

**INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE AGREGADO RECICLADO EN LA
PENETRABILIDAD AL ION CLORURO Y EN LA PERMEABILIDAD AL AGUA
PARA CONCRETOS RECICLADOS**

**JESSICA PAOLA BARRETO DELGADO
DENNY'S ANGÉLICA CUFÑO MELO**



**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESTRUCTURAS
BOGOTÁ D.C.
2014**

**INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE AGREGADO RECICLADO EN LA
PENETRABILIDAD AL ION CLORURO Y EN LA PERMEABILIDAD AL AGUA
PARA CONCRETOS RECICLADOS**

**JESSICA PAOLA BARRETO DELGADO
DENNY'S ANGÉLICA CUFÍÑO MELO**

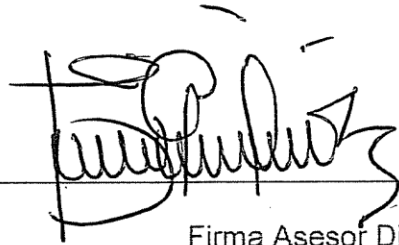
**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para obtener el título de
ingeniero civil.**

**Asesor Disciplinar: Lucio Guillermo López Yépez I.C. M. SC.
Asesor Metodológico: Laura Milena Cala Cristancho LIC.**

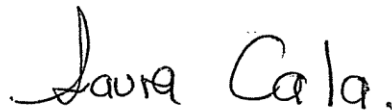
**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESTRUCTURAS
BOGOTÁ D.C.
2014**

NOTA DE ACEPTACIÓN

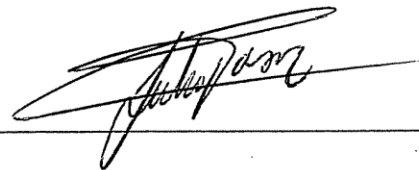
Observaciones



Firma Asesor Disciplinar



Firma Asesor Metodológico



Firma del jurado

Bogotá D.C., Junio de 2014

DEDICATORIA

A mis padres JHON JAIRO BARRETO RODRÍGUEZ y HEISSY PATRICIA DELGADO NIÑO que gracias a su esfuerzo, apoyo, dedicación, amor y consejos, me guiaron a culminar una etapa más en mi vida; a mi hermano cuya presencia me hace recordar el ser buen ejemplo para su desarrollo personal y profesional y finalmente a mis familiares y amigos quienes estuvieron presentes durante todo el transcurso de mi carrera.

JESSICA PAOLA BARRETO DELGADO

Este proyecto de grado lo dedico a mi familia, en especial a mis padres SERGIO ANTONIO CUFÍÑO ROLDÁN y BRISA YANETH MELO UMAÑA por ser las personas que me brindaron su tiempo, su cariño y su apoyo durante esta importante fase de mi vida tanto en lo académico como en lo personal, y son las personas que desde siempre me han inspirado para ser la persona que soy y lograr cumplir cada uno de los objetivos que me he planteado y también aquellas metas que desde aquí en adelante me planteo.

DENNY'S ANGÉLICA CUFÍÑO MELO

AGRADECIMIENTOS

A Dios en primera instancia por permitirnos llegar a éste punto en nuestro camino, a nuestros padres JHON JAIRO BARRETO RODRÍGUEZ, HEISSY PATRICIA DELGADO NIÑO, SERGIO ANTONIO CUFIÑO ROLDÁN y BRISA YANETH MELO UMAÑA quienes nos han apoyado en éste proceso, a la UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA, en especial a la facultad de Ingeniería Civil por permitirnos el aprendizaje de ésta bella profesión brindándonos los conocimientos necesarios a través de cada uno de nuestros docentes, al ingeniero LUCIO GUILLERMO LÓPEZ YÉPEZ por ayudarnos en el desarrollo de éste proyecto de grado, persona sin la cual no hubiera sido posible la realización del mismo, y a todos quienes de una u otra forma estuvieron brindándonos su apoyo durante todo el desarrollo de nuestras carreras profesionales, aquellos que desde el inicio hasta ahora estuvieron de nuestra mano apoyándonos para culminar con éxito ésta etapa de nuestras vidas.

**CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS PARA TESIS, TRABAJOS Y
MONOGRAFÍAS DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD LA GRAN
COLOMBIA**

Bogotá D.C. junio 13 de 2014

Señores:

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
Bogotá D.C.

Estimados señores:

Nosotras JESSICA PAOLA BARRETO DELGADO identificada con cédula ciudadanía No. 1 023 926 407 de Bogotá D.C., DENNY'S ANGÉLICA CUFÍÑO MELO identificada con cédula de ciudadanía No. 1 032 459 856 de Bogotá D.C., autoras del proyecto de grado nombrado: "INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE AGREGADO RECICALDO EN LA PENETRABILIDAD AL ION CLORURO Y EN LA PERMEABILIDAD AL AGUA PARA CONCRETOS RECICLADOS" presentando como requisito para optar el título de INGENIERO CIVIL; autorizamos a la universidad LA GRAN COLOMBIA la consulta, reproducción, distribución o cualquier otra forma de uso de la obra parcial o total, con fines académicos en cualquier formato de presentación; conforme a la ley 23 de 1982, ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995, Circular No. 06 de la Dirección Nacional de Derechos de Autor para las instituciones de educación superior, y demás normas generales de la materia.

Firma



JESSICA PAOLA BARRETO DELGADO
C.C. No. 1 023 926 407 de Bogotá D.C.

Firma



DENNY'S ANGÉLICA CUFÍÑO MELO
C.C. No. 1 032 459 856 de Bogotá D.C.

CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
2. ANTECEDENTES.....	12
3. OBJETIVOS	15
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
4. HIPÓTESIS	16
5. JUSTIFICACIÓN.....	17
6. MARCO REFERENCIAL	19
6.1 MARCO CONCEPTUAL.....	19
6.2 MARCO LEGAL.....	24
7. METODOLOGÍA.....	25
7.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
7.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	25
7.3 FASES DE INVESTIGACIÓN	26
7.3.1. FASE I: ENSAYOS EXPERIMENTALES.....	26
7.3.1.1 ENSAYO DE SORTIVIDAD.....	26
7.3.1.2 ENSAYO DE COLORIMETRÍA	28
7.3.2. FASE II: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS	31
7.4 DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	31
7.5 DISEÑO EXPERIMENTAL	31
7.6 MATERIALES.....	33
7.6.1 ARENA DE RÍO	33
7.6.2 AGREGADO GRUESO (GRAVA)	33
7.6.3 MICROSÍLICE.....	34
7.6.4 CEMENTO	34
8. ANALISIS DE RESULTADOS.....	36
8.1 PERMEABILIDAD AL AGUA	36
8.2 PENETRABILIDAD AL ION CLORURO	45
9. CONCLUSIONES.....	49
10. RECOMENDACIONES.....	50
11. BIBLIOGRAFÍA.....	51

Lista de Tablas

Tabla 1. Resumen de normativa	24
Tabla 2. Propiedades Agregado Fino.....	33
Tabla 3. Propiedades Agregado Grueso	33
Tabla 4. Propiedades Microsílice	34
Tabla 5. Especificaciones Técnicas ARGOS.....	35
Tabla 6. Penetrabilidad de ión cloruro.	45

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Ensayo de sortividad.....	22
Ilustración 2. Toma De Medidas.....	23
Ilustración 3. Cilindros de concreto reciclado.	27
Ilustración 4. Agua des-ionizada.....	27
Ilustración 5. Ensayo de sortividad.....	27
Ilustración 6. Cloruro de sodio.....	28
Ilustración 7. Sometimiento a ion cloruro.	28
Ilustración 8. Sometimiento a ion cloruro (Probeta individual).	29
Ilustración 9. Falla de cilindros (Tracción directa).....	29
Ilustración 10. Colorimetría.....	29
Ilustración 11. Agregado Fino.....	33
Ilustración 12. Agregado Grueso	34

Lista de esquemas

Esquema 1. Pasos de investigación cuantitativa.....	25
Esquema 2. Matriz de Investigación	30
Esquema 3. Diseño experimental.	32

Lista de gráficas

Gráfica 1. Sortividad relación A/C 0.45 Curado.....	36
Gráfica 2. Sortividad relación A/C 0.45 No Curado.	37
Gráfica 3. Sortividad relación A/C 0.55 Curado.....	38
Gráfica 4. Sortividad relación A/C 0.55 No Curado.	39
Gráfica 5. Sortividad relación A/C 0.65 Curado.....	40
Gráfica 6. Sortividad relación A/C 0.65 No Curado.	41
Gráfica 7. Resumen de sortividad.	42
Gráfica 8. Penetrabilidad de Cilindros Curados	46
Gráfica 9. Penetrabilidad de Cilindros No Curados	47

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los concretos reciclados han sido una solución frente a la problemática de la disposición de materiales resultantes de demolición primordialmente en el sector de la construcción y la explotación de los recursos no renovables. Sin embargo, no es muy conocido el comportamiento de estos concretos con respecto a la durabilidad, por lo que se hace necesario realizar estudios que permitan determinar con claridad cómo reaccionan estos concretos reciclados como elemento estructural.

En Colombia el tema de los concretos con inclusión de agregado reciclado como sustitución del agregado grueso se ha comenzado a estudiar desde hace poco tiempo. Algunas investigaciones previas han analizado la durabilidad de los concretos reciclados por medio de ensayos de penetración de ion cloruro y permeabilidad al agua, ya que el ion cloruro es uno de los principales atacantes al acero de refuerzo en las costas por su alta presencia en el agua marina, ya sea por el contacto directo o por agentes externos como el viento. Los efectos que causa el cloruro en la estructura se relacionan con la afectación del refuerzo de acero causando corrosión, que a la postre causa un rápido deterioro del concreto. A pesar de que se usa el concreto como un medio de protección para el acero por su alcalinidad (pH de 12.5) y baja conductividad, en ambientes agresivos la penetrabilidad del cloruro se sigue presentando. Hasta ahora se han llevado a cabo algunas investigaciones que se han hecho para distintos tipos de concreto con agregado reciclado y su respectivo análisis con parámetros tales como: diferentes relaciones agua cemento, aditivos como el micro sílice y diferentes porcentajes de agregado reciclado, los estudios realizados y tomados como antecedente en ésta investigación que han considerado éstos temas han sido principalmente dos tesis denominadas: “Influencia de la permeabilidad al agua en la durabilidad del concreto reciclado con diferentes relaciones agua/cemento y microsíllice como adicción.” e “Influencia del ion cloruro en la durabilidad del concreto reciclado con distintas relaciones agua cemento y diferentes porcentajes de agregado reciclado.”, sin embargo estas investigaciones se han elaborado para concretos de edades no mayores a 1 mes a partir de la finalización de curado dejando un vacío en el conocimiento acerca del comportamiento de concretos a mayor edad.

Esto no significa que no se hayan hecho otras investigaciones; por el contrario, se encuentran muchos informes, tesis y demás documentos que tratan como tema principal el comportamiento de los agregados reciclados para su posible utilización, dentro de éstos se encuentran gran cantidad de reportes de autoría de

Vivian Wing-yan Tam, quien desarrolla el tema de los agregados reciclados muy ampliamente.

Por ello se realiza esta investigación, a fin de dar respuesta a la siguiente pregunta:

¿Qué influencia tiene el porcentaje de agregado reciclado en la penetrabilidad al ion cloruro y la permeabilidad al agua para concretos reciclados de edades aproximadas de 9 meses?

2. ANTECEDENTES

- Una investigación con concretos reciclados fue realizada en la ciudad de Hong Kong¹ con el propósito de conocer el comportamiento y las características de los agregados reciclados (AR) ya que con el aumento de la demanda de estos materiales se hace necesario el conocimiento de dichos agregados. En este trabajo se propone un método innovador para examinar la absorción de agua de los AR denominado Evaluación en tiempo real de absorción de agua (Real-Time Assessment of Water Absorption, RAWA).

Una de las diferencias físicas notables entre los AR y los agregados naturales es la capacidad de absorción al agua ya que los agregados reciclados presentan una tasa de absorción de agua superior, reduciendo en el concreto la resistencia a la compresión y resistencia a la congelación y descongelación, a diferencia del agregado ordinario; la absorción se encuentra alrededor de 3 a 10 por ciento para el agregado reciclado y desde menos de 1 hasta 5 por ciento para agregados naturales, por lo tanto, es importante conocer los índices de absorción de agua de los AR en la etapa de diseño de la mezcla.

El método RAWA es adecuado para cualquier tamaño de agregado (de 5 a 40 mm) proporcionando una manera más fácil para obtener la absorción del agua a diferentes intervalos de tiempo y sin la necesidad de remojo y secado del agregado reciclado dando así un resultado más preciso.

Al finalizar el estudio se obtiene como resultado que una sustitución de agregado reciclado de un 20%, genera un óptimo rendimiento en el concreto, en la contracción y la capacidad de absorción al agua. En general, cuanto mayor sea el contenido de agregado reciclado en el mortero de cemento, más tiempo de saturación tomará.

- En un estudio realizado en la ciudad de Cartagena², en el cual se analizó la factibilidad técnica de utilización de concretos con agregados reciclados (con porcentajes de 50, 75 y 100) provenientes de la demolición de placas

¹ NG K, TAM C, TAM V. Deformation and Sorptivity of Recycled Aggregate Concrete Produced by Two Stage Mixing Approach. *En: Surveying and Built Environment Vol 17(1)*, 7-14 June 2006. 8P.

² Mónica Eljaiek Urzola, Edgar Quiñones Bolaños, Javier Mouthon Bello. Aprovechamiento de los escombros generados en actividades de demolición de placas de pavimento en Cartagena – Colombia. Colombia, 2011, Universidad de Cartagena, p 6.

de pavimento de una vía principal de Cartagena se logró determinar uno de los primeros indicios de utilización de agregados reciclados en el país para muros no estructurales por medio de bloques huecos y macizos, haciendo pruebas mecánicas de resistencia, densidad, absorción y demás, pruebas con las cuales fue posible establecer un primer análisis de durabilidad de éste tipo de concretos.

Los investigadores encontraron como resultado que todos los concretos con diferentes porcentajes de agregado reciclado presentaron una mayor absorción al agua que los concretos convencionales debido muy probablemente a la alta porosidad que generen dichos agregados en los concretos, absorciones que superan los parámetros que limita la norma NTC 174, por lo cual allí mismo se recomienda profundizar en las investigaciones de éstas propiedades de los agregados reciclados con el fin de implementarlos como material convencional en las construcciones ya que según el mismo estudio, la utilización de agregados reciclados puede presentar disminución en los costos de construcción.

- Uno de los pocos estudios sobre concretos reciclados que se han realizado en Colombia ha sido el ensayo de colorimetría que evalúa la penetración del ion cloruro; éste ensayo se realiza sometiendo el cilindro en contacto con agua des-ionizada y cloruro de sodio analítico durante (1) un mes para luego evaluar la penetración del cloruro de sodio por medio del método de colorimetría. Éste ensayo se realizó para concretos reciclados con distintos porcentajes de agregado reciclado y distintas relaciones agua cemento, a fin de identificar la durabilidad del concreto en lo referente a la penetración de ion cloruro.

En cuanto a penetrabilidad se encontró en ésta investigación³ que el tipo de curado tiene gran influencia en la durabilidad del concreto ya que el no curado presenta una mayor penetrabilidad del ion cloruro debido a la mayor absorción y porosidad causada por el mal control de hidratación, que puede llegar a causar corrosión en la armadura de acero, caso opuesto al de los curados; además de ello, también se encontró que los distintos porcentajes de agregado reciclado son muy influyentes en el cambio del valor de la penetración del cloruro en los concretos reciclados.

³ BAUTISTA C, LUCENA J, RODRÍGUEZ D. Influencia del ion cloruro en la durabilidad del concreto reciclado con distintas relaciones agua cemento y diferentes porcentajes de agregado reciclado. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil. Bogotá D.C., Universidad la Gran Colombia, 2013. 77 p.

- Otro de los ensayos realizados para concretos reciclados es el ensayo de permeabilidad donde se utiliza agua destilada y se someten los cilindros con diferentes porcentajes de agregado reciclado, distintas relaciones agua cemento e inclusiones de microsílíce a un contacto unidireccional con el agua durante 7 días según la normativa ASTM 1585, éste ensayo se denomina sortividad, con él se buscó conocer la durabilidad de un concreto reciclado respecto a la durabilidad de un concreto convencional.

Con la realización de éste ensayo⁴ se obtuvo que la permeabilidad de concretos reciclados es más alta que la del concreto convencional. Las adiciones de microsílíce en los concretos reciclados hacen que estos presenten más bajas absorciones. La relación agua cemento es uno de los factores más influyentes en la permeabilidad, relaciones bajas disminuyen la absorción mientras que relaciones altas permiten una mayor absorción de agua en los concretos.

⁴ GIL J, GONZALES D, RODRÍGUEZ J. Influencia de la permeabilidad al agua en la durabilidad del concreto reciclado con diferentes relaciones agua/cemento y microsílíce como adicción. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil. Bogotá D.C., Universidad la Gran Colombia, 2012. 116 p.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la influencia que tiene el porcentaje de agregado reciclado en la penetrabilidad al ion cloruro y en la permeabilidad al agua para concretos reciclados de edades tardías.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la influencia de los diferentes porcentajes de agregado reciclado, microsílíce y relaciones agua-cemento en la permeabilidad al agua en el concreto reciclado con edades de 9 meses.
- Analizar la influencia de la penetrabilidad al ion cloruro en la durabilidad de los concretos con agregados reciclados, microsílíce y diferentes relaciones agua-cemento con edades de 9 meses.

4. HIPÓTESIS

Los concretos reciclados presentan mayor permeabilidad que los concretos convencionales debido muy probablemente a que los agregados reciclados generan una porosidad más alta en la mezcla resultante de concreto reciclado, ésta absorción de agua es mayor con el paso del tiempo.

Asimismo la penetración de ion cloruro aumenta cuando se utilizan agregados reciclados ya que la porosidad aumenta, se espera que la penetración al ion cloruro sea más alta para concretos reciclados con aproximadamente 9 meses de edad que los concretos reciclados con bajas edades.

5. JUSTIFICACIÓN

El auge del desarrollo de las ciudades ha generado una gran demanda para el sector de la construcción debido a la necesidad de estructuras adecuadas para optimizar y mejorar las actividades humanas, por esto se requiere crear nuevas edificaciones y renovar las existentes; a su vez, el desarrollo de estas estructuras ha necesitado la implementación de materiales no convencionales como los residuos de construcción y demolición (RCD), algunos desechos de industrias entre otros, con el fin de ser reutilizados como elementos estructurales y no estructurales, con lo que a su vez contribuye a la disminución de una problemática ambiental. Aunque estos materiales presentan una alternativa favorable para el medio ambiente, en el ámbito constructivo todavía existe una gran incertidumbre acerca de las propiedades tanto físicas como mecánicas de éstos, además se prefieren los sistemas de construcción tradicionales en la mayoría de los casos porque se conoce el procedimiento de diseño y la respuesta estructural.

En Colombia el tema sobre el concreto con agregados reciclados no se ha investigado a una gran escala, lo que hace necesario la implementación de investigaciones referentes a este material no convencional ya que representaría una gran utilidad para la construcción en el país debido al aumento en el sector de la construcción por lo que se produciría y se reutilizaría gran cantidad de RCD.

En Bogotá se generan más de 8 millones de toneladas de escombros anuales; en la ciudad, por el momento solo hay dos sitios para depósitos de esos residuos, que funcionan fuera del perímetro urbano⁵, generando grandes inconvenientes en la disposición de los RCD generados en la demolición de estructuras, debido a que su gran volumen dificulta los procesos de tratamiento y transporte de los mismos. La necesidad de buscar una solución a esta problemática ha dado paso para la iniciación de estudios en el campo de la construcción identificando propiedades de resistencia y durabilidad con el propósito de utilizarlos como remplazo de agregado grueso en el concreto, lo que se denomina concreto reciclado; debido a que estos parámetros son los más importantes en materiales de tipo estructural es necesario el estudio de los mismos en este tipo de concreto, ya que lo ideal es que se pueda someter a las mismas condiciones de un concreto convencional, soportando acciones de procesos de deterioro, conservando su forma, calidad y serviciabilidad, teniendo en cuenta la permeabilidad lo cual influye

⁵ EL TIEMPO. Escombros de obra se deben recoger: Secretaría de Ambiente, 2013 [en línea] <http://www.eltiempo.com/colombia/bogota/ARTICULO-WEB-NEW_NOTA_INTERIOR-13034166.html> [citado el 20 de noviembre de 2013]

en la resistencia del concreto, además de las edades del mismo puesto que con el pasar del tiempo el concreto va perdiendo propiedades, por lo tanto al no haber suficiente información acerca de este factor tiempo, es indispensable el estudio de edades tardías en el concreto reciclado para poseer una referencia relacionada a su comportamiento frente al tiempo.

En el caso de esta investigación se hace referencia al comportamiento del concreto reciclado frente a la permeabilidad al agua y la penetrabilidad al ion cloruro, ya que son variables que influyen en la resistencia y durabilidad del concreto como elemento estructural y no estructural, dando como objetivo el identificar su comportamiento bajo agentes químicos y naturales como es el caso.

Este tipo de investigación proporciona un gran aporte a la Ingeniería Civil avanzando así en el estudio del comportamiento de los materiales no convencionales como lo es el concreto reciclado, contribuyendo al desarrollo e innovación en la construcción.

Los beneficios que ofrece la utilización de concreto reciclado no solamente son de tipo ambiental (disminución de escombros y explotación de recursos no renovables) sino también en los aspectos económicos ya que trae menos costos el uso de agregados de concreto reciclado, que el concreto convencional.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1 MARCO CONCEPTUAL

6.1.1 Agregado reciclado: Los agregados reciclados son aquellos que son producto de la demolición de obras civiles o residuos de los procesos constructivos en otras industrias conocidos como RCD, con el fin de utilizarlos como agregado para la construcción de concreto.

6.1.2 Parámetros generales.

6.1.2.1 Durabilidad del concreto: La durabilidad del hormigón de cemento hidráulico se define como su capacidad para resistir la acción de la meteorización, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro. Un hormigón durable conservará su forma, calidad y serviciabilidad originales al estar expuesto a su ambiente⁶.

6.1.2.2 Relación agua – cemento: Es la cantidad neta de agua utilizada por cantidad unitaria de cemento para un conjunto de materiales y condiciones puesto que tiene una influencia importante en la calidad del concreto ya que a menor relación agua cemento causa mayor resistencia y durabilidad, aunque afecta su trabajabilidad para ello se establece el uso de aditivos plastificantes⁷.

6.1.2.3 Aditivos del concreto: Los aditivos son compuestos inorgánicos u orgánicos que se agregan con el fin de alterar las propiedades y de adecuar las condiciones de trabajabilidad de los concretos al igual que su comportamiento. La clasificación de aditivos más utilizados en el medio son los reductores de agua, retardantes, súper plastificantes y aditivos minerales⁸.

⁶ Comité ACI 201. Guía para la Durabilidad del Hormigón. [en línea] <http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI_201_2R_01.pdf> [citado el 20 de noviembre de 2013]

⁷ GOMEZ CORTES, José. Durabilidad del concreto: Permeabilidad del concreto. Bogotá: Universidad nacional, 2002, p. 10-3

⁸ MOLINA BAS. Op. Cit., p.2-5.

6.1.2.4 Trabajabilidad del concreto: Es la facilidad de instalación del concreto en estado fresco, haciendo referencia a la manipulación y tiempos de traslado sin que se afecten la homogeneidad de la mezcla, evitando escapes de agua que deterioren el concreto en el tiempo de fraguado. La segregación, consistencia, movilidad, capacidad de bombeo y sangrado, son algunas de las propiedades que dependen de la trabajabilidad⁹.

6.1.2.5 Permeabilidad al agua: Uno de los factores que reducen la permeabilidad es la disminución de la porosidad que se encuentra en la pasta de cemento y los agregados. Dicha permeabilidad depende del tamaño y distribución de los poros. Sin embargo, la permeabilidad no depende solo de la pasta de cemento sino también en mayor medida de los agregados ya que estos presentan mayor permeabilidad que la pasta de cemento debido a que tiene diámetros más grandes lo cual permite la fácil circulación de agua. De ahí que la porosidad capilar controla la permeabilidad del cemento. Así mismo en el cemento fresco “conforme pasa el proceso de hidratación la permeabilidad disminuye de una manera rápida”. También las propiedades del cemento influyen en la permeabilidad del concreto ya que a mayor resistencia se presenta menor permeabilidad conforme a la relación agua/cemento disminuye. Sin embargo, por mal control del fraguado del cemento puede producirse una contracción en el secado lo que produce un rompimiento del gel de cemento dentro de los poros capilares lo cual incrementa la permeabilidad al agua¹⁰.

➤ Ensayo de sortividad¹¹: Es un índice del transporte de humedad a un espécimen no saturado, y es considerado un importante índice para evaluar la durabilidad, porque: este método refleja la forma en que la mayoría de los concretos son penetrados por el agua y otros agentes agresivos y proporciona una buena medida de la calidad de la superficie del concreto.

Algunos de los primeros trabajos hechos para medir la sortividad de morteros y concretos fueron llevados a cabo por Ho, Lewis y Hall (citados

⁹ KOSMATKA. Steven, KERKHOFF, Beatrix y PANARES. William. Design and control of concrete mixtures: Fundamentals of concrete. (Edition 4). Washington: Printheory, 2008. p 3.

¹⁰ GOMEZ CORTES. Op. Cit., p 2-9.

¹¹ JOVANÉ CARRILLO, Manuel. Comparación de permeabilidad en el concreto mediante ensayos de sortividad y permeabilidad superficial inicial. Bogotá, 2009, p 23-25. Tesis de investigación (magister en estructuras). Universidad nacional. Facultad de ingeniería.

por Jované). En 1977 Hall da a conocer teorías y aspectos prácticos para evaluar la sortividad en morteros y concretos en laboratorio.

Hall definió la sortividad como la pendiente de la acumulación de volumen de agua absorbida por unidad de área contra la raíz cuadrada del tiempo.

$$(EC. 1) \quad \frac{1}{\theta} F dt = S t^{1/2}$$

Donde S: sortividad.

F: flujo de agua.

T: tiempo.

Si se resuelve la integral de la ecuación anterior se obtiene:

$$(EC. 2) \quad \frac{Q}{A} = k\sqrt{t}$$

que es lo mismo que:

$$(EC. 3) \quad i = S \sqrt{t}$$

Donde i es el volumen de líquido absorbido por unidad de área expuesta en un tiempo t.

Esta última ecuación luego fue modificada después de observaciones hechas con el método del I.S.A.T. (Initial Surface Absortivity Test):

$$(EC. 4) \quad i = S \bar{t} + S_0$$

Donde S_0 es el término de corrección que se aplica por los efectos de la superficie en el momento en que el espécimen es colocado en contacto con el agua.

Para la mayoría de los materiales usados en construcción, las fuerzas debido a la acción capilar son las que dominan el flujo del agua. Ensayos hechos por medio de la sortividad (como el que pueden verse en la ilustración 1. Ensayo de sortividad) indican que en edificios con materiales porosos el flujo generalmente es unidireccional. Es por esta razón que en estos ensayos se debe asegurar un flujo unidireccional a las probetas ensayadas.

La sortividad también puede ser calculada directamente de los valores que da la tasa de absorción de agua el ensayo de I.S.A.T. a los 10 minutos o ISA10 por la fórmula que desarrolló empíricamente Hall:

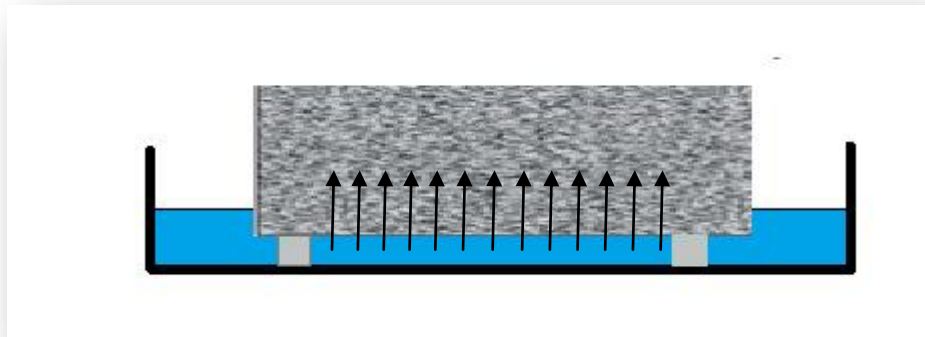
(EC. 5) $S = 0.455 ISA_{10}$

Donde

S está en (milímetros/minuto^{1/2})

ISA10 en (mililitros/metros*segundos²)

Ilustración 1. Ensayo de sortividad.



FUENTE: NOKKEN. —Development of Capillary Discontinuity in Concrete and its Influence on Durability

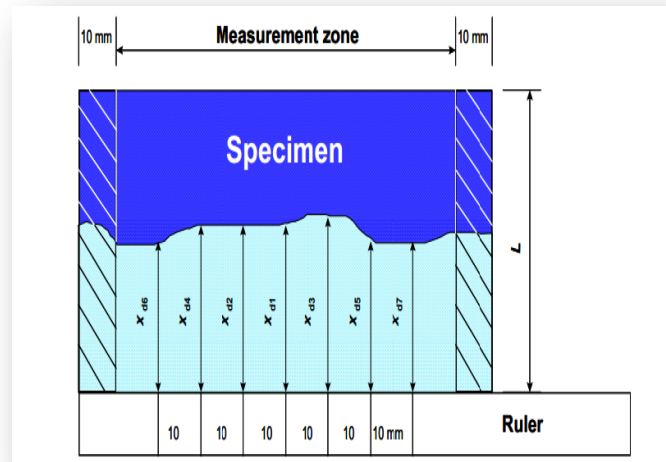
6.1.2.6 Afectación de ion cloruro: La permeabilidad del ion cloruro produce en el concreto una degradación en los refuerzos debido a que se presenta una corrosión en el acero, lo cual deteriora la estructura de concreto reforzado. Una de las causas del incremento de la velocidad de penetración del cloruro es la relación agua/cemento, cantidad, tipo de cemento, tiempo de contacto con los cloruros. En relación con los agregados reciclados, presentan mayor conductividad en comparación con los concretos con agregados naturales lo cual produce mayor difusión de iones además, el concreto reciclado retiene mayor contenido de cloruro en estado endurecido¹².

- Ensayo de colorimetría: Haciendo uso de la norma Nordtest 492 es posible medir la penetración de cloruro: se aplica nitrato de plata $AgNO_3$ en la superficie de concreto la cual después de un tiempo evidenciará la concentración de cloruro, esto con el fin de observar la profundidad de

¹² ULLOA MAYORGA, Viviana. Durabilidad de hormigones armadas, con árido reciclado: una evolución de la corrosión en un ambiente marino. Valencia, 2012, 10-21. trabajo de grado (Doctorado en ingeniería de la construcción y gestión ambiental). Universidad politécnica de valencia. Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. Departamento de ingeniería de la construcción y de proyectos de ingeniería civil, p, 8-17 8-20

penetración del mismo y así tomar las distancias de penetración, en la que la Nordtest 492 determina sea cada 10 mm en toda la cara del cilindro y luego promediar dicha penetración¹³. En la ilustración 2. Toma de medidas, se evidencia la forma en que debe ser realizado el mapeo de los cilindros.

Ilustración 2. Toma De Medidas



FUENTE: NORDTEST 492

¹³ LÓPEZ YÉPEZ, Lucio. Influencia del porcentaje de adición de micro sílice y del curado en la penetración del ion cloruro en concreto de alto desempeño. Trabajo de grado (magister en estructuras). Bogotá D.C., Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, 2012. 61p.

6.2 MARCO LEGAL

Para llevar a cabo ésta investigación se hace referencia a algunas normas que guían y regulan los procedimientos de los principales ensayos que son permeabilidad por medio de sortividad y penetración al ion cloruro. En la siguiente tabla se realiza una descripción de las normas.

Tabla 1. Resumen de normativa.

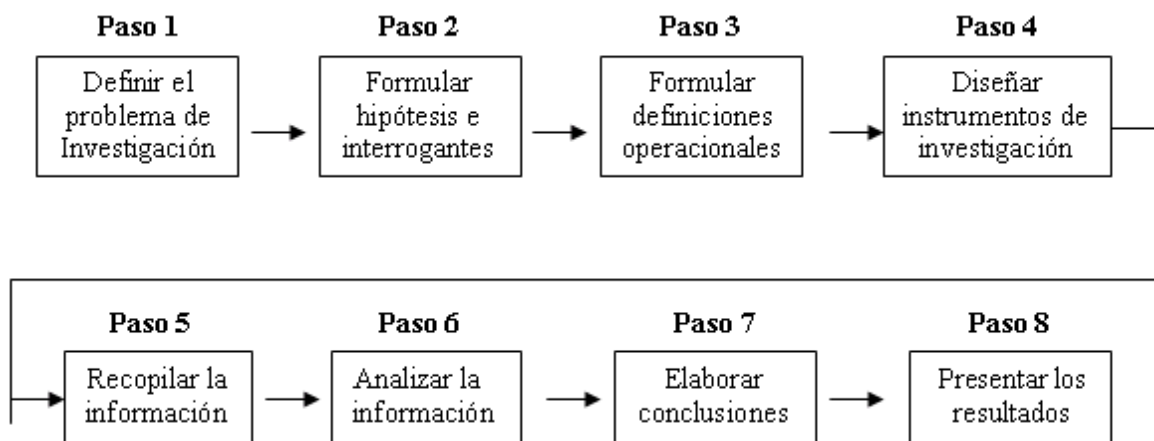
Norma	Título de la norma	Descripción
ASTM 1585	Método de prueba estándar para la medición del índice de absorción de agua de hormigón de cemento hidráulico.	Éste método se utiliza para determinar la tasa de absorción del hormigón midiendo los aumentos de masa de los cilindros que se someten por una sola de sus superficies a contacto con agua.
NT BUILD 492	Coefficiente de migración de cloruros.	Con ésta norma se busca evidenciar por medio de la aplicación de Nitrato de plata la penetración de cloruro de sodio en cilindros de concreto.

7. METODOLOGÍA

7.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Cuantitativo: el enfoque de esta investigación es de carácter cuantitativo lo que significa que se realiza una recolección y análisis de datos con respecto a las variables de permeabilidad al agua y penetrabilidad al ion cloruro en probetas de concreto reciclado, estudiando su asociación e influencia en los mismos, mediante procesos de ensayo experimental que posteriormente son analizados permitiendo obtener conclusiones sobre el proceso realizado y finalmente presentando los resultados obtenidos. En el esquema 1 se observa un esquema general de la investigación cuantitativa.

Esquema 1. Pasos de investigación cuantitativa.



FUENTE: Janes P. Spradley (1980)

7.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto es de índole experimental puesto que se estudian variables a partir de ensayos experimentales tales como son: sortividad para el estudio de la permeabilidad al agua, colorimetría para la penetrabilidad al ion cloruro, observando y evaluando su comportamiento en concreto reciclado frente a situaciones controladas.

7.3 FASES DE INVESTIGACIÓN

Para la realización de éste estudio se tuvo en cuenta las siguientes fases de Investigación y sus respectivas actividades con el fin de lograr aplicar de manera óptima cada una de las normas que rigen los dos ensayos principales de ésta investigación.

7.3.1. FASE I: ENSAYOS EXPERIMENTALES

Dentro de los ensayos realizados en ésta investigación se encuentran básicamente dos que son permeabilidad al agua (Ensayo de sortividad) y penetración al ion cloruro (Ensayo de colorimetría), aplicados a concretos reciclados con diferentes porcentajes de agregado reciclado; para ello se realizan las siguientes actividades:

7.3.1.1 ENSAYO DE SORTIVIDAD

La realización de éste ensayo estuvo guiada bajo la norma ASTM 1585, para la cual se utilizó una serie de cilindros elaborados con diferentes porcentajes de agregado reciclado, distintas relaciones agua cemento y distintos porcentajes de inclusión de microsilíce (Ilustración 3.) a una edad aproximada de 9 meses, también se utilizó agua des-ionizada (Ilustración 4.) y elementos menores tales como recipientes propicios libres de impurezas, plásticos y ligas de caucho. Los cilindros utilizados para este ensayo fueron elaborados previamente en una investigación realizada en el 2013 por estudiantes de la Universidad La Gran Colombia¹⁴. En el esquema 2, se observan las características de los cilindros mencionados anteriormente, allí es posible identificar la cantidad de probetas por cada propiedad específica con las que se trabajó.

En éste ensayo experimental se sometieron los cilindros al contacto con el agua luego de haber sido secados al horno y pesados en el aire (Ilustración 5.), tomando la medida de las masas de los cilindros con el paso del tiempo según las indicaciones establecidas en la norma.

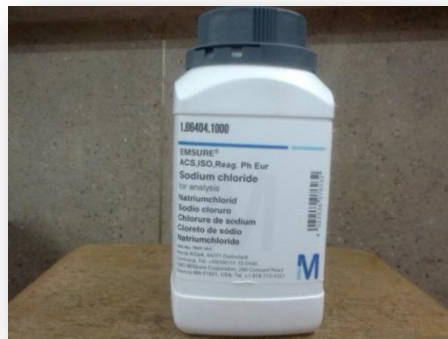
¹⁴ GIL J, GONZALES D, RODRÍGUEZ J. Op Cit.

7.3.1.2 ENSAYO DE COLORIMETRÍA

Para llevar a cabo éste ensayo se utilizó una mezcla de agua des-ionizada y cloruro de sodio al 3% de concentración (Ilustración 6.), sometiendo los cilindros de concreto reciclado al contacto con dicha mezcla (Ilustración 7. y 8.) por una sola de sus superficies alrededor de 4 meses para luego fallarlos por tracción directa (Ilustración 9.) y por medio de aplicación de Nitrato de Plata AgNO_3 identificar el valor de la penetración de ion cloruro (Ilustración 10.), dichos cilindros fueron realizados con anterioridad como resultado de un trabajo de grado realizado por estudiantes de la Universidad La Gran Colombia¹⁵.

Los cilindros con los cuales se realizó éste ensayo tienen las mismas características de composición y edad que los cilindros utilizados para el ensayo de permeabilidad al agua.

Ilustración 6. Cloruro de sodio



FUENTE: Propia, tomada 21 de Noviembre de 2013

Ilustración 7. Sometimiento a ion cloruro.



FUENTE: Propia, tomada 22 de Febrero de 2014

¹⁵ BAUTISTA C, LUCENA J, RODRÍGUEZ D. Op Cit.

Ilustración 8. Sometimiento a ion cloruro (Probeta individual).



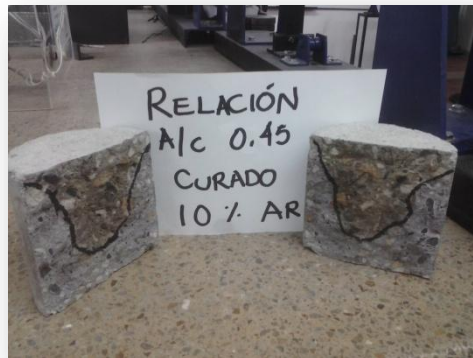
FUENTE: Propia, tomada 22 de Febrero de 2014

Ilustración 9. Falla de cilindros (Tracción directa).



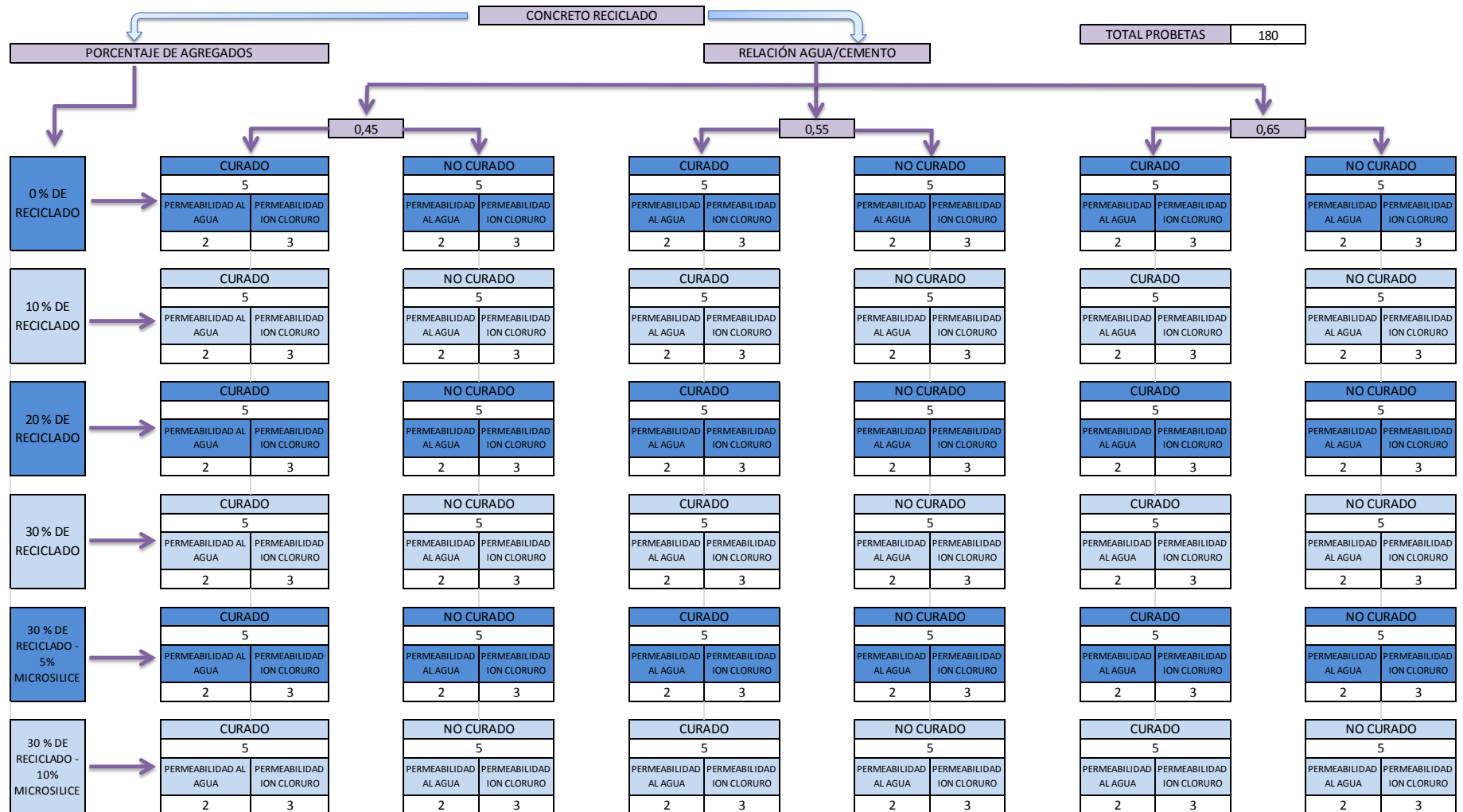
FUENTE: Propia, tomada 20 de Marzo de 2014

Ilustración 10. Colorimetría.



FUENTE: Propia, tomada 27 de Marzo de 2014

Esquema 2. Matriz de Investigación



7.3.2. FASE II: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Esta fase de investigación está compuesta por la recopilación y organización de los datos obtenidos en laboratorio para su posterior interpretación utilizando las normas que aplican en cada caso.

Para cada una de las dos pruebas experimentales a realizar fue necesario organizar por medio de tabulación los datos obtenidos y luego generar gráficas que permitieran determinar las líneas de tendencia, las cuales fueron las principales herramientas a utilizar más tarde en el análisis de resultados.

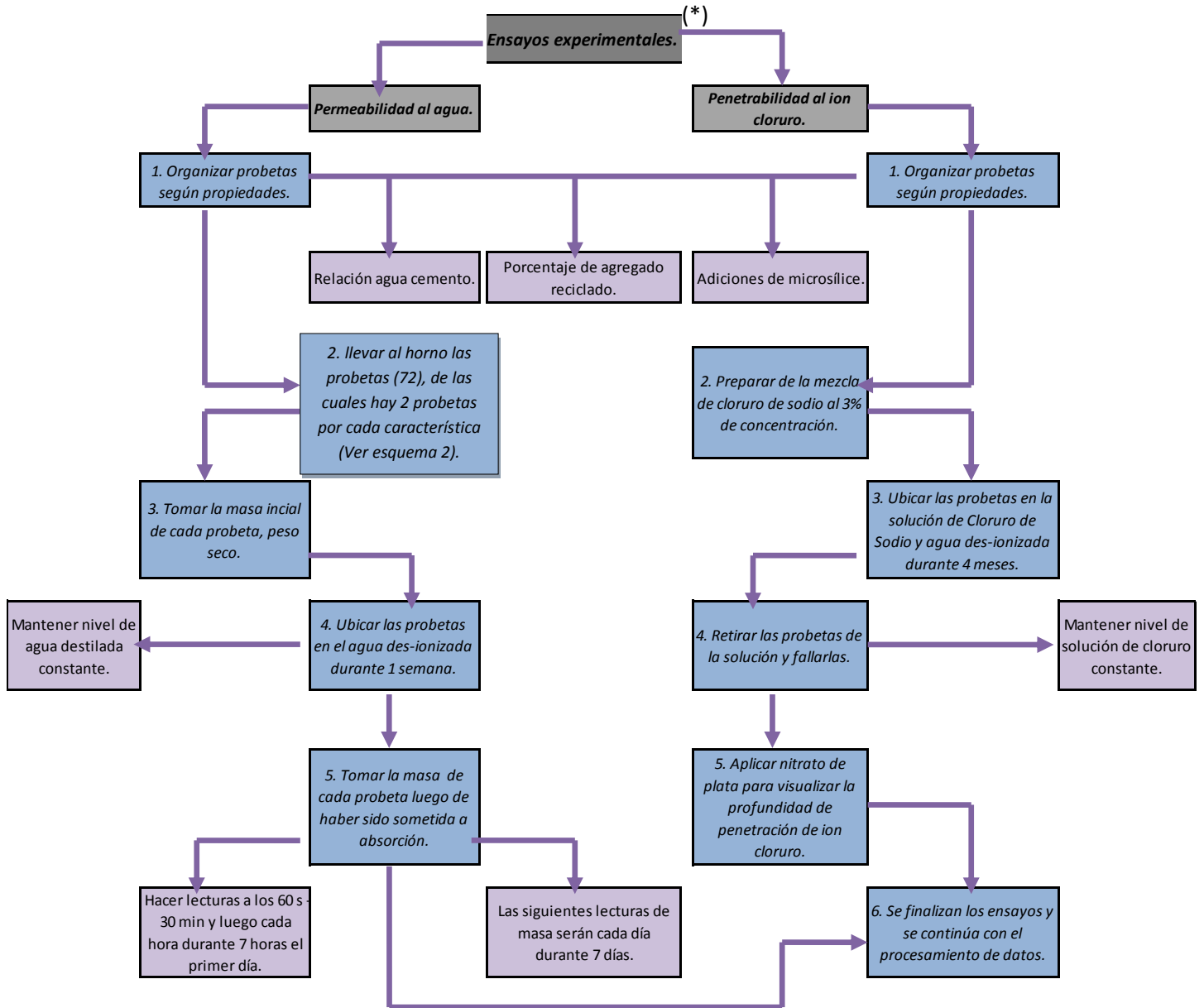
7.4 DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

- **Permeabilidad:** la capacidad que tiene un material de permitirle a un fluido que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable. Esta variable se mide tomando los incrementos de masa que se presenta en cada cilindro, dejados durante una semana en contacto con agua desionizada, esta toma de datos se realiza a los 60 segundos, 30 minutos, a las 1,2,3,4,5,6 y 7 horas, a los 1,2,3,4,5,6 y 7 días.
- **Penetrabilidad:** es el desplazamiento de agentes externos que se presenta en los poros y tubos capilares del concreto. En el caso de esta investigación esta variable se mide sometiendo las probetas al contacto de agua desionizada con un 3% cloruro de sodio (agente externo) durante un periodo de cuatro meses, manteniendo el nivel de la mezcla constante; posteriormente, se realiza la falla de los cilindros añadiéndoles nitrato de plata, el cual deja al descubierto la trayectoria del ion cloruro en el espécimen.

7.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

En éste diseño se considera el desarrollo de los ensayos a realizar a las probetas con distintas características en lo respectivo a porcentaje de agregado reciclado, relación agua cemento y adiciones de microsílíce. En el esquema 3 se presenta un paso a paso del proceso que se llevó a cabo en la investigación.

Esquema 3. Diseño experimental.



(*) Los ensayos aquí planteados serán realizados para probetas con 9 meses de edad aproximadamente, lo que diferencia éstos ensayos de los realizados a concretos con las mismas composiciones pero a edades muy cortas.

7.6 MATERIALES

Los siguientes materiales fueron utilizados por las anteriores investigaciones para el diseño de mezcla de las probetas empleadas en este trabajo:

7.6.1 ARENA DE RÍO

La arena de río utilizada se adquirió de la empresa CONAGRE, extraída de una cantera a las afueras de la ciudad de Bogotá por la vía Villavicencio, en la tabla 2 se presentan las propiedades del agregado fino y en la ilustración 11 se observa dicho agregado.

Tabla 2. Propiedades Agregado Fino (Arena de río)

PROPIEDADES	DATOS
Densidad	2.33 g/cm ³
Porcentaje Humedad	1.38
Porcentaje De Absorción	1.5

Ilustración 11. Agregado Fino



FUENTE: BAUTISTA C, LUCENA J, RODRÍGUEZ D. Op Cit., p.40.

7.6.2 AGREGADO GRUESO (GRAVA)

La grava que se utilizó se extrajo del río Tunjuelo, sin presencia de agregados finos y mostrando uniformidad, a continuación se presenta el agregado grueso y sus propiedades (Ilustración 12 y Tabla 3.).

Tabla 3. Propiedades Agregado Grueso (Grava)

Propiedades	datos
Densidad	2.39 g/cm ³
Porcentaje Humedad	0.64
Porcentaje De Absorción	4.32

Ilustración 12. Agregado Grueso



FUENTE: BAUTISTA C, LUCENA J, RODRÍGUEZ D. Op Cit., p.41.

7.6.3 MICROSÍLICE

Se utilizó Microsílice como aditivo con el fin de proporcionar una mayor resistencia y durabilidad en el concreto ya que este reacciona con el hidróxido de calcio lo cual genera una mayor hidratación del mismo. Dicho aditivo fue adquirido por medio de la casa EUCLID CHEMICAL TOXEMENT con las propiedades que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Propiedades Microsílice

Color	gris claro
Contenido de SiO ₂	77-84%
Densidad	2.7 KG/M ³
Norma Que La Rige	ASTM C-1240

7.6.4 CEMENTO

Para la elaboración de los cilindros se utilizó cemento portland tipo I el cual es de uso general, con una densidad 3.15 kg/m³. En la Tabla 5. Se muestran las especificaciones técnicas del concreto según ARGOS.

Tabla 5. Especificaciones Técnicas ARGOS

Especificaciones Técnicas

PARÁMETROS QUÍMICOS	ESPECIFICACIONES ARGