

Uso de material cerámico como material para curado interno en mezclas de concreto



Eder Samir Aldana Barcinilla

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Maestría en Ingeniería Civil

Bogotá, Colombia

2014

Uso de material cerámico como material para curado interno en mezclas de concreto

Eder Samir Aldana Barcinilla

Ingeniero Civil

Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras

Director (a):

Ms.C., Nancy Torres Castellanos

Línea de Investigación:

Tecnología del Concreto

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Maestría en Ingeniería Civil

Bogotá, Colombia

2014

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado **“USO DE MATERIAL CERÁMICO COMO MATERIAL PARA CURADO INTERNO EN MEZCLAS DE CONCRETO”**, presentado por Eder Samir Aldana Barcinilla, en cumplimiento del requisito parcial para optar al título de Maestría en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Estructural, fue aprobado por el director del proyecto dirigido y el jurado correspondiente.

Ing. Nancy Torres Castellanos.

Directora de trabajo de grado.

Ing. Ricardo Matallana R.

Jurado.

Ing. Jose Gabriel Gómez.

Jurado.

A Dios, por ser el motor principal para conseguir todas mis metas, y a mis padres Mario y María, por ser el apoyo incondicional en todos mis proyectos.

Agradecimientos

- A mi director de tesis, por su apoyo y sus conocimientos, y por la colaboración con el personal del laboratorio durante la ejecución del trabajo de grado.
- A todos los docentes de la maestría en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería, por transmitir su conocimiento a los profesionales que venimos con ansias de aprender y seguir ejerciendo con honor esta hermosa profesión.
- A todas aquellas personas que de una u otra manera han colaborado para que este trabajo sea posible.

Resumen

El presente trabajo de grado tuvo como finalidad evaluar el comportamiento de un concreto al cual se le hizo reemplazo, en ciertos porcentajes, del agregado grueso por material cerámico para obtener curado interno; dicho comportamiento se evaluó mediante la valoración de algunas de las propiedades mecánicas y de durabilidad de las mezclas hechas con este material. El material cerámico usado en las diferentes mezclas de los ensayos fue producido a partir de la trituración de ladrillo tolete estructural, comúnmente usado en la construcción de viviendas en la ciudad de Bogotá. Se evaluó una mezcla de concreto con tres porcentajes diferentes de reemplazo de agregado grueso por material cerámico (0%, 20% y 40%) y dos valores de relación agua/cemento (0.30 y 0.50). Dentro de las propiedades analizadas están la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, absorción, permeabilidad, contracción, permeabilidad al ion cloruro y sortividad. Los resultados de los ensayos mostraron claramente que en la media que se aumenta el porcentaje de reemplazo de material cerámico, para muestras con relación a/c de 0.30, los resultados de la resistencia a la compresión son más altos que para los concretos de la muestra patrón, mientras que para la relación a/c de 0.50, se obtuvieron resistencias a la compresión inferiores a las de un concreto con el 100% del agregado natural. Los módulos de elasticidad para todos los concretos con reemplazo de material cerámico siempre fueron menores a los concretos con el 100% del agregado grueso. Paralelamente, las propiedades de durabilidad, medidas a través de ensayos de permeabilidad, absorción, sortividad y permeabilidad al ion cloruro, se ven afectadas con el aumento del porcentaje de reemplazo de material cerámico y la relación agua/cemento. El curado interno resulta benéfico solamente para aumentar la resistencia a la compresión en concretos de baja relación a/c y para reducir la contracción por secado.

Palabras clave: material cerámico, resistencia a la compresión, propiedades mecánicas, durabilidad, permeabilidad al ion cloruro, curado interno.

Abstract

This study aimed to assess the performance of concrete to variations in the percentages of coarse aggregate and ceramic material for internal curing by assessing the mechanical properties and durability of the mixtures made with this material. The ceramic material used in the different mixture trials was produced from crushing structural bricks, commonly used in residential construction in the city of Bogota Colombia. Concrete mixtures were evaluated with three different percentages of ceramic material (0%, 20%, and 40%) used in substitution of coarse aggregate and two values of water / cement ratio (0.30 and 0.50). The resistance to compression, elasticity modulus, absorption, permeability, shrinkage, chloride ion permeability and sorptivity were evaluated. Test results showed that as the replacement percentage of ceramic material, for samples with water / cement ratio of 0.30, increases the results of the resistance to compression are higher than the results for the control sample; while for the water / cement ratio of 0.50 resistances lower than those of a concrete with 100% natural aggregate compression were obtained. The modulus of elasticity for all concrete with ceramic replacement were always lower than those obtained for the concrete made with 100% coarse aggregate. Similarly, the properties of durability, measured by permeability tests, absorption, sorptivity and chloride ion permeability, are affected by the increased percentage of ceramic replacement and water / cement ratio. Internal curing is beneficial only to increase the resistance to compression in concrete of low water / cement to reduce drying shrinkage.

Keywords: ceramic material, compressive strength, mechanical properties, durability, chloride ion permeability, internal curing.

Contenido

	Pág.
1. Introducción	12
2. Estado del arte	15
2.1. Curado e hidratación del concreto	15
2.2. Materiales cerámicos	17
2.3. Generalidades de los concretos con material cerámico	19
2.4. Curado interno en concretos con material cerámico	20
2.5. El curado interno en la práctica actual: Estudios de laboratorio	24
2.6. El curado interno en producción: operaciones de concreto premezclado	28
3. Objetivos	29
3.1. Objetivo general	29
3.2. Objetivos específicos	29
4. Programa experimental	30
4.1. Caracterización de los materiales de las mezclas	32
4.1.1. Agregado grueso natural	32
4.1.2. Agregado fino	32
4.1.3. Material cerámico	33
4.1.4. Cemento (Portland):	33
4.2. Diseño de mezclas para ensayos	33
4.3. Elaboración de mezclas para ensayos	35
4.4. Ensayos sobre especímenes elaborados con las mezclas de concreto	38
4.4.1. Ensayo de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad	38
4.4.2. Ensayo de permeabilidad al ion cloruro	39
4.4.3. Ensayo de Sortividad	40

4.4.4. Ensayo de contracción	42
4.4.5. Ensayo de absorción	42
4.4.6. Ensayo de absorción inicial superficial del concreto – ISAT	43
5. Resultados y análisis	44
5.1. Asentamiento	44
5.2. Resistencia a la compresión.....	45
5.3. Módulo de elasticidad del concreto	49
5.4. Ensayo de permeabilidad al ion cloruro	52
5.5. Ensayo de Sortividad	56
5.6. Ensayo de Contracción	58
5.7. Ensayo de Absorción	60
5.7.1. Absorción después de la inmersión.....	60
5.7.2. Densidad aparente seca	63
5.7.3. Porosidad.....	65
5.8. Ensayo de absorción inicial superficial del concreto – ISAT.....	67
6. Conclusiones y recomendaciones	70
6.1. Conclusiones.....	70
6.2. Recomendaciones	72
7. Bibliografía	74

1. Introducción

El curado del concreto juega un papel primordial en las propiedades de los elementos que se construyen con este material. Del curado depende que exista la suficiente cantidad de agua para que el proceso de hidratación del cemento se desarrolle eficiente e ininterrumpidamente.

El agua de la mezcla se puede perder por varios factores, siendo el de mayor impacto la tasa de evaporación excesiva durante las primeras horas después de haberse fundido el concreto; si esta tasa de evaporación no se controla, el resultado se manifiesta en una pasta que incluye partículas de cemento no hidratados¹ (Ver Figura 1); dando como resultado menor resistencia, entre otras, así como un cambio de volumen que promueve la formación de fisuras de diferente magnitud. Estas fisuras se convierten en verdaderos canales de libre acceso hacia el interior del concreto, en donde las diferentes sustancias agresivas pueden causar un daño más efectivo, ya sea al mismo concreto o al acero de refuerzo, y con ello impactar de manera drástica la durabilidad de los elementos de concreto.

¹ FLORES, J.J. VEGA, Erving. Candelas, Q.M.G. Una estrategia muy eficaz. Centro de Tecnología y Concreto de CEMEX – CTCC.



Figura 1. Partículas de cemento no hidratadas - Centro de Tecnología y Concreto de CEMEX – CTCC².

Actualmente existen varias formas de llevar a cabo el curado del concreto, siendo el curado superficial el que se utiliza más frecuentemente. Entre los procedimientos que se utilizan para curado superficial encuentran el curado húmedo, membranas con mantas de aislamiento o compuestos líquidos formadores de membrana³.

Entre las muchas formas de curar el concreto existe una estrategia para realizar el curado, es el curado interno, el cual consiste en incorporar agua al concreto como un aditivo (que no está disponible en un comienzo, por lo tanto no modifica la relación a/c), que es suministrada en la medida que el concreto lo necesita, contempla el uso de materiales como agregados ligeros, fibras, polímeros, entre otros⁴. En el caso de la presente investigación se usará material cerámico como elemento que retenga agua y la libere paulatinamente.

Estudios recientes⁵ han mostrado cómo el viento puede causar más afectación en lo que se refiere a la contracción plástica que los factores climáticos como la humedad relativa y la temperatura ambiente. La contracción plástica es un problema del concreto cuando aún no ha fraguado, es decir, cuando se encuentra aún en estado plástico, lo que indica que los cuidados para evitar la

² Información Técnica preparada por la National Ready Mixed Concrete Association. El Concreto en la Práctica - ¿Qué, por qué y cómo se cura?. CIP 11 – Curado del concreto en el lugar.

³ IDEM.

⁴ BENTZ, Dale P. WEISS, W. Jason. Internal curing: A 2010 State of the Art Review. National Institute of Standards and Technology. 2011.

⁵ SIKA. Sika Informaciones técnicas – Curado del concreto. ISSN-0122-0594.

fisuración de un concreto deben empezar durante la colocación del concreto, especialmente en climas desfavorables.

Buena parte de las estructuras que se construyen en el país, como losas de pavimentos, tableros de puentes y losas de muelles, se hacen en su gran mayoría con una o varias condiciones de baja humedad relativa, altas temperaturas y altas velocidades de viento, esto sumado a que por su alta superficie expuesta pierdan muy rápidamente la humedad superficial y se agrieten a falta de un oportuno, continuo y suficiente tiempo de curado. La Figura 2 muestra un nomograma para calcular la pérdida de agua de un concreto por unidad de área, en función de las variables climáticas más importantes. Cabe mencionar que cuando la pérdida de agua de evaporación del concreto es mayor a $1 \text{ kg/m}^2\text{h}$, resulta crítica la situación.

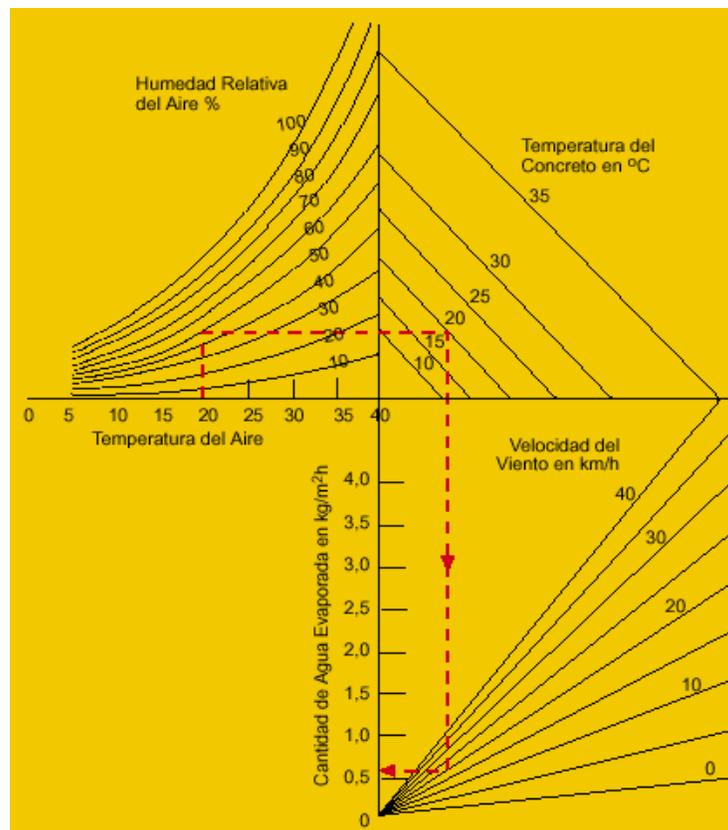


Figura 2. Nomograma de Menzel para el cálculo del agua evaporada en función de la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento.

2. Estado del arte

2.1. Curado e hidratación del concreto

Debido a que los concretos livianos han sido comúnmente inadvertidos para el uso del curado interno, es bueno comenzar con una breve reseña de la historia del concreto ligero. El concreto ligero utilizando agregados naturales de peso ligero se remonta a la época romana, uno de los ejemplos más destacados es el Panteón de Roma (Bremner y Ries, 2009). La cúpula del Panteón fue construido con un concreto ligero con agregados vesiculares naturales, donde la densidad del concreto se redujo como su altura dentro de la cúpula aumentó (Bremner y Ries, 2009).

Los agregados ligeros artificiales deben su desarrollo y aceptación en los EE.UU. a Stephen J. Hayde, quien recibió una patente por un proceso de cocción para producir agregados ligeros de arcilla, pizarra y rocas de pizarra en 1918 (Bremner y Ries, 2009).

Durante la Primera Guerra Mundial, Hayde permitió que el gobierno de Estados Unidos utilizara su patente sin costo alguno en la producción de agregados ligeros para los buques de hormigón (Bremner y Ries, 2009). La producción de barcos de concreto continuó hasta la Segunda Guerra Mundial, con muchos de estos buques de concreto todavía flotando a nuestros días. Si bien estos buques y varias estructuras de puentes que proporcionaron cincuenta años o más de servicio son un testimonio de la alta durabilidad del concreto ligero (Holm, Bremner, y Newman, 1984), cualquier contribución de curado interno a esta actuación se mantuvo sin reclamar hasta muchos años después.

La primera publicación relacionada con que era probable el curado interno con agregados ligeros fue obra Paul Klieger en 1957, quien escribió "Los agregados livianos absorben considerable agua durante la mezcla que aparentemente puede transferir a la pasta durante la hidratación (Klieger, 1957)". El documento buscaba un curado adecuado y evitar la contracción del concreto de alta resistencia. El reconocido tecnólogo de concretos, Robert Philleo escribió estas palabras proféticas en 1991, "la naturaleza básica del cemento portland debe ser cambiada para que la auto-deseccación se reduzca, o una manera hay que encontrar para conseguir agua de curado en el interior de los miembros estructurales de alta resistencia. Este último es posible a través del uso de agregados ligeros saturados.

El concepto de Philleo (1991) se ilustra esquemáticamente en la Figura 3, donde el agua de curado externo sólo es capaz de penetrar varios mm bajo el nivel del hormigón, mientras que el curado interno permite que el agua sea distribuida de manera más equitativa a través de la sección transversal. A mediados de la década de 1990, una gran variedad de grupos de investigación en Alemania, los Países Bajos, e Israel se habían dedicado a investigar el curado interno mediante el uso de agregados ligeros pre-humedecidos. Unos años después de eso, se investigaron otros materiales que podrían funcionar como reservorios de agua internos, tales como polímeros superabsoberventes (SAP) (Jensen y Hansen, 2001) (Jensen y Hansen, 2002).

Al igual que con muchas de las nuevas tecnologías, el camino de la investigación a la práctica ha sido un proceso lento, pero a partir de 2010 cientos de miles de metros cúbicos de hormigón que contiene previamente agregados de peso ligero prehumedecidos para el curado interno han sido colocados con éxito a lo largo de los EE.UU. (Villareal, 2008)⁶.

⁶ BENTZ, Dale P. WEISS, W. Jason. Internal curing: A 2010 State of the Art Review. National Institute of Standards and Technology. 2011.

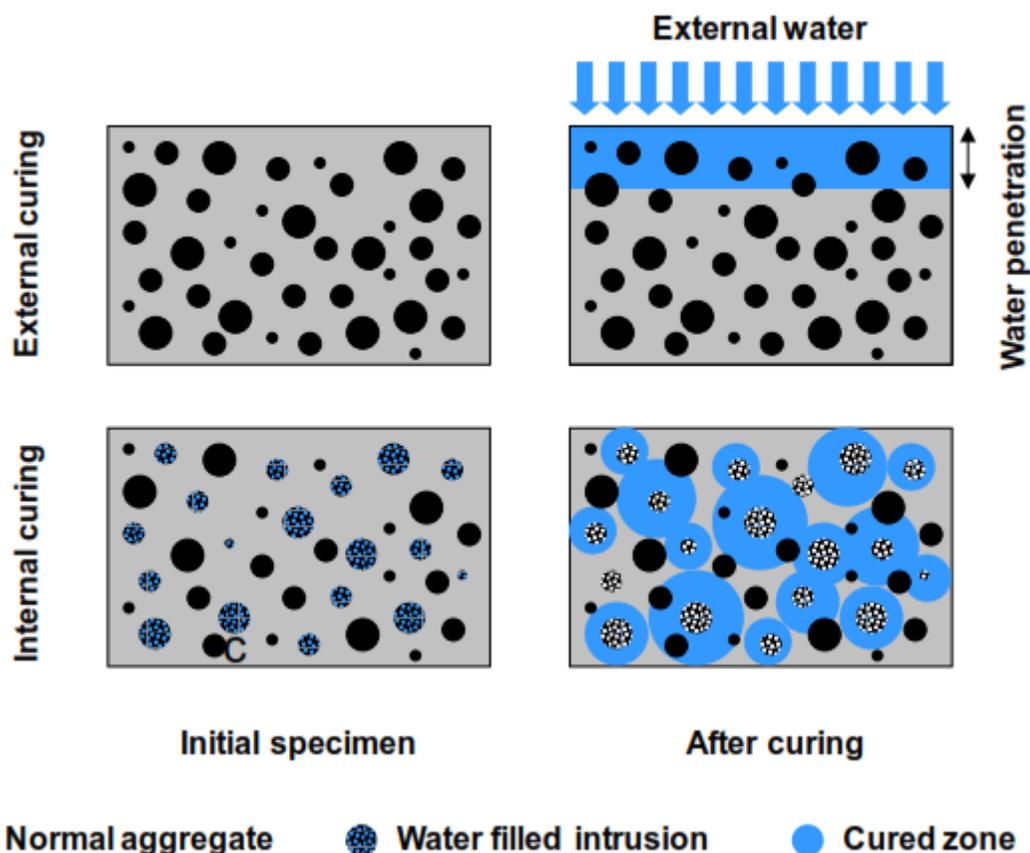


Figura 3. Concepto de curado interno - Robert Philleo, 1991.

Para que los agregados de peso ligero funcionan con éxito como un depósito de curado interno, los poros que contienen el agua deben ser más grandes que los de la pasta de cemento que los rodea, para que el agua preferentemente pase de los agregados al cemento.

2.2. Materiales cerámicos

Se entiende por material cerámico el producto de diversas materias primas, especialmente arcillas, que se fabrican en forma de polvo o pasta (para poder darles forma de una manera sencilla) y que al someterlo a cocción sufre procesos físico-químicos por los que adquiere consistencia pétrea. Dicho de otro modo más sencillo, son materiales sólidos inorgánicos no metálicos producidos mediante tratamiento térmico. Todos ellos se obtienen al hornear materiales

naturales, como la arcilla o el caolín, junto con una serie de aditivos como colorantes, desengrasantes, entre otros, todo ello mezclado y cocido en un horno sucesivas veces⁷.

Algunas de las propiedades de los materiales cerámicos son las siguientes:

- Comparados con los metales y plásticos, son duros, no combustibles y no oxidables.
- Su gran dureza los hace un material ampliamente utilizado como abrasivo y como puntas cortantes de herramientas.
- Gran resistencia a altas temperaturas, con gran poder de aislamiento térmico y, también, eléctrico.
- Gran resistencia a la corrosión y a los efectos de la erosión que causan los agentes atmosféricos.
- Alta resistencia a casi todos los agentes químicos.
- Una característica fundamental es que pueden fabricarse en formas con dimensiones determinadas.
- Los materiales cerámicos son generalmente frágiles o vidriosos. Casi siempre se fracturan ante esfuerzos de tensión y presentan poca elasticidad.

Dependiendo de la naturaleza y tratamiento de las materias primas y del proceso de cocción, se distinguen dos grandes grupos de materiales cerámicos: las cerámicas gruesas y las cerámicas finas:

- Materiales cerámicos porosos o gruesos: No han sufrido vitrificación, es decir, no se llega a fundir el cuarzo con la arena debido a que la temperatura del horno es baja. Su fractura (al romperse) es terrosa, siendo totalmente permeables a los gases, líquidos y grasas.
- Materiales cerámicos impermeables o finos: Los que se someten a temperaturas suficientemente altas como para vitrificar completamente la arena de cuarzo. Así, se obtienen productos impermeables y más duros.

⁷ LANDIN, Pedro. Materiales cerámicos: propiedades, clasificación y obtención. <http://pelandintecno.blogspot.com/2013/02/materiales-ceramicos-propiedades.html>.

Las partículas de estos materiales son capaces de absorber higroscópicamente hasta el 70% de su peso de agua. Esta característica hace que la arcilla en estado seco presente un aspecto terroso y quebradizo, pero al estar hidratada adquiere la plasticidad necesaria para ser re-moldeada.

En la etapa de endurecimiento (mediante cocción), el material cerámico adquiere características de notable solidez, con una disminución de su masa (de alrededor de 5 a 15%) en proporción a su masa inicial. La pérdida de agua que envuelve a las partículas provoca un acercamiento entre estas y por consiguiente una retracción volumétrica, lo descrito anteriormente hace que se presenten valores de absorción superiores al 10%, con tendencia al aumento para piezas de arcilla de menor calidad o especificación estructural⁸.

2.3. Generalidades de los concretos con material cerámico

El concreto es el material de construcción más usado en el mundo por sus características que lo hacen apropiado y versátil para cualquier tipo de construcción. Sin embargo los costos ambientales que implican su producción, incluidas la explotación de canteras, contaminación por transporte y entrega de concreto e insumos para fabricación de este material, emisión de CO₂ en la producción de cemento, entre otros, han aumentado la conciencia de emplear técnicas de fabricación cada vez más amigables con el medio ambiente y así contribuir al desarrollo sostenible⁹.

Una de las alternativas usadas hoy en día para minimizar los impactos ambientales negativos generados por la consecución de los materiales es el uso de material cerámico en las mezclas de concreto, teniendo en cuenta que el agregado grueso ocupa un alto porcentaje del volumen en el concreto.

⁸ FUERTES, Antonio. Producción de concreto a partir de desechos de construcción de mampostería de arcilla. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2012.

⁹ LAVERDE, Jorge Alejandro. Propiedades mecánicas, eléctricas y de durabilidad de concretos con agregados reciclados. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2013.

El material cerámico usado para la elaboración de mezclas de concreto se obtiene de la trituración de ladrillos de arcilla usados en la construcción de viviendas y obras generales en mampostería en todas las ciudades del país. De ahí que este material cerámico debe ser estudiado al detalle para la elaboración de cada mezcla puesto que puede tener propiedades físicas, químicas y mecánicas particulares, dependiendo de la ladrillera donde haya sido fabricado.

El material cerámico debe ser triturado con especificaciones similares a las que se tienen en cuenta para los agregados naturales, para así garantizar su calidad. En su proceso de acopio se debe garantizar que no haya contaminación con elementos como plástico y yeso, los cuales afectarían considerablemente las mezclas de concreto.

2.4. Curado interno en concretos con material cerámico

Mientras que el curado interno ha sido inadvertidamente incluido en muchos concretos ligeros producidos dentro de los últimos 100 años, es sólo en la primera década del siglo XXI que esta tecnología ha sido usada intencionalmente en mezclas de concreto en la fase de dosificación, utilizando una variedad de materiales que incluyen agregados de peso ligero pre-humedecidos, partículas súper absorbentes y fibras de madera pre-humedecidas¹⁰.

Hoy en día se usan mezclas curadas internamente en distintas obras a nivel mundial, arrojando resultados satisfactorios y concretos con iguales resistencias a las de un concreto curado normalmente, se han evidenciado menores fisuras, y así, mejores comportamientos de la mezcla en puentes y otras estructuras de concreto masivo¹¹.

¹⁰ BENTZ, Dale P. WEISS, W. Jason. Internal curing: A 2010 State of the Art Review. National Institute of Standards and Technology. 2011.

¹¹ BENTZ, Dale P. WEISS, W. Jason. Internal curing: A 2010 State of the Art Review. National Institute of Standards and Technology. 2011.

Recientes investigaciones¹² muestran algunas de las conclusiones a que se ha llegado al estudiar el comportamiento de mezclas con curado interno, utilizando ciertas variables como reemplazo del agregado grueso por agregados de peso ligero, en porcentajes que varían entre 0.0% y 33.0%, condiciones de curado como sellado y no sellado, y relaciones a/c entre 0.30 y 0.55:

- La permeabilidad al ion cloruro de concretos con curado interno es inferior al concreto convencional (aproximadamente 35% a 91 días).
- El contenido de iones cloruro es mayor en la superficie, pero su valor disminuye a bajas profundidades, especialmente con las edades.
- Las mezclas con agregado liviano saturado o polímeros súper absorbentes presentan considerablemente menos contracción por secado que las mezclas sin curado interno. En algunos casos la contracción ha sido completamente eliminada.

Otros estudios¹³ han demostrado que la inclusión de materiales como los residuos de tejas hechas por la quema de arcilla, incrementan considerablemente la resistencia a la compresión de mezclas de concreto cuando se reemplaza su agregado grueso en proporciones alrededor del 20% y 40% (Seiki, et al, 2010). En la Figura 4 y Figura 5 se presentan las gráficas de la resistencia a la compresión para las mezclas de concreto hechas con porcentajes de adición de ceniza volante y material cerámico poroso, en las que se observa que las resistencias a la compresión para mezclas con material cerámico poroso, en un porcentaje del 20% y relación a/c de 0.50, son mayores que la mezcla patrón y la mezcla con adiciones de ceniza volante tanto a los 28 días como a los 90. Mientras que la mezcla con reemplazo del 40% tiene una resistencia a la compresión mayor sólo a los 90 días.

¹²HENKENSIEFKEN, Ryan. Internal curing in cementitious systems made using saturated lightweight aggregate. Purdue University. 2008.

¹³ SHOHEI Seiki, TATSUYA Nukushina, SEDDIK Meddah, RYOICHI Sato. Effectiveness of Porous Ceramic Waste as an Internal Curing Material for Fly Ash Concrete. Coventry University. 2010.

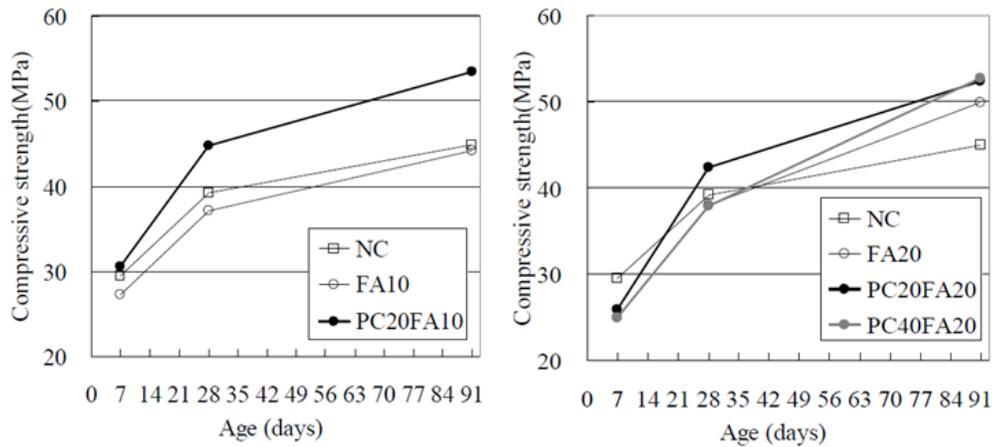


Figura 4. Efectos de la sustitución del agregado grueso por material cerámico en la resistencia a la compresión del concreto. $a/c = 0.50$ ¹⁴.

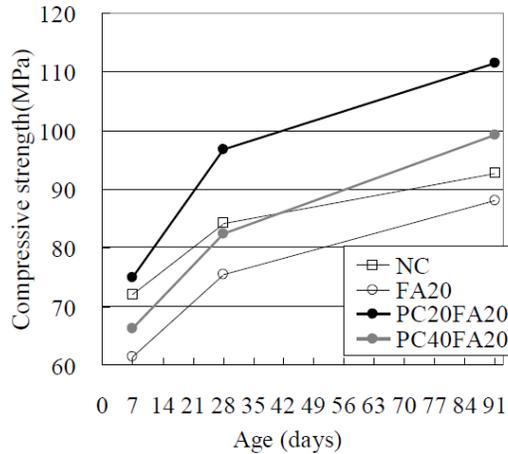


Figura 5. Efectos de la sustitución del agregado grueso por material cerámico en la resistencia a la compresión del concreto. $a/c = 0.30$ ¹⁵.

En la actualidad se están usando cada vez con mayor frecuencia los llamados concretos de alta resistencia, los cuales son más susceptibles de fisurarse internamente debido a las bajas relaciones a/c que se manejan, es ahí donde el curado interno con materiales cerámicos o materiales superabsorbentes juega un papel muy importante en el desarrollo de estos concretos.

¹⁴ SHOHEI Seiki, TATSUYA Nukushina, SEDDIK Meddah, RYOICHI Sato. Effectiveness of Porous Ceramic Waste as an Internal Curing Material for Fly Ash Concrete. Coventry University. 2010.

¹⁵ IDEM.

En muchos casos el desempeño de los concretos de alta resistencia ha mejorado considerablemente con la implementación del curado interno, se han obtenido resultado como reducir al mínimo la contracción por secado y mejoras en la resistencia a la compresión a los 28 días¹⁶.

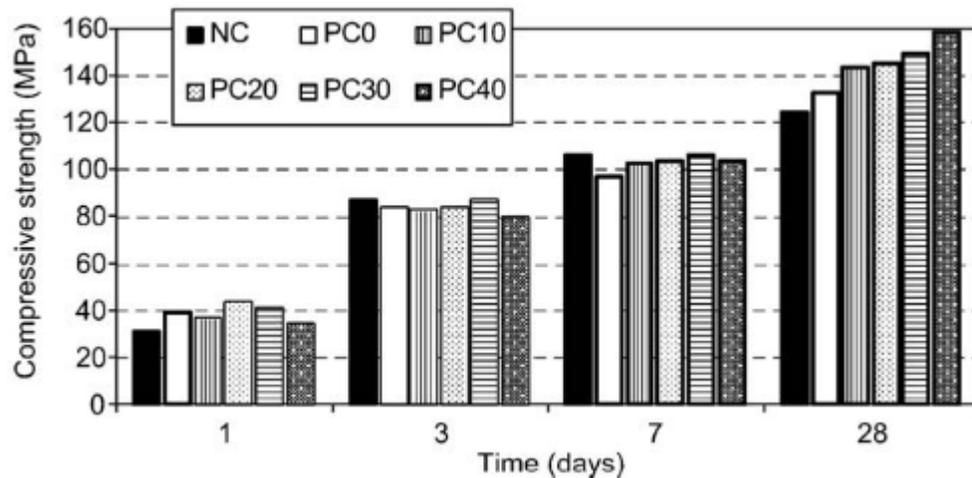


Figura 6. Efectos de la adición de agregados cerámicos porosos en el desarrollo de la resistencia a la compresión de concretos de alta resistencia¹⁷.

En la Figura 6 se puede apreciar el incremento que se obtuvo para la resistencia a la compresión de un concreto de alto rendimiento a 28 días, con una relación a/c de 0.15, comparada con una muestra patrón sin material cerámico. En dicho estudio se hizo reemplazo de material cerámico poroso hasta un porcentaje de 40% (PC40), el cual obtuvo una resistencia un 30% superior a la mezcla patrón.

¹⁶ SUZUKI, Masashiro., SEDDIK, Mohammed. Use of porous ceramic waste aggregates for internal curing of high-performance concrete. Hiroshima University. 2009.

¹⁷ IDEM.

2.5. El curado interno en la práctica actual: Estudios de laboratorio

• Resistencia a la compresión

Varias investigaciones han demostrado que la calidad, resistencia y especificaciones del material cerámico tiene influencia significativa en las características y propiedades del concreto con dicho material. De igual manera, la cantidad de material cerámico usado en los diseños, así como sus propiedades, inciden en el comportamiento del concreto con material cerámico.

En la Figura 7 se presentan las resistencias a la compresión para concretos de alto rendimiento, con valores de relación a/c de 0.21, 0.25 y 0.33 y reemplazando un 30% del agregado grueso por material cerámico poroso. En la gráfica, las muestras 21, 25 y 33 son las muestras patrón, mientras que las muestras 21L, 25L y 33L son las que tienen curado interno a través del material cerámico.

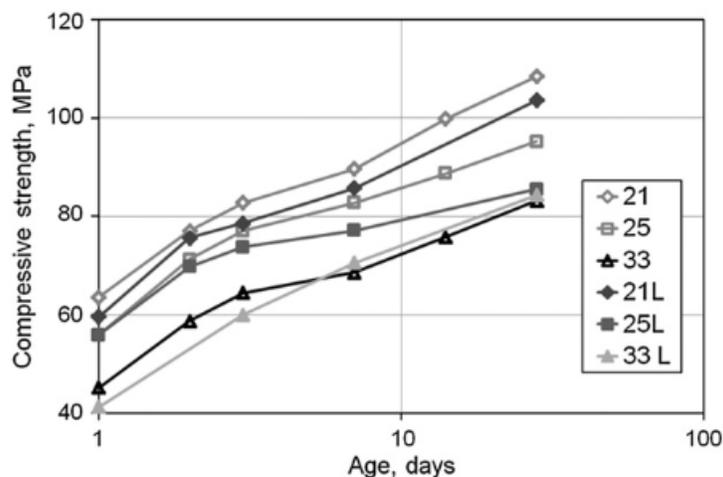


Figura 7. Resistencia a la compresión para concretos con curado interno en función de su edad¹⁸.

Se puede observar que la resistencia a la compresión se redujo entre un 8-11% en hormigones curados internamente. Esta resistencia a la compresión fue casi la misma en las muestras con

¹⁸ ZHUTOVSKY, Semion. KOVLER, Konstantin. Effect of internal curing on durability-related properties of high performance concrete. Israel Institute of Technology. 2012.

relación a/c de 0,33, pero se redujo en un 10% y un 4% en las mezclas con relación a/c de 0,25 y 0,21 respectivamente.

Otras investigaciones han mostrado aumentos significativos en la resistencia a la compresión de las mezclas con curado interno, como es el caso de la investigación hecha en la Universidad de Hiroshima¹⁹, donde se obtuvieron resistencias alrededor de un 20% superiores, comparadas con una muestra patrón (Ver Figura 6).

Los efectos de curado interno en la resistencia a la compresión y tracción dependen de las proporciones específicas de la mezcla, las condiciones de curado y la edad de los ensayos. Mientras que las mezclas con el curado interno podrían aumentar la resistencia debido a un aumento en el grado de hidratación del cemento, al contrario, una disminución se ha podido observar como consecuencia de tener materiales mecánicamente más débiles que el agregado normal que se está reemplazando. En la práctica, tanto aumentos y disminuciones en la resistencia se han observado debido a la inclusión de estos materiales cerámicos.

- **Módulo de elasticidad**

Los módulos de elasticidad de los concretos con material cerámico siempre han arrojado valores inferiores a las muestras patrón con las que se ha comparado en los estudios realizados anteriormente (Suzuki, 2009 – Zhutovsky, 2011), ya que los materiales cerámicos son elementos que tienen grandes deformaciones ante la aplicación de las cargas.

Para Suzuki, el módulo de elasticidad se reduce por la introducción de agregados porosos de peso ligero. La mayor reducción a la edad de 28 días fue del 6,6% para una relación a/c de 0,21. La reducción del módulo de elasticidad para relaciones a/c de 0,25 y 0,33 fue 18,3% y 19,2%, respectivamente.

¹⁹ SUZUKI, Masashiro., SEDDIK, Mohammed. Use of porous ceramic waste aggregates for internal curing of high-performance concrete. Hiroshima University. 2009.

Una reducción en el módulo elástico también puede estar relacionada con la reducción en el potencial de agrietamiento (Weiss, Yang, y Shah, 1999). La reducción del módulo elástico tiene una influencia beneficiosa en la reducción de la tensión residual debido a la restricción como una función del tiempo²⁰. Se han llevado a cabo una serie de simulaciones para comprender mejor la influencia de la reducción de la rigidez en el agrietamiento a edad temprana²¹. Los resultados de ese estudio se ilustran en la Figura 8, en la cual se aprecia la reducción del módulo elástico en aproximadamente un 10% a 20%, debido a la inclusión de agregados de peso ligero.

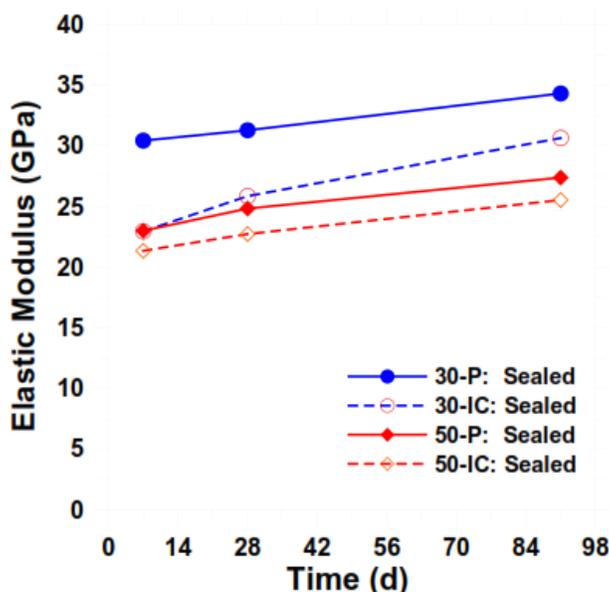


Figura 8. Influencia de curado interno en el módulo de elasticidad de las muestras selladas.

- **Penetración a cloruros**

Como es evidente a partir de la Figura 9, para el hormigón con relación a/c de 0.33 y 0.25 la penetración del ion cloruro se reduce cuando es aplicado el curado interno, mientras que aumenta ligeramente para concreto con relación a/c de 0.21.

²⁰ BENTZ, Dale P. WEISS, W. Jason. Internal curing: A 2010 State of the Art Review. National Institute of Standards and Technology. 2011.

²¹ Raoufi, K., Schlitter, J., Bentz, D., & Weiss, J. (submitted). Parametric Assessment of Stress Development and Cracking in Internally-cured Restrained Mortars Experiencing Autogenous Deformations and Thermal Loading. *Cement and Concrete Composites*.

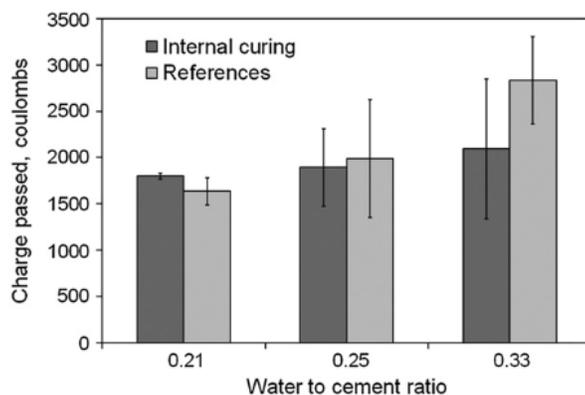


Figura 9. Resistencia a la penetración de cloruros (Zhutovsky, 2011).

Otras conclusiones generales a las que se ha llegado en investigaciones relacionadas con curado interno y material cerámico son las siguientes:

- Los resultados experimentales han demostrado que el uso de agregados de peso ligero previamente saturados mitiga eficazmente la retracción autógena del concreto (Akçay and Ali Tasdemir, 2010).
- Para reemplazos de material cerámico en porcentajes de 9% a 14% se observa una pequeña reducción de la densidad de hormigón y no tiene ningún efecto apreciable en la resistencia a compresión del hormigón a los 7 o 28 días (Browning, 2011).
- Cuando se usa como un agente de curado interno, los agregados de peso ligero disminuyen sustancialmente la retracción del hormigón por períodos hasta los 365 días (Browning, 2011).
- La cantidad de arena previamente saturada utilizada en las muestras de hormigón estudiadas (hasta 178 kg/m^3) no afectó negativamente ni la resistencia ni el módulo elástico del concreto a los 7 días. Esto fue logrado mediante la reducción del agua de mezcla por la cantidad de agua de curado interno contenida en los agregados de peso ligero (hasta 27 kg/m^3) (Cusson and Hoogeveen, 2008).
- Se ha demostrado que los agregados con porosidades de aproximadamente 50% en volumen, un tamaño de unos pocos milímetros, y un contenido menor de 50 kg/m^3 podría proporcionar una reducción altísima de la retracción autógena en hormigones con relación a/c tan bajas como 0,25, con sólo un pequeño efecto sobre la resistencia (Kovler et al, 2004).

2.6. El curado interno en producción: operaciones de concreto premezclado

Los procedimientos para la aplicación de curado interno en el concreto son esencialmente los mismos que se han empleado para la producción de concretos livianos durante más de 50 años.

Según Villarreal (2008)²², “los agregados deben girarse y remezclarse para obtener un contenido de humedad homogéneo justo antes del comienzo del ciclo de producción”. También sugiere que se debe implementar un sistema para reciclar el exceso de escorrentía y devolver el agua al sistema de rociadores para humedecer los agregados de peso ligero. Las pocas pulgadas de la parte inferior del agregado de estas pilas puede tener un contenido de humedad sustancialmente diferente del agregado en el resto de la pila y por lo tanto puede ser poco práctico utilizar estas porciones del fondo en operaciones de mezcla estándar.

Como con cualquier otro agregado que se incluya en una mezcla de concreto, el contenido de humedad y la capacidad de absorción del agregado de peso ligero debe ser conocida antes de la dosificación final de la mezcla. Estas cantidades son de importancia crítica para la dosificación de la mezcla para el curado interno. El control de calidad es esencial para proporcionar un concreto de alta calidad con curado interno. Es sumamente importante mantener ciertas condiciones de humedad adecuadas, puesto que si esto no se logra, probablemente pueden ocurrir problemas con la mezcla como peso unitario variable, la pérdida de asentamiento, capacidad de bombeo y segregación.

²² VILLAREAL, V. Internal Curing - Real World Ready Mix Production and Applications: A Practical Approach to Lightweight Modified Concrete. In D. Bentz, & B. Mohr (Ed.), ACI SP-256, Internal Curing of High-Performance Concrete: Laboratory and Field Experiences (pp. 45-56). Farmington Hills: American Concrete Institute. (2008).

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Analizar el comportamiento del concreto con diferentes porcentajes de material cerámico como agregado grueso y evaluar su capacidad para proveer curado interno, mediante la valoración de algunas de sus propiedades mecánicas y de durabilidad.

3.2. Objetivos específicos

- Evaluar el comportamiento de mezclas de concreto para dos diferentes porcentajes de reemplazo de agregado natural por material cerámico y dos valores de relación agua – cemento.
- Determinar la correlación entre las propiedades mecánicas y la durabilidad de concretos dosificados con material cerámico.
- Analizar la eficiencia del material cerámico utilizado para proveer curado interno en las mezclas de concreto.

4. Programa experimental

Inicialmente se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica para plantear el plan de ensayos a seguir en la presente investigación, la cual permitió establecer las variables más importantes dentro del estudio y poder decidir a cerca las propiedades más importantes a analizar.

El procedimiento seguido en el presente estudio inició con la trituración del ladrillo tolete tipo estructural, conseguido a través del laboratorio de la Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito”. En la Figura 10 se muestra la máquina usada para la trituración de las muestras de ladrillo. Dicho material triturado pasó posteriormente a ser tamizado manualmente para obtener un tamaño máximo de agregado de $\frac{3}{4}$ ” (ver Figura 11).

Se realizaron en total seis mezclas de concreto, con las siguientes variables: dos relaciones a/c (0.30 y 0.50) y tres diferentes porcentajes de reemplazo del agregado grueso natural por el material cerámico (0%, 20% y 40%). Se escogieron estas relaciones a/c para observar el comportamiento de un comportamiento de alto desempeño ($a/c = 0.30$) contra un concreto convencional de una relación a/c usada comúnmente en todas las obras del país.

Para este estudio se consideraron dos tipos de exposición: un curado parcial, que mantenía las muestras de concreto sumergidas en agua durante los primeros siete días, para luego llevarlas a la cámara de humedad y temperatura controlada, y una condición de no curado, en la cual se llevaron las muestras directamente a la cámara, una vez se hizo el desencofre.



Figura 10. Máquina trituradora Escuela Colombiana de Ingeniería.



Figura 11. Tamizado manual del ladrillo triturado.

En la Figura 12 se muestra la piscina donde se hizo el curado parcial de las muestras de concreto, para posteriormente llevarlas a la cámara de humedad y temperatura controlada.



Figura 12. Piscina de curado para muestras de concreto.

4.1. Caracterización de los materiales de las mezclas

Se realizaron los respectivos ensayos de caracterización de los materiales a usar en los diseños de mezclas, como se muestra a continuación:

4.1.1. Agregado grueso natural

Peso unitario: Norma ASTM C 29-78

Peso unitario suelto: 1292 kg/m^3 .

Peso unitario compactado: 1492 kg/m^3 .

Densidad y absorción: Norma ASTM C 128-84

Densidad aparente: 2421 kg/m^3 .

Densidad nominal: 2639 kg/m^3 .

Absorción: 3.4%.

Tamaño máximo: 3/4".

4.1.2. Agregado fino

Peso unitario: Norma ASTM C 29-78

Peso unitario suelto: 1499 kg/m^3 .

Peso unitario compactado: 1662 kg/m³.

Densidad y absorción: Norma ASTM C 128-84

Densidad aparente: 2479 kg/m³.

Densidad condición SSS: 2528 kg/m³.

Densidad nominal: 2606 kg/m³.

Absorción: 2.0%.

Material pasa tamiz 200: 4.1%.

4.1.3. Material cerámico

Peso unitario: Norma ASTM C 29-78

Peso unitario suelto: 1043 kg/m³.

Peso unitario compactado: 1216 kg/m³.

Densidad y absorción: Norma ASTM C 128-84

Densidad aparente: 1953 kg/m³.

Densidad condición SSS: 2643 kg/m³.

Absorción: 13.4%.

Tamaño máximo: 3/4".

4.1.4. Cemento (Portland):

Cemex Tipo Estructural en bolsas de 42,5 kg.

4.2. Diseño de mezclas para ensayos

Para el diseño de mezclas de la presente investigación, se usó la metodología del ACI 211.1. La granulometría de los agregados para las diferentes mezclas de concreto fue optimizada siguiendo la metodología propuesta por Fuller y Thompson, que consiste en la combinación de los agregados de tal forma que la granulometría del conjunto se adapte lo más cercanamente posible a la curva ideal con la que se obtenga una trabajabilidad y densidad adecuada. En la Figura 13 se

presenta el método gráfico usado para la optimización de los agregados de las mezclas patrón, donde se obtuvo una combinación de 52% de agregado grueso y 48% de agregado fino.

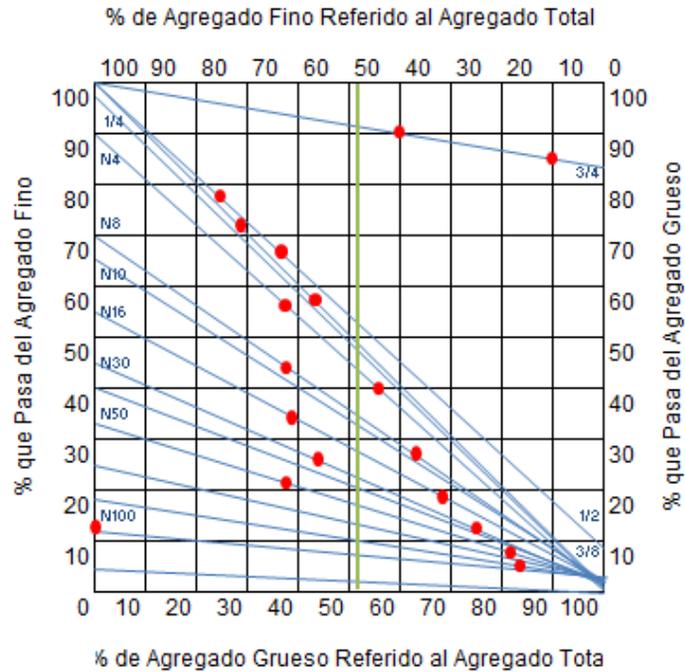


Figura 13. Combinación de agregados para mezclas, según metodología de Fuller y Thompson.

Como dato de partida para el diseño, se estableció un asentamiento de 0.10m para todas las mezclas y dos relaciones agua cemento (0.30 y 0.50). Los diseños no se hicieron para una resistencia especificada, $f'c$, se procedió a realizar una muestra patrón con el 100% del agregado grueso, para ambas relaciones de agua/cemento, para que fuera la mezcla con la cual comparar.

Se elaboraron seis mezclas diferentes de concreto, de las cuales se presenta su nomenclatura en la siguiente tabla:

Tabla 1. Nomenclatura de las mezclas usadas en el presente estudio.

Diseño #	Mezcla	% de Material Cerámico	Relación a/c
1	MP-0.30	0%	0,30
2	MP-0.50	0%	0,50
3	MC20-0.30	20%	0,30
4	MC20-0.50	20%	0,50
5	MC40-0.30	40%	0,30
6	MC40-0.50	40%	0,50

En la Tabla 2 se pueden observar las cantidades de material obtenidas para cada diseño de mezcla. Para todas las mezclas se usó el aditivo reductor de agua EUCON-37 de Toxement, para darle manejabilidad, la proporción en que se usó el plastificante es de 94 g por cada 100 kg de cemento.

Tabla 2. Proporciones de las mezclas usadas en la investigación.

Ingrediente	DIS. 1 - MP-0.30		DIS. 2 - MP-0.50		DIS. 3 - MC20-0.30		DIS. 4 - MC20-0.50		DIS. 5 - MC40-0.30		DIS. 6 - MC40-0.50	
	W_{Seco} kg/m^3	$Vol. Abs.$ l/m^3										
Cemento	666.7	216.5	400.0	129.9	666.7	216.5	400.0	129.9	666.7	216.5	400.0	129.9
Agua	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0
Ag. Natural	737.1	294.5	850.4	339.7	608.0	242.9	701.4	280.2	467.6	186.8	539.4	215.5
Ag. Cerámico	0.0	0.0	0.0	0.0	152.0	68.6	175.3	79.2	311.7	140.7	359.6	162.4
Ag. Fino	680.4	269.1	785.0	310.4	680.4	269.1	785.0	310.4	680.4	269.1	785.0	310.4
	2284.2	980.0	2235.3	980.0	2307.1	997.0	2261.7	999.7	2326.4	1013.1	2284.0	1018.1

4.3. Elaboración de mezclas para ensayos

Una vez realizados los diseños de mezclas, se procedió a conformar las probetas necesarias para efectuar los ensayos de laboratorio. Se realizaron en total 144 cilindros de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura para los ensayos de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad; para los ensayos de Sortividad, absorción y permeabilidad a cloruros, se realizaron 36 muestras por cada mezcla, con dimensiones de 100 mm de diámetro por 50 mm de altura, para un total de 216 muestras. El ensayo de permeabilidad superficial en las muestras de concreto, ISAT, se hizo

en 36 cilindros de 200 mm de diámetro por 100 mm de altura. Por último, para los ensayos de contracción, se hicieron seis viguetas por cada muestra, con dimensiones de 50 mm x 50 mm de sección transversal, por 250mm de longitud.

Es importante aclarar que de cada cilindro de concreto se extraían 3 rodajas, de las cuales la superior se usó para el ensayo de permeabilidad al ion cloruro, la rodaja intermedia para el ensayo de sortividad y la rodaja de la parte inferior del cilindro para los ensayos de absorción.

Las siguientes figuras muestran las probetas obtenidas para los ensayos mencionados en el párrafo anterior:



Figura 14. Probetas obtenidas para ensayos de resistencia a la compresión e ISAT.



Figura 15. Probetas obtenidas para ensayos de contracción.

En estado plástico se llevó a cabo el ensayo de asentamiento por cono de Abrams, de acuerdo con la norma NTC-396, con el fin de verificar la manejabilidad del concreto para las diferentes mezclas estudiadas. En la Figura 16 se presenta el instante en que se toma la medida del asentamiento para una de las muestras del estudio.



Figura 16. Ensayo de asentamiento para la mezcla MC40-0.50.

4.4. Ensayos sobre especímenes elaborados con las mezclas de concreto

4.4.1. Ensayo de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad

El ensayo de resistencia a la compresión se realizó de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC-673 y la ASTM C39. Los cilindros para los ensayos fueron de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura para todas las mezclas. Se ensayaron en total tres (3) edades: 3, 28 y 90 días, tres muestras por cada edad y en las dos condiciones de curado. Para el ensayo se utilizó una prensa hidráulica de 200 toneladas (Ver Figura 17).

El ensayo de módulo de elasticidad se realizó según la Norma Técnica Colombiana NTC 4025 y la ASTM-C469. Se hizo sobre cilindros de concreto de dimensiones 100 mm de diámetro por 200 mm de altura, para tres (3) edades de ensayo: 3, 28 y 90 días, se usaron deformímetros de precisión de 10^{-2} mm (Ver Figura 18).



Figura 17. Prensa hidráulica para ensayos de resistencia a la compresión.



Figura 18. Ensayo de módulo de elasticidad.

4.4.2. Ensayo de permeabilidad al ion cloruro

Para la presente investigación se siguió la metodología contemplada en la norma técnica ASTM C1202-12 “Standard test Method for Electrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration”. Este ensayo permite determinar la facilidad que ofrece el concreto al paso de corriente eléctrica con un diferencial de potencial de 60 voltios. La edad de ensayo para cada uno de los especímenes de concreto fue de 28 y 90 días.

Se utilizaron 72 rodajas de concreto de 100 mm de diámetro por 50 mm de altura, cortados de la parte superior del cilindro de concreto para todos los ensayos. Para el acondicionamiento de los especímenes de ensayo, cada rodaja fue sellada en el perímetro con resina epóxica (Sikadur 32), introducida 1 día en agua destilada y luego introducidas en la cámara desecadora por un tiempo de 18 ± 2 horas. Posteriormente se introdujeron en el equipo de ensayo incorporando un tipo de solución compuesta por Cloruro de Sodio (NaCl) al 3%, y una solución de Hidróxido de Sodio (NaOH) de 0.3 M. La duración total del ensayo fue de seis (6) horas, tiempo en el cual se hizo el registro de la información. En la Figura 19 se presenta el montaje, en el cual se ensayaron simultáneamente tres rodajas por cada mezcla.



Figura 19. Montaje de ensayo de permeabilidad al ion cloruro.

4.4.3. Ensayo de Sortividad

El método de ensayo es usado para determinar la tasa de absorción de agua por capilaridad, mediante la medición del incremento en la masa de un espécimen en el tiempo, que resulta de la absorción de agua cuando una de sus caras está en contacto con el agua. Este ensayo se realizó de acuerdo con la Norma Técnica ASTM C 1585-11 “Standard Test Method for measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes”, usando rodajas de dimensiones de 100 mm de diámetro y 50 mm de altura, las cuales fueron tomadas de la sección intermedia de cilindros de 100 x 200 mm. Las probetas se colocaron en un desecador para controlar la humedad relativa. En la Figura 20 se muestra el montaje del ensayo.



Figura 20. Montaje para el ensayo de sortividad.



Figura 21. Desecador usado para controlar la humedad relativa de las muestras.



Figura 22. Distribución de las muestras cortadas por cilindro.

4.4.4. Ensayo de contracción

Este ensayo se hizo de acuerdo con la Norma ASTM C157, determina los cambios longitudinales en las muestras de concreto hechas en el laboratorio y expuestas a condiciones controladas de temperatura y humedad. Se tomaron lecturas durante los primeros siete días después de la fundida, posteriormente se tomaron lecturas semanalmente hasta cumplir los 56 días, y por último se tomó la medida de cada una de las muestras a los 90 días. La Figura 23 muestra el equipo usado para medir la contracción en las muestras de concreto.



Figura 23. Medición de contracción en las muestras de concreto.

4.4.5. Ensayo de absorción

El método de ensayo es usado para determinar la densidad, porcentaje de absorción, y el porcentaje de vacíos en el concreto endurecido. Este ensayo se realizó de acuerdo con la Norma Técnica ASTM C 642-97 “Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete”, usando rodajas de dimensiones de 100 mm de diámetro y 50 mm de altura, las cuales fueron tomadas de la sección inferior de los cilindros de 100 x 200 mm.

4.4.6. Ensayo de absorción inicial superficial del concreto – ISAT

Este ensayo se realizó de acuerdo con la norma BS 1881 – Recomendaciones para la determinación de la absorción superficial inicial del concreto, usada para determinar la absorción superficial inicial de concretos secados al horno y de concretos en sitio. Equivale a determinar la tasa de flujo de agua dentro del concreto por unidad de área, en un intervalo estable desde el comienzo de la prueba y a una cabeza de presión aplicada de manera constante. Se realizó el ensayo sobre un total de 36 muestras de 200 mm de diámetro por 100 mm de altura, equivalente a seis muestras por cada diseño de mezclas. Las probetas usadas en el ensayo a los 28 días, se volvió a secar para proceder a realizar el ensayo a los 90 días. En la Figura 24 se muestra el armado del equipo para el ensayo de ISAT.



Figura 24. Montaje del equipo para el ensayo de ISAT.

5. Resultados y análisis

5.1. Asentamiento

Con este procedimiento se midió el asentamiento del concreto en estado fresco para cada una de las mezclas, permitiendo evaluar la trabajabilidad del concreto en su estado plástico, siguiendo la norma NTC 396²³. Para las seis mezclas del estudio se midió el asentamiento correspondiente, el cual se resume en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Valores de asentamiento para cada mezcla en los diferentes porcentajes de reemplazo

<i>Mezcla</i>	<i>a/c</i>	
	<i>0.30</i>	<i>0.50</i>
MP	2.5 cm	3.8 cm
MC20	5.0 cm	7.5 cm
MC40	10.0 cm	12.5 cm

Los resultados obtenidos para el asentamiento de las mezclas de concreto son contrarios a lo obtenido por Fuertes, 2012, quien encontró que para mayor cantidad de material cerámico en la mezcla, se obtenían menores asentamientos en la mezcla.

Los aumentos que aquí se presentan están directamente ligados al incremento de la relación *a/c* y, así mismo, al incremento en el porcentaje del material cerámico usado para el curado interno del concreto, eso sumado al uso de plastificante en la mezcla, que permite una mejor manejabilidad de la mezcla para ser trabajada.

²³ NTC 396, Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.

5.2. Resistencia a la compresión

En la Figura 25 se muestran los resultados de resistencia a la compresión para las mezclas MP, MC20 Y MC40, con una relación a/c de 0.30, para las dos condiciones de curado de la investigación. Se puede apreciar en el gráfico que a medida que aumenta el porcentaje de material cerámico en la mezcla, aumenta la resistencia a la compresión del concreto, para ambas condiciones de curado, similar a la encontrada en otras investigaciones²⁴, en las que se usó ceniza volante en varios porcentajes de reemplazo.

El hecho de usar un curado parcial en las mezclas influye considerablemente en el aumento de las resistencias a la compresión, se puede observar que, en términos generales, las mezclas con curado parcial obtienen resistencias mayores a las mezclas sin curado, aproximadamente en un 35% a los 90 días.

Los efectos del curado interno se pueden valorar mucho más en las mezclas en condición de no curado, puesto que a medida que aumenta el porcentaje de material cerámico en la mezcla, se obtienen mejores resistencias a la compresión, y la diferencia con la muestra patrón es considerable (24% a los 90 días). Para las mezclas que tuvieron curado parcial, la diferencia entre las probetas con material cerámico y la muestra patrón no es tan representativa a los 90 días. Estos resultados son similares a lo encontrado por Suzuki et al, 2009²⁵.

²⁴ SHOHEI, Seiki. TATSUYA, Nukushina. SEDDIK, Meddah. RYOICHI, Sato. Effectiveness of Porous Ceramic Waste as an Internal Curing Material for Fly Ash Concrete. Coventry University. 2010.

²⁵ SUZUKI, Masashiro., SEDDIK, Mohammed. Use of porous ceramic waste aggregates for internal curing of high-performance concrete. Hiroshima University. 2009.

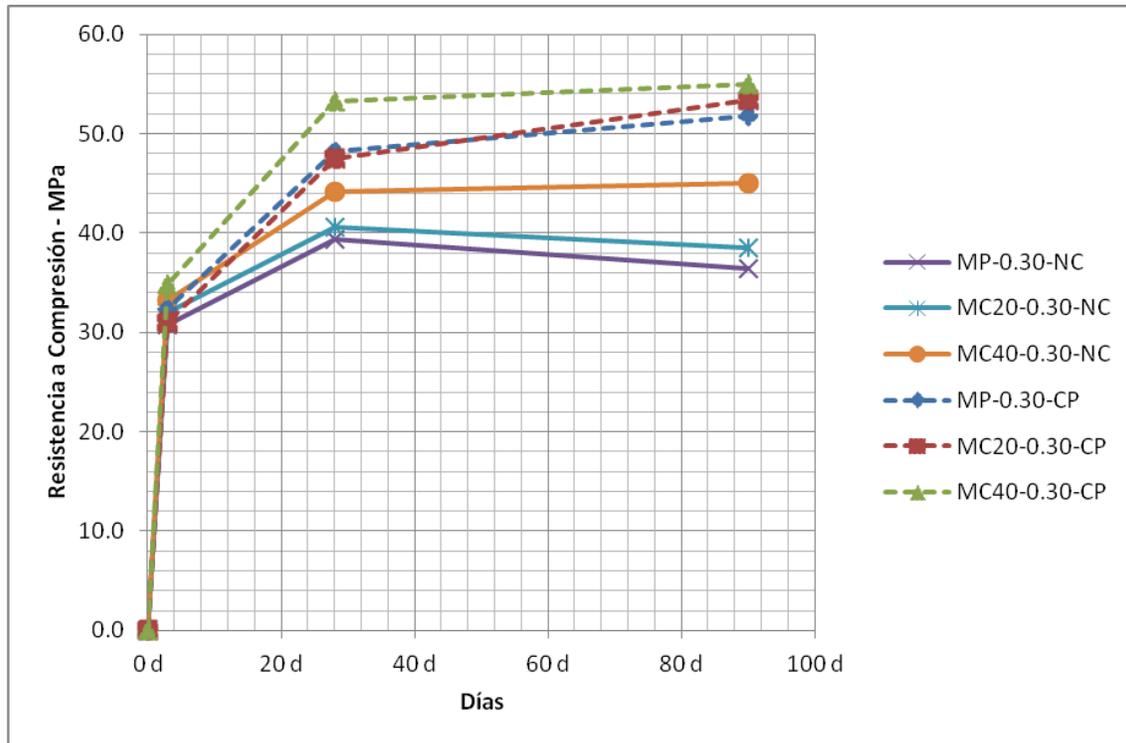


Figura 25. Resistencia a la compresión para ambas condiciones de curado – $a/c = 0.30$.

No se obtienen similares resultados para las mezclas hechas con relación a/c de 0.50. Se observa en la Figura 26 que para porcentajes de reemplazo del 20% y 40% de material cerámico, se obtienen resistencias menores a la muestra patrón, que tiene el 100% del agregado grueso natural. Esta situación es igual para ambas condiciones de curado.

El curado interno no muestra buenos resultados cuando las relaciones a/c son relativamente altas. Los incrementos en las resistencias a la compresión dejan de ser considerables si se comparan con la muestra patrón, para ambas condiciones de curado.

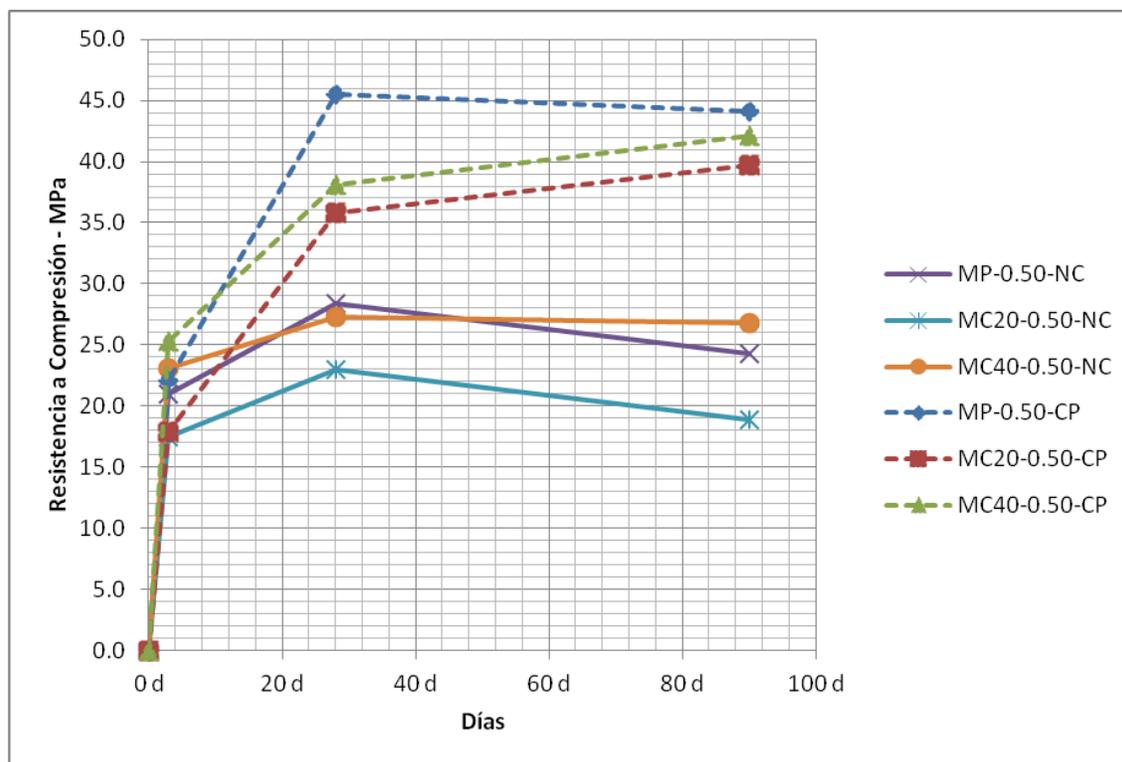


Figura 26. Resistencia a la compresión para ambas condiciones de curado – $a/c = 0.50$.

Cabe mencionar que para las mezclas hechas con relación a/c de 0.50, las resistencias a la compresión a los 28 días siempre son menores a la muestra patrón, para todos los porcentajes de reemplazo; mientras que a los 90 días se observa un comportamiento diferente, obteniéndose resistencias superiores a la patrón para la mezcla con el 40% de porcentaje de reemplazo. Precisamente ese incremento de la resistencia a los 90 días de la muestra con 40% de material cerámico se considera que es producto del curado interno, que muestra un efecto positivo debido a una mejora en la hidratación de las partículas de cemento.

Se puede apreciar en ambas figuras ($a/c = 0.30$ y $a/c = 0.50$) que existe una tendencia a disminuir la resistencia a los 90 días para las muestras que no tuvieron curado, comparadas con la resistencia obtenida a los 28 días. Esto puede ocurrir debido a que las partículas de cemento no fueron debidamente hidratadas y el concreto tiende a perder resistencia en el largo plazo.

De la Figura 25 se pueden deducir los porcentajes de incremento o reducción de resistencia a la compresión para las muestras con material cerámico, comparadas con la muestra patrón, que tiene el 100% del agregado grueso natural, para las mezclas hechas con una relación a/c de 0.30:

Tabla 4. Incremento o reducción de resistencia a la compresión para relación a/c = 0.30.

Tiempo	MC20-NC	MC40-NC	MC20-CP	MC40-CP
3 días	3.78%	8.00%	-4.21%	7.49%
28 días	3.14%	12.03%	-1.44%	10.46%
90 días	5.70%	23.52%	3.16%	6.35%

De la Tabla 4 se puede observar que para mezclas con relaciones a/c bajas (0.30) se obtienen incrementos considerables en la resistencia a la compresión del concreto, lo que se considera como un efecto benéfico del curado interno con material cerámico cuando no hay curado. Para las muestras con curado parcial también se observan incrementos en la resistencia cuando el porcentaje de material cerámico es del 40%, pero no son tan significativos como en las muestras sin curado.

Así mismo, de la **Figura 26** se pueden sacar los porcentajes de incremento o reducción de resistencia a la compresión para las muestras con material cerámico, comparadas con la muestra patrón, para las tres mezclas hechas con una relación a/c de 0.50:

Tabla 5. Incremento o reducción de resistencia a la compresión para relación a/c = 0.50.

Tiempo	MC20-NC	MC40-NC	MC20-CP	MC40-CP
3 días	-16.63%	10.01%	-18.95%	14.42%
28 días	-19.05%	-3.75%	-21.26%	-16.31%
90 días	-22.14%	10.38%	-10.07%	-4.48%

De la Tabla 5 se puede concluir que a medida que aumenta la relación a/c deja de ser tan útil el uso de material cerámico como agente de curado interno en el concreto. Con una relación a/c de 0.50 se obtienen reducciones de resistencia en el concreto respecto a la mezcla patrón, tanto para 28 días como para 90.

Como comentario final relacionado con las resistencias a la compresión obtenidas en este estudio, se observa que los resultados son contrarios a lo encontrado por Zhutovsky and Kovler, 2012, quienes obtuvieron menores resistencias a la compresión en la medida que la relación a/c era más baja, para concretos de alta resistencia curados internamente con materiales similares.

Los resultados obtenidos en esta investigación para las mezclas con relación a/c de 0.50 son similares a los de Fuertes, 2012²⁶, quién obtuvo reducciones considerables en la resistencia del concreto para mezclas con iguales porcentajes de reemplazo del agregado grueso por material triturado proveniente de ladrillos de arcilla usados en la construcción de viviendas en la ciudad de Bogotá (0%, 20% y 40%), para relaciones a/c de 0.50 y 0.60.

5.3. Módulo de elasticidad del concreto

En la Figura 27 se muestran los resultados de módulo de elasticidad para las mezclas MP, MC20 Y MC40, con una relación agua/cemento de 0.30, para las dos condiciones de curado de la investigación. Se puede apreciar en el gráfico que a medida que aumenta el porcentaje de material cerámico en las mezclas, disminuye el módulo de elasticidad del concreto, para ambas condiciones de curado, obteniéndose los resultados esperados de acuerdo con las investigaciones realizadas anteriormente (Zhutovsky and Kovler, 2012).

²⁶ FUERTES, Antonio. Producción de concreto a partir de desechos de construcción de mampostería de arcilla. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2012.

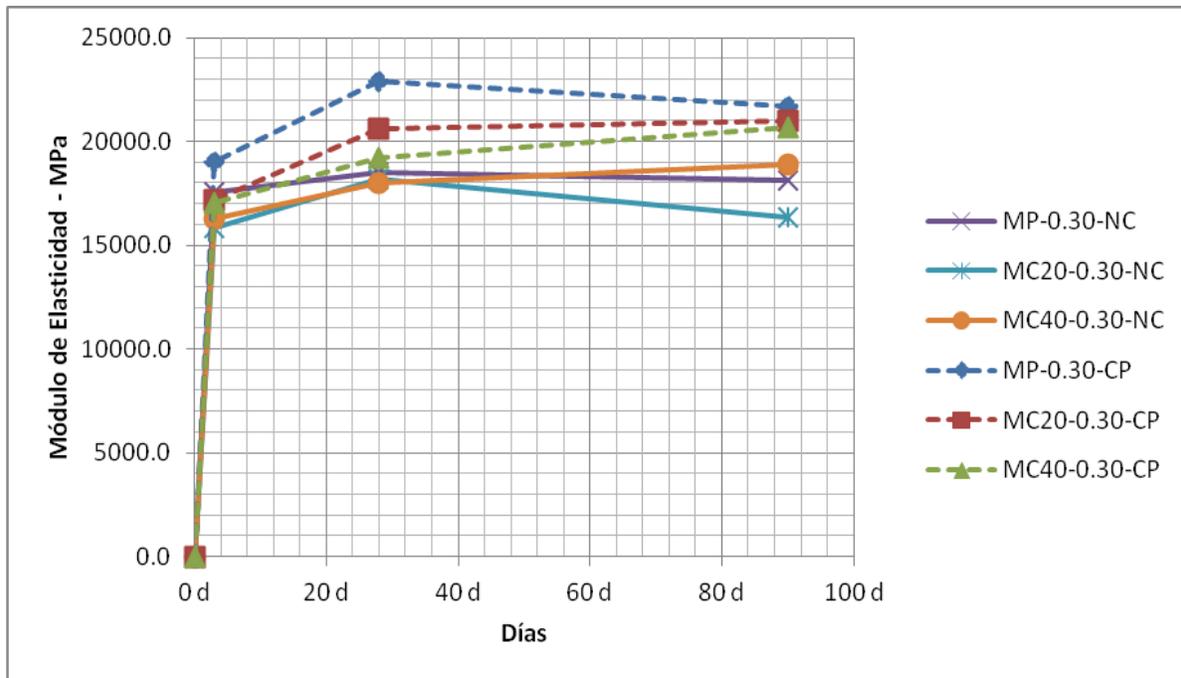


Figura 27. Módulo de elasticidad para ambas condiciones de curado – a/c = 0.30.

Se aprecian los mismos resultados para las mezclas hechas con relación a/c de 0.50. Se observa en la Figura 28 que para porcentajes de reemplazo del 20% y 40% de material cerámico, se obtienen módulos de elasticidad muy por debajo de los obtenidos para la muestra patrón, que tiene el 100% del agregado grueso natural. Estas interpretaciones son iguales para ambas condiciones de curado.

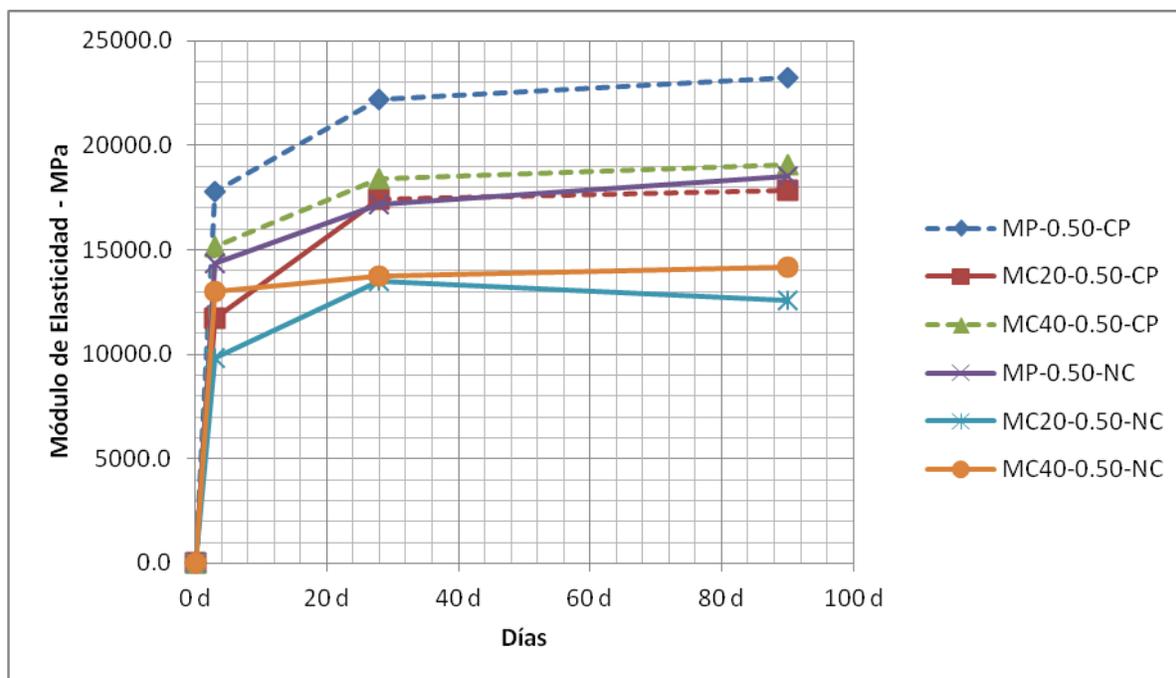


Figura 28. Módulo de elasticidad para ambas condiciones de curado – $a/c = 0.50$.

De la Figura 27 y Figura 28 se pueden determinar los porcentajes de incremento o reducción de los módulos de elasticidad para las muestras con material cerámico, comparadas con la muestra patrón, que tiene el 100% del agregado grueso natural, para ambos valores de relación a/c :

Tabla 6. Incremento o reducción en los módulos de elasticidad para ambas condiciones de curado – $a/c = 0.30$.

Tiempo	MC20-NC	MC40-NC	MC20-CP	MC40-CP
3 días	-10.10%	-7.45%	-9.79%	-10.24%
28 días	-1.94%	-2.89%	-9.88%	-16.10%
90 días	-9.89%	4.17%	-3.12%	-4.65%

Tabla 7. Incremento o reducción en los módulos de elasticidad para ambas condiciones de curado – $a/c = 0.50$.

Tiempo	MC20-NC	MC40-NC	MC20-CP	MC40-CP
3 días	-31.52%	-9.42%	-34.12%	-14.68%
28 días	-21.41%	-20.05%	-21.55%	-17.21%
90 días	-32.09%	-23.58%	-23.33%	-17.83%

De las tablas anteriores se puede concluir que el efecto que produce el curado interno con material cerámico sobre el módulo de elasticidad de las mezclas de concreto es sumamente negativo, independientemente de las condiciones de curado a las que se sometan las muestras. Para relaciones a/c de 0.30, se obtuvo reducción en el módulo de elasticidad del orden del 16%, mientras que para una relación a/c de 0.50 los valores de reducción del módulo elástico fueron del orden de un 30%, lo que demuestra que en la media en que se aumenta la relación a/c se obtienen menores valores para el módulo de elasticidad de las muestras de concreto.

La reducción del módulo de elasticidad obtenido como resultado de este estudio es coherente con lo obtenido por Liu and Zhang, 2010, quienes también obtuvieron reducciones en el módulo elástico para concretos curados internamente con agregados de peso ligero.

Al comparar los resultados de los módulos de elasticidad obtenidos en los ensayos con los obtenidos de la expresión para el cálculo del módulo de elasticidad dada en el capítulo C.8.5.1 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente – NSR-10 ($4700*f'_c^{1/2}$), se encontraron diferencias considerables. Los resultados de los ensayos de esta investigación se acercan más a una ecuación como la siguiente: $3000*f'_c^{1/2}$, esto como consecuencia del uso de materiales que presentan una mayor deformabilidad, como son los materiales cerámicos.

Los resultados obtenidos en este estudio son similares a Fuertes, 2012, quien obtuvo reducciones alrededor del 13% en el módulo de elasticidad de las mezclas con material cerámico, comparadas con la muestra patrón que tuvo el 100% del agregado natural.

5.4. Ensayo de permeabilidad al ion cloruro

Para las mezclas con relación a/c de 0.30, tanto en condición de no curado como para el curado parcial, se observa que la mezcla con porcentaje de reemplazo del 40% tiene menor penetración al ion cloruro que la muestra patrón; mientras que para la mezcla con reemplazo del 20% de material cerámico, se aprecia que la permeabilidad es mayor.

Los resultados obtenidos son coherentes con lo encontrados por Liu and Zhang, 2010, para las mezclas con reemplazos del 20% a los 90 días, en el sentido en que al incorporar materiales de peso ligero se obtiene una mayor penetración al ion cloruro por el mayor volumen de poros dentro de la mezcla de concreto. Pero extrañamente en este estudio se ve que en la medida que se aumenta el porcentaje de material cerámico en la mezcla, para relaciones a/c bajas, se reduce la permeabilidad a los cloruros.

Para la muestra patrón, en ambas condiciones de curado, se tiene una penetración alta al ion cloruro, al igual para la muestra con el 20% de reemplazo, mientras que para la muestra con 40% de reemplazo se obtiene una penetración moderada a los 28 y 90 días. Los resultados descritos se pueden observar en la Figura 29 y Figura 30.

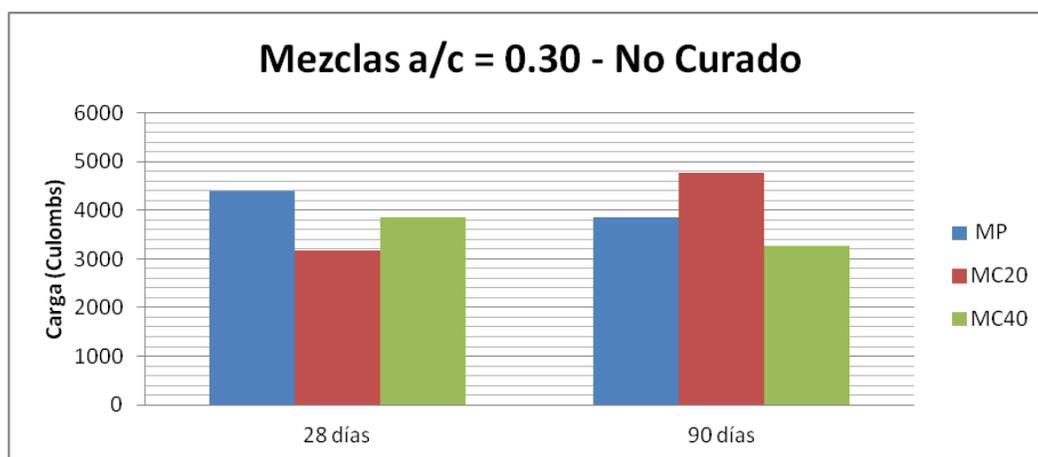


Figura 29. Permeabilidad a cloruros mezclas a/c = 0.30 – NO CURADO.

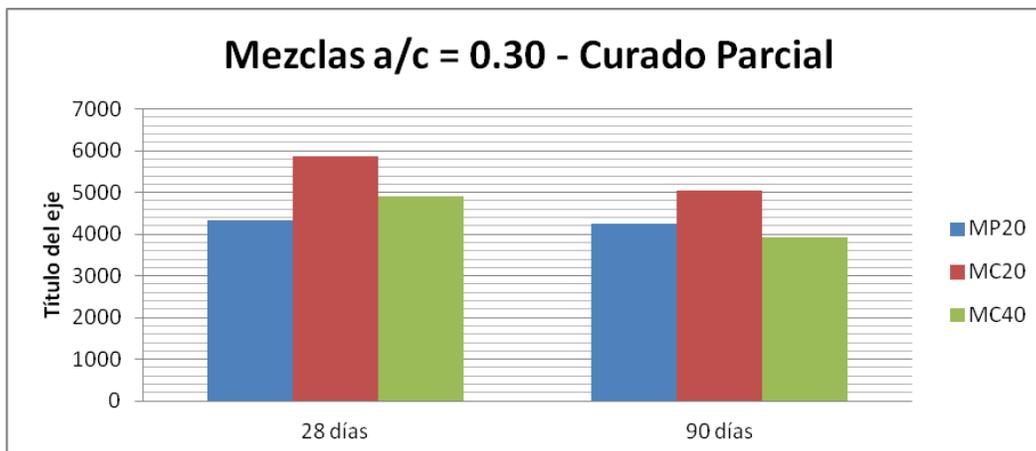


Figura 30. Permeabilidad a cloruros mezclas a/c = 0.30 – CURADO PARCIAL.

Para las mezclas de relación a/c de 0.50 se aprecian resultados diferentes a las mezclas con 0.30; para ambas condiciones de curado se obtiene un aumento en la permeabilidad al ion cloruro en las mezclas con porcentajes de reemplazo de material cerámico, comparadas con la muestra patrón.

Estos resultados, para una relación a/c de 0.50, son similares a los encontrados por Liu and Zhang, 2010, puesto que se incrementa la permeabilidad en la medida que se reemplaza el agregado grueso natural por material cerámico.

Para todas las muestras con relación a/c de 0.50 se obtienen penetraciones altas al ion cloruro, por lo que se puede concluir que en la medida en que se aumente la relación a/c del concreto, se obtendrán valores altos de penetración.

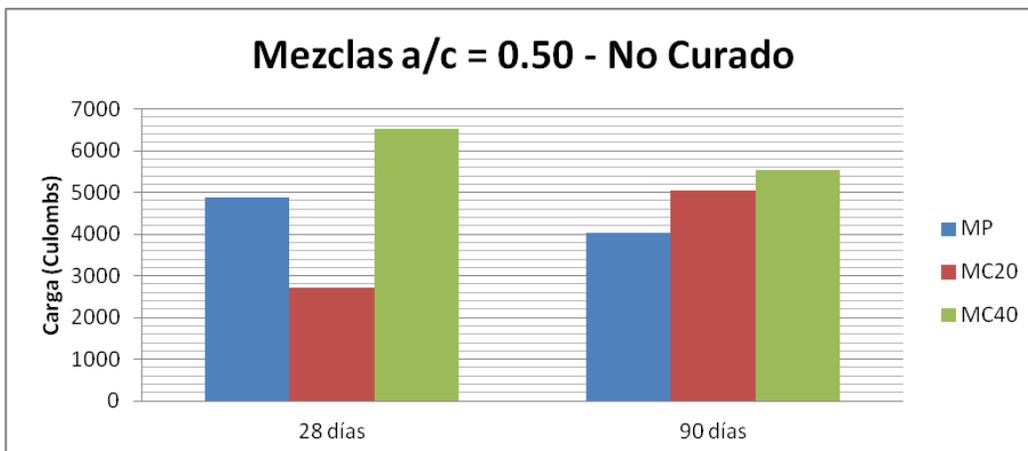


Figura 31. Permeabilidad a cloruros mezclas a/c = 0.50 – NO CURADO.

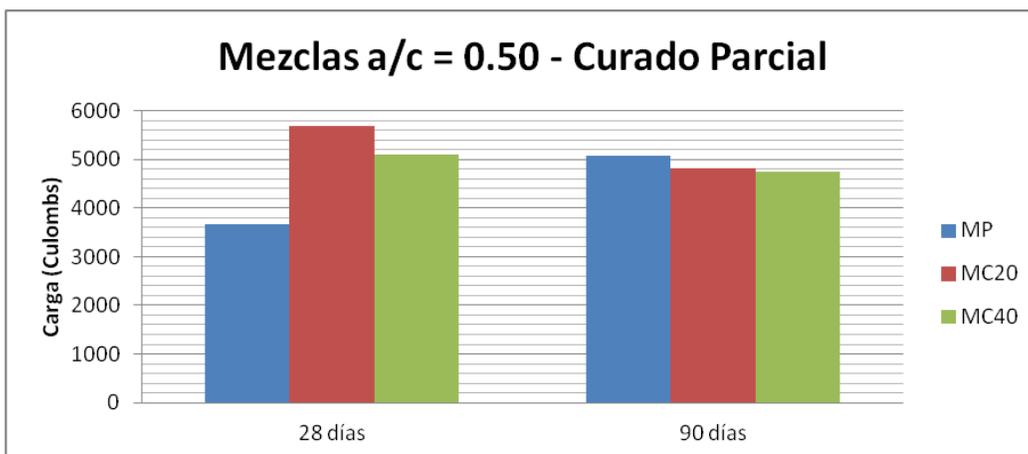


Figura 32. Permeabilidad a cloruros mezclas a/c = 0.30 – CURADO PARCIAL.

Si se compara las condiciones de curado analizadas en el presente estudio, se puede apreciar que para la condición de curado parcial, en ambos valores de relación a/c, se obtienen reducciones de la penetración a los 90 días, concluyendo que el curado interno tiene un efecto benéfico en estos concretos. Estos resultados son coherentes con lo analizado por Laverde²⁷, 2013, quien encontró que los concretos con adiciones de material reciclado disminuían la penetración al ion cloruro con el pasar de los días.

²⁷ Laverde, Jorge Alejandro. Propiedades mecánicas, eléctricas y de durabilidad de concretos con agregados reciclados. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2013.

5.5. Ensayo de Sortividad

Para los ensayos de Sortividad no se aprecian diferencias considerables entre las mezclas con reemplazo de material cerámico y la muestra patrón, para ambas condiciones de curado y una relación a/c de 0.30, como se puede observar en la Figura 33.

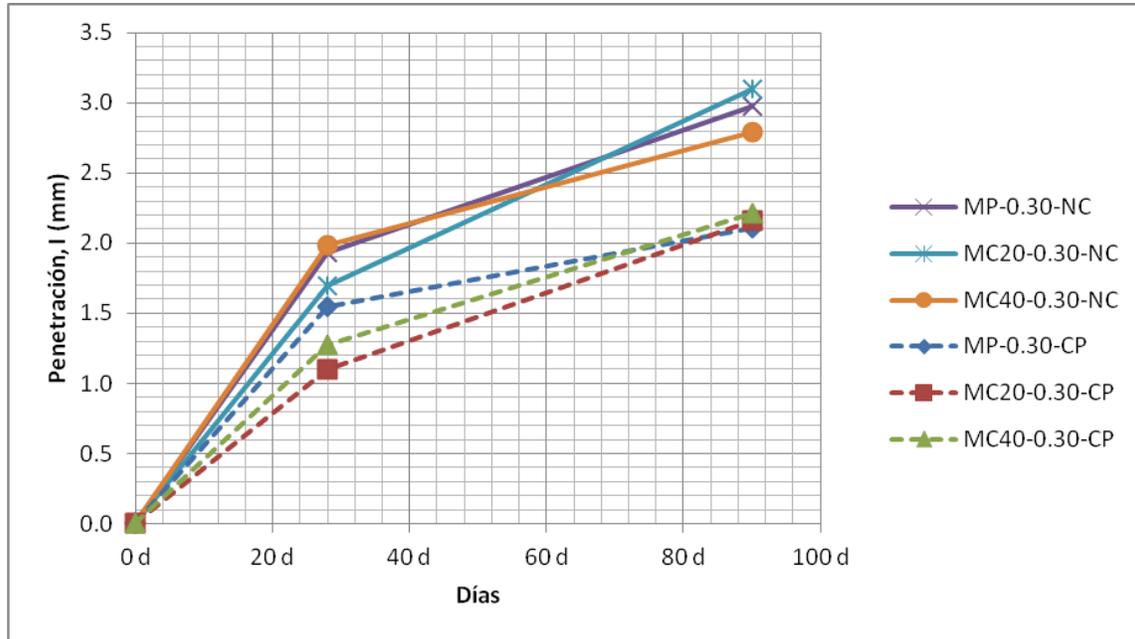


Figura 33. Ensayo de Sortividad – a/c = 0.30.

Vale la pena mencionar que para la condición de curado parcial, se obtienen penetraciones menores a las mezclas sin curado, dicha reducción en la penetración es del orden del 27%.

Para las mezclas con relación a/c = 0.50 se observa que hay un aumento considerable en la penetración de agua, para ambas condiciones de curado, a los 90 días de las mezclas. Dicho aumento se puede afirmar que está por encima del 40% con relación a la muestra patrón, como se puede observar en la Figura 34.

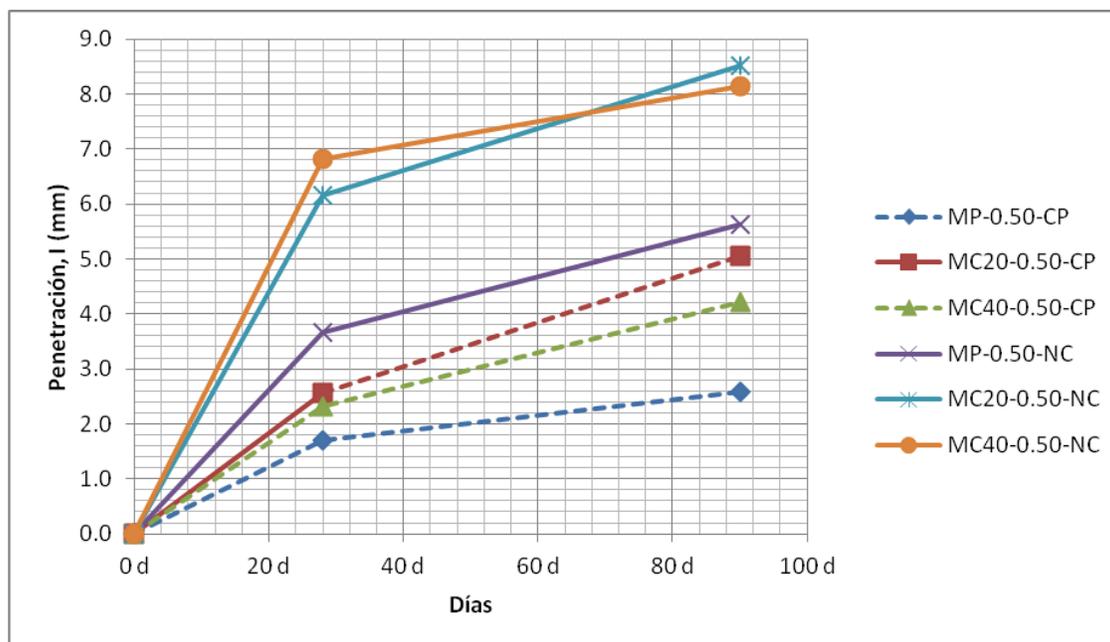


Figura 34. Ensayo de Sortividad – a/c = 0.50.

Las mezclas con curado parcial presentan penetraciones inferiores, aproximadamente en un 53%, comparadas con las mezclas sin curado. Para ambas condiciones de curado, las mezclas con reemplazo de material cerámico tienen mayores penetraciones que la muestra patrón, lo que es similar a los resultados obtenidos por Zhutovsky and Kovler, 2012, quienes encontraron que la penetración de agua para concretos con curado interno es un 20% mayor que en los concretos convencionales.

Se puede considerar como normal el hecho que aumente la permeabilidad de estos concretos con curado interno, puesto que al usar en la mezcla un tipo de agregado más poroso, se permite el paso de un mayor volumen de agua en el interior del concreto endurecido.

5.6. Ensayo de Contracción

Como se puede observar en la Figura 35, para la condición de no curado, a medida que se aumenta el porcentaje de reemplazo de material cerámico, se disminuye el porcentaje acumulado de contracción de las probetas, para una relación a/c de 0.30, mientras que para una relación a/c de 0.50 se aumenta el porcentaje de contracción, es decir, para condiciones de no curado, la contracción en el concreto aumenta a medida que se aumente la relación a/c. Lo anterior coincide con lo investigado por Browning et al, 2011, quienes obtuvieron una disminución sustancial de la retracción del concreto durante periodos de secado hasta de 365 días. En dicho estudio se reemplazó el agregado normal de la mezcla por material cerámico de peso ligero en porcentajes entre 8.9% y 13.8%²⁸.

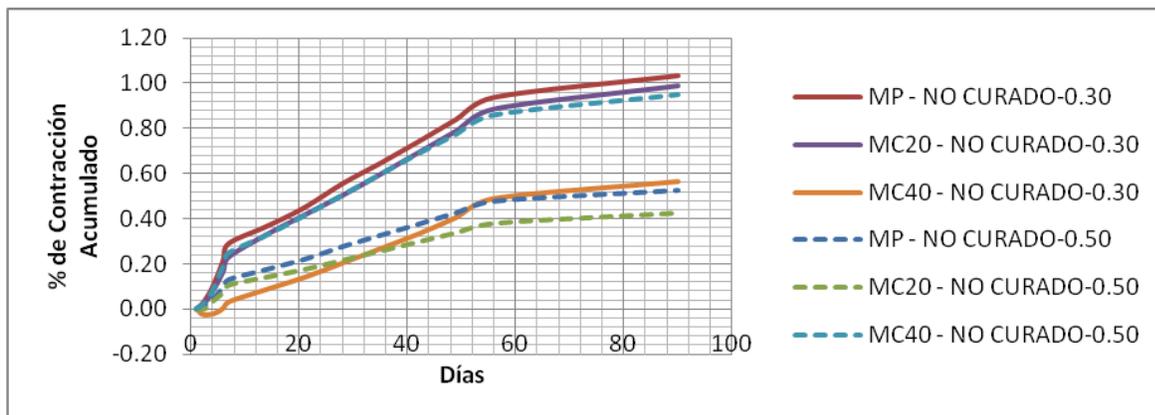


Figura 35. Porcentaje de contracción acumulado – Mezclas sin curado.

Para la condición de curado parcial, los resultados varían mucho para la mezcla con un porcentaje de reemplazo del 20% de material cerámico, obteniéndose el doble de contracción a los 90 días, en comparación con la muestra patrón, y relación a/c de 0.30; la muestra con porcentaje de reemplazo del 40% tiene resultados similares a la muestra patrón, alrededor del 0.4% a los 90

²⁸ BROWNING, JoAnn, et al. Lightweight Aggregate as Internal Curing Agent to Concrete Shrinkage. ACI MATERIALS JOURNAL – TECHNICAL PAPER. 2011.

días. Las muestras con relación a/c de 0.50 presentan un valor acumulado de contracción a los 90 días aproximadamente de 0.45%, para la muestra patrón y las muestras con material cerámico, como se puede observar en la Figura 36.

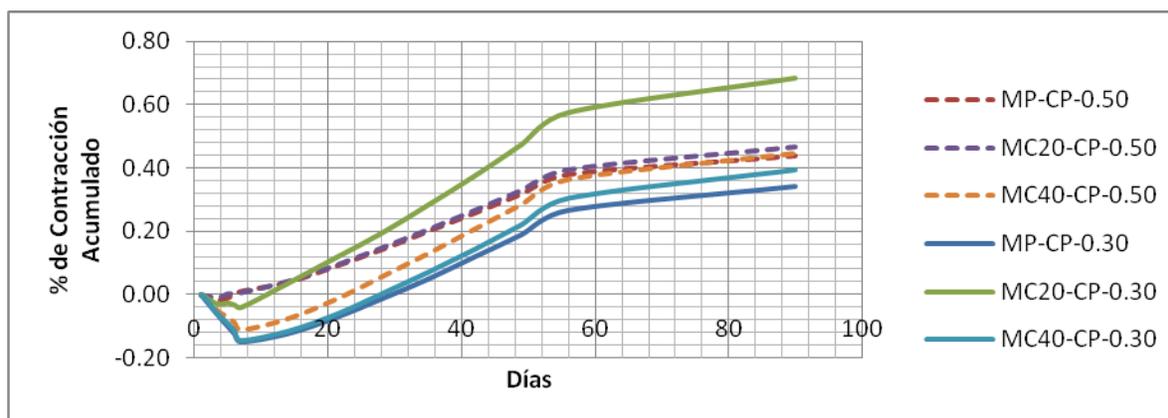


Figura 36. Porcentaje de contracción acumulado – Mezclas con curado parcial.

Se observa que el porcentaje de contracción es mucho menor para las muestras con curado parcial en comparación con las muestras sin curado; mientras las primeras llegan a valores aproximados del 0.42% a los 90 días, estas últimas llegan aproximadamente al 1.00%. También se puede ver en las gráficas que en las muestras con curado parcial se obtiene un aumento de volumen de todas las probetas durante los primeros días, debido a la saturación de agua que tuvo la mezcla durante el tiempo que duraron sumergidas en la piscina de curado.

Los porcentajes de aumento o reducción en la contracción del concreto se presentan a continuación en la siguiente tabla, para ambas condiciones de curado y para los dos valores de relación a/c:

Tabla 8. Incremento o reducción de la contracción.

a/c	MC20-NC	MC40-NC	MC20-CP	MC40-CP
0.30	-4.4%	-45.6%	99.1%	14.9%
0.50	-19.3%	80.6%	6.1%	1.8%

De la Tabla 8 se observa que las reducciones en la contracción del concreto se aprecian sobre todo en las mezclas que no tuvieron curado. Para las mezclas con curado parcial se aprecian, más que todo, aumentos significativos en la contracción de las probetas, comparadas con la muestra patrón (el volumen de las probetas con material cerámico siempre es menor que el volumen de las probetas de la muestra patrón, por lo tanto existe contracción en todas las muestras, pero hay más contracción en las muestras sin curado que en las muestras con curado parcial). La conclusión sería que a medida que se incrementa el material cerámico en las mezclas de concreto, se obtiene menor contracción, para mezclas con baja relación a/c y condiciones de no curado, coincidiendo con los estudios ya mencionados anteriormente.

5.7. Ensayo de Absorción

5.7.1. Absorción después de la inmersión

Para las muestras con relación a/c de 0.30 se puede observar, para ambas condiciones de curado, que a los 28 días los resultados de absorción son relativamente parecidos entre la muestra patrón y las mezclas con reemplazo de material cerámico, mientras que a los 90 días se aprecia que las mezclas con material cerámico, en cualquier porcentaje, tienen mayor absorción. La Figura 37 y la Figura 38 muestran los resultados descritos anteriormente.

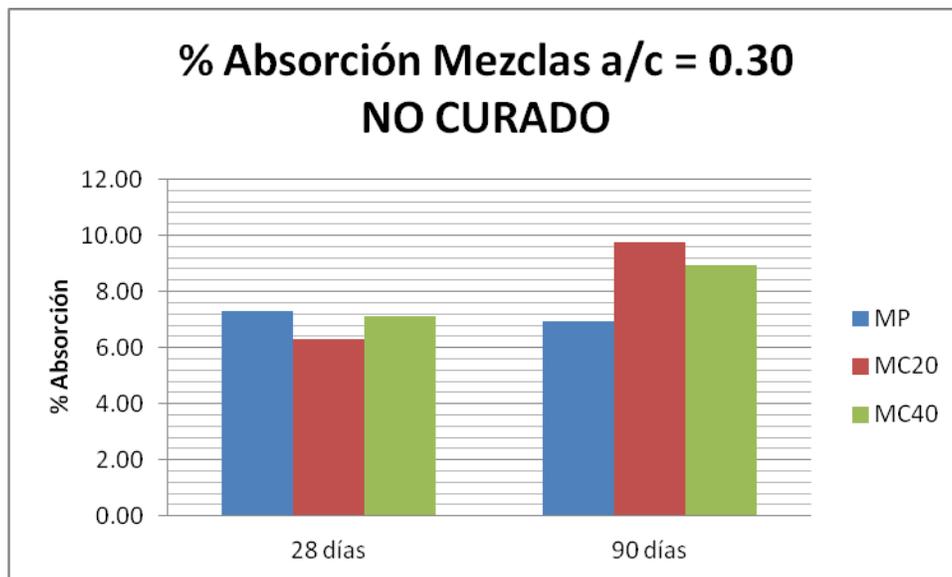


Figura 37. Absorción en mezclas a/c = 0.30 – NO CURADO.

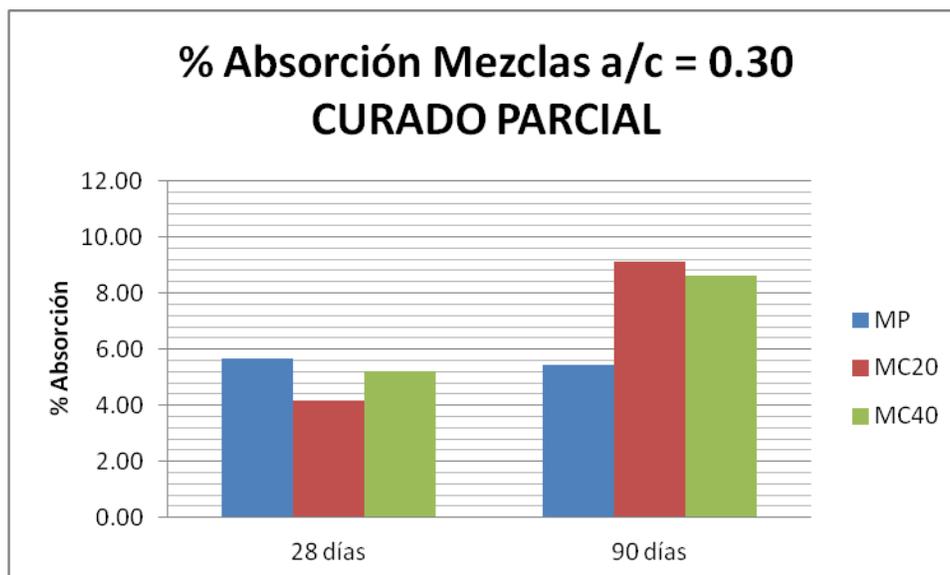


Figura 38. Absorción en mezclas a/c = 0.30 – CURADO PARCIAL.

Las muestras con curado parcial tienen absorciones inferiores en aproximadamente un 20%, comparadas con las muestras que no tuvieron curado.

Para las muestras con relación a/c de 0.50 se obtienen resultados similares, mostrando que a medida que se aumenta el porcentaje de reemplazo del material cerámico, se obtienen aumentos en la absorción.

De la Figura 39, condición de no curado, se puede observar un aumento aproximado del 20% a los 90 días para la mezcla con un porcentaje de reemplazo del 40%; para la mezcla con un reemplazo del 20% el aumento es aproximadamente de un 18%.

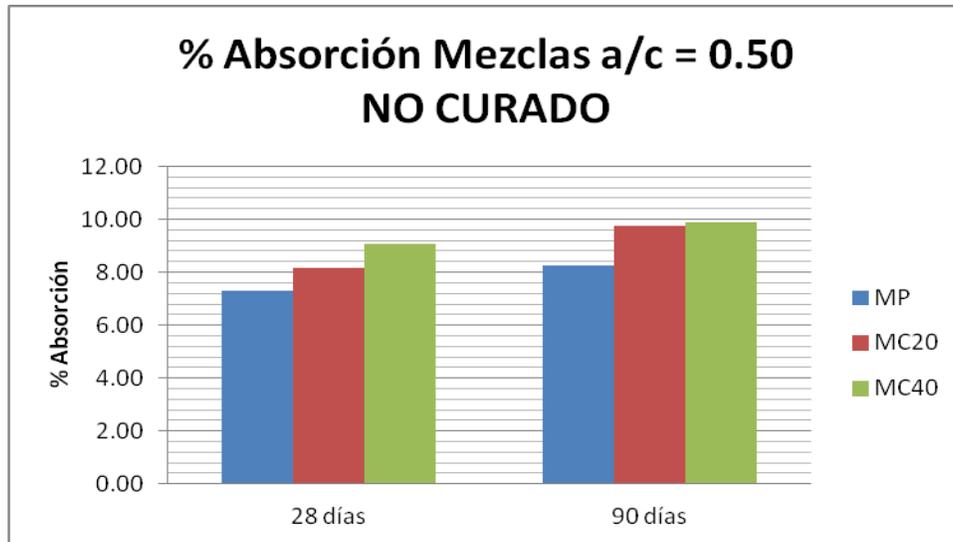


Figura 39. Absorción en mezclas a/c = 0.50 – NO CURADO.

De la Figura 40, condición de curado parcial, se puede observar un aumento en la absorción a los 90 días para las mezcla con material cerámico, comparadas con la mezcla patrón. Dicho aumento es aproximadamente del 30%.

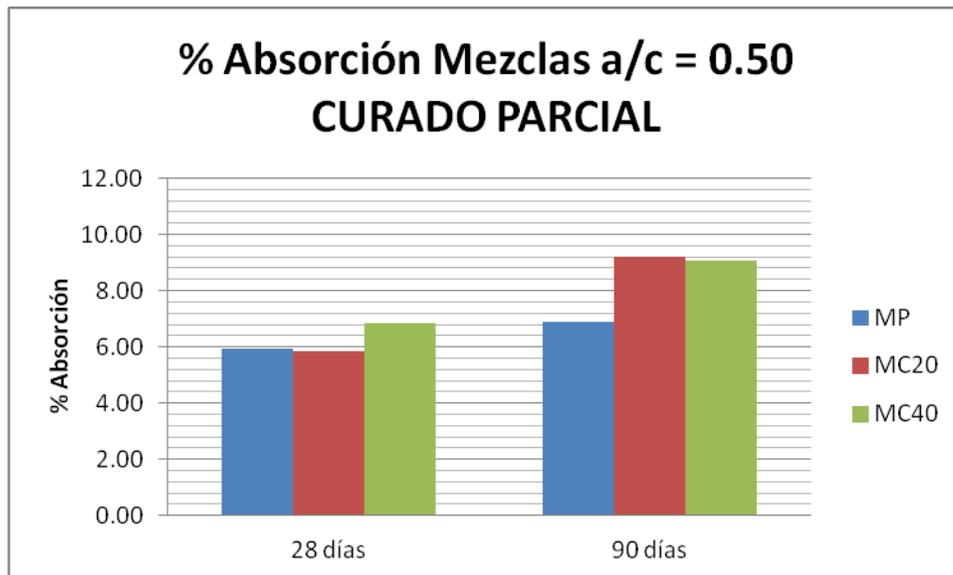


Figura 40. Absorción en mezclas a/c = 0.50 – CURADO PARCIAL.

En conclusión, el curado interno no muestra buenos resultados a largo plazo en los concretos, puesto que aumenta el volumen de poros de la mezcla y por ende aumenta la absorción.

5.7.2. Densidad aparente seca

La densidad aparente seca de las mezclas con relación a/c de 0.30 tiende a disminuir en la medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de material cerámico, como se puede observar en la Figura 41 y Figura 42, para ambas condiciones de curado. Para los 90 días se obtienen reducciones en la densidad del orden del 5%.

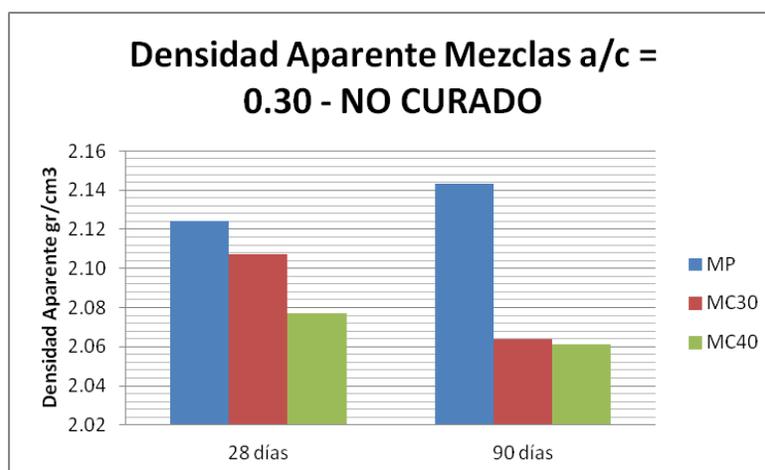


Figura 41. Densidad aparente seca mezclas a/c = 0.30 – NO CURADO.

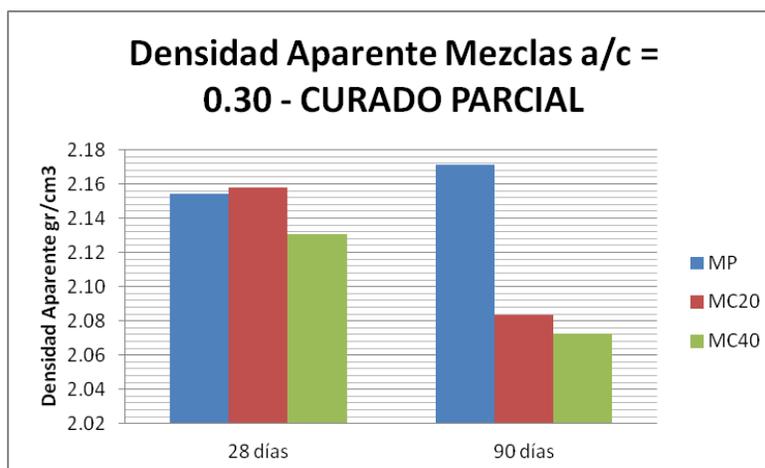


Figura 42. Densidad aparente seca mezclas a/c = 0.30 – CURADO PARCIAL.

La densidad aparente seca de las mezclas con relación a/c de 0.50 sigue la tendencia de las muestras con relación a/c de 0.30, tiende a disminuir en la media que aumenta el porcentaje de reemplazo de material cerámico, como se puede observar en la Figura 43 y Figura 44, para ambas condiciones de curado. Para los 90 días se obtienen reducciones en la densidad del orden del 5%.

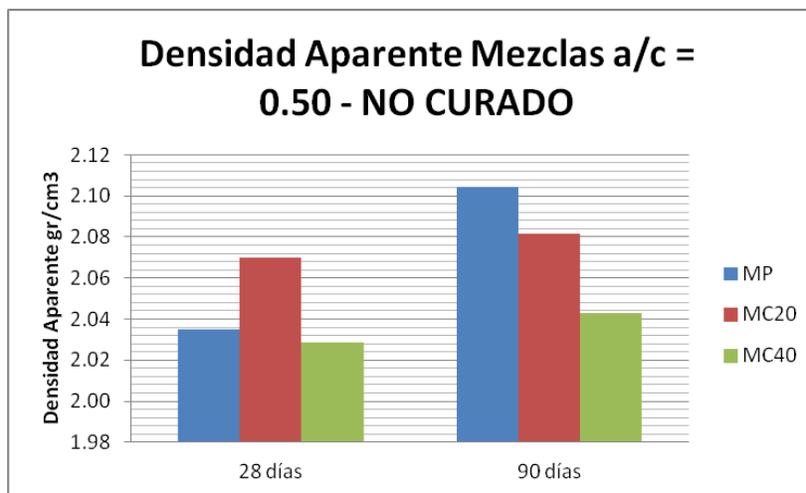


Figura 43. Densidad aparente seca mezclas a/c = 0.50 – NO CURADO.

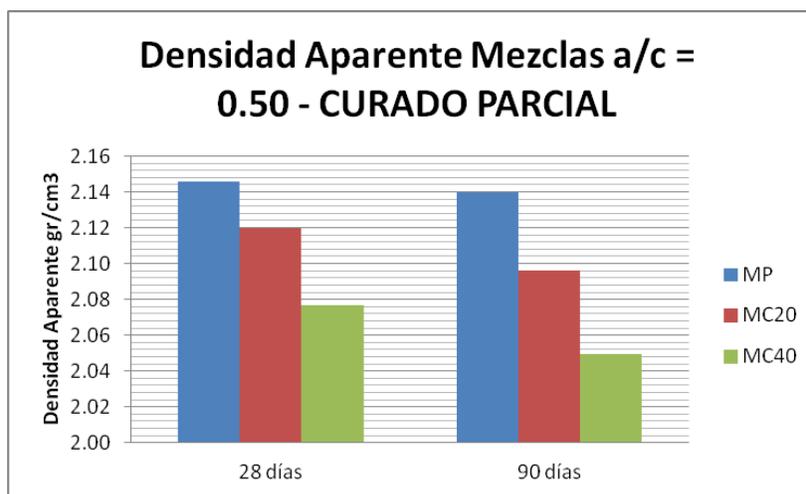


Figura 44. Densidad aparente seca mezclas a/c = 0.50 – CURADO PARCIAL.

Los resultados obtenidos son consecuentes con lo que se esperaba, puesto que se están combinando dos agregados con densidades diferentes, donde el material cerámico tiene una densidad aparente mucho menor al agregado grueso natural.

5.7.3. Porosidad

Para las mezclas que tienen una relación a/c de 0.30, se observa un incremento en la porosidad del concreto en las muestras con material cerámico. Lo que hace que sea consecuente con los datos obtenidos para la absorción, ya que al tener mayor porosidad, el concreto va a absorber más agua. La porosidad de estas muestras con material cerámico está siendo mayor en un 25% para muestras sin curado y en un 50% para muestras con curado parcial, comparadas con la muestra patrón.

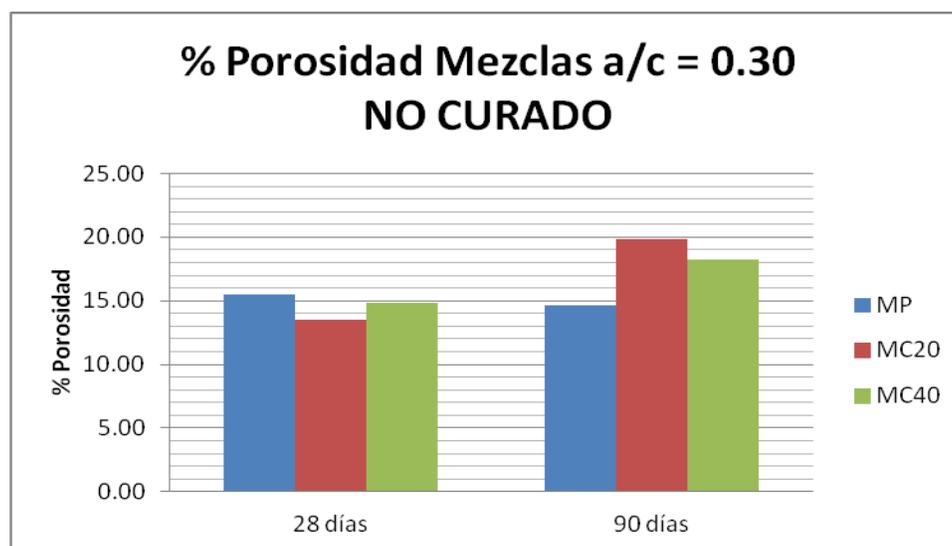


Figura 45. Porosidad mezclas a/c = 0.30 – NO CURADO.

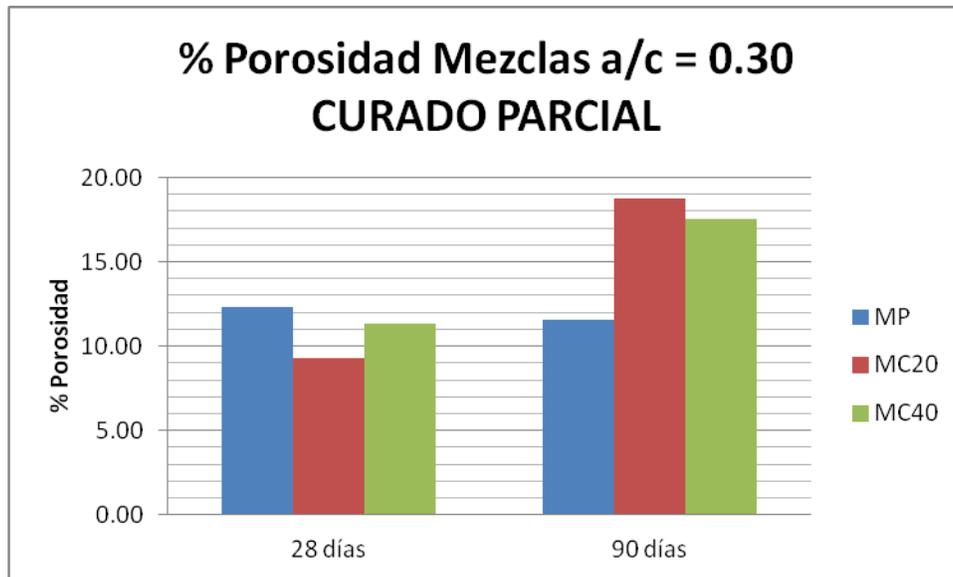


Figura 46. Porosidad mezclas a/c = 0.30 – CURADO PARCIAL.

Para las mezclas con relación a/c de 0.50 se obtienen resultados similares a los obtenidos con relación a/c de 0.30. La porosidad de las muestras con material cerámico es mayor a la obtenida para la muestra patrón, para ambas condiciones de curado, tanto a los 28 días como a los 90. La porosidad de las muestras con material cerámico está siendo mayor en un 18% para muestras sin curado y en un 27% para muestras con curado parcial, comparadas con la muestra patrón.

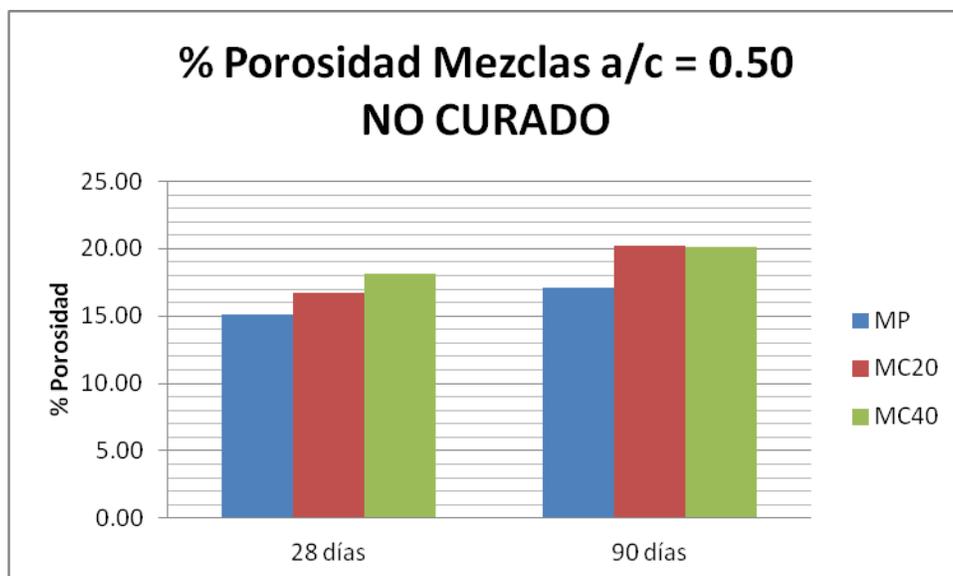


Figura 47. Porosidad mezclas a/c = 0.50 – NO CURADO.

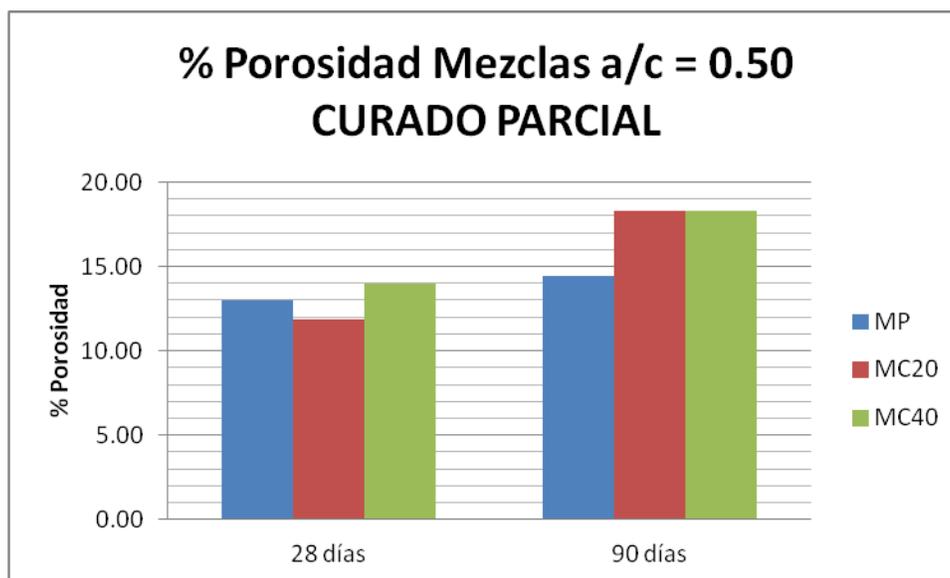


Figura 48. Porosidad mezclas a/c = 0.50 – CURADO PARCIAL.

5.8. Ensayo de absorción inicial superficial del concreto – ISAT

Las mezclas con relación a/c de 0.30 presentan resultados de permeabilidad bajos, tanto para los 28 días como para los 90 días, pero se aprecian diferencias considerables entre la muestra patrón y las muestras con material cerámico, para las dos condiciones de curado. Las diferencias entre la muestra patrón y las muestras con material cerámico son del orden del 30%, en valores del orden de los $0.25\text{ml/m}^2\cdot\text{s}$.

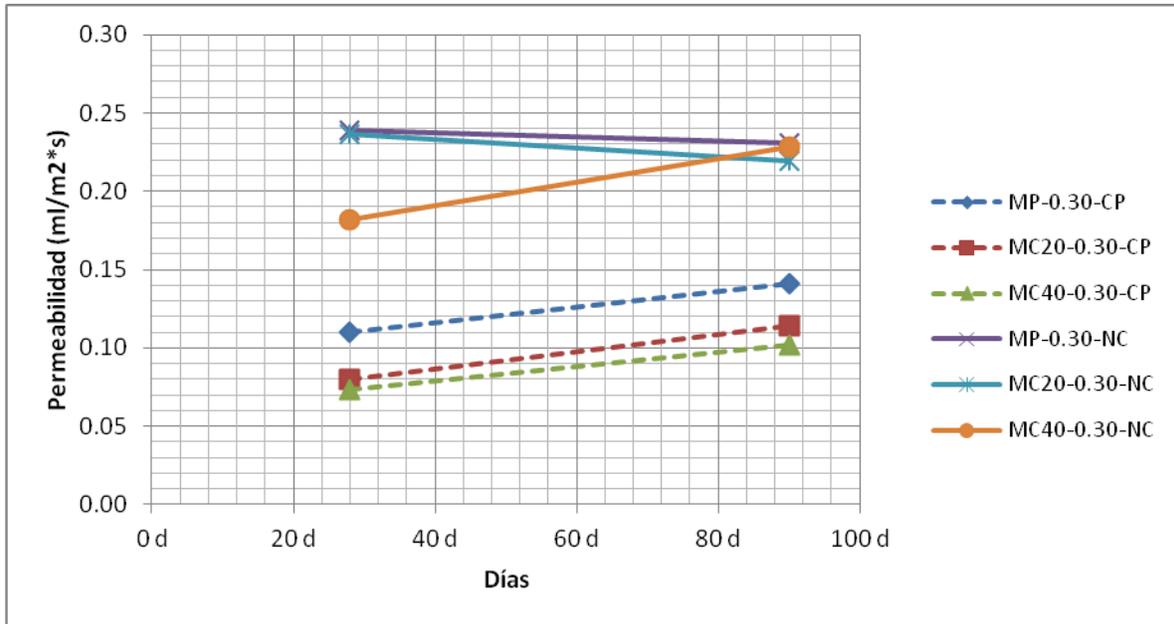


Figura 49. ISAT mezclas $a/c = 0.30$.

Las mezclas con relación a/c de 0.50 presentan una permeabilidad un poco más alta comparadas con las mezclas de relación a/c de 0.30. Para la condición de no curado se obtuvieron valores de permeabilidad hasta de $0.47 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{s}$, como se aprecia en la Figura 50, lo que muestra un aumento del 24% en la permeabilidad a los 90 días para la mezcla con 20% de material cerámico, comparada con la muestra patrón; la mezcla con 40% de material cerámico siempre obtuvo valores de permeabilidad por debajo de la mezcla patrón. Para la condición de curado parcial, con relación a/c de 0.50, se puede apreciar que a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de material cerámico, así mismo se aumenta la permeabilidad de las mezclas de concreto.

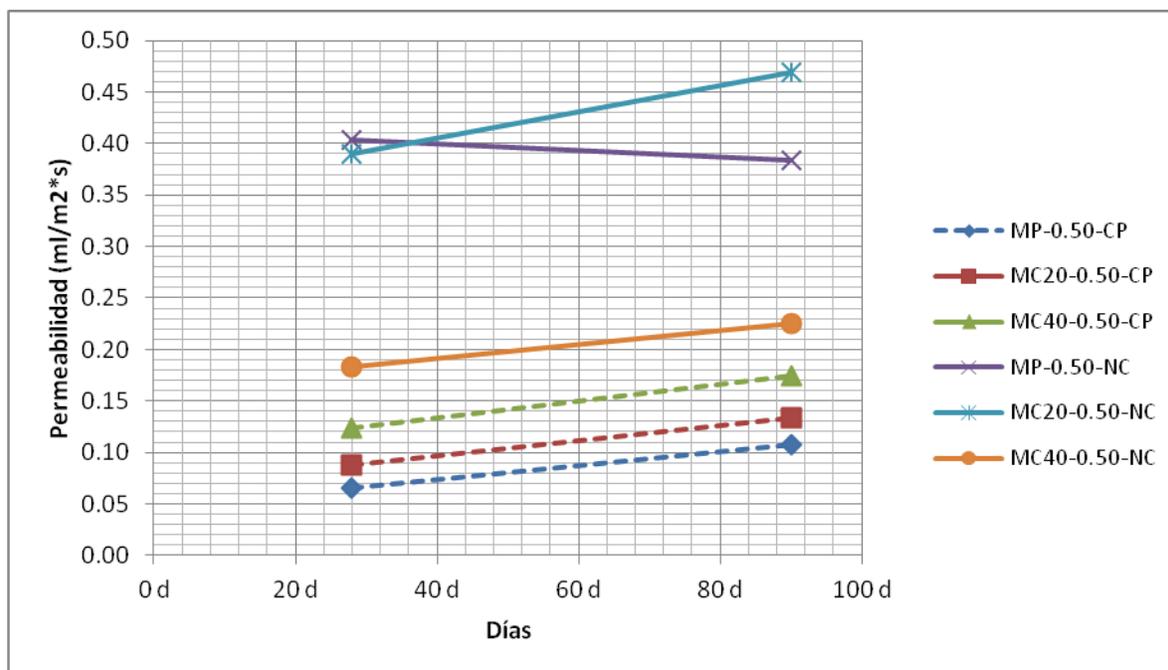


Figura 50. ISAT mezclas a/c = 0.50.

Se puede concluir de las figuras anteriores que a medida que se aumenta la relación a/c aumenta la permeabilidad de las mezclas de concreto, así mismo, en la medida que se aumenta el porcentaje de material cerámico, en mezclas con relación a/c altas, aumenta la permeabilidad.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo, se puede concluir que:

- La resistencia a la compresión de los concretos con material cerámico sólo aumenta cuando se tiene la relación a/c baja. En la medida en que aumenta la relación a/c, la resistencia a la compresión disminuye, por lo que pierde efectividad el uso de material cerámico para curado interno de mezclas de concreto. Con la relación a/c más baja se obtuvieron incrementos en la resistencia a la compresión del orden del 24% a los 90 días, con porcentajes de reemplazo del 40% de material cerámico, valdría la pena analizar qué puede pasar con porcentajes superiores. Los resultados obtenidos son similares a los encontrados por Suzuki et al, 2009.
- Desde el punto de vista de la resistencia a la compresión, el curado interno realizado a través del uso de material cerámico resulta útil para mezclas de concreto de alta resistencia, que ayudaría a obtener resistencias superiores a las de un concreto convencional cuando se necesiten concretos con resistencias del orden de 42 MPa o superiores, estos resultados (para a/c de 0.30) concuerdan con lo encontrado en los estudios de Suzuki et al, 2009, quienes estudiaron el uso de materiales cerámicos porosos en hormigones de alto rendimiento.
- Es importante conocer las propiedades del material cerámico, entre ellas su absorción y densidad, ya que estos factores inciden en la resistencia a la compresión del concreto y su durabilidad. Con una clasificación adecuada de este material, y la creación de normas técnicas tanto para estos agregados como para los concretos, se podría implementar en el país el uso

del concreto con material cerámico, ayudando al desarrollo de concretos con mejores especificaciones.

- El módulo de elasticidad del concreto se reduce para concretos con curado interno en la medida en que se aumenta la relación a/c de la mezcla. La reducción del módulo de elasticidad para los concretos utilizados en este estudio es del orden de un 16% para mezclas con relación a/c de 0.30, y del orden de un 30% para relación a/c de 0.50, con porcentajes de reemplazo con material cerámico hasta el 40%. Lo anterior indica que, dependiendo el uso que se le dé, no es viable la inclusión de material cerámico para proveer curado interno en las mezclas de concreto, puesto que se reduce una de las propiedades más importantes del concreto a la hora de realizar los diseño estructurales, ya que serían concretos muy propensos a las deformaciones. El efecto de la reducción del módulo de elasticidad es conveniente o inconveniente dependiendo del uso que tenga la mezcla de concreto, por ejemplo, para pavimentos es deseable una mayor deformabilidad (menos módulo de elasticidad), siempre y cuando no se afecte la resistencia a la compresión, mientras que en edificios es mejor tener concretos que se deformen poco, por el tema de deflexiones y derivas.
- Para mezclas con baja relación a/c se obtienen mejoras en la resistencia a la penetración de ion cloruro en los concretos con material cerámico en un porcentaje de reemplazo del 40%, puesto que esa penetración al ion cloruro disminuye; para mezclas con reemplazo del 20% se obtienen incrementos en la permeabilidad de los cloruros. Las mezclas que tienen relación a/c de 0.50 muestran incrementos en la penetración de cloruros, por lo que no sería conveniente el uso de material cerámico en mezclas con altas cantidades de agua. El acero de refuerzo que sea colocado en concretos con material cerámico y altas relaciones de a/c tiene mayor riesgo de sufrir de corrosión. Los resultados obtenidos son coherentes con lo encontrados por Liu and Zhang, 2010, para las mezclas con reemplazos del 20% a los 90 días, en el sentido en que al incorporar materiales de peso ligero se obtiene una mayor penetración al ion cloruro por el mayor volumen de poros dentro de la mezcla de concreto. La durabilidad de estos concretos se puede ver seriamente afectada debido a la alta permeabilidad a cloruros.

- Para el ensayo de Sortividad no se apreciaron diferencias considerables en la penetración del agua para mezclas con baja relación a/c, los resultados tienden a ser parecidos a un concreto convencional; mientras que para las mezclas con relación a/c de 0.50 la penetración en el concreto aumenta en la medida que se use material cerámico. Para relaciones a/c altas, los resultados son similares a los obtenidos por Zhutovsky and Kovler, 2012, quienes encontraron que la penetración de agua para concretos con curado interno es un 20% mayor que en los concretos convencionales
- Para condiciones de no curado, la contracción en el concreto es inversamente proporcional a la relación a/c de la mezcla. Para la condición de curado parcial, no se aprecian diferencias considerables a los 90 días en las mezclas con relación a/c de 0.50, mientras que para relación a/c de 0.30 la mezcla MC20 aumenta la contracción al doble, comparada con la muestra patrón. Sólo para relaciones a/c bajas y condiciones de no curado es altamente benéfico el uso de curado interno, por lo que se disminuye considerablemente la contracción del concreto.
- La absorción en los concretos aumenta considerablemente en la medida en que aumenta el material cerámico de las mezclas, para ambas condiciones de curado y para los dos valores de relación a/c utilizados en el presente estudio; lo que es consecuente con el aumento obtenido en la porosidad de los concretos. Un concreto con mayor porosidad es más vulnerable a los ataques externos, lo que afecta considerablemente su durabilidad.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda analizar los resultados en la resistencia a la compresión para mezclas con porcentajes de material cerámico en porcentajes superiores al 40%, con relaciones de a/c bajas. Esto podría arrojar resultados satisfactorios para concretos de alta resistencia. Así mismo, se recomienda analizar los resultados para concretos cuando se hagan reemplazos del agregado fino, en vez de reemplazar el agregado grueso de la mezcla.

-
- Se recomienda usar mezclas de concreto con material cerámico para elaborar elementos estructurales a escala real y someterlos a cargas, con el fin de analizar las deformaciones obtenidas y compararlas con concretos convencionales.
 - Se recomienda realizar investigaciones en las que se incluyan otras condiciones de curado como el curado permanente, o curado parcial hasta los 14 días. Con esto se podrían obtener resultados interesantes en cuanto a resistencia a la compresión, modulo de elasticidad y contracción.
 - Con el fin de mejorar las propiedades de durabilidad de concretos con material cerámico, es recomendable realizar investigaciones posteriores haciendo uso de adiciones y puzolanas como cenizas volantes, humo de sílice y metacaolin.
 - En la medida en que un concreto es más poroso, es susceptible de sufrir, en mayor medida, el fenómeno de carbonatación, por lo tanto se hace necesario realizar ensayos de carbonatación en las mezclas de concreto con material cerámico con el fin de mirar el impacto sobre el frente de carbonatación, en la medida que se aumenta el contenido de material cerámico en las mezclas. Esta propiedad es de suma importancia en concretos a usar en estructuras como puentes y/o parqueaderos.
 - Dado que el control de calidad de estructuras como pavimentos, tableros de puentes, muelles, entre otras, se evalúan generalmente con base en su resistencia a la flexión, para futuros estudios resultaría interesante valorar también el Módulo de Rotura.
 - Usar agregado fino como reemplazo del agregado natural y medir propiedades como sortividad y desortividad de estos.

7. Bibliografía

AKCAY, Burcu. TASDEMIR, Mehmet. Effects of distribution lightweight aggregates on internal curing of concrete. University of Kocaeli, Department of Civil Engineering. 2010.

ASTM C39. Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto.

ASTM C78. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).

ASTM C157. Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete.

ASTM C293. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading).

BENTZ, Dale P. WEISS, W. Jason. Internal curing: A 2010 State of the Art Review. National Institute of Standards and Technology. 2011.

BREMNER, T., & RIES, J. (2009). Stephen J. Hayde: Father of the Lightweight Concrete Industry. *Concrete International* , 31 (8), 35-38. 2009.

BROWNING, JoAnn, et al. Lightweight as Internal Curing Agent to Concrete Shrinkage. ACI MATERIALS JOURNAL – TECHNICAL PAPER. 2011.

CUSSON, Daniel. HOOGEVEEN, Ted. Internal curing of high-performance concrete with pre-soaked fine lightweight aggregate for prevention of autogenous shrinkage cracking. National Research Council Canada. 2008.

DE LA VARGA, Igor. CASTRO, Javier. BENTZ, Dale. WEISS, Jason. Application of internal curing for mixtures containing high volumes of fly ash. Purdue University. 2012.

DE LA VARGA, Igor, et al. Fluid transport in high volumen fly ash mixtures with and without internal curing. Purdue University. 2014.

DI DELLA CARMELO, VILLANI CHIARA, HAUSHEER ELISABETH, WEISS JASON. Chloride Transport Measurements for a Plain and Internally Cured Concrete Mixture. Purdue University, School of Civil Engineering. 2012.

FLORES, J.J. VEGA, Erving. Candelas, Q.M.G. Una estrategia muy eficaz. Centro de Tecnología y Concreto de CEMEX – CTCC.

FUERTES, Antonio. Producción de concreto a partir de desechos de construcción de mampostería de arcilla. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2012.

HENKENSIEFKEN, Ryan. Internal curing in cementitious systems made using saturated lightweight aggregate. Purdue University. 2008.

HOLM, T., BREMNER, T., & NEWMAN, J. Lightweight Aggregate Concrete Subject to Severe Weathering. Concrete International , 6, 49-54. (1984).

JENSEN, O., & HANSEN, P.. Water-Entrained Cement-Based Materials: I. Principle and Theoretical Background. Cement and Concrete Research , 31 (4), 647-654. (2001).

JENSEN, O., & HANSEN, P. Water-Entrained Cement-Based Materials: II. Experimental Observations. *Cement and Concrete Research* , 32 (6), 973-978. (2002).

KOVLER, Konstantin. SOUSLISKOV, Andrew. BENTUR, Arnon. Pre-Soaked lightweight aggregates as additives for internal curing of high-strength concretes. *Cement, Concrete, and Aggregates*, Dec. 2004, Vol. 26, No. 2. Paper ID CCA12295. 2004.

LANDIN, Pedro. Materiales cerámicos: propiedades, clasificación y obtención. <http://pelandintecno.blogspot.com/2013/02/materiales-ceramicos-propiedades.html>.

LAVERDE, JORGE ALEJANDRO. Propiedades mecánicas, eléctricas y de durabilidad de concretos con agregados reciclados. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2013.

LIEGER, P. Early High Strength Concrete for Prestressing. *Proceedings World Conference on Prestressed Concrete*, (pp. A5-1 to A5-14). San Francisco. (1957).

LIU, X. ZHANG, M. H. permeability of high-performance concrete incorporating presoaked lightweight aggregates for internal curing. National University of Singapore. 2010.

L. P. ESTEVES, H. PAIVA, V. M. FERREIRA. Efecto de las condiciones de curado en las propiedades mecánicas de los morteros con partículas súper absorbentes.

MAURICIO LÓPEZ, LAWRENCE KAHN, KIMBERLY KURTIS. Curado interno en hormigones de alto desempeño.

NTC 176. Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso.

NTC 237. Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.

PHILLEO, R. Concrete Science and Reality. In J. Skalny, & S. Mindess (Eds.), *Materials Science of Concrete II* (pp. 1-8). Westerville, OH: American Ceramic Society. (1991).

RAOUFI, K., SCHLITTER, J., BENTZ, D., & WEISS, J. (submitted). Parametric Assessment of Stress Development and Cracking in Internally-cured Restrained Mortars. Experiencing Autogenous Deformations and Thermal Loading. *Cement and Concrete Composites* .

SHOHEI SEIKI, TATSUYA NUKUSHINA, SEDDIK MEDDAH, RYOICHI SATO. Effectiveness of Porous Ceramic Waste as an Internal Curing Material for Fly Ash Concrete. 2010.

SIKA. Sika Informaciones técnicas – Curado del concreto. ISSN-0122-0594.

SUZUKI, Masashiro,. SEDDIK, Mohammed. Use of porous ceramic waste aggregates for internal curing of high-performance concrete. Hiroshima University. 2009.

VILLAREAL, V. Internal Curing - Real World Ready Mix Production and Applications: A Practical Approach to Lightweight Modified Concrete. In D. Bentz, & B. Mohr (Ed.), *ACI SP-256, Internal Curing of High-Performance Concrete: Laboratory and Field Experiences* (pp. 45-56). Farmington Hills: American Concrete Institute. (2008).

WEISS, W., YANG, W., & SHAH, S. Factors Influencing Durability and Early-Age Cracking in High Strength Concrete Structures. *SP-189-22 High Performance Concrete: Research to Practice* (pp. 387-409). Farmington Hills: American Concrete Institute. (1999).

ZHUTOVSKY, Semion. KOVLER, Konstantin. Effect of internal curing on durability-related properties of high performance concrete. Israel Institute of Technology. 2012.

Índice de figuras

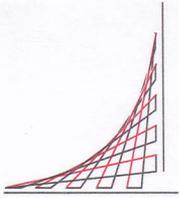
	Pág.
Figura 1. Partículas de cemento no hidratadas - Centro de Tecnología y Concreto de CEMEX – CTCC.	13
Figura 2. Nomograma de Menzel para el cálculo del agua evaporada en función de la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento.	14
Figura 3. Concepto de curado interno - Robert Philleo, 1991.....	17
Figura 4. Efectos de la sustitución del agregado grueso por material cerámico en la resistencia a la compresión del concreto. $a/c = 0.50$	22
Figura 5. Efectos de la sustitución del agregado grueso por material cerámico en la resistencia a la compresión del concreto. $a/c = 0.30$	22
Figura 6. Efectos de la adición de agregados cerámicos porosos en el desarrollo de la resistencia a la compresión de concretos de alta resistencia.....	23
Figura 7. Resistencia a la compresión para concretos con curado interno en función de su edad.	24
Figura 8. Influencia de curado interno en el módulo de elasticidad de las muestras selladas.	26
Figura 9. Resistencia a la penetración de cloruros (Zhutovsky, 2011).	27
Figura 10. Máquina trituradora Escuela Colombiana de Ingeniería.	31
Figura 11. Tamizado manual del ladrillo triturado.	31
Figura 12. Piscina de curado para muestras de concreto.....	32
Figura 13. Combinación de agregados para mezclas, según metodología de Fuller y Thompson.	34
Figura 14. Probetas obtenidas para ensayos de resistencia a la compresión e ISAT.	36
Figura 15. Probetas obtenidas para ensayos de contracción.	37
Figura 16. Ensayo de asentamiento plástico para la mezcla MC40-0.50.....	37
Figura 17. Prensa hidráulica para ensayos de resistencia a la compresión.	38
Figura 18. Ensayo de módulo de elasticidad.....	39
Figura 19. Montaje de ensayo de permeabilidad al ion cloruro.	40
Figura 20. Montaje para el ensayo de sortividad.	40

Figura 21. Desecador usado para controlar la humedad relativa de las muestras.	41
Figura 22. Distribución de las muestras cortadas por cilindro.	41
Figura 23. Medición de contracción en las muestras de concreto.	42
Figura 24. Montaje del equipo para el ensayo de ISAT.	43
Figura 25. Resistencia a la compresión para ambas condiciones de curado – $a/c = 0.30$	46
Figura 26. Resistencia a la compresión para ambas condiciones de curado – $a/c = 0.50$	47
Figura 27. Módulo de elasticidad para ambas condiciones de curado – $a/c = 0.30$	50
Figura 28. Módulo de elasticidad – NO CURADO – $a/c = 0.50$	51
Figura 29. Permeabilidad a cloruros mezclas $a/c = 0.30$ – NO CURADO.	53
Figura 30. Permeabilidad a cloruros mezclas $a/c = 0.30$ – CURADO PARCIAL.	54
Figura 31. Permeabilidad a cloruros mezclas $a/c = 0.50$ – NO CURADO.	55
Figura 32. Permeabilidad a cloruros mezclas $a/c = 0.30$ – CURADO PARCIAL.	55
Figura 33. Ensayo de Sortividad – $a/c = 0.30$ – NO CURADO.	56
Figura 34. Ensayo de Sortividad – $a/c = 0.50$ – NO CURADO.	57
Figura 35. Porcentaje de contracción acumulado – Mezclas sin curado.	58
Figura 36. Porcentaje de contracción acumulado – Mezclas con curado parcial.	59
Figura 37. Absorción en mezclas $a/c = 0.30$ – NO CURADO.	60
Figura 38. Absorción en mezclas $a/c = 0.30$ – CURADO PARCIAL.	61
Figura 39. Absorción en mezclas $a/c = 0.50$ – NO CURADO.	62
Figura 40. Absorción en mezclas $a/c = 0.50$ – CURADO PARCIAL.	62
Figura 41. Densidad aparente seca mezclas $a/c = 0.30$ – NO CURADO.	63
Figura 42. Densidad aparente seca mezclas $a/c = 0.30$ – CURADO PARCIAL.	63
Figura 43. Densidad aparente seca mezclas $a/c = 0.50$ – NO CURADO.	64
Figura 44. Densidad aparente seca mezclas $a/c = 0.50$ – CURADO PARCIAL.	64
Figura 45. Porosidad mezclas $a/c = 0.30$ – NO CURADO.	65
Figura 46. Porosidad mezclas $a/c = 0.30$ – CURADO PARCIAL.	66
Figura 47. Porosidad mezclas $a/c = 0.50$ – NO CURADO.	66
Figura 48. Porosidad mezclas $a/c = 0.50$ – CURADO PARCIAL.	67
Figura 49. ISAT mezclas $a/c = 0.30$ – NO CURADO.	68
Figura 50. ISAT mezclas $a/c = 0.30$ – NO CURADO.	69

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Nomenclatura de las mezclas usadas en el presente estudio.....	35
Tabla 2. Proporciones de las mezclas usadas en la investigación.	35
Tabla 3. Valores de asentamiento para cada mezcla en los diferentes porcentajes de reemplazo .	44
Tabla 4. Incremento o reducción de resistencia a la compresión para relación $a/c = 0.30$	48
Tabla 5. Incremento o reducción de resistencia a la compresión para relación $a/c = 0.50$	48
Tabla 6. Incremento o reducción en los módulos de elasticidad para ambas condiciones de curado – $a/c = 0.30$	51
Tabla 7. Incremento o reducción en los módulos de elasticidad para ambas condiciones de curado – $a/c = 0.50$	51
Tabla 8. Incremento o reducción de la contracción.	59

Anexo 1: Caracterización de materiales usados en el estudio.



ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO

Bogotá D.C., Enero 24 de 2014

Ingeniera
NANCY TORRES CASTELLANOS
Jefe del Laboratorio de Estructuras y Materiales
Escuela Colombiana de Ingeniería
Ciudad

Anexo a la presente estamos entregando el informe IG – 002 – 14, correspondiente a los resultados de los ensayos solicitados por usted al Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Escuela Colombiana de Ingeniería, el pasado 10 de Enero de 2014.

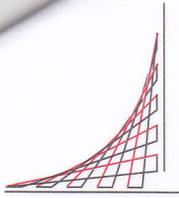
El material recibido y sometido a ensayos, de acuerdo con la identificación dada por usted, fue el siguiente:

- Muestra N° 1: Arena
- Muestra N° 1: Grava

Atenderemos con gusto cualquier aclaración al respecto.

Ing. Claudia Ríos Reyes
Laboratorio de Suelos y Pavimentos

Ing. Nathaly Mera Solarte
Laboratorio de Suelos y Pavimentos



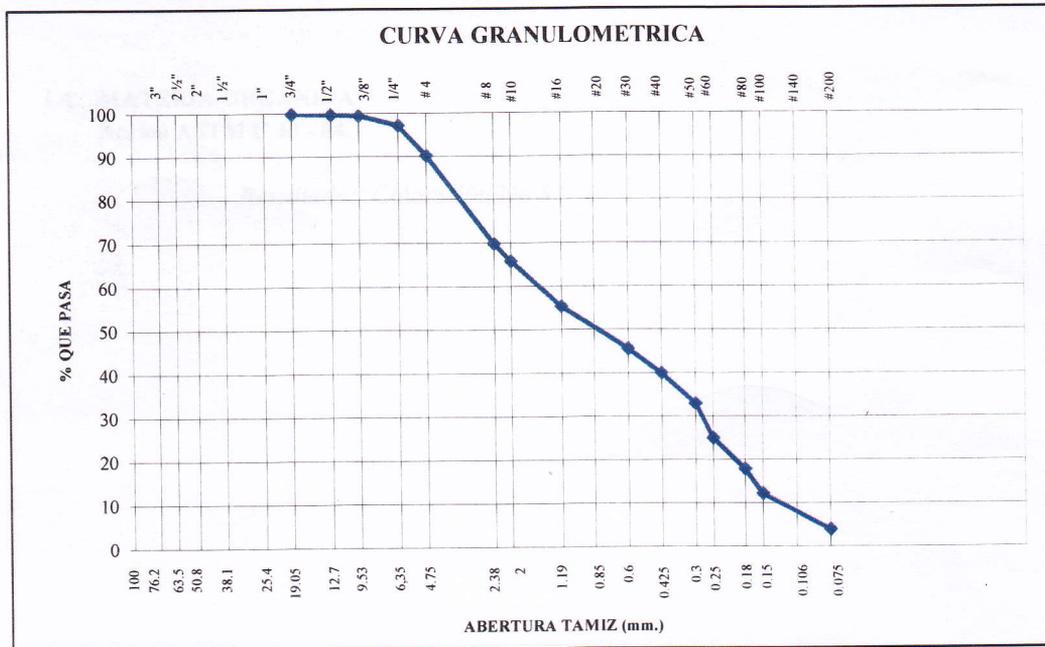
1. MUESTRA N° 1
Arena

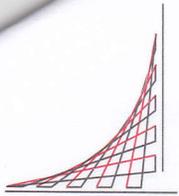
1.1 GRANULOMETRIA
Norma ASTM C 136 - 84a y C 117 - 87



Peso material sucio y seco (g) = 2649,0 Peso recipiente (g) = 0,0
Peso material retenido seco (g) = 2559,0 Peso material pasa No. 200 (g) = 90,0

TAMIZ	PESO MATERIAL + RECIPIENTE (g)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO (corregido)	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3/4"	0,0	0,0	0,0	0,0	100
1/2"	6,1	6,1	0,2	0,2	100
3/8"	6,0	6,0	0,2	0,5	100
1/4"	60,9	60,9	2,3	2,8	97
N° 4	183,2	183,2	6,9	9,7	90
N° 8	540,3	540,3	20,4	30,1	70
N° 10	106,2	106,2	4,0	34,1	66
N° 16	275,8	275,8	10,4	44,5	56
N° 30	258,3	258,3	9,8	54,2	46
N° 40	148,6	148,6	5,6	59,8	40
N° 50	186,4	186,4	7,0	66,9	33
N° 60	210,9	210,9	8,0	74,8	25
N° 80	189,2	189,2	7,1	82,0	18
No. 100	150,9	150,9	5,7	87,7	12
No. 200	217,7	217,7	8,2	95,9	4,1
Fondo	18,5	18,5	4,1	100,0	0
Suma pesos retenidos (g) =		2559,0			





1.2 PESO UNITARIO
Norma ASTM C 29-78

Procedimiento:

Punzonamiento con barra sobre muestra representativa.

Resultado:

Peso unitario suelto = 1498,8 kg/m³
Peso unitario compactado = 1661,7 kg/m³

1.3 DENSIDAD Y ABSORCIÓN
Norma ASTM C 128-84

Resultados:

Densidad aparente = 2,479 g/cm³
Densidad condicion SSS = 2,528 g/cm³
Densidad Nominal = 2,606 g/cm³
Absorción = 2,0 %

1.4 MATERIA ORGÁNICA
Norma ASTM C 40 - 84

Resultado: Coloración No 5



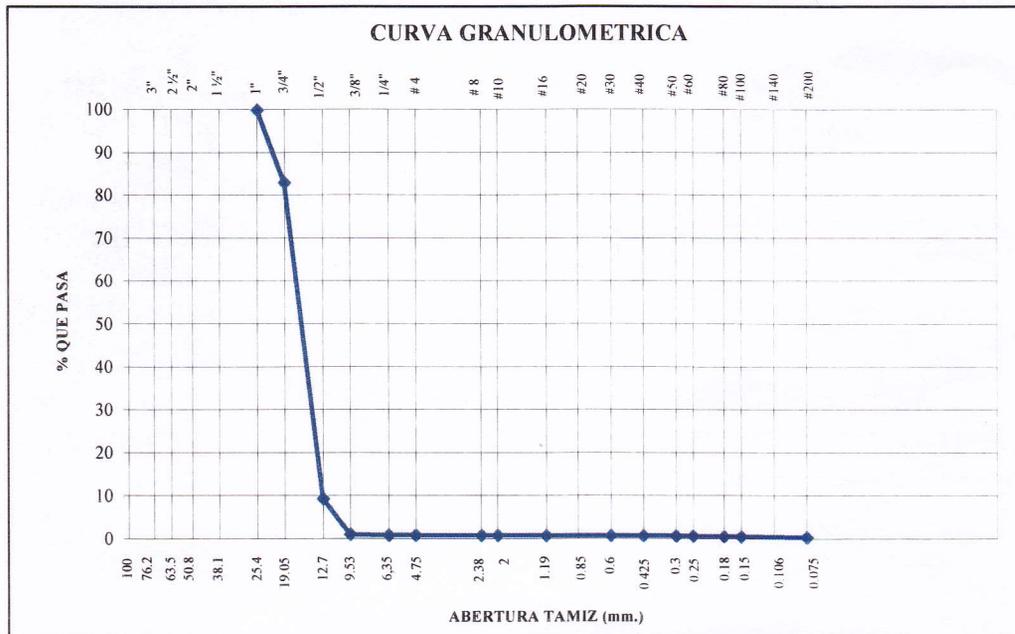
2. MUESTRA N° 2
Grava

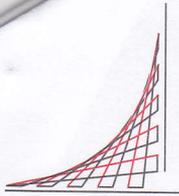
2.1 GRANULOMETRIA
Norma ASTM C 136 - 84a y C 117 - 87

Peso material sucio y seco (g) = 4248,0
Peso material retenido seco (g) = 4232,0

Peso recipiente (g) = 0,0
Peso material pasa No. 200 (g) = 16,0

TAMIZ	PESO MATERIAL + RECIPIENTE (g)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO (corregido)	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
1"	0,0	0,0	0,0	0,0	100
3/4"	723,6	723,6	17,0	17,0	83
1/2"	3124,4	3124,4	73,5	90,6	9
3/8"	353,7	353,7	8,3	98,9	1
1/4"	6,8	6,8	0,2	99,1	1
N° 4	1,3	1,3	0,0	99,1	1
N° 8	2,4	2,4	0,1	99,2	1
N° 10	0,2	0,2	0,0	99,2	1
N° 16	0,6	0,6	0,0	99,2	1
N° 30	0,9	0,9	0,0	99,2	1
N° 40	0,8	0,8	0,0	99,2	1
N° 50	1,5	1,5	0,0	99,3	1
N° 60	1,6	1,6	0,0	99,3	1
N° 80	2,9	2,9	0,1	99,4	1
No. 100	2,1	2,1	0,0	99,4	1
No. 200	7,8	7,8	0,2	99,6	0,4
Fondo	1,4	1,4	0,4	100,0	0
Suma pesos retenidos (g) =		4232,0			





2.2 PESO UNITARIO

Norma ASTM C 29-78

Procedimiento:

Punzonamiento con barra sobre muestra representativa.

Resultado:

Peso unitario suelto = 1291,8 kg/m³

Peso unitario compactado = 1492,1 kg/m³

2.3 DENSIDAD Y ABSORCION

Norma ASTM C 128-84

Resultados:

Densidad aparente = 2,421 g/cm³

Densidad nominal = 2,639 g/cm³

Absorción = 3,4 %



ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO

Bogotá D.C., Febrero 24 de 2014

Ingeniera
NANCY TORRES CASTELLANOS
Jefe del Laboratorio de Estructuras y Materiales
Escuela Colombiana de Ingeniería
Ciudad

Anexo a la presente estamos entregando el informe IG – 005 – 14, correspondiente a los resultados de los ensayos solicitados por usted al Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Escuela Colombiana de Ingeniería, el pasado 10 de Febrero de 2014.

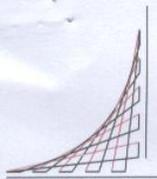
El material recibido y sometido a ensayos, de acuerdo con la identificación dada por usted, fue el siguiente:

- Muestra N° 1: Ladrillo triturado.

Atenderemos con gusto cualquier aclaración al respecto.

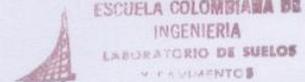
Ing. Claudia Ríos Reyes
Laboratorio de Suelos y Pavimentos

Ing. Nathaly Mera Solarte
Laboratorio de Suelos y Pavimentos



1. MUESTRA N° 1
Ladrillo triturado

1.1 GRANULOMETRIA
Norma ASTM C 136 - 84a y C 117 - 87

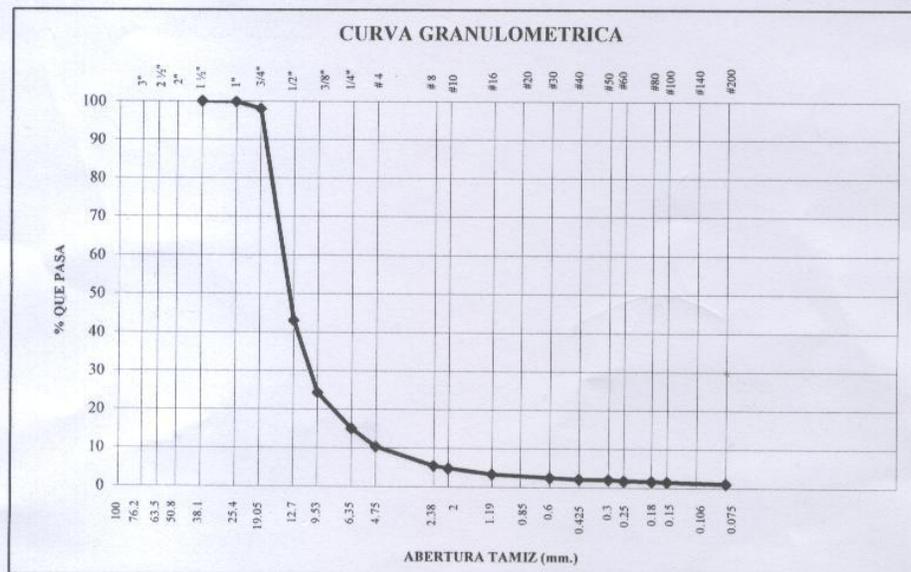


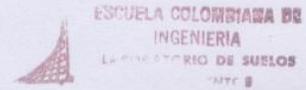
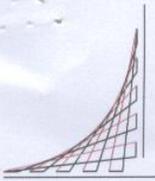
Peso material sucio y seco (g) = 7998,0
Peso material retenido seco (g) = 7931,0

Peso recipiente (g) = 0,0
Peso material pasa No. 200 (g) = 67,0

TAMIZ	PESO MATERIAL + RECIPIENTE (g)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO (corregido)	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
1/2"	0	0,0	0,0	0,0	100
1"	14,2	14,2	0,2	0,2	100
3/4"	148,7	148,7	1,9	2,0	98
1/2"	4399,6	4399,6	55,0	57,0	43
3/8"	1499,1	1499,1	18,7	75,8	24
1/4"	744,4	744,4	9,3	85,1	15
N° 4	369,1	369,1	4,6	89,7	10
N° 8	394,7	394,7	4,9	94,6	5
N° 10	52,9	52,9	0,7	95,3	5
N° 16	118,5	118,5	1,5	96,8	3
N° 30	68,4	68,4	0,9	97,6	2
N° 40	26,3	26,3	0,3	98,0	2
N° 50	4,6	4,6	0,1	98,0	2
N° 60	23,5	23,5	0,3	98,3	2
N° 80	13,0	13,0	0,2	98,5	2
No. 100	10,2	10,2	0,1	98,6	1
No. 200	32,9	32,9	0,4	99,0	1,0
Fondo	10,9	10,9	1,0	100,0	0

Suma pesos retenidos (g) = 7931,0





1.2 PESO UNITARIO
Norma ASTM C 29-78

Procedimiento:

Punzonamiento con barra sobre muestra representativa.

Resultado:

Peso unitario suelto = 1043,4 kg/m³
Peso unitario compactado = 1216,4 kg/m³

1.3 DENSIDAD Y ABSORCION
Norma ASTM C 128-84

Resultados:

Densidad aparente = 1,953 g/cm³
Densidad nominal = 2,643 g/cm³
Absorción = 13,4 %

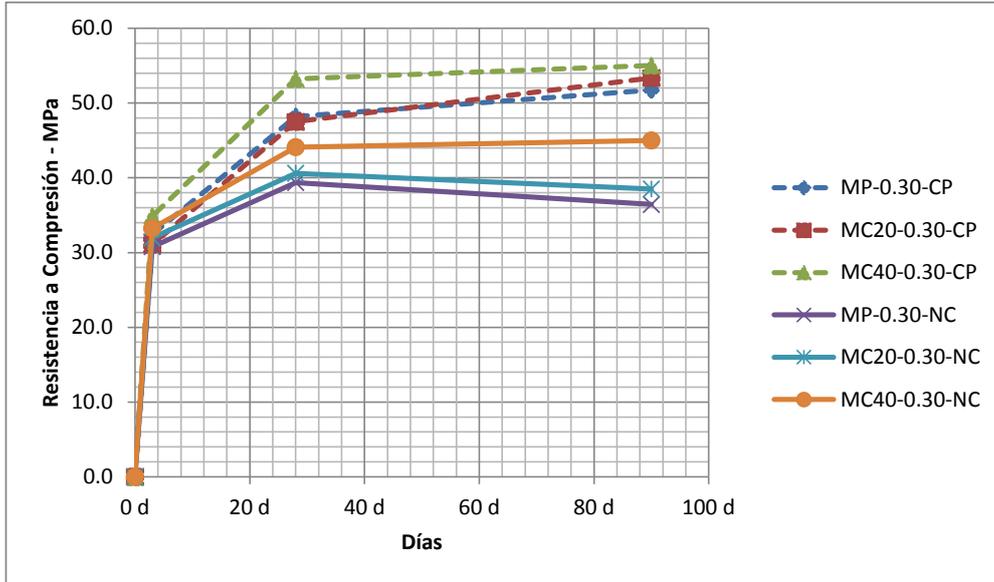
Anexo 2: Ensayos de Resistencia a la Compresión y Módulos de Elasticidad.

TABLAS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Resistencia a la copresión de mezclas con a/c = 0.30.

NO CURADO			
Tiempo	Resistencia (Mpa)		
	MP	MC20	MC40
0 d	0.0	0.0	0.0
3 d	30.8	32.0	33.3
28 d	39.4	40.6	44.1
90 d	36.4	38.5	45.0

CURADO PARCIAL			
Tiempo	Resistencia (Mpa)		
	MP	MC20	MC40
0 d	0.0	0.0	0.0
3 d	32.4	31.1	34.9
28 d	48.2	47.5	53.2
90 d	51.7	53.4	55.0

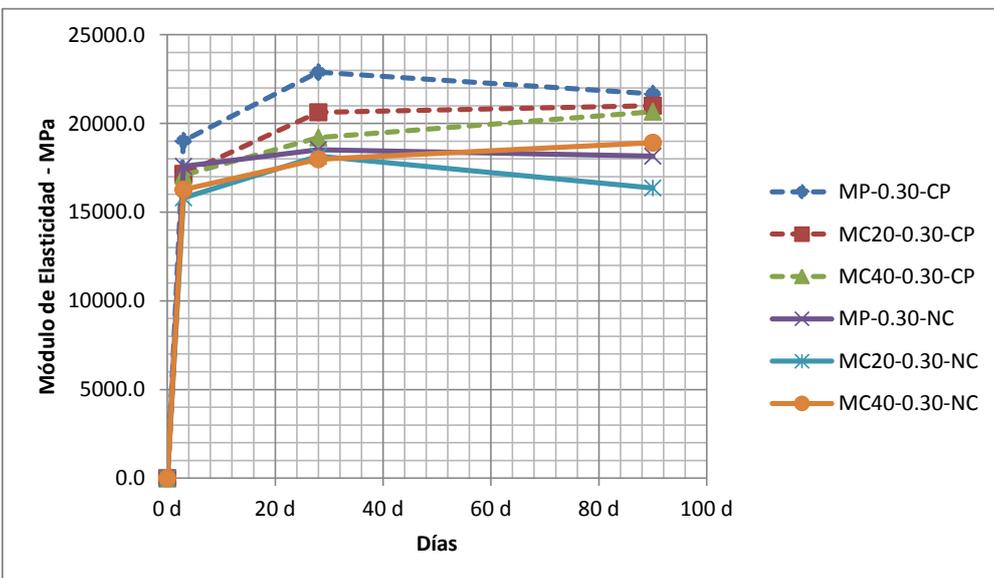


MÓDULO DE ELASTICIDAD

Módulo de elasticidad para mezclas con a/c = 0.30.

NO CURADO			
Tiempo	Módulo (Mpa)		
	MP	MC20	MC40
0 d	0.0	0.0	0.0
3 d	17581.9	15807.0	16271.9
28 d	18520.5	18161.0	17984.6
90 d	18158.2	16362.0	18915.6

CURADO PARCIAL			
Tiempo	Módulo (Mpa)		
	MP	MC20	MC40
0 d	0.0	0.0	0.0
3 d	19020.4	17158.7	17071.8
28 d	22892.5	20631.6	19207.0
90 d	21677.6	21001.2	20668.7

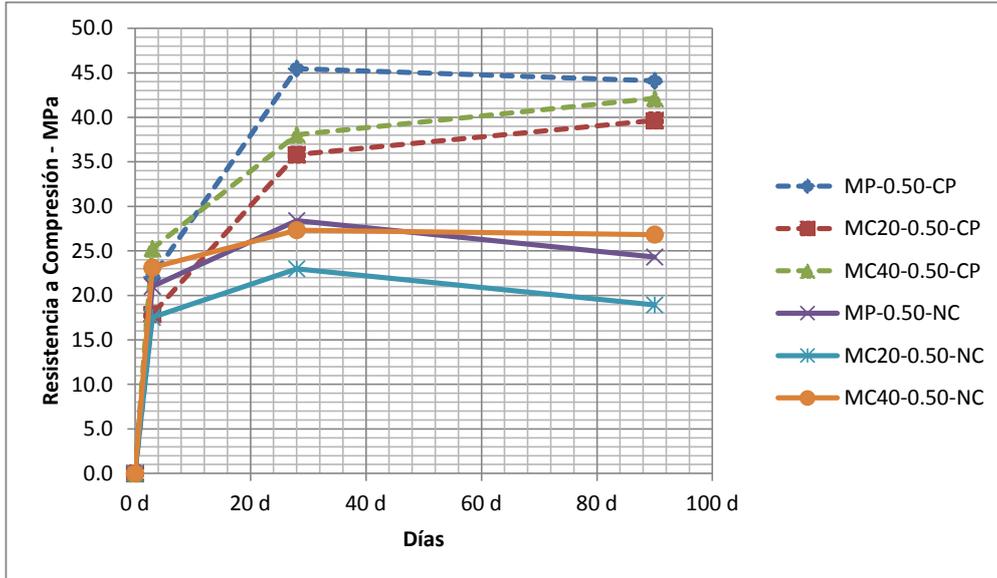


TABLAS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Resistencia a la compresión de mezclas con a/c = 0.50.

NO CURADO			
Tiempo	Resistencia (Mpa)		
	MP	MC20	MC40
0 d	0.0	0.0	0.0
3 d	21.0	17.5	23.1
28 d	28.4	23.0	27.3
90 d	24.3	18.9	26.8

CURADO PARCIAL			
Tiempo	Resistencia (Mpa)		
	MP	MC20	MC40
0 d	0.0	0.0	0.0
3 d	22.1	17.9	25.3
28 d	45.5	35.8	38.1
90 d	44.1	39.7	42.1

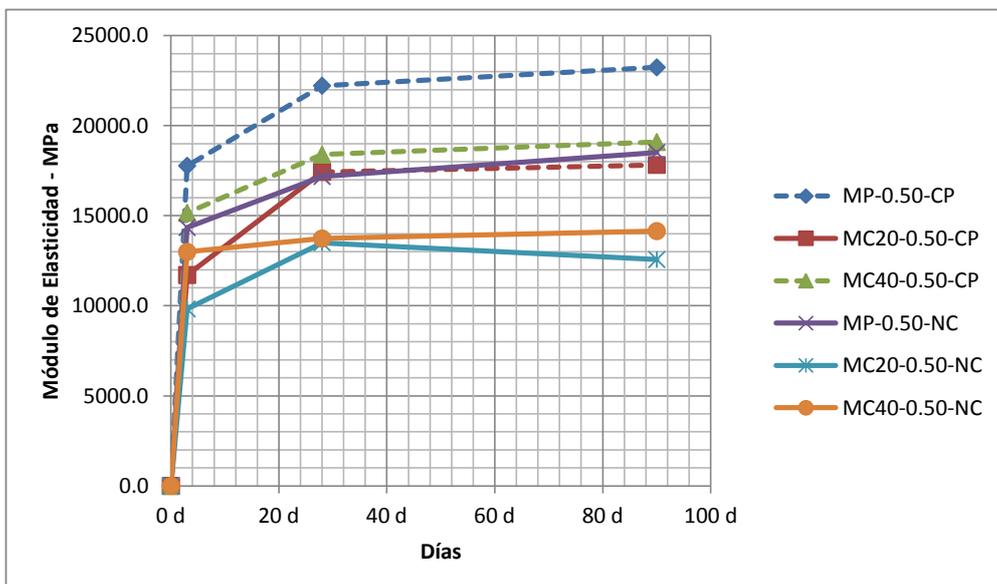


MÓDULO DE ELASTICIDAD

Módulo de elasticidad para mezclas con a/c = 0.50.

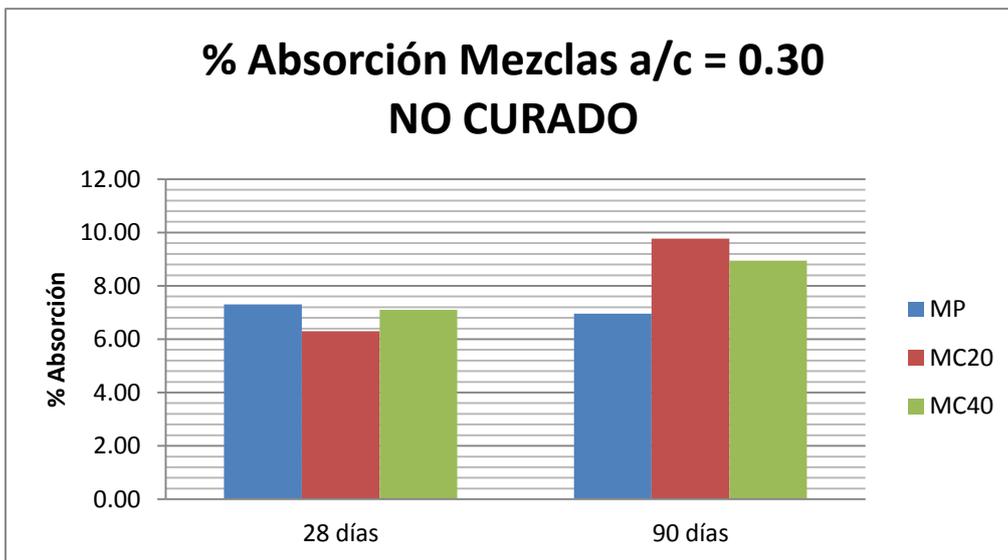
NO CURADO			
Tiempo	Módulo (Mpa)		
	MP	MC20	MC40
0 d	0.0	0.0	0.0
3 d	14343.6	9822.1	12992.4
28 d	17177.5	13500.0	13732.9
90 d	18508.2	12568.9	14144.1

CURADO PARCIAL			
Tiempo	Módulo (Mpa)		
	MP	MC20	MC40
0 d	0.0	0.0	0.0
3 d	17772.2	11707.7	15162.9
28 d	22218.3	17431.3	18393.5
90 d	23236.6	17815.2	19092.5

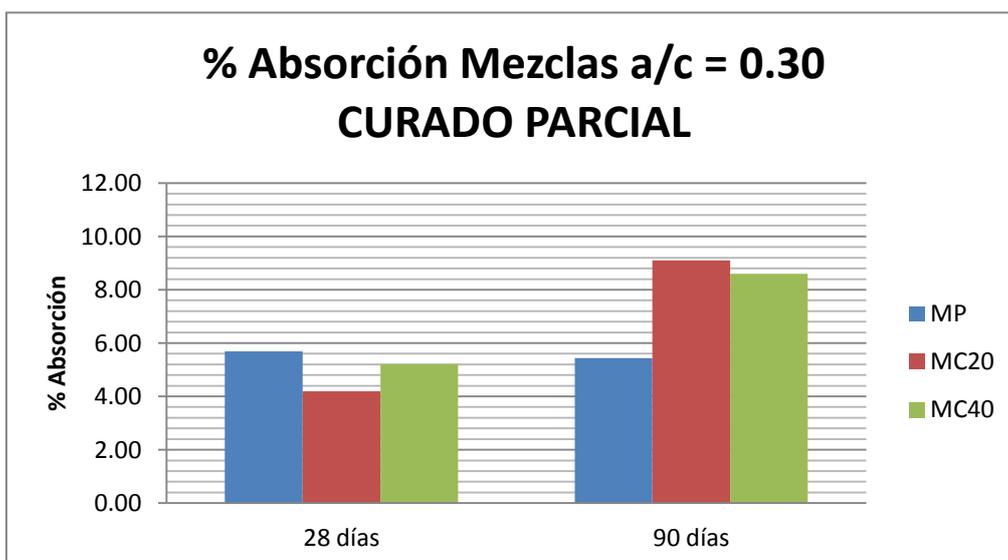


Anexo 3: Ensayos de Absorción.

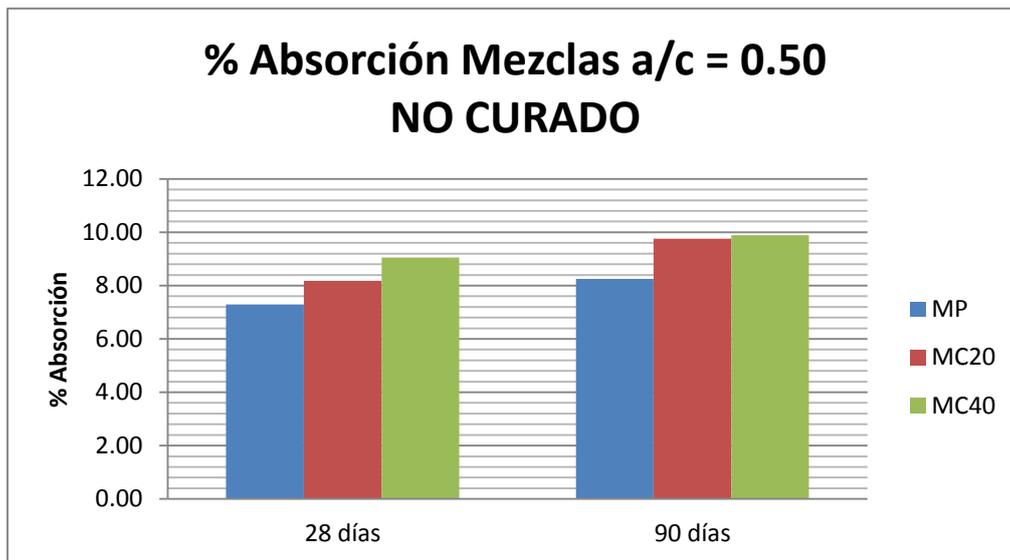
MEZCLAS 0.30		
ABSORCIÓN DESPUÉS DE INMERSIÓN %		
NO CURADO		
	28 días	90 días
MP	7.31	6.96
MC20	6.30	9.77
MC40	7.10	8.95



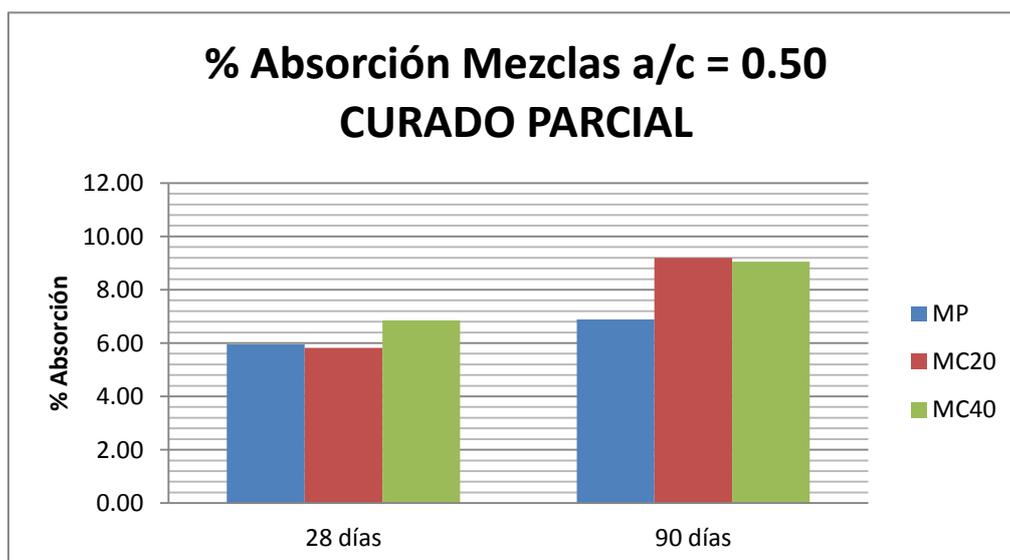
MEZCLAS 0.30		
ABSORCIÓN DESPUÉS DE INMERSIÓN %		
CURADO PARCIAL		
	28 días	90 días
MP	5.69	5.44
MC20	4.19	9.10
MC40	5.22	8.60



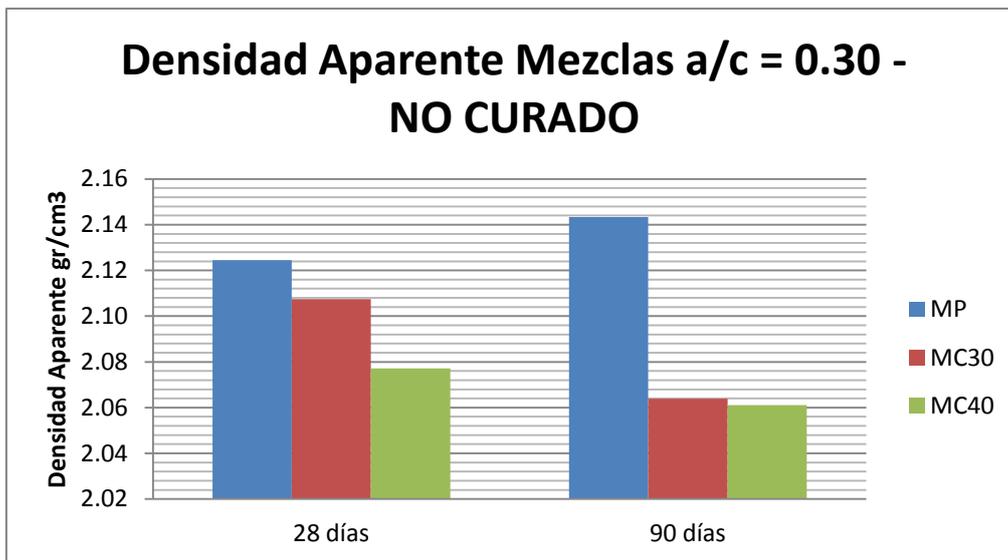
MEZCLAS 0.50		
ABSORCIÓN DESPUÉS DE INMERSIÓN %		
NO CURADO		
	28 días	90 días
MP	7.29	8.25
MC20	8.18	9.76
MC40	9.05	9.89



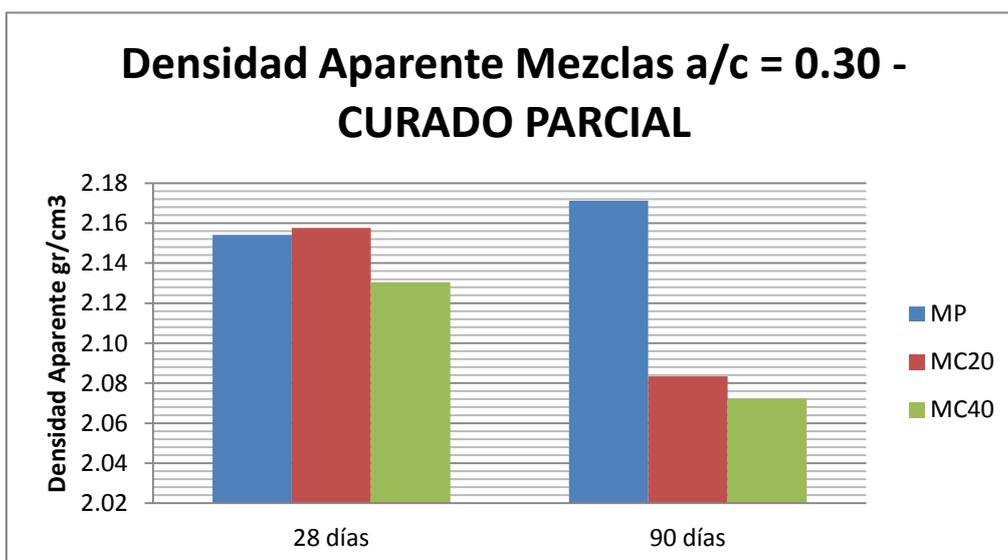
MEZCLAS 0.50		
ABSORCIÓN DESPUÉS DE INMERSIÓN %		
CURADO PARCIAL		
	28 días	90 días
MP	5.95	6.88
MC20	5.83	9.19
MC40	6.85	9.06



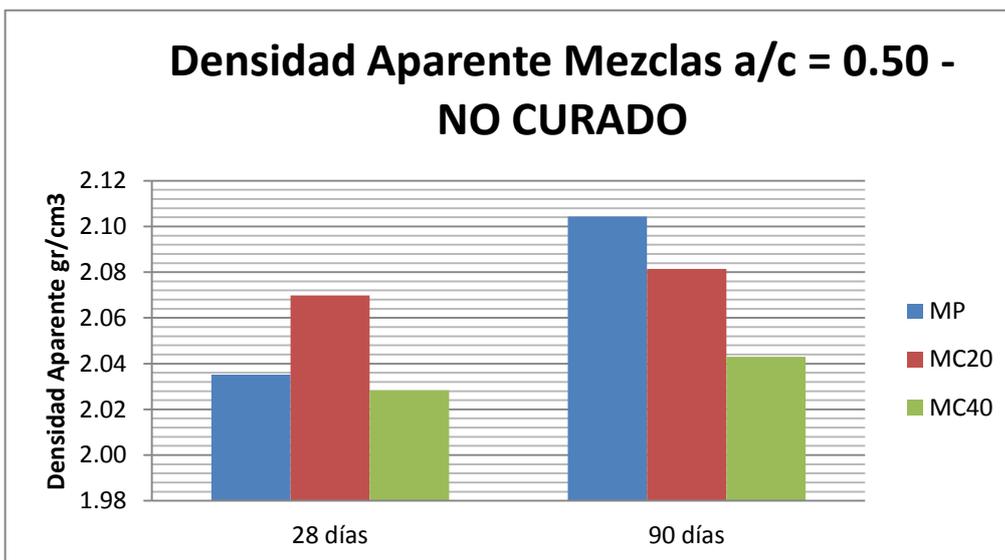
MEZCLAS 0.30		
DENSIDAD APARENTE gr/cm ³		
NO CURADO		
	28 días	90 días
MP	2.12	2.14
MC20	2.11	2.06
MC40	2.08	2.06



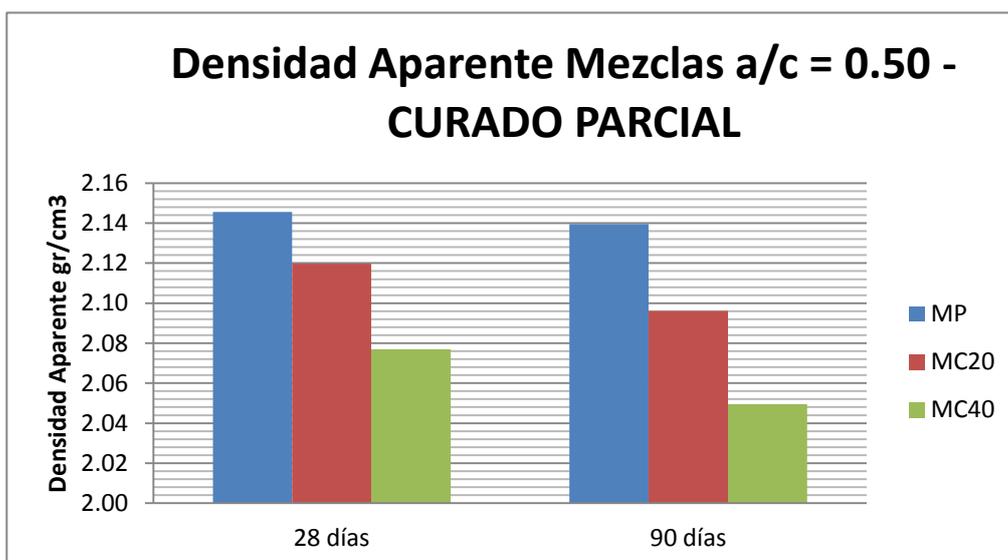
MEZCLAS 0.30		
DENSIDAD APARENTE gr/cm ³		
CURADO PARCIAL		
	28 días	90 días
MP	2.15	2.17
MC20	2.16	2.08
MC40	2.13	2.07



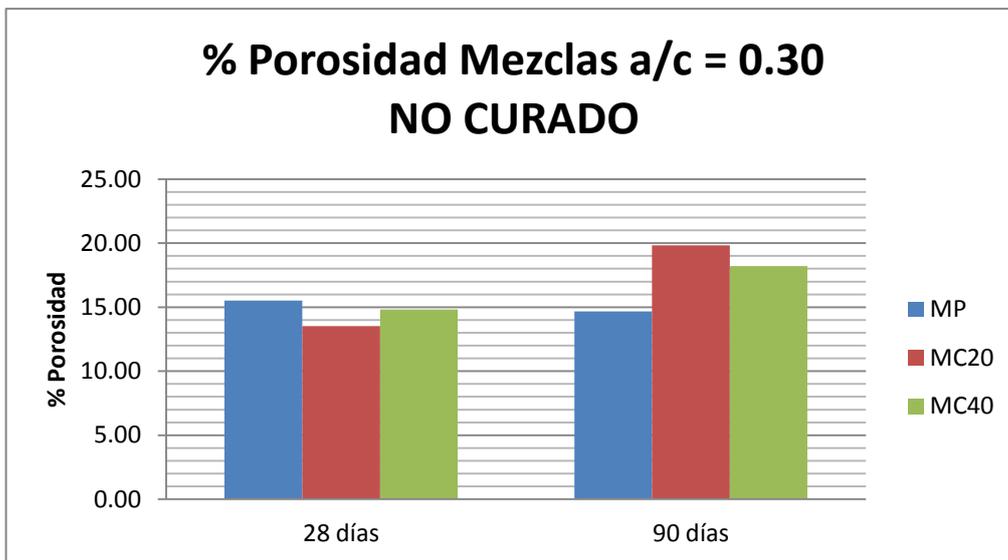
MEZCLAS 0.50		
DENSIDAD APARENTE gr/cm ³		
NO CURADO		
	28 días	90 días
MP	2.04	2.10
MC20	2.07	2.08
MC40	2.03	2.04



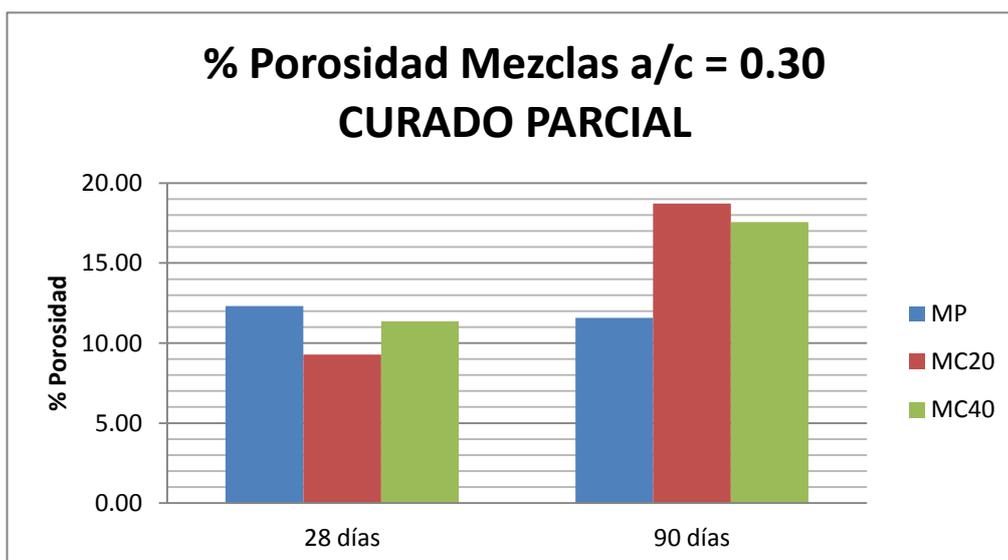
MEZCLAS 0.50		
DENSIDAD APARENTE gr/cm ³		
CURADO PARCIAL		
	28 días	90 días
MP	2.15	2.14
MC20	2.12	2.10
MC40	2.08	2.05



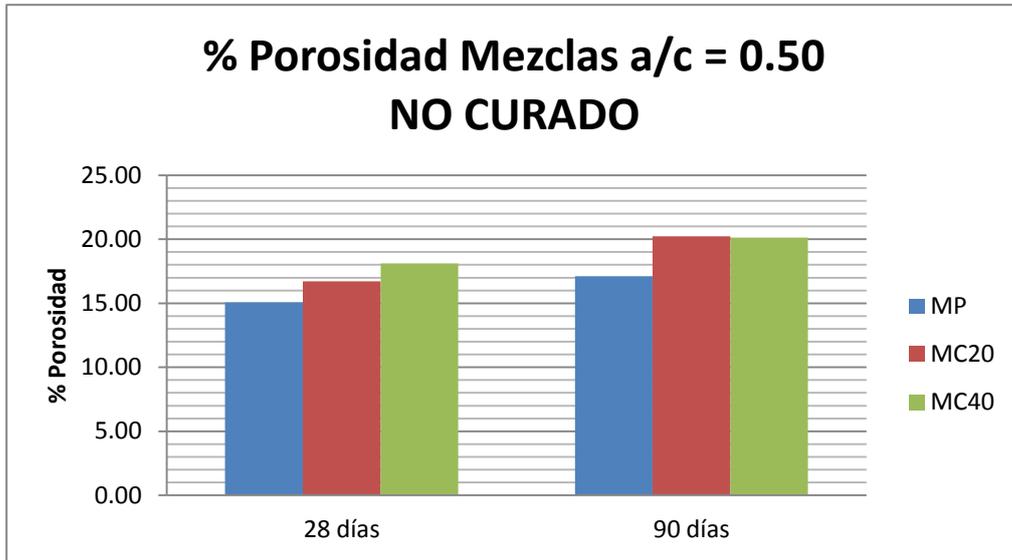
MEZCLAS 0.30		
POROSIDAD %		
NO CURADO		
	28 días	90 días
MP	15.53	14.67
MC20	13.52	19.84
MC40	14.83	18.20



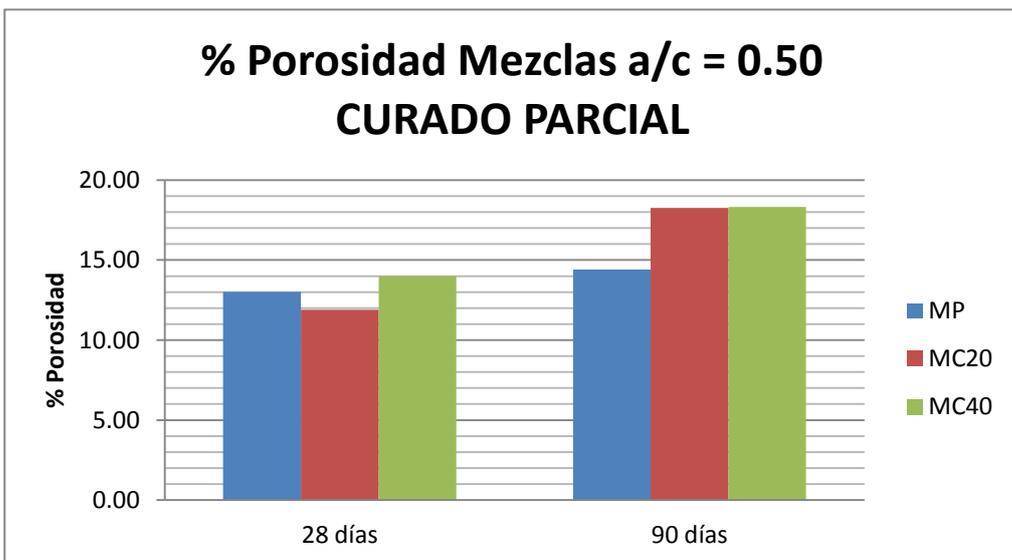
MEZCLAS 0.30		
POROSIDAD %		
CURADO PARCIAL		
	28 días	90 días
MP	12.32	11.57
MC20	9.28	18.73
MC40	11.35	17.56



MEZCLAS 0.30		
POROSIDAD %		
NO CURADO		
	28 días	90 días
MP	15.07	17.11
MC20	16.72	20.23
MC40	18.12	20.12



MEZCLAS 0.30		
POROSIDAD %		
CURADO PARCIAL		
	28 días	90 días
MP	13.00	14.41
MC20	11.89	18.26
MC40	13.99	18.32



ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
ENSAYO DE POROSIDAD, % ABSORCIÓN, PESO UNITARIO - ASTM C-642

DISEÑO 1 - 28 DÍAS				
Muestra	Peso A (gr)	Peso B (gr)	Peso C (gr)	Peso D (gr)
A1	811.0	866.0	866.0	487.0
A2	874.0	939.0	939.0	526.0
A3	830.0	894.0	894.0	502.0
B1	827.0	880.0	880.0	493.0
B2	864.0	908.0	908.0	511.0
B3	864.0	912.0	913.0	511.0

	1 (%)	2 (%)	3 (gr/cm ³)	4 (gr/cm ³)	5 (gr/cm ³)	6 (gr/cm ³)	7 (%)
A1	6.8	6.8	2.14	2.28	2.28	2.50	14.5
A2	7.4	7.4	2.12	2.27	2.27	2.51	15.7
A3	7.7	7.7	2.12	2.28	2.28	2.53	16.3
	7.3	7.3	2.12	2.28	2.28	2.52	15.5
B1	6.4	6.4	2.14	2.27	2.27	2.48	13.7
B2	5.1	5.1	2.18	2.29	2.29	2.45	11.1
B3	5.6	5.7	2.15	2.27	2.27	2.45	12.2
	5.7	5.7	2.15	2.28	2.28	2.46	12.3

DISEÑO 1 - 90 DÍAS				
Muestra	Peso A (gr)	Peso B (gr)	Peso C (gr)	Peso D (gr)
A1	893.0	955.0	953.0	537.0
A2	917.0	978.0	977.0	552.0
A3	880.0	944.0	944.0	530.0
B1	906.0	954.0	953.0	536.0
B2	896.0	943.0	942.0	531.0
B3	899.0	951.0	950.0	534.0

	1 (%)	2 (%)	3 (gr/cm ³)	4 (gr/cm ³)	5 (gr/cm ³)	6 (gr/cm ³)	7 (%)
A1	6.9	6.7	2.15	2.30	2.29	2.51	14.4
A2	6.7	6.5	2.16	2.30	2.30	2.51	14.1
A3	7.3	7.3	2.13	2.28	2.28	2.51	15.5
	7.0	6.8	2.14	2.29	2.29	2.51	14.7
B1	5.3	5.2	2.17	2.29	2.29	2.45	11.3
B2	5.2	5.1	2.18	2.29	2.29	2.45	11.2
B3	5.8	5.7	2.16	2.29	2.28	2.46	12.3
	5.4	5.3	2.17	2.29	2.29	2.46	11.6

A: Peso de la muestra después de permanecer en el horno durante por lo menos 24 horas entre 110 y 115°C y obtener una masa constante.

B: Peso de la muestra después de inmersión en agua durante 48 horas y obtener masa constante.

C: Peso de la muestra después de ebullición en agua durante 5 horas y haber reposado el espécimen en ella hasta disminuir la temperatura de 20 a 25°C.

D: Peso de la muestra sumergida.

(1) Absorción después de la inmersión:

(2) Absorción después de la inmersión y ebullición:

(3) Densidad aparente seca:

(4) Densidad aparente después de la inmersión:

(5) Densidad aparente después de la inmersión y hervir:

(6) Densidad aparente:

(7) Volumen de poros

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
ENSAYO DE POROSIDAD, % ABSORCIÓN, PESO UNITARIO - ASTM C-642

DISEÑO 2 - 28 DÍAS				
Muestra	Peso A (gr)	Peso B (gr)	Peso C (gr)	Peso D (gr)
A1	828.0	889.0	890.0	487.0
A2	900.0	963.0	964.0	520.0
A3	840.0	903.0	904.0	489.0
B1	894.0	948.0	949.0	528.0
B2	890.0	942.0	943.0	532.0
B3	872.0	924.0	925.0	519.0

	1 (%)	2 (%)	3 (gr/cm ³)	4 (gr/cm ³)	5 (gr/cm ³)	6 (gr/cm ³)	7 (%)
A1	7.4	7.5	2.05	2.21	2.21	2.43	15.4
A2	7.0	7.1	2.03	2.17	2.17	2.37	14.4
A3	7.5	7.6	2.02	2.18	2.18	2.39	15.4
	7.3	7.4	2.04	2.18	2.19	2.40	15.1
B1	6.0	6.2	2.12	2.25	2.25	2.44	13.1
B2	5.8	6.0	2.17	2.29	2.29	2.49	12.9
B3	6.0	6.1	2.15	2.28	2.28	2.47	13.1
	5.9	6.1	2.15	2.27	2.28	2.47	13.0

DISEÑO 2 - 90 DÍAS				
Muestra	Peso A (gr)	Peso B (gr)	Peso C (gr)	Peso D (gr)
A1	878.0	950.0	950.0	531.0
A2	849.0	920.0	920.0	515.0
A3	893.0	966.0	963.0	542.0
B1	875.0	936.0	934.0	525.0
B2	945.0	1012.0	1010.0	568.0
B3	880.0	938.0	938.0	527.0

	1 (%)	2 (%)	3 (gr/cm ³)	4 (gr/cm ³)	5 (gr/cm ³)	6 (gr/cm ³)	7 (%)
A1	8.2	8.2	2.10	2.27	2.27	2.53	17.2
A2	8.4	8.4	2.10	2.27	2.27	2.54	17.5
A3	8.2	7.8	2.12	2.29	2.29	2.54	16.6
	8.2	8.1	2.10	2.28	2.28	2.54	17.1
B1	7.0	6.7	2.14	2.29	2.28	2.50	14.4
B2	7.1	6.9	2.14	2.29	2.29	2.51	14.7
B3	6.6	6.6	2.14	2.28	2.28	2.49	14.1
	6.9	6.7	2.14	2.29	2.28	2.50	14.4

A: Peso de la muestra después de permanecer en el horno durante por lo menos 24 horas entre 110 y 115°C y obtener una masa constante.

B: Peso de la muestra después de inmersión en agua durante 48 horas y obtener masa constante.

C: Peso de la muestra después de ebullición en agua durante 5 horas y haber reposado el espécimen en ella hasta disminuir la temperatura de 20 a 25°C.

D: Peso de la muestra sumergida.

(1) Absorción después de la inmersión:

(2) Absorción después de la inmersión y ebullición:

(3) Densidad aparente seca:

(4) Densidad aparente después de la inmersión:

(5) Densidad aparente después de la inmersión y hervir:

(6) Densidad aparente:

(7) Volumen de poros

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
ENSAYO DE POROSIDAD, % ABSORCIÓN, PESO UNITARIO - ASTM C-642

DISEÑO 3 - 28 DÍAS				
Muestra	Peso A (gr)	Peso B (gr)	Peso C (gr)	Peso D (gr)
A1	861.0	919.0	920.0	509.0
A2	857.0	913.0	914.0	507.0
A3	887.0	937.0	938.0	520.0
B1	865.0	901.0	902.0	501.0
B2	917.0	954.0	955.0	530.0
B3	915.0	955.0	956.0	532.0

	1 (%)	2 (%)	3 (gr/cm ³)	4 (gr/cm ³)	5 (gr/cm ³)	6 (gr/cm ³)	7 (%)
A1	6.7	6.9	2.09	2.24	2.24	2.45	14.4
A2	6.5	6.7	2.11	2.24	2.25	2.45	14.0
A3	5.6	5.7	2.12	2.24	2.24	2.42	12.2
	6.3	6.4	2.11	2.24	2.24	2.44	13.5
B1	4.2	4.3	2.16	2.25	2.25	2.38	9.2
B2	4.0	4.1	2.16	2.24	2.25	2.37	8.9
B3	4.4	4.5	2.16	2.25	2.25	2.39	9.7
	4.2	4.3	2.16	2.25	2.25	2.38	9.3

DISEÑO 3 - 90 DÍAS				
Muestra	Peso A (gr)	Peso B (gr)	Peso C (gr)	Peso D (gr)
A1	859.0	943.0	941.0	526.0
A2	899.0	986.0	985.0	550.0
A3	894.0	982.0	981.0	546.0
B1	830.0	907.0	906.0	507.0
B2	860.0	938.0	937.0	524.0
B3	881.0	960.0	959.0	537.0

	1 (%)	2 (%)	3 (gr/cm ³)	4 (gr/cm ³)	5 (gr/cm ³)	6 (gr/cm ³)	7 (%)
A1	9.8	9.5	2.07	2.27	2.27	2.58	19.8
A2	9.7	9.6	2.07	2.27	2.26	2.58	19.8
A3	9.8	9.7	2.06	2.26	2.26	2.57	20.0
	9.8	9.6	2.06	2.27	2.26	2.57	19.8
B1	9.3	9.2	2.08	2.27	2.27	2.57	19.0
B2	9.1	9.0	2.08	2.27	2.27	2.56	18.6
B3	9.0	8.9	2.09	2.27	2.27	2.56	18.5
	9.1	9.0	2.08	2.27	2.27	2.56	18.7

- A: Peso de la muestra después de permanecer en el horno durante por lo menos 24 horas entre 110 y 115°C y obtener una masa constante.
 B: Peso de la muestra después de inmersión en agua durante 48 horas y obtener masa constante.
 C: Peso de la muestra después de ebullición en agua durante 5 horas y haber reposado el espécimen en ella hasta disminuir la temperatura de 20 a 25°C.
 D: Peso de la muestra sumergida.

(1) Absorción después de la inmersión:

(2) Absorción después de la inmersión y ebullición:

(3) Densidad aparente seca:

(4) Densidad aparente después de la inmersión:

(5) Densidad aparente después de la inmersión y hervir:

(6) Densidad aparente:

(7) Volumen de poros

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
ENSAYO DE POROSIDAD, % ABSORCIÓN, PESO UNITARIO - ASTM C-642

DISEÑO 4 - 28 DÍAS				
Muestra	Peso A (gr)	Peso B (gr)	Peso C (gr)	Peso D (gr)
A1	893.0	1001.0	1001.0	552.0
A2	910.0	987.0	987.0	548.0
A3	902.0	938.0	938.0	518.0
B1	926.0	943.0	941.0	523.0
B2	918.0	963.0	963.0	532.0
B3	866.0	959.0	959.0	529.0

	1 (%)	2 (%)	3 (gr/cm ³)	4 (gr/cm ³)	5 (gr/cm ³)	6 (gr/cm ³)	7 (%)
A1	12.1	12.1	1.99	2.23	2.23	2.62	24.1
A2	8.5	8.5	2.07	2.25	2.25	2.51	17.5
A3	4.0	4.0	2.15	2.23	2.23	2.35	8.6
	8.2	8.2	2.07	2.24	2.24	2.49	16.7
B1	1.8	1.6	2.22	2.26	2.25	2.30	3.6
B2	4.9	4.9	2.13	2.23	2.23	2.38	10.4
B3	10.7	10.7	2.01	2.23	2.23	2.57	21.6
	5.8	5.8	2.12	2.24	2.24	2.42	11.9

DISEÑO 4 - 90 DÍAS				
Muestra	Peso A (gr)	Peso B (gr)	Peso C (gr)	Peso D (gr)
A1	817.0	897.0	897.0	503.0
A2	828.0	908.0	907.0	511.0
A3	834.0	916.0	916.0	515.0
B1	854.0	931.0	920.0	522.0
B2	810.0	884.0	884.0	494.0
B3	849.0	929.0	928.0	517.0

	1 (%)	2 (%)	3 (gr/cm ³)	4 (gr/cm ³)	5 (gr/cm ³)	6 (gr/cm ³)	7 (%)
A1	9.8	9.8	2.07	2.28	2.28	2.60	20.3
A2	9.7	9.5	2.09	2.29	2.29	2.61	19.9
A3	9.8	9.8	2.08	2.28	2.28	2.61	20.4
	9.8	9.7	2.08	2.28	2.28	2.61	20.2
B1	9.0	7.7	2.15	2.34	2.31	2.57	16.6
B2	9.1	9.1	2.08	2.27	2.27	2.56	19.0
B3	9.4	9.3	2.07	2.26	2.26	2.56	19.2
	9.2	8.7	2.10	2.29	2.28	2.56	18.3

A: Peso de la muestra después de permanecer en el horno durante por lo menos 24 horas entre 110 y 115°C y obtener una masa constante.

B: Peso de la muestra después de inmersión en agua durante 48 horas y obtener masa constante.

C: Peso de la muestra después de ebullición en agua durante 5 horas y haber reposado el espécimen en ella hasta disminuir la temperatura de 20 a 25°C.

D: Peso de la muestra sumergida.

(1) Absorción después de la inmersión:

(2) Absorción después de la inmersión y ebullición:

(3) Densidad aparente seca:

(4) Densidad aparente después de la inmersión:

(5) Densidad aparente después de la inmersión y hervir:

(6) Densidad aparente:

(7) Volumen de poros

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
ENSAYO DE POROSIDAD, % ABSORCIÓN, PESO UNITARIO - ASTM C-642

DISEÑO 5 - 28 DÍAS				
Muestra	Peso A (gr)	Peso B (gr)	Peso C (gr)	Peso D (gr)
A1	867.0	928.0	929.0	512.0
A2	854.0	912.0	912.0	503.0
A3	869.0	934.0	934.0	513.0
B1	858.0	905.0	906.0	501.0
B2	887.0	929.0	930.0	516.0
B3	865.0	912.0	913.0	507.0

	1 (%)	2 (%)	3 (gr/cm ³)	4 (gr/cm ³)	5 (gr/cm ³)	6 (gr/cm ³)	7 (%)
A1	7.0	7.2	2.08	2.23	2.23	2.44	14.9
A2	6.8	6.8	2.09	2.23	2.23	2.43	14.2
A3	7.5	7.5	2.06	2.22	2.22	2.44	15.4
	7.1	7.1	2.08	2.22	2.23	2.44	14.8
B1	5.5	5.6	2.12	2.23	2.24	2.40	11.9
B2	4.7	4.8	2.14	2.24	2.25	2.39	10.4
B3	5.4	5.5	2.13	2.25	2.25	2.42	11.8
	5.2	5.3	2.13	2.24	2.24	2.40	11.4

DISEÑO 5 - 90 DÍAS				
Muestra	Peso A (gr)	Peso B (gr)	Peso C (gr)	Peso D (gr)
A1	874.0	952.0	951.0	528.0
A2	862.0	940.0	939.0	517.0
A3	834.0	908.0	907.0	505.0
B1	786.0	853.0	852.0	473.0
B2	841.0	913.0	912.0	506.0
B3	839.0	912.0	911.0	506.0

	1 (%)	2 (%)	3 (gr/cm ³)	4 (gr/cm ³)	5 (gr/cm ³)	6 (gr/cm ³)	7 (%)
A1	8.9	8.8	2.07	2.25	2.25	2.53	18.2
A2	9.0	8.9	2.04	2.23	2.23	2.50	18.2
A3	8.9	8.8	2.07	2.26	2.26	2.53	18.2
	8.9	8.8	2.06	2.25	2.24	2.52	18.2
B1	8.5	8.4	2.07	2.25	2.25	2.51	17.4
B2	8.6	8.4	2.07	2.25	2.25	2.51	17.5
B3	8.7	8.6	2.07	2.25	2.25	2.52	17.8
	8.6	8.5	2.07	2.25	2.25	2.51	17.6

A: Peso de la muestra después de permanecer en el horno durante por lo menos 24 horas entre 110 y 115°C y obtener una masa constante.

B: Peso de la muestra después de inmersión en agua durante 48 horas y obtener masa constante.

C: Peso de la muestra después de ebullición en agua durante 5 horas y haber reposado el espécimen en ella hasta disminuir la temperatura de 20 a 25°C.

D: Peso de la muestra sumergida.

(1) Absorción después de la inmersión:

(2) Absorción después de la inmersión y ebullición:

(3) Densidad aparente seca:

(4) Densidad aparente después de la inmersión:

(5) Densidad aparente después de la inmersión y hervir:

(6) Densidad aparente:

(7) Volumen de poros

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
ENSAYO DE POROSIDAD, % ABSORCIÓN, PESO UNITARIO - ASTM C-642

DISEÑO 6 - 28 DÍAS				
Muestra	Peso A (gr)	Peso B (gr)	Peso C (gr)	Peso D (gr)
A1	841.0	920.0	919.0	503.0
A2	822.0	896.0	895.0	489.0
A3	787.0	856.0	855.0	469.0
B1	883.0	950.0	949.0	519.0
B2	880.0	936.0	935.0	515.0
B3	862.0	919.0	918.0	504.0

	1 (%)	2 (%)	3 (gr/cm ³)	4 (gr/cm ³)	5 (gr/cm ³)	6 (gr/cm ³)	7 (%)
A1	9.4	9.3	2.02	2.21	2.21	2.49	18.8
A2	9.0	8.9	2.02	2.21	2.20	2.47	18.0
A3	8.8	8.6	2.04	2.22	2.22	2.47	17.6
	9.1	8.9	2.03	2.21	2.21	2.48	18.1
B1	7.6	7.5	2.05	2.21	2.21	2.43	15.3
B2	6.4	6.3	2.10	2.23	2.23	2.41	13.1
B3	6.6	6.5	2.08	2.22	2.22	2.41	13.5
	6.9	6.7	2.08	2.22	2.22	2.41	14.0

DISEÑO 6 - 90 DÍAS				
Muestra	Peso A (gr)	Peso B (gr)	Peso C (gr)	Peso D (gr)
A1	799.0	879.0	879.0	486.0
A2	899.0	985.0	985.0	548.0
A3	842.0	927.0	926.0	513.0
B1	865.0	942.0	941.0	520.0
B2	844.0	923.0	922.0	509.0
B3	853.0	929.0	928.0	512.0

	1 (%)	2 (%)	3 (gr/cm ³)	4 (gr/cm ³)	5 (gr/cm ³)	6 (gr/cm ³)	7 (%)
A1	10.0	10.0	2.03	2.24	2.24	2.55	20.4
A2	9.6	9.6	2.06	2.25	2.25	2.56	19.7
A3	10.1	10.0	2.04	2.24	2.24	2.56	20.3
	9.9	9.9	2.04	2.25	2.24	2.56	20.1
B1	8.9	8.8	2.05	2.24	2.24	2.51	18.1
B2	9.4	9.2	2.04	2.23	2.23	2.52	18.9
B3	8.9	8.8	2.05	2.23	2.23	2.50	18.0
	9.1	8.9	2.05	2.24	2.23	2.51	18.3

- A: Peso de la muestra después de permanecer en el horno durante por lo menos 24 horas entre 110 y 115°C y obtener una masa constante.
 B: Peso de la muestra después de inmersión en agua durante 48 horas y obtener masa constante.
 C: Peso de la muestra después de ebullición en agua durante 5 horas y haber reposado el espécimen en ella hasta disminuir la temperatura de 20 a 25°C.
 D: Peso de la muestra sumergida.

(1) Absorción después de la inmersión:

(2) Absorción después de la inmersión y ebullición:

(3) Densidad aparente seca:

(4) Densidad aparente después de la inmersión:

(5) Densidad aparente después de la inmersión y hervir:

(6) Densidad aparente:

(7) Volumen de poros

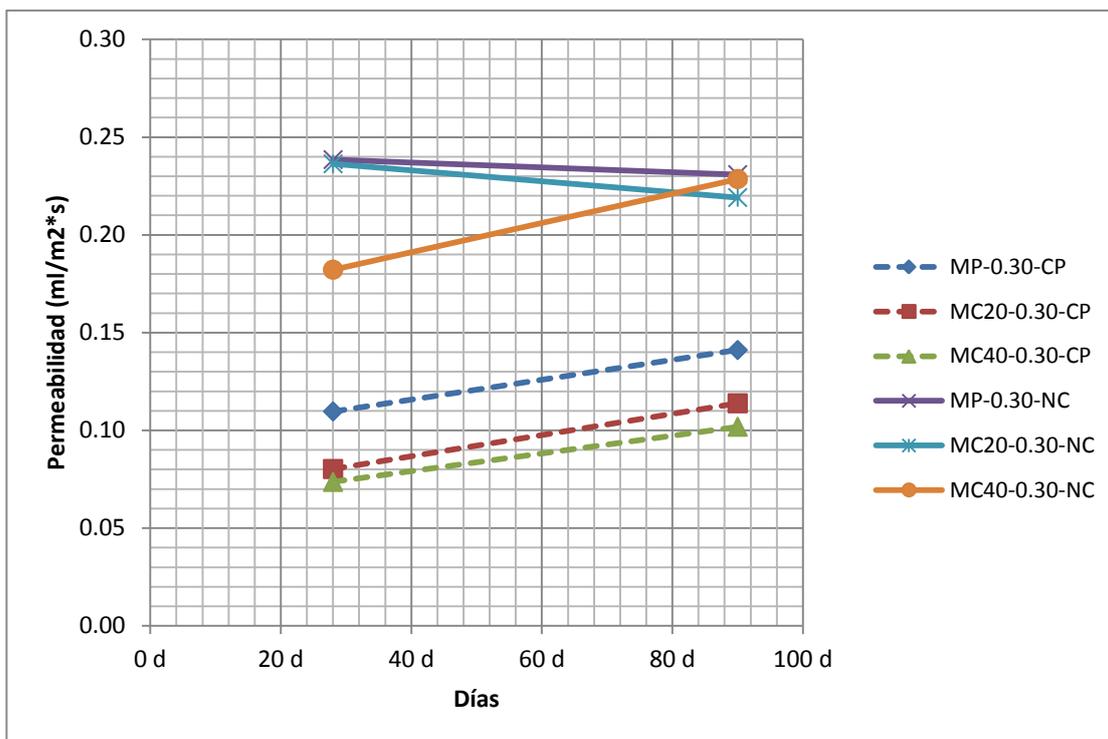
Anexo 4: Ensayos de Permeabilidad – ISAT

TABLAS ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Permeabilidad para mezclas con $a/c = 0.30$.

NO CURADO			
Tiempo	Permeabilidad (ml/m ² * s)		
	MP	MC20	MC40
28 d	0.24	0.24	0.18
90 d	0.23	0.22	0.23

CURADO PARCIAL			
Tiempo	Permeabilidad (ml/m ² * s)		
	MP	MC20	MC40
28 d	0.11	0.08	0.07
90 d	0.14	0.11	0.10

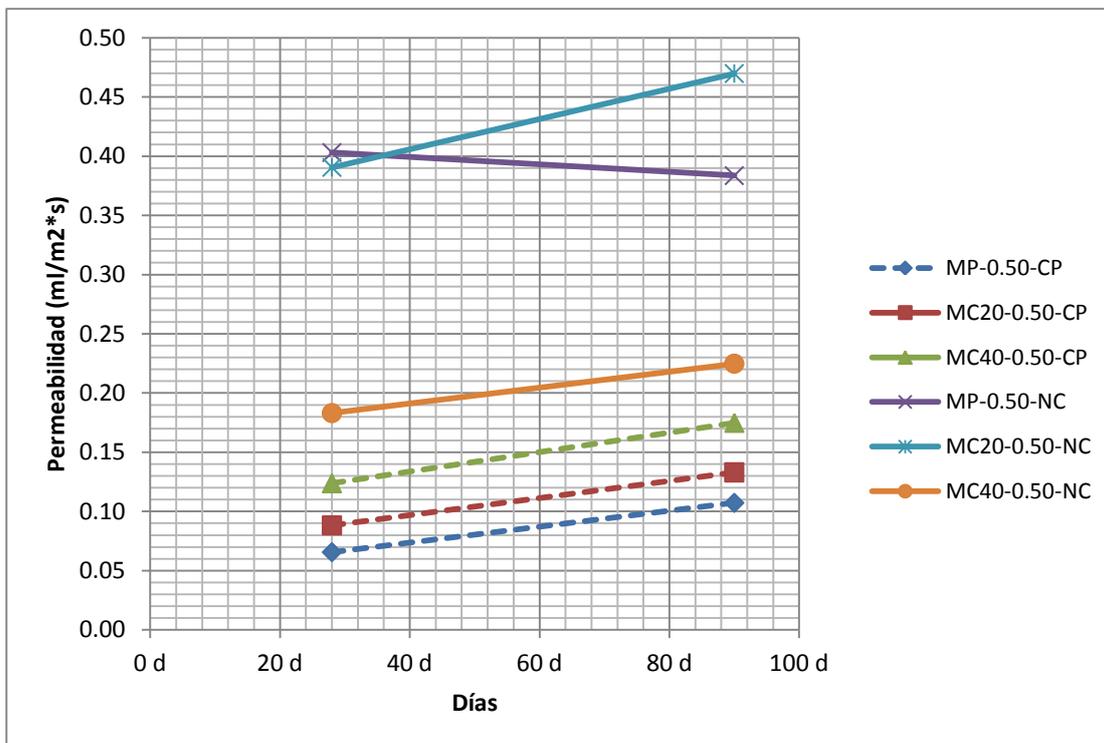


TABLAS ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Permeabilidad para mezclas con $a/c = 0.50$.

NO CURADO			
Tiempo	Permeabilidad (ml/m ² * s)		
	MP	MC20	MC40
28 d	0.40	0.39	0.18
90 d	0.38	0.47	0.22

CURADO PARCIAL			
Tiempo	Permeabilidad (ml/m ² * s)		
	MP	MC20	MC40
28 d	0.07	0.09	0.12
90 d	0.11	0.13	0.17



**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
ENSAYO TASA DE ABSORCIÓN SUPERFICIAL INICIAL**

ZONA	B1 - Diseño 1 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-04-16		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T(°C) Conc.			
10 min	2.0	2.0 min	35.5	16.7	17.8	0.18	0.20
20 min	1.0	2.0 min	20.7	Fact. _{Corr}	10.4	0.10	0.11
30 min	0.7	2.0 min	15.7	1.11	7.9	0.08	0.09

ZONA	A1 - Diseño 1 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-04-16		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T(°C) Conc.			
10 min	3.0	1.0 min	31.5	18.3	31.5	0.32	0.33
20 min	2.0	2.0 min	41.0	Fact. _{Corr}	20.5	0.21	0.22
30 min	1.3	2.0 min	32.0	1.06	16.0	0.16	0.17

ZONA	A2 - Diseño 1 - 28 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-04-16		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T(°C) Conc.			
10 min	3.5	1.0 min	39.0	19.3	39.0	0.39	0.40
20 min	2.5	2.0 min	49.0	Fact. _{Corr}	24.5	0.25	0.25
30 min	1.8	2.0 min	37.5	1.02	18.8	0.19	0.19

ZONA	B2 - Diseño 1 - 28 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-04-16		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T(°C) Conc.			
10 min	1.2	2.0 min	23.0	16.8	11.5	0.12	0.13
20 min	0.7	2.0 min	15.0	Fact. _{Corr}	7.5	0.08	0.08
30 min	0.5	2.0 min	10.8	1.11	5.4	0.05	0.06

ZONA	B3 - Diseño 1 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-04-16		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T(°C) Conc.			
10 min	1.3	2.0 min	28.5	17.9	14.3	0.14	0.15
20 min	0.8	2.0 min	18.0	Fact. _{Corr}	9.0	0.09	0.10
30 min	0.5	2.0 min	13.0	1.07	6.5	0.07	0.07

ZONA	A3 - Diseño 1 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-04-16		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T(°C) Conc.			
10 min	2.5	2.0 min	53.0	19.4	26.5	0.27	0.27
20 min	1.8	2.0 min	35.0	Fact. _{Corr}	17.5	0.18	0.18
30 min	1.3	2.0 min	27.0	1.02	13.5	0.14	0.14

ZONA	B1 - Diseño 1 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-05		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T(°C) Conc.			
10 min	2.0	2.0 min	40.0	18.3	20.0	0.20	0.21
20 min	1.2	2.0 min	27.0	Fact. _{Corr}	13.5	0.14	0.14
30 min	0.8	2.0 min	20.5	1.06	10.3	0.10	0.11

ZONA	A1 - Diseño 1 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-05		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T(°C) Conc.			
10 min	3.0	1.0 min	29.5	17.4	29.5	0.30	0.32
20 min	2.2	2.0 min	47.0	Fact. _{Corr}	23.5	0.24	0.26
30 min	1.7	2.0 min	36.5	1.09	18.3	0.18	0.20

ZONA	A2 - Diseño 1 - 90 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-05		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T(°C) Conc.			
10 min	3.2	1.0 min	35.0	20.1	35.0	0.35	0.35
20 min	2.7	2.0 min	49.5	Fact. _{Corr}	24.8	0.25	0.25
30 min	2.2	2.0 min	37.0	1.00	18.5	0.19	0.18

ZONA	B2 - Diseño 1 - 90 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-05		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T(°C) Conc.			
10 min	1.7	2.0 min	38.0	18.4	19.0	0.19	0.20
20 min	1.0	2.0 min	22.5	Fact. _{Corr}	11.3	0.11	0.12
30 min	0.7	2.0 min	16.5	1.05	8.3	0.08	0.09

ZONA	B3 - Diseño 1 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-05		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T(°C) Conc.			
10 min	1.8	2.0 min	36.0	17.3	18.0	0.18	0.20
20 min	1.2	2.0 min	22.0	Fact. _{Corr}	11.0	0.11	0.12
30 min	0.7	2.0 min	15.8	1.09	7.9	0.08	0.09

ZONA	A3 - Diseño 1 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-05		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T(°C) Conc.			
10 min	2.2	2.0 min	45.2	20.3	22.6	0.23	0.22
20 min	1.7	2.0 min	33.5	Fact. _{Corr}	16.8	0.17	0.17
30 min	1.2	2.0 min	26.5	0.99	13.3	0.13	0.13

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
ENSAYO TASA DE ABSORCIÓN SUPERFICIAL INICIAL**

ZONA	A1 - Diseño 2 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-05-08		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	7.0	1.0 min	72.0	21.2	72.0	0.72	0.70
20 min	4.5	1.0 min	46.5	Fact _{corr}	46.5	0.47	0.45
30 min	3.0	1.0 min	35.0	0.98	35.0	0.35	0.34

ZONA	A2 - Diseño 2 - 28 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-05-08		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	4.0	1.0 min	42.0	20.9	42.0	0.42	0.41
20 min	2.8	2.0 min	55.5	Fact _{corr}	27.8	0.28	0.27
30 min	2.0	2.0 min	43.5	0.98	21.8	0.22	0.21

ZONA	A3 - Diseño 2 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-05-08		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	5.0	1.0 min	52.0	19.6	52.0	0.52	0.53
20 min	3.7	1.0 min	38.5	Fact _{corr}	38.5	0.39	0.39
30 min	2.8	2.0 min	62.0	1.01	31.0	0.31	0.31

ZONA	A1 - Diseño 2 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-08		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	7.0	1.0 min	72.0	18.2	72.0	0.72	0.70
20 min	4.5	1.0 min	48.0	Fact _{corr}	48.0	0.48	0.47
30 min	3.5	1.0 min	34.5	1.06	34.5	0.35	0.34

ZONA	A2 - Diseño 2 - 90 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-08		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	4.0	1.0 min	41.5	19.0	41.5	0.42	0.41
20 min	2.7	2.0 min	54.0	Fact _{corr}	27.0	0.27	0.27
30 min	2.0	2.0 min	47.0	1.03	23.5	0.24	0.23

ZONA	A3 - Diseño 2 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-08		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	4.5	1.0 min	47.0	20.4	47.0	0.47	0.48
20 min	3.0	1.0 min	33.0	Fact _{corr}	33.0	0.33	0.33
30 min	2.2	2.0 min	45.5	0.99	22.8	0.23	0.23

ZONA	B1 - Diseño 2 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-05-08		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.0	2.0 min	18.8	21.1	9.4	0.09	0.09
20 min	0.7	2.0 min	11.7	Fact _{corr}	5.9	0.06	0.06
30 min	0.5	2.0 min	9.0	0.98	4.5	0.05	0.04

ZONA	B2 - Diseño 2 - 28 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-05-08		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.2	2.0 min	21.5	20.9	10.8	0.11	0.11
20 min	0.7	2.0 min	13.5	Fact _{corr}	6.8	0.07	0.07
30 min	0.5	2.0 min	10.2	0.98	5.1	0.05	0.05

ZONA	B3 - Diseño 2 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-05-08		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	0.8	2.0 min	16.7	19.5	8.4	0.08	0.08
20 min	0.5	2.0 min	10.3	Fact _{corr}	5.2	0.05	0.05
30 min	0.3	2.0 min	7.5	1.02	3.8	0.04	0.04

ZONA	B1 - Diseño 2 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-08		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.3	2.0 min	24.0	18.2	12.0	0.12	0.12
20 min	0.8	2.0 min	17.0	Fact _{corr}	8.5	0.09	0.08
30 min	0.5	2.0 min	13.0	1.06	6.5	0.07	0.06

ZONA	B2 - Diseño 2 - 90 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-08		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.8	2.0 min	37.0	20.2	18.5	0.19	0.18
20 min	1.0	2.0 min	22.2	Fact _{corr}	11.1	0.11	0.11
30 min	0.7	2.0 min	15.5	1.00	7.8	0.08	0.08

ZONA	B3 - Diseño 2 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-08		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.5	2.0 min	29.8	20.4	14.9	0.15	0.15
20 min	1.0	2.0 min	21.0	Fact _{corr}	10.5	0.11	0.11
30 min	0.7	2.0 min	15.0	0.99	7.5	0.08	0.08

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
ENSAYO TASA DE ABSORCIÓN SUPERFICIAL INICIAL**

ZONA	A1 - Diseño 3 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-05-29		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	3.3	1.0 min	34.0	20.1	34.0	0.34	0.34
20 min	2.0	2.0 min	41.0	Fact. _{corr}	20.5	0.21	0.20
30 min	1.3	2.0 min	31.5	1.00	15.8	0.16	0.16

ZONA	B1 - Diseño 3 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-05-29		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.2	2.0 min	22.0	20.2	11.0	0.11	0.11
20 min	0.8	2.0 min	14.3	Fact. _{corr}	7.2	0.07	0.07
30 min	0.5	2.0 min	10.5	1.00	5.3	0.05	0.05

ZONA	A2 - Diseño 3 - 28 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-05-29		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	3.5	1.0 min	34.5	20.3	34.5	0.35	0.34
20 min	2.5	2.0 min	49.5	Fact. _{corr}	24.8	0.25	0.25
30 min	1.8	2.0 min	41.0	0.99	20.5	0.21	0.20

ZONA	B2 - Diseño 3 - 28 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-05-29		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.3	2.0 min	26.3	20.3	13.2	0.13	0.13
20 min	0.8	2.0 min	14.5	Fact. _{corr}	7.3	0.07	0.07
30 min	0.5	2.0 min	11.2	0.99	5.6	0.06	0.06

ZONA	A3 . Diseño 3 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-05-29		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	2.8	2.0 min	57.5	20.5	28.8	0.29	0.28
20 min	1.8	2.0 min	41.0	Fact. _{corr}	20.5	0.21	0.20
30 min	1.3	2.0 min	29.5	0.99	14.8	0.15	0.15

ZONA	B3 - Diseño 3 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-05-29		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.0	2.0 min	20.7	20.6	10.4	0.10	0.10
20 min	0.7	2.0 min	14.5	Fact. _{corr}	7.3	0.07	0.07
30 min	0.5	2.0 min	11.5	0.99	5.8	0.06	0.06

ZONA	A1 - Diseño 3 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-28		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	3.5	1.0 min	38.0	19.6	38.0	0.38	0.38
20 min	2.5	2.0 min	49.0	Fact. _{corr}	24.5	0.25	0.24
30 min	1.5	2.0 min	33.0	1.01	16.5	0.17	0.16

ZONA	B1 - Diseño 3 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-28		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.8	2.0 min	39.5	19.7	19.8	0.20	0.20
20 min	1.2	2.0 min	26.0	Fact. _{corr}	13.0	0.13	0.13
30 min	0.8	2.0 min	17.3	1.01	8.7	0.09	0.09

ZONA	A2 - Diseño 3 - 90 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-28		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	2.2	2.0 min	43.0	17.1	21.5	0.22	0.21
20 min	1.7	2.0 min	32.2	Fact. _{corr}	16.1	0.16	0.16
30 min	1.2	2.0 min	26.5	1.10	13.3	0.13	0.13

ZONA	B2 - Diseño 3 - 90 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-28		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.2	2.0 min	22.0	17.1	11.0	0.11	0.11
20 min	0.7	2.0 min	15.7	Fact. _{corr}	7.9	0.08	0.08
30 min	0.5	2.0 min	11.0	1.10	5.5	0.06	0.05

ZONA	A3 . Diseño 3 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-28		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	3.0	1.0 min	31.0	17.7	31.0	0.31	0.31
20 min	2.0	2.0 min	43.0	Fact. _{corr}	21.5	0.22	0.21
30 min	1.5	2.0 min	32.0	1.08	16.0	0.16	0.16

ZONA	B3 - Diseño 3 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-28		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.5	2.0 min	33.5	17.8	16.8	0.17	0.17
20 min	1.2	2.0 min	23.5	Fact. _{corr}	11.8	0.12	0.12
30 min	0.8	2.0 min	18.0	1.07	9.0	0.09	0.09

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
ENSAYO TASA DE ABSORCIÓN SUPERFICIAL INICIAL**

ZONA	A1 - Diseño 4 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-05-31		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	5.0	1.0 min	50.0	17.7	50.0	0.50	0.54
20 min	3.5	1.0 min	36.0	Fact. _{corr}	36.0	0.36	0.39
30 min	2.8	2.0 min	58.5	1.08	29.3	0.29	0.31

ZONA	B1 - Diseño 4 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-05-31		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.5	2.0 min	26.8	17.8	13.4	0.13	0.14
20 min	0.8	2.0 min	16.5	Fact. _{corr}	8.3	0.08	0.09
30 min	0.5	2.0 min	12.5	1.07	6.3	0.06	0.07

ZONA	A2 - Diseño 4 - 28 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-05-31		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	5.0	1.0 min	50.0	19.0	50.0	0.50	0.52
20 min	3.2	1.0 min	34.5	Fact. _{corr}	34.5	0.35	0.36
30 min	2.5	2.0 min	54.8	1.03	27.4	0.27	0.28

ZONA	B2 - Diseño 4 - 28 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-05-31		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.2	2.0 min	19.7	19.1	9.9	0.10	0.10
20 min	0.8	2.0 min	14.3	Fact. _{corr}	7.2	0.07	0.07
30 min	0.5	2.0 min	10.3	1.03	5.2	0.05	0.05

ZONA	A3 . Diseño 4 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-05-31		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	4.5	1.0 min	46.0	20.1	46.0	0.46	0.46
20 min	3.5	1.0 min	36.5	Fact. _{corr}	36.5	0.37	0.36
30 min	2.8	2.0 min	59.0	1.00	29.5	0.30	0.29

ZONA	B3 - Diseño 4 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-05-31		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.0	2.0 min	25.8	20.2	12.9	0.13	0.13
20 min	0.7	2.0 min	16.2	Fact. _{corr}	8.1	0.08	0.08
30 min	0.5	2.0 min	11.5	1.00	5.8	0.06	0.06

ZONA	A1 - Diseño 4 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-31		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	4.5	1.0 min	47.0	17.2	47.0	0.47	0.51
20 min	3.3	1.0 min	36.0	Fact. _{corr}	36.0	0.36	0.39
30 min	2.5	2.0 min	58.5	1.09	29.3	0.29	0.31

ZONA	B1 - Diseño 4 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-31		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	2.0	2.0 min	40.5	17.1	20.3	0.20	0.22
20 min	1.3	2.0 min	27.0	Fact. _{corr}	13.5	0.14	0.14
30 min	0.8	2.0 min	19.5	1.10	9.8	0.10	0.10

ZONA	A2 - Diseño 4 - 90 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-31		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	5.0	1.0 min	52.5	17.1	52.5	0.53	0.54
20 min	3.5	1.0 min	38.0	Fact. _{corr}	38.0	0.38	0.39
30 min	3.0	2.0 min	61.0	1.10	30.5	0.31	0.32

ZONA	B2 - Diseño 4 - 90 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-31		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.5	2.0 min	28.2	17.2	14.1	0.14	0.15
20 min	1.0	2.0 min	20.5	Fact. _{corr}	10.3	0.10	0.11
30 min	0.7	2.0 min	15.0	1.09	7.5	0.08	0.08

ZONA	A3 . Diseño 4 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-31		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	6.5	1.0 min	78.0	17.7	78.0	0.78	0.78
20 min	5.0	1.0 min	57.8	Fact. _{corr}	57.8	0.58	0.58
30 min	4.0	1.0 min	41.5	1.08	41.5	0.42	0.41

ZONA	B3 - Diseño 4 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-07-31		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.7	2.0 min	33.5	17.5	16.8	0.17	0.17
20 min	1.3	2.0 min	26.7	Fact. _{corr}	13.4	0.13	0.13
30 min	0.8	2.0 min	20.5	1.08	10.3	0.10	0.10

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
ENSAYO TASA DE ABSORCIÓN SUPERFICIAL INICIAL**

ZONA	A1 - Diseño 5 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-06-05		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	2.5	2.0 min	46.5	20.4	23.3	0.23	0.23
20 min	1.7	2.0 min	31.0	Fact. _{corr}	15.5	0.16	0.15
30 min	1.3	2.0 min	25.3	0.99	12.7	0.13	0.13

ZONA	B1 - Diseño 5 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-06-05		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.2	2.0 min	24.0	20.4	12.0	0.12	0.12
20 min	0.8	2.0 min	15.3	Fact. _{corr}	7.7	0.08	0.08
30 min	0.5	2.0 min	11.7	0.99	5.9	0.06	0.06

ZONA	A2 - Diseño 5 - 28 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-06-05		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	2.8	2.0 min	57.0	20.8	28.5	0.29	0.28
20 min	2.0	2.0 min	37.8	Fact. _{corr}	18.9	0.19	0.19
30 min	1.2	2.0 min	27.5	0.98	13.8	0.14	0.14

ZONA	B2 - Diseño 5 - 28 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-06-05		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	0.8	2.0 min	17.4	20.9	8.7	0.09	0.09
20 min	0.5	2.0 min	12.0	Fact. _{corr}	6.0	0.06	0.06
30 min	0.3	2.0 min	9.0	0.98	4.5	0.05	0.04

ZONA	A3 . Diseño 5 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-06-05		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	2.5	2.0 min	49.8	21.0	24.9	0.25	0.24
20 min	1.7	2.0 min	34.0	Fact. _{corr}	17.0	0.17	0.17
30 min	1.2	2.0 min	24.0	0.98	12.0	0.12	0.12

ZONA	B3 - Diseño 5 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-06-05		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.0	2.0 min	21.5	20.8	10.8	0.11	0.11
20 min	0.7	2.0 min	14.0	Fact. _{corr}	7.0	0.07	0.07
30 min	0.5	2.0 min	9.5	0.98	4.8	0.05	0.05

ZONA	A1 - Diseño 5 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-08-04		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	2.8	2.0 min	61.0	17.7	30.5	0.31	0.30
20 min	1.8	2.0 min	41.5	Fact. _{corr}	20.8	0.21	0.21
30 min	1.3	2.0 min	32.0	1.08	16.0	0.16	0.16

ZONA	B1 - Diseño 5 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-08-04		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.5	2.0 min	27.8	17.8	13.9	0.14	0.14
20 min	0.8	2.0 min	18.0	Fact. _{corr}	9.0	0.09	0.09
30 min	0.5	2.0 min	14.5	1.07	7.3	0.07	0.07

ZONA	A2 - Diseño 5 - 90 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-08-04		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	3.2	1.0 min	36.5	18.0	36.5	0.37	0.36
20 min	2.2	2.0 min	47.0	Fact. _{corr}	23.5	0.24	0.23
30 min	1.5	2.0 min	30.0	1.07	15.0	0.15	0.15

ZONA	B2 - Diseño 5 - 90 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-08-04		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.5	2.0 min	29.8	18.2	14.9	0.15	0.15
20 min	0.8	2.0 min	19.2	Fact. _{corr}	9.6	0.10	0.09
30 min	0.5	2.0 min	13.0	1.06	6.5	0.07	0.06

ZONA	A3 . Diseño 5 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-08-04		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	3.0	1.0 min	31.0	19.2	31.0	0.31	0.30
20 min	2.0	2.0 min	41.8	Fact. _{corr}	20.9	0.21	0.20
30 min	1.5	2.0 min	29.3	1.03	14.7	0.15	0.14

ZONA	B3 - Diseño 5 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-08-04		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.3	2.0 min	29.2	19.2	14.6	0.15	0.14
20 min	0.8	2.0 min	19.5	Fact. _{corr}	9.8	0.10	0.10
30 min	0.7	2.0 min	15.0	1.03	7.5	0.08	0.07

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
ENSAYO TASA DE ABSORCIÓN SUPERFICIAL INICIAL**

ZONA	A1 - Diseño 6 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-06-07		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.7	2.0 min	33.0	17.6	16.5	0.17	0.18
20 min	1.2	2.0 min	25.5	Fact. _{corr}	12.8	0.13	0.14
30 min	0.8	2.0 min	21.8	1.08	10.9	0.11	0.12

ZONA	B1 - Diseño 6 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-06-07		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.5	2.0 min	31.7	17.6	15.9	0.16	0.17
20 min	1.0	2.0 min	22.0	Fact. _{corr}	11.0	0.11	0.12
30 min	0.7	2.0 min	17.0	1.08	8.5	0.09	0.09

ZONA	A2 - Diseño 6 - 28 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-06-07		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.2	2.0 min	25.0	18.0	12.5	0.13	0.13
20 min	1.0	2.0 min	20.0	Fact. _{corr}	10.0	0.10	0.11
30 min	0.7	2.0 min	17.2	1.07	8.6	0.09	0.09

ZONA	B2 - Diseño 6 - 28 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-06-07		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.5	2.0 min	29.0	18.1	14.5	0.15	0.15
20 min	1.0	2.0 min	19.5	Fact. _{corr}	9.8	0.10	0.10
30 min	0.7	2.0 min	14.0	1.06	7.0	0.07	0.07

ZONA	A3 . Diseño 6 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-06-07		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	3.5	1.0 min	37.0	18.6	37.0	0.37	0.39
20 min	2.5	2.0 min	52.2	Fact. _{corr}	26.1	0.26	0.27
30 min	2.0	2.0 min	42.4	1.05	21.2	0.21	0.22

ZONA	B3 - Diseño 6 - 28 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-06-07		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.7	2.0 min	31.0	18.6	15.5	0.16	0.16
20 min	1.0	2.0 min	27.5	Fact. _{corr}	13.8	0.14	0.14
30 min	0.7	2.0 min	18.0	1.05	9.0	0.09	0.09

ZONA	A1 - Diseño 6 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-08-06		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.5	2.0 min	34.0	19.6	17.0	0.17	0.18
20 min	1.2	2.0 min	26.8	Fact. _{corr}	13.4	0.13	0.14
30 min	1.0	2.0 min	22.7	1.01	11.4	0.11	0.12

ZONA	B1 - Diseño 6 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-08-06		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	1.7	2.0 min	36.3	19.7	18.2	0.18	0.20
20 min	1.2	2.0 min	24.2	Fact. _{corr}	12.1	0.12	0.13
30 min	0.8	2.0 min	18.8	1.01	9.4	0.09	0.10

ZONA	A2 - Diseño 6 - 90 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-08-06		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	4.5	1.0 min	46.0	16.9	46.0	0.46	0.49
20 min	3.2	1.0 min	32.0	Fact. _{corr}	32.0	0.32	0.34
30 min	2.5	2.0 min	49.5	1.10	24.8	0.25	0.26

ZONA	B2 - Diseño 6 - 90 días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-08-06		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	2.8	2.0 min	53.0	17.0	26.5	0.27	0.28
20 min	1.5	2.0 min	34.5	Fact. _{corr}	17.3	0.17	0.18
30 min	1.0	2.0 min	26.0	1.10	13.0	0.13	0.14

ZONA	A3 . Diseño 6 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-08-06		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	2.0	2.0 min	37.0	18.0	18.5	0.19	0.19
20 min	1.5	2.0 min	29.0	Fact. _{corr}	14.5	0.15	0.15
30 min	1.2	2.0 min	25.0	1.07	12.5	0.13	0.13

ZONA	B3 - Diseño 6 - 90 Días						
HORA INICIO	1 div = 1.00 mm		2014-08-06		Div. 1 min	Abs. Sup. ml/m ² * s	Abs _{Corr} ml/m ² * s
	Div 5s	Tiempo Lec.	Total Divis.	T°C Conc.			
10 min	2.0	2.0 min	47.5	18.1	23.8	0.24	0.25
20 min	1.5	2.0 min	31.8	Fact. _{corr}	15.9	0.16	0.17
30 min	1.0	2.0 min	24.0	1.06	12.0	0.12	0.13

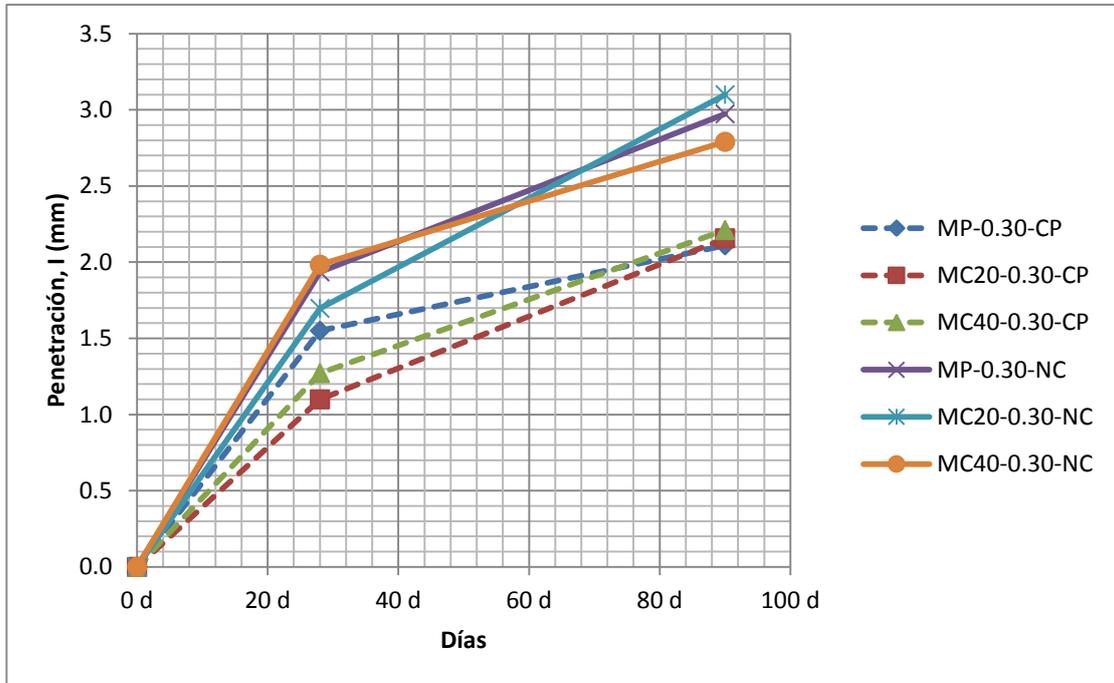
Anexo 5: Ensayos de Sortividad.

TABLAS ENSAYO DE SORTIVIDAD

Sortividad para mezclas con $a/c = 0.30$.

NO CURADO			
Tiempo	Penetración (mm)		
	MP	MC20	MC40
0 d	0.0	0.0	0.0
28 d	1.9	1.7	2.0
90 d	3.0	3.1	2.8

CURADO PARCIAL			
Tiempo	Penetración (mm)		
	MP	MC20	MC40
0 d	0.0	0.0	0.0
28 d	1.6	1.1	1.3
90 d	2.1	2.2	2.2

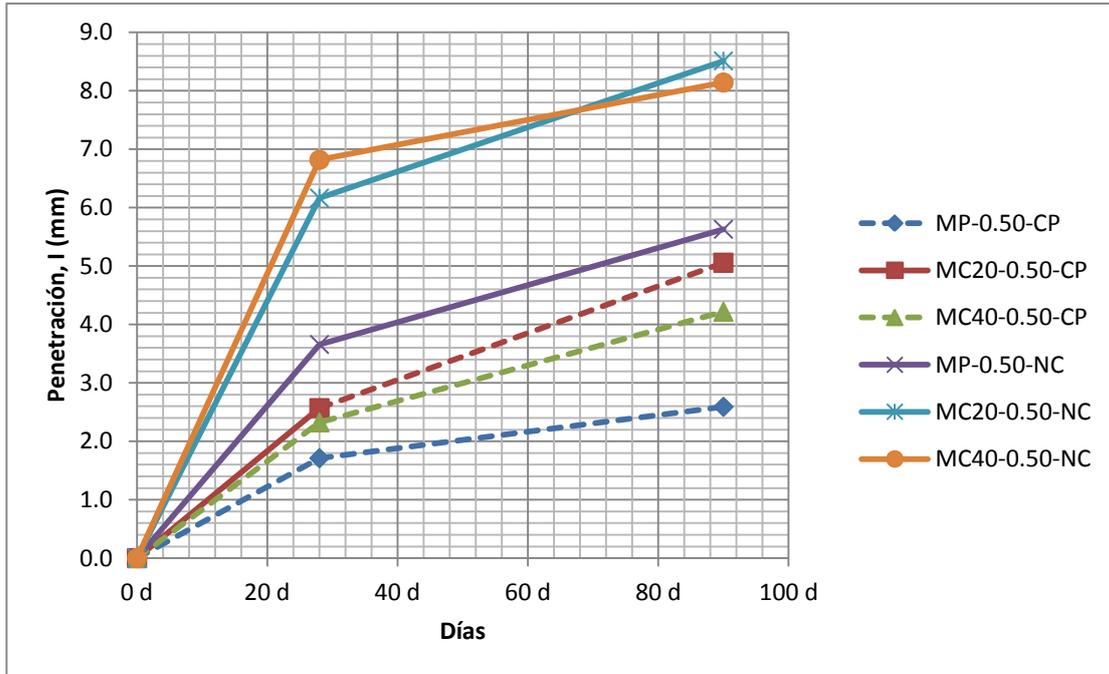


TABLAS ENSAYO DE SORTIVIDAD

Sortividad para mezclas con $a/c = 0.50$.

NO CURADO			
Tiempo	Penetración (mm)		
	MP	MC20	MC40
0 d	0.0	0.0	0.0
28 d	3.7	6.2	6.8
90 d	5.6	8.5	8.1

CURADO PARCIAL			
Tiempo	Penetración (mm)		
	MP	MC20	MC40
0 d	0.0	0.0	0.0
28 d	1.7	2.6	2.3
90 d	2.6	5.1	4.2



Anexo 6: Ensayos de Cloruros

ENSAYOS DE PENETRACIÓN A CLORUROS

DISEÑO 1			
MEZCLA MP-0.30			
	A1	A2	A3
28 días	4457	3725	5012
90 días	3718	4219	3632

4398
3856

DISEÑO 3			
MEZCLA MC20-0.30			
	A1	A2	A3
28 días	3719	4315	1467
90 días	4748	3795	5779

3167
4774

DISEÑO 5			
MEZCLA MC40-0.30			
	A1	A2	A3
28 días	3634	3143	4815
90 días	3174	3428	3207

3864
3270

MEZCLA MP-0.30			
	B1	B2	B3
28 días	4371	4225	4383
90 días	4018	4917	3811

4326
4249

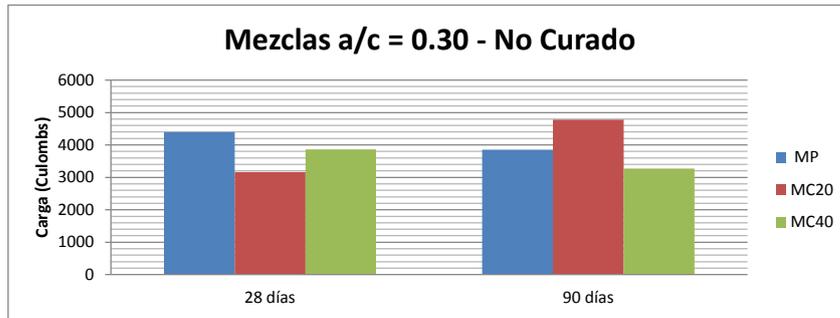
MEZCLA MC20-0.30			
	B1	B2	B3
28 días	5292	6111	6176
90 días	4840	4309	5957

5860
5035

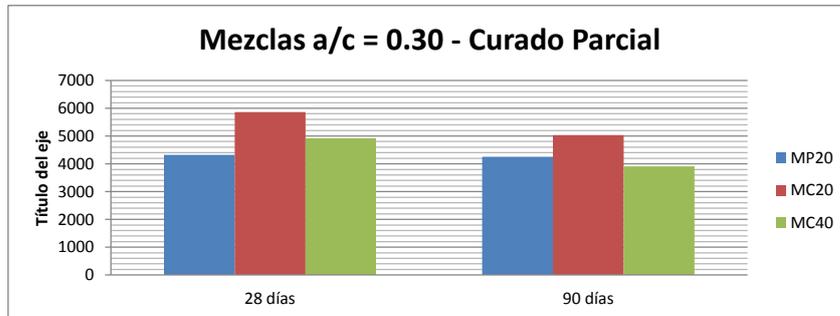
MEZCLA MC40-0.30			
	B1	B2	B3
28 días	4217	5484	5056
90 días	3207	4361	4161

4919
3910

MEZCLAS 0.30 NO CURADO		
	28 días	90 días
MP	4398	3856
MC20	3167	4774
MC40	3864	3270



MEZCLAS 0.30 CURADO PARCIAL		
	28 días	90 días
MP	4326	4249
MC20	5860	5035
MC40	4919	3910



ENSAYOS DE PENETRACIÓN A CLORUROS

DISEÑO 2			
MEZCLA MP-0.50			
	A1	A2	A3
28 días	5494	6984	2128
90 días	3852	4319	3885

4869
4019

DISEÑO 4			
MEZCLA MC20-0.50			
	A1	A2	A3
28 días	3358	1953	2835
90 días	4988	4725	5397

2715
5037

DISEÑO 6			
MEZCLA MC40-0.50			
	A1	A2	A3
28 días	4398	7664	7550
90 días	5534	5660	5454

6537
5549

MEZCLA MP-0.50			
	B1	B2	B3
28 días	3460	3798	3708
90 días	6188	3916	5113

3655
5072

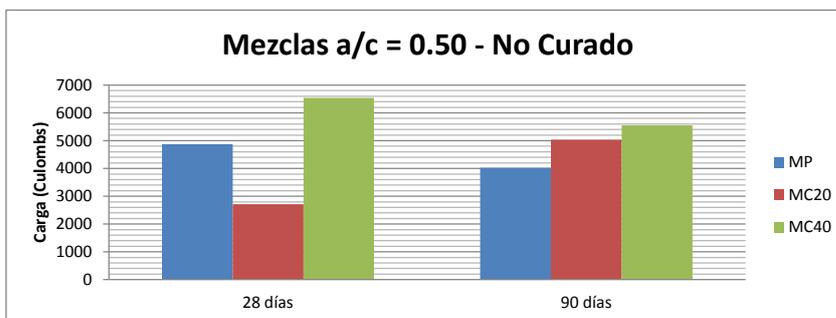
MEZCLA MC20-0.50			
	B1	B2	B3
28 días	5419	5137	6533
90 días	4071	4012	6405

5696
4829

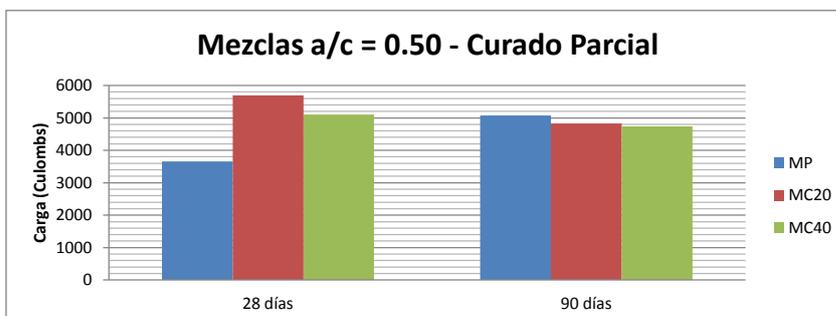
MEZCLA MC40-0.50			
	B1	B2	B3
28 días	5767	4501	5031
90 días	5037	4703	4489

5100
4743

MEZCLAS 0.50 NO CURADO		
	28 días	90 días
MP	4869	4019
MC20	2715	5037
MC40	6537	5549



MEZCLAS 0.50 CURADO PARCIAL		
	28 días	90 días
MP	3655	5072
MC20	5696	4829
MC40	5100	4743



Anexo 7: Ensayos de Contracción

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA
MEDIDAS DE CONTRACCIÓN EN EL CONCRETO

MUESTRA PATRON - A/C 0.3 - NO CURADO																					
DIS 1	Fecha	A1				A2				A3				A4				Promedios			
		Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Prom.	Indep.	Acum.	
DÍAS	1	2014-03-20	-1.058	0.000	-1.238	0.000	-0.658	0.000	-0.678	0.000	2.038	0.000	2.064	0.000					0.000	0.00	0.00
	2	2014-03-21	-1.172	0.114	-1.280	0.042	-0.696	0.038	-0.714	0.036	2.010	0.028	2.030	0.034					0.049	0.02	0.02
	3	2014-03-22	-1.200	0.142	-1.320	0.082	-0.734	0.076	-0.754	0.076	1.972	0.066	2.000	0.064					0.084	0.03	0.05
	4	2014-03-23	-1.208	0.150	-1.356	0.118	-0.760	0.102	-0.784	0.106	1.946	0.092	1.960	0.104					0.112	0.04	0.10
	5	2014-03-24	-1.220	0.162	-1.388	0.150	-0.786	0.128	-0.804	0.126	1.902	0.136	1.924	0.140					0.140	0.06	0.15
	6	2014-03-25	-1.228	0.170	-1.408	0.170	-0.816	0.158	-0.830	0.152	1.876	0.162	1.896	0.168					0.163	0.07	0.22
	7	2014-03-26	-1.288	0.230	-1.402	0.164	-0.818	0.160	-0.838	0.160	1.866	0.172	1.884	0.180					0.178	0.07	0.29
	14	2014-04-02	-1.246	0.188	-1.436	0.198	-0.840	0.182	-0.858	0.180	1.846	0.192	1.862	0.202					0.190	0.08	0.37
	21	2014-04-09	-1.254	0.196	-1.458	0.220	-0.860	0.202	-0.880	0.202	1.824	0.214	1.842	0.222					0.209	0.08	0.45
	28	2014-04-16	-1.404	0.346	-1.536	0.298	-0.882	0.224	-0.914	0.236	1.802	0.236	1.816	0.248					0.265	0.11	0.56
	35	2014-04-23	-1.302	0.244	-1.466	0.228	-0.870	0.212	-0.890	0.212	1.810	0.228	1.826	0.238					0.227	0.09	0.65
	42	2014-04-30	-1.344	0.286	-1.480	0.242	-0.874	0.216	-0.894	0.216	1.806	0.232	1.824	0.240					0.239	0.10	0.74
	49	2014-05-07	-1.358	0.300	-1.488	0.250	-0.884	0.226	-0.906	0.228	1.798	0.240	1.816	0.248					0.249	0.10	0.84
	56	2014-05-14	-1.356	0.298	-1.454	0.216	-0.882	0.224	-0.912	0.234	1.794	0.244	1.810	0.254					0.245	0.10	0.94
	90	2014-06-17	-1.354	0.296	-1.446	0.208	-0.888	0.230	-0.908	0.230	1.800	0.238	1.826	0.238					0.240	0.10	1.04

MUESTRA PATRON - A/C 0.3 - CURADO PARCIAL																					
DIS 1	Fecha	B1				B2				B3				B4				Promedios			
		Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Prom.	Indep.	Acum.	
DÍAS	1	2014-03-20	0.330	0.000	0.522	0.000	-1.336	0.000	-1.528	0.000	1.368	0.000	1.386	0.000	0.780	0.000	0.786	0.000	0.000	0.00	0.00
	2	2014-03-21	0.366	-0.036	0.552	-0.030	-1.244	-0.092	-1.516	-0.012	1.430	-0.062	1.442	-0.056	0.896	-0.116	0.900	-0.114	-0.065	-0.03	-0.03
	3	2014-03-22	0.372	-0.042	0.568	-0.046	-1.312	-0.024	-1.460	-0.068	1.420	-0.052	1.440	-0.054	0.896	-0.116	0.902	-0.116	-0.065	-0.03	-0.05
	4	2014-03-23	0.372	-0.042	0.564	-0.042	-1.316	-0.020	-1.462	-0.066	1.420	-0.052	1.436	-0.050	0.892	-0.112	0.898	-0.112	-0.062	-0.02	-0.08
	5	2014-03-24	0.370	-0.040	0.560	-0.038	-1.308	-0.028	-1.468	-0.060	1.418	-0.050	1.432	-0.046	0.888	-0.108	0.892	-0.106	-0.060	-0.02	-0.10
	6	2014-03-25	0.370	-0.040	0.556	-0.034	-1.302	-0.034	-1.470	-0.058	1.418	-0.050	1.430	-0.044	0.886	-0.106	0.890	-0.104	-0.059	-0.02	-0.12
	7	2014-03-26	0.370	-0.040	0.564	-0.042	-1.300	-0.036	-1.492	-0.036	1.432	-0.064	1.444	-0.058	0.898	-0.118	0.902	-0.116	-0.064	-0.03	-0.15
	14	2014-04-02	0.230	0.100	0.429	0.093	-1.424	0.088	-1.614	0.086	1.298	0.070	1.314	0.072	0.774	0.006	0.778	0.008	0.065	0.03	-0.12
	21	2014-04-09	0.174	0.156	0.374	0.148	-1.480	0.144	-1.638	0.110	1.234	0.134	1.248	0.138	0.706	0.074	0.708	0.078	0.123	0.05	-0.07
	28	2014-04-16	0.134	0.196	0.348	0.174	-1.480	0.144	-1.708	0.180	1.210	0.158	1.228	0.158	0.680	0.100	0.684	0.102	0.152	0.06	-0.01
	35	2014-04-23	0.134	0.196	0.344	0.178	-1.504	0.168	-1.682	0.154	1.198	0.170	1.212	0.174	0.672	0.108	0.674	0.112	0.158	0.06	0.05
	42	2014-04-30	0.114	0.216	0.312	0.210	-1.516	0.180	-1.716	0.188	1.186	0.182	1.198	0.188	0.656	0.124	0.658	0.128	0.177	0.07	0.12
	49	2014-05-07	0.104	0.226	0.302	0.220	-1.508	0.172	-1.700	0.172	1.180	0.188	1.196	0.190	0.664	0.116	0.666	0.120	0.176	0.07	0.19
	56	2014-05-14	0.098	0.232	0.308	0.214	-1.534	0.198	-1.738	0.210	1.162	0.206	1.180	0.206	0.646	0.134	0.648	0.138	0.192	0.08	0.27
	90	2014-06-17	0.106	0.224	0.302	0.220	-1.526	0.190	-1.734	0.206	1.164	0.204	1.178	0.208	0.650	0.130	0.652	0.134	0.190	0.08	0.34

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA
MEDIDAS DE CONTRACCIÓN EN EL CONCRETO

MUESTRA PATRON - A/C 0.5 - NO CURADO																					
DIS 2	Fecha	A1				A2				A3				A4				Promedios			
		Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Prom.	Indep.	Acum.	
DÍAS	1	2014-04-10		0.000		0.000	2.644	0.000	2.686	0.000	4.124	0.000	4.198	0.000	3.920	0.000	3.954	0.000	0.000	0.00	0.00
	2	2014-04-11		0.000		0.000	2.634	0.010	2.670	0.016	4.100	0.024	4.150	0.048	3.898	0.022	3.936	0.018	0.017	0.01	0.01
	3	2014-04-12		0.000		0.000	2.622	0.022	2.660	0.026	4.080	0.044	4.102	0.096	3.876	0.044	3.918	0.036	0.034	0.01	0.02
	4	2014-04-13		0.000		0.000	2.610	0.034	2.642	0.044	4.040	0.084	4.074	0.124	3.856	0.064	3.898	0.056	0.051	0.02	0.04
	5	2014-04-14		0.000		0.000	2.592	0.052	2.630	0.056	4.026	0.098	4.042	0.156	3.826	0.094	3.862	0.092	0.069	0.03	0.07
	6	2014-04-15		0.000		0.000	2.574	0.070	2.618	0.068	4.022	0.102	4.040	0.158	3.816	0.104	3.856	0.098	0.075	0.03	0.10
	7	2014-04-16		0.000		0.000	2.564	0.080	2.608	0.078	4.018	0.106	4.038	0.160	3.812	0.108	3.848	0.106	0.080	0.03	0.13
	14	2014-04-23		0.000		0.000	2.530	0.114	2.574	0.112	3.942	0.182	3.974	0.224	3.784	0.136	3.822	0.132	0.113	0.05	0.17
	21	2014-04-30		0.000		0.000	2.538	0.106	2.576	0.110	3.940	0.184	3.966	0.232	3.780	0.140	3.820	0.134	0.113	0.05	0.22
	28	2014-05-07		0.000		0.000	2.514	0.130	2.552	0.134	3.894	0.230	3.920	0.278	3.740	0.180	3.780	0.174	0.141	0.06	0.28
	35	2014-05-14		0.000		0.000	2.510	0.134	2.550	0.136	3.918	0.206	3.944	0.254	3.784	0.136	3.820	0.134	0.125	0.05	0.33
	42	2014-05-21		0.000		0.000	2.524	0.120	2.556	0.130	3.926	0.198	3.944	0.254	3.774	0.146	3.810	0.144	0.124	0.05	0.38
	49	2014-05-28		0.000		0.000	2.514	0.130	2.550	0.136	3.922	0.202	3.938	0.260	3.770	0.150	3.820	0.134	0.127	0.05	0.43
	56	2014-06-04		0.000		0.000	2.510	0.134	2.546	0.140	3.918	0.206	3.934	0.264	3.766	0.154	3.816	0.138	0.130	0.05	0.48
	90	2014-07-08		0.000		0.000	2.522	0.122	2.560	0.126	3.922	0.202	3.944	0.254	3.784	0.136	3.826	0.128	0.121	0.05	0.53

MUESTRA PATRON - A/C 0.5 - CURADO PARCIAL																					
DIS 2	Fecha	B1				B2				B3				B4				Promedios			
		Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Prom.	Indep.	Acum.	
DÍAS	1	2014-04-10	3.076	0.000	3.096	0.000	4.102	0.000	4.136	0.000	4.280	0.000	4.294	0.000	3.906	0.000	3.924	0.000	0.000	0.00	0.00
	2	2014-04-11	3.098	-0.022	3.112	-0.016	4.104	-0.002	4.138	-0.002	4.304	-0.024	4.316	-0.022	3.934	-0.028	3.940	-0.016	-0.017	-0.01	-0.01
	3	2014-04-12	3.106	-0.030	3.122	-0.026	4.106	-0.004	4.140	-0.004	4.322	-0.042	4.336	-0.042	3.950	-0.044	3.956	-0.032	-0.028	-0.01	-0.02
	4	2014-04-13	3.100	-0.024	3.116	-0.020	4.108	-0.006	4.142	-0.006	4.234	0.046	4.240	0.054	3.906	0.000	3.912	0.012	0.007	0.00	-0.01
	5	2014-04-14	3.094	-0.018	3.112	-0.016	4.110	-0.008	4.146	-0.010	4.220	0.060	4.242	0.052	3.888	0.018	3.892	0.032	0.014	0.01	-0.01
	6	2014-04-15	3.090	-0.014	3.106	-0.010	4.102	0.000	4.124	0.012	4.224	0.056	4.228	0.066	3.864	0.042	3.870	0.054	0.026	0.01	0.00
	7	2014-04-16	3.086	-0.010	3.106	-0.010	4.094	0.008	4.112	0.024	4.246	0.034	4.260	0.034	3.846	0.060	3.852	0.072	0.027	0.01	0.01
	14	2014-04-23	3.014	0.062	3.036	0.060	4.032	0.070	4.064	0.072	4.202	0.078	4.216	0.078	3.838	0.068	3.844	0.080	0.071	0.03	0.04
	21	2014-04-30	2.978	0.098	2.996	0.100	3.946	0.156	3.980	0.156	4.108	0.172	4.126	0.168	3.792	0.114	3.902	0.022	0.123	0.05	0.09
	28	2014-05-07	2.954	0.122	2.978	0.118	3.966	0.136	4.000	0.136	4.144	0.136	4.156	0.138	3.770	0.136	3.782	0.142	0.133	0.05	0.14
	35	2014-05-14	2.942	0.134	2.963	0.133	3.951	0.151	3.986	0.150	4.132	0.148	4.147	0.147	3.762	0.144	3.770	0.154	0.145	0.06	0.20
	42	2014-05-21	2.952	0.124	2.963	0.133	3.954	0.148	3.986	0.150	4.134	0.146	4.142	0.152	3.762	0.144	3.770	0.154	0.144	0.06	0.26
	49	2014-05-28	2.948	0.128	2.956	0.140	3.946	0.156	3.982	0.154	4.124	0.156	4.138	0.156	3.756	0.150	3.766	0.158	0.150	0.06	0.32
	56	2014-06-04	2.944	0.132	2.952	0.144	3.942	0.160	3.978	0.158	4.120	0.160	4.134	0.160	3.752	0.154	3.762	0.162	0.154	0.06	0.38
	90	2014-07-08	2.942	0.134	2.958	0.138	3.950	0.152	3.986	0.150	4.132	0.148	4.142	0.152	3.760	0.146	3.768	0.156	0.147	0.06	0.44

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA
MEDIDAS DE CONTRACCIÓN EN EL CONCRETO

MUESTRA REEMPLAZO 20% - A/C 0.3 - NO CURADO																				
DIS 3	Fecha	A1				A2				A3				A4				Promedios		
		Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Prom.	Indep.	Acum.
DÍAS	1	2014-04-30	-0.878	0.000	-1.086	0.000	2.248	0.000	2.270	0.000	1.298	0.000	1.304	0.000	0.458	0.000	0.472	0.000	0.000	0.00
	2	2014-05-01	-0.906	0.028	-1.110	0.024	2.222	0.026	2.246	0.024	1.270	0.028	1.274	0.030	0.414	0.044	0.422	0.050	0.032	0.01
	3	2014-05-02	-0.954	0.076	-1.160	0.074	2.164	0.084	2.188	0.082	1.236	0.062	1.240	0.064	0.410	0.048	0.416	0.056	0.068	0.03
	4	2014-05-03	-0.992	0.114	-1.202	0.116	2.140	0.108	2.166	0.104	1.204	0.094	1.210	0.094	0.404	0.054	0.414	0.058	0.093	0.04
	5	2014-05-04	-1.000	0.122	-1.208	0.122	2.120	0.128	2.136	0.134	1.180	0.118	1.188	0.116	0.400	0.058	0.412	0.060	0.107	0.04
	6	2014-05-05	-1.008	0.130	-1.214	0.128	2.094	0.154	2.118	0.152	1.142	0.156	1.146	0.158	0.400	0.058	0.410	0.062	0.125	0.05
	7	2014-05-06	-1.030	0.152	-1.240	0.154	2.092	0.156	2.118	0.152	1.108	0.190	1.112	0.192	0.354	0.104	0.364	0.108	0.151	0.06
	14	2014-05-13	-1.136	0.258	-1.316	0.230	1.972	0.276	1.998	0.272	1.016	0.282	1.022	0.282	0.264	0.194	0.272	0.200	0.249	0.10
	21	2014-05-20	-1.118	0.240	-1.300	0.214	2.012	0.236	2.038	0.232	1.050	0.248	1.056	0.248	0.300	0.158	0.306	0.166	0.218	0.09
	28	2014-05-27	-1.108	0.230	-1.284	0.198	2.018	0.230	2.036	0.234	1.042	0.256	1.048	0.256	0.298	0.160	0.306	0.166	0.216	0.09
	35	2014-06-03	-1.136	0.258	-1.274	0.188	1.996	0.252	2.018	0.252	1.014	0.284	1.018	0.286	0.284	0.174	0.292	0.180	0.234	0.09
	42	2014-06-10	-1.142	0.264	-1.280	0.194	1.990	0.258	2.012	0.258	1.008	0.290	1.012	0.292	0.278	0.180	0.286	0.186	0.240	0.10
	49	2014-06-17	-1.118	0.240	-1.326	0.240	1.986	0.262	2.012	0.258	1.014	0.284	1.020	0.284	0.280	0.178	0.294	0.178	0.241	0.10
	56	2014-06-24	-1.122	0.244	-1.330	0.244	1.982	0.266	2.008	0.262	1.010	0.288	1.016	0.288	0.276	0.182	0.290	0.182	0.245	0.10
	90	2014-07-28	-1.136	0.258	-1.340	0.254	1.976	0.272	2.002	0.268	0.994	0.304	1.000	0.304	0.262	0.196	0.270	0.202	0.257	0.10

MUESTRA REEMPLAZO 20% - A/C 0.3 - CURADO PARCIAL																				
DIS 3	Fecha	B1				B2				B3				B4				Promedios		
		Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Prom.	Indep.	Acum.
DÍAS	1	2014-04-30	1.096	0.000	1.188	0.000	1.524	0.000	1.536	0.000	0.832	0.000	0.852	0.000	0.132	0.000	0.168	0.000	0.000	0.00
	2	2014-05-01	1.128	-0.032	1.252	-0.064	1.570	-0.046	1.584	-0.048	0.838	-0.006	0.860	-0.008	0.188	-0.056	0.200	-0.032	-0.037	-0.01
	3	2014-05-02	1.134	-0.038	1.250	-0.062	1.574	-0.050	1.580	-0.044	0.834	-0.002	0.852	0.000	0.174	-0.042	0.184	-0.016	-0.032	-0.01
	4	2014-05-03	1.072	0.024	1.192	-0.004	1.566	-0.042	1.574	-0.038	0.816	0.016	0.838	0.014	0.168	-0.036	0.190	-0.022	-0.011	0.00
	5	2014-05-04	1.056	0.040	1.078	0.110	1.560	-0.036	1.580	-0.044	0.810	0.022	0.834	0.018	0.160	-0.028	0.180	-0.012	0.009	0.00
	6	2014-05-05	1.106	-0.010	1.228	-0.040	1.558	-0.034	1.590	-0.054	0.806	0.026	0.832	0.020	0.156	-0.024	0.170	-0.002	-0.015	-0.01
	7	2014-05-06	1.122	-0.026	1.248	-0.060	1.556	-0.032	1.592	-0.056	0.814	0.018	0.836	0.016	0.150	-0.018	0.166	0.002	-0.020	-0.01
	14	2014-05-13	0.906	0.190	1.034	0.154	1.334	0.190	1.358	0.178	0.604	0.228	0.628	0.224	-0.018	0.150	-0.038	0.206	0.190	0.08
	21	2014-05-20	0.894	0.202	1.020	0.168	1.326	0.198	1.340	0.196	0.602	0.230	0.624	0.228	-0.022	0.154	-0.038	0.206	0.198	0.08
	28	2014-05-27	0.980	0.116	1.006	0.182	1.310	0.214	1.332	0.204	0.590	0.242	0.616	0.236	-0.036	0.168	-0.048	0.216	0.197	0.08
	35	2014-06-03	0.914	0.182	0.986	0.202	1.288	0.236	1.296	0.240	0.570	0.262	0.594	0.258	-0.040	0.172	-0.074	0.242	0.224	0.09
	42	2014-06-10	0.908	0.188	0.980	0.208	1.282	0.242	1.290	0.246	0.564	0.268	0.588	0.264	-0.046	0.178	-0.080	0.248	0.230	0.09
	49	2014-06-17	0.840	0.256	0.964	0.224	1.272	0.252	1.292	0.244	0.554	0.278	0.580	0.272	-0.074	0.206	-0.086	0.254	0.248	0.10
	56	2014-06-24	0.836	0.260	0.960	0.228	1.268	0.256	1.288	0.248	0.550	0.282	0.576	0.276	-0.078	0.210	-0.090	0.258	0.252	0.10
	90	2014-07-28	0.820	0.276	0.950	0.238	1.244	0.280	1.258	0.278	0.532	0.300	0.558	0.294	-0.100	0.232	-0.114	0.282	0.273	0.11

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA
MEDIDAS DE CONTRACCIÓN EN EL CONCRETO

MUESTRA REEMPLAZO 20% - A/C 0.5 - NO CURADO																				
DIS 4	Fecha	A1				A2				A3				A4				Promedios		
		Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Prom.	Indep.	Acum.
DÍAS	1	2014-05-03	-0.708	0.000	-0.726	0.000	-0.100	0.000	-0.114	0.000	-0.240	0.000	-0.368	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
	2	2014-05-04	-0.750	0.042	-0.770	0.000	-0.114	0.014	-0.128	0.014	-0.254	0.014	-0.270	-0.098	0.000	0.000	0.000	-0.002	0.00	0.00
	3	2014-05-05	-0.792	0.084	-0.810	0.000	-0.126	0.026	-0.140	0.026	-0.276	0.036	-0.390	0.022	0.000	0.000	0.000	0.024	0.01	0.01
	4	2014-05-06	-0.844	0.136	-0.864	0.000	-0.200	0.100	-0.218	0.104	-0.342	0.102	-0.444	0.076	0.000	0.000	0.000	0.065	0.03	0.03
	5	2014-05-07	-0.826	0.118	-0.850	0.000	-0.170	0.070	-0.186	0.072	-0.318	0.078	-0.434	0.066	0.000	0.000	0.000	0.051	0.02	0.06
	6	2014-05-08	-0.836	0.128	-0.852	0.000	-0.168	0.068	-0.184	0.070	-0.318	0.078	-0.442	0.074	0.000	0.000	0.000	0.052	0.02	0.08
	7	2014-05-09	-0.880	0.172	-0.900	0.000	-0.216	0.116	-0.234	0.120	-0.348	0.108	-0.486	0.118	0.000	0.000	0.000	0.079	0.03	0.11
	14	2014-05-16	-0.899	0.191	-0.920	0.000	-0.228	0.128	-0.240	0.126	-0.372	0.132	-0.488	0.120	0.000	0.000	0.000	0.087	0.03	0.14
	21	2014-05-23	-0.908	0.200	-0.922	0.000	-0.228	0.128	-0.240	0.126	-0.360	0.120	-0.472	0.104	0.000	0.000	0.000	0.085	0.03	0.18
	28	2014-05-30	-0.918	0.210	-0.936	0.000	-0.240	0.140	-0.254	0.140	-0.404	0.164	-0.514	0.146	0.000	0.000	0.000	0.100	0.04	0.22
	35	2014-06-06	-0.918	0.210	-0.940	0.000	-0.242	0.142	-0.256	0.142	-0.408	0.168	-0.520	0.152	0.000	0.000	0.000	0.102	0.04	0.26
	42	2014-06-13	-0.916	0.208	-0.942	0.000	-0.244	0.144	-0.260	0.146	-0.396	0.156	-0.524	0.156	0.000	0.000	0.000	0.101	0.04	0.30
	49	2014-06-20	-0.916	0.208	-0.944	0.000	-0.246	0.146	-0.262	0.148	-0.382	0.142	-0.528	0.160	0.000	0.000	0.000	0.101	0.04	0.34
	56	2014-06-27	-0.920	0.212	-0.948	0.000	-0.250	0.150	-0.266	0.152	-0.386	0.146	-0.532	0.164	0.000	0.000	0.000	0.103	0.04	0.38
	90	2014-07-31	-0.940	0.232	-0.964	0.000	-0.272	0.172	-0.288	0.174	-0.400	0.160	-0.550	0.182	0.000	0.000	0.000	0.115	0.05	0.43

MUESTRA REEMPLAZO 20% - A/C 0.5 - CURADO PARCIAL																				
DIS 4	Fecha	B1				B2				B3				B4				Promedios		
		Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Prom.	Indep.	Acum.
DÍAS	1	2014-05-03	2.438	0.000	2.442	0.000	0.074	0.000	0.102	0.000	-0.894	0.000	-0.910	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
	2	2014-05-04	2.474	-0.036	2.500	-0.058	0.024	0.050	0.150	-0.048	-0.864	-0.030	-0.896	-0.014	0.000	0.000	0.000	-0.017	-0.01	-0.01
	3	2014-05-05	2.526	-0.088	2.538	-0.096	-0.040	0.114	0.000	0.102	-0.852	-0.042	-0.876	-0.034	0.000	0.000	0.000	-0.005	0.00	-0.01
	4	2014-05-06	2.512	-0.074	2.518	-0.076	-0.050	0.124	-0.016	0.118	-0.860	-0.034	-0.886	-0.024	0.000	0.000	0.000	0.004	0.00	-0.01
	5	2014-05-07	2.478	-0.040	2.482	-0.040	-0.064	0.138	-0.016	0.118	-0.898	0.004	-0.912	0.002	0.000	0.000	0.000	0.023	0.01	0.00
	6	2014-05-08	2.512	-0.074	2.522	-0.080	-0.036	0.110	-0.006	0.108	-0.864	-0.030	-0.882	-0.028	0.000	0.000	0.000	0.001	0.00	0.00
	7	2014-05-09	2.492	-0.054	2.502	-0.060	-0.048	0.122	-0.010	0.112	-0.866	-0.028	-0.882	-0.028	0.000	0.000	0.000	0.008	0.00	0.01
	14	2014-05-16	2.378	0.060	2.384	0.058	-0.108	0.182	-0.142	0.244	-0.982	0.088	-0.998	0.088	0.000	0.000	0.000	0.090	0.04	0.04
	21	2014-05-23	2.334	0.104	2.340	0.102	-0.156	0.230	-0.174	0.276	-1.028	0.134	-1.042	0.132	0.000	0.000	0.000	0.122	0.05	0.09
	28	2014-05-30	2.314	0.124	2.318	0.124	-0.178	0.252	-0.200	0.302	-1.052	0.158	-1.064	0.154	0.000	0.000	0.000	0.139	0.06	0.15
	35	2014-06-06	2.308	0.130	2.310	0.132	-0.182	0.256	-0.208	0.310	-1.062	0.168	-1.076	0.166	0.000	0.000	0.000	0.145	0.06	0.20
	42	2014-06-13	2.296	0.142	2.300	0.142	-0.186	0.260	-0.216	0.318	-1.070	0.176	-1.088	0.178	0.000	0.000	0.000	0.152	0.06	0.26
	49	2014-06-20	2.286	0.152	2.292	0.150	-0.190	0.264	-0.224	0.326	-1.080	0.186	-1.100	0.190	0.000	0.000	0.000	0.159	0.06	0.33
	56	2014-06-27	2.282	0.156	2.288	0.154	-0.194	0.268	-0.228	0.330	-1.084	0.190	-1.104	0.194	0.000	0.000	0.000	0.162	0.06	0.39
	90	2014-07-31	2.258	0.180	2.264	0.178	-0.214	0.288	-0.254	0.356	-1.112	0.218	-1.128	0.218	0.000	0.000	0.000	0.180	0.07	0.46

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA
MEDIDAS DE CONTRACCIÓN EN EL CONCRETO

MUESTRA REEMPLAZO 40% - A/C 0.3 - NO CURADO																				
DIS 5	Fecha	A1				A2				A3				A4				Promedios		
		Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Prom.	Indep.	Acum.
DÍAS	1	2014-05-07	0.308	0.000	0.326	0.000	2.200	0.000	2.204	0.000	0.484	0.000	0.490	0.000	3.340	0.000	3.350	0.000	0.000	0.00
	2	2014-05-08	0.524	-0.216	0.526	-0.200	2.192	0.008	2.200	0.004	0.502	-0.018	0.508	-0.018	3.350	-0.010	3.358	-0.008	-0.057	-0.02
	3	2014-05-09	0.498	-0.190	0.502	-0.176	2.152	0.048	2.156	0.048	0.452	0.032	0.454	0.036	3.274	0.066	3.280	0.070	-0.008	0.00
	4	2014-05-10	0.474	-0.166	0.482	-0.156	2.136	0.064	2.142	0.062	0.439	0.045	0.442	0.048	3.259	0.081	3.264	0.086	0.008	0.00
	5	2014-05-11	0.450	-0.142	0.462	-0.136	2.120	0.080	2.128	0.076	0.426	0.058	0.430	0.060	3.244	0.096	3.248	0.102	0.024	0.01
	6	2014-05-12	0.432	-0.124	0.434	-0.108	2.106	0.094	2.108	0.096	0.406	0.078	0.410	0.080	3.226	0.114	3.228	0.122	0.044	0.02
	7	2014-05-13	0.412	-0.104	0.414	-0.088	2.076	0.124	2.078	0.126	0.384	0.100	0.388	0.102	3.202	0.138	3.206	0.144	0.068	0.03
	14	2014-05-20	0.248	0.060	0.350	-0.024	2.020	0.180	2.024	0.180	0.332	0.152	0.338	0.152	3.144	0.196	3.146	0.204	0.138	0.06
	21	2014-05-27	0.338	-0.030	0.340	-0.014	2.014	0.186	2.016	0.188	0.322	0.162	0.336	0.154	3.134	0.206	3.136	0.214	0.133	0.05
	28	2014-06-03	0.312	-0.004	0.314	0.012	1.990	0.210	1.992	0.212	0.302	0.182	0.310	0.180	3.108	0.232	3.112	0.238	0.158	0.06
	35	2014-06-10	0.310	-0.002	0.312	0.014	1.988	0.212	1.990	0.214	0.300	0.184	0.308	0.182	3.106	0.234	3.110	0.240	0.160	0.06
	42	2014-06-17	0.304	0.004	0.310	0.016	1.986	0.214	1.988	0.216	0.300	0.184	0.304	0.186	3.104	0.236	3.108	0.242	0.162	0.06
	49	2014-06-24	0.284	0.024	0.290	0.036	1.966	0.234	1.968	0.236	0.280	0.204	0.284	0.206	3.084	0.256	3.088	0.262	0.182	0.07
	56	2014-07-01	0.256	0.052	0.260	0.066	1.942	0.258	1.944	0.260	0.250	0.234	0.254	0.236	3.056	0.284	3.058	0.292	0.210	0.08
	90	2014-08-04	0.276	0.032	0.280	0.046	1.966	0.234	1.968	0.236	0.278	0.206	0.282	0.208	3.074	0.266	3.076	0.274	0.188	0.08

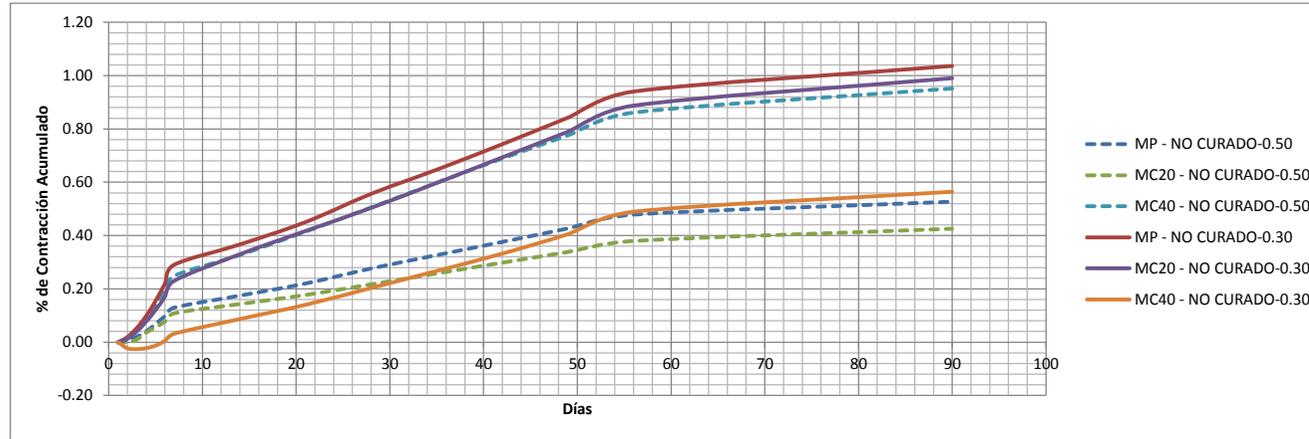
MUESTRA REEMPLAZO 40% - A/C 0.3 - CURADO PARCIAL																				
DIS 5	Fecha	B1				B2				B3				B4				Promedios		
		Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Prom.	Indep.	Acum.
DÍAS	1	2014-05-07	2.408	0.000	2.414	0.000	1.126	0.000	1.130	0.000	0.858	0.000	0.904	0.000	2.932	0.000	2.936	0.000	0.000	0.00
	2	2014-05-08	2.456	-0.048	2.458	-0.044	1.176	-0.050	1.180	-0.050	0.866	-0.008	0.964	-0.060	3.006	-0.074	3.010	-0.074	-0.051	-0.02
	3	2014-05-09	2.498	-0.090	2.510	-0.096	1.190	-0.064	1.194	-0.064	0.870	-0.012	0.998	-0.094	3.008	-0.076	3.014	-0.078	-0.072	-0.03
	4	2014-05-10	2.480	-0.072	2.492	-0.078	1.186	-0.060	1.190	-0.060	0.840	0.018	0.970	-0.066	3.000	-0.068	3.010	-0.074	-0.058	-0.02
	5	2014-05-11	2.472	-0.064	2.474	-0.060	1.182	-0.056	1.186	-0.056	0.812	0.046	0.952	-0.048	3.002	-0.070	3.008	-0.072	-0.048	-0.02
	6	2014-05-12	2.480	-0.072	2.484	-0.070	1.196	-0.070	1.198	-0.068	0.826	0.032	0.964	-0.060	3.020	-0.088	3.024	-0.088	-0.061	-0.02
	7	2014-05-13	2.490	-0.082	2.492	-0.078	1.204	-0.078	1.206	-0.076	0.870	-0.012	0.984	-0.080	3.028	-0.096	3.032	-0.096	-0.075	-0.03
	14	2014-05-20	2.348	0.060	2.352	0.062	1.070	0.056	1.072	0.058	0.706	0.152	0.808	0.096	2.882	0.050	2.884	0.052	0.073	0.03
	21	2014-05-27	2.298	0.110	2.300	0.114	1.016	0.110	1.020	0.110	0.640	0.218	0.754	0.150	2.824	0.108	2.826	0.110	0.129	0.05
	28	2014-06-03	2.262	0.146	2.264	0.150	0.978	0.148	0.982	0.148	0.592	0.266	0.728	0.176	2.788	0.144	2.790	0.146	0.166	0.07
	35	2014-06-10	2.256	0.152	2.258	0.156	0.972	0.154	0.976	0.154	0.586	0.272	0.722	0.182	2.782	0.150	2.784	0.152	0.172	0.07
	42	2014-06-17	2.246	0.162	2.250	0.164	0.962	0.164	0.966	0.164	0.540	0.318	0.750	0.154	2.768	0.164	2.770	0.166	0.182	0.07
	49	2014-06-24	2.236	0.172	2.240	0.174	0.942	0.184	0.946	0.184	0.542	0.316	0.730	0.174	2.758	0.174	2.760	0.176	0.194	0.08
	56	2014-07-01	2.234	0.174	2.238	0.176	0.904	0.222	0.910	0.220	0.546	0.312	0.710	0.194	2.746	0.186	2.750	0.186	0.209	0.08
	90	2014-08-04	2.204	0.204	2.206	0.208	0.924	0.202	0.926	0.204	0.536	0.322	0.668	0.236	2.722	0.210	2.724	0.212	0.225	0.09

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA
MEDIDAS DE CONTRACCIÓN EN EL CONCRETO

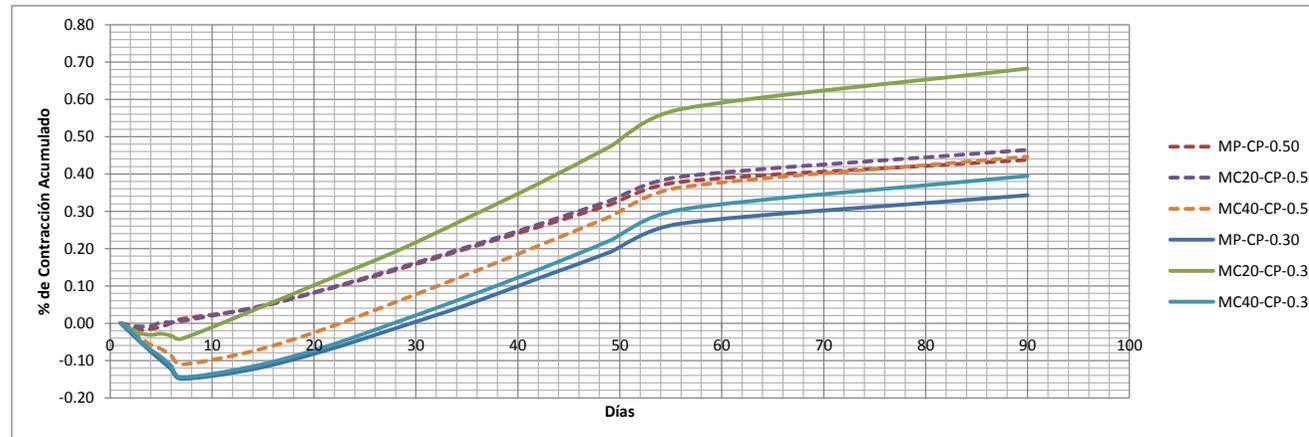
MUESTRA REEMPLAZO 40% - A/C 0.5 - NO CURADO																				
DIS 6	Fecha	A1				A2				A3				A4				Promedios		
		Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Prom.	Indep.	Acum.
DÍAS	1	2014-05-09	-0.896	0.000	-0.956	0.000	-0.502	0.000	-0.528	0.000	0.716	0.000	0.808	0.000	-0.832	0.000	-0.846	0.000	0.000	0.00
	2	2014-05-10	-0.950	0.054	-0.998	0.042	-0.512	0.010	-0.558	0.030	0.662	0.054	0.750	0.058	-0.862	0.030	-0.874	0.028	0.038	0.02
	3	2014-05-11	-1.004	0.108	-1.042	0.086	-0.522	0.020	-0.590	0.062	0.608	0.108	0.694	0.114	-0.892	0.060	-0.902	0.056	0.077	0.03
	4	2014-05-12	-1.026	0.130	-1.088	0.132	-0.570	0.068	-0.602	0.074	0.646	0.070	0.726	0.082	-0.908	0.076	-0.926	0.080	0.089	0.04
	5	2014-05-13	-1.092	0.196	-1.120	0.164	-0.622	0.120	-0.658	0.130	0.586	0.130	0.664	0.144	-0.958	0.126	-0.974	0.128	0.142	0.06
	6	2014-05-14	-1.076	0.180	-1.142	0.186	-0.614	0.112	-0.652	0.124	0.598	0.118	0.680	0.128	-0.946	0.114	-0.968	0.122	0.136	0.05
	7	2014-05-15	-1.088	0.192	-1.114	0.158	-0.622	0.120	-0.668	0.140	0.588	0.128	0.674	0.134	-0.954	0.122	-0.976	0.130	0.141	0.06
	14	2014-05-22	-1.132	0.236	-1.198	0.242	-0.674	0.172	-0.718	0.190	0.536	0.180	0.616	0.192	-1.006	0.174	-1.026	0.180	0.196	0.08
	21	2014-05-29	-1.178	0.282	-1.246	0.290	-0.694	0.192	-0.722	0.194	0.514	0.202	0.618	0.190	-1.032	0.200	-1.044	0.198	0.219	0.09
	28	2014-06-05	-1.194	0.298	-1.224	0.268	-0.700	0.198	-0.744	0.216	0.506	0.210	0.602	0.206	-1.044	0.212	-1.056	0.210	0.227	0.09
	35	2014-06-12	-1.198	0.302	-1.228	0.272	-0.704	0.202	-0.748	0.220	0.502	0.214	0.598	0.210	-1.048	0.216	-1.060	0.214	0.231	0.09
	42	2014-06-19	-1.200	0.304	-1.240	0.284	-0.696	0.194	-0.740	0.212	0.506	0.210	0.592	0.216	-1.032	0.200	-1.052	0.206	0.228	0.09
	49	2014-06-26	-1.188	0.292	-1.228	0.272	-0.684	0.182	-0.728	0.200	0.518	0.198	0.604	0.204	-1.020	0.188	-1.040	0.194	0.216	0.09
	56	2014-07-03	-1.172	0.276	-1.220	0.264	-0.686	0.184	-0.730	0.202	0.514	0.202	0.618	0.190	-1.022	0.190	-1.046	0.200	0.214	0.09
	90	2014-08-06	-1.196	0.300	-1.206	0.250	-0.702	0.200	-0.744	0.216	0.508	0.208	0.580	0.228	-1.034	0.202	-1.054	0.208	0.227	0.09

MUESTRA REEMPLAZO 40% - A/C 0.5 - CURADO PARCIAL																				
DIS 6	Fecha	B1				B2				B3				B4				Promedios		
		Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Min.	Cont.	Max.	Cont.	Prom.	Indep.	Acum.
DÍAS	1	2014-05-09	0.734	0.000	0.740	0.000	-0.812	0.000	-0.934	0.000	-0.952	0.000	-1.148	0.000	-0.150	0.000	-0.158	0.000	0.000	0.00
	2	2014-05-10	0.726	0.008	0.736	0.004	-0.780	-0.032	-0.866	-0.068	-0.920	-0.032	-1.102	-0.046	-0.098	-0.052	-0.110	-0.048	-0.033	-0.01
	3	2014-05-11	0.718	0.016	0.732	0.008	-0.754	-0.058	-0.798	-0.136	-0.894	-0.058	-1.056	-0.092	-0.046	-0.104	-0.064	-0.094	-0.065	-0.03
	4	2014-05-12	0.730	0.004	0.740	0.000	-0.766	-0.046	-0.836	-0.098	-0.912	-0.040	-1.078	-0.070	-0.084	-0.066	-0.096	-0.062	-0.047	-0.02
	5	2014-05-13	0.732	0.002	0.748	-0.008	-0.772	-0.040	-0.878	-0.056	-0.940	-0.012	-1.098	-0.050	-0.118	-0.032	-0.136	-0.022	-0.027	-0.01
	6	2014-05-14	0.734	0.000	0.738	0.002	-0.774	-0.038	-0.840	-0.094	-0.908	-0.044	-1.082	-0.066	-0.084	-0.066	-0.106	-0.052	-0.045	-0.02
	7	2014-05-15	0.738	-0.004	0.764	-0.024	-0.746	-0.066	-0.850	-0.084	-0.892	-0.060	-1.056	-0.092	-0.078	-0.072	-0.096	-0.062	-0.058	-0.02
	14	2014-05-22	0.602	0.132	0.626	0.114	-0.886	0.074	-0.988	0.054	-1.054	0.102	-1.208	0.060	-0.234	0.084	-0.250	0.092	0.089	0.04
	21	2014-05-29	0.552	0.182	0.558	0.182	-0.908	0.096	-1.066	0.132	-1.098	0.146	-1.302	0.154	-0.290	0.140	-0.308	0.150	0.148	0.06
	28	2014-06-05	0.518	0.216	0.520	0.220	-0.988	0.176	-1.052	0.118	-1.144	0.192	-1.306	0.158	-0.328	0.178	-0.344	0.186	0.181	0.07
	35	2014-06-12	0.514	0.220	0.516	0.224	-0.992	0.180	-1.056	0.122	-1.148	0.196	-1.310	0.162	-0.332	0.182	-0.348	0.190	0.185	0.07
	42	2014-06-19	0.506	0.228	0.510	0.230	-0.964	0.152	-1.086	0.152	-1.140	0.188	-1.348	0.200	-0.342	0.192	-0.356	0.198	0.193	0.08
	49	2014-06-26	0.506	0.228	0.508	0.232	-0.964	0.152	-1.092	0.158	-1.144	0.192	-1.348	0.200	-0.342	0.192	-0.356	0.198	0.194	0.08
	56	2014-07-03	0.506	0.228	0.508	0.232	-0.966	0.154	-1.100	0.166	-1.150	0.198	-1.352	0.204	-0.342	0.192	-0.358	0.200	0.197	0.08
	90	2014-08-06	0.496	0.238	0.514	0.226	-0.974	0.162	-1.126	0.192	-1.152	0.200	-1.360	0.212	-0.354	0.204	-0.370	0.212	0.206	0.08

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA
MEDIDAS DE CONTRACCIÓN EN EL CONCRETO



PORCENTAJE DE CONTRACCIÓN ACUMULADO - MEZCLAS A/C = 0.30 - NO CURADO.



PORCENTAJE DE CONTRACCIÓN ACUMULADO - MEZCLAS A/C = 0.30 - CURADO PARCIAL.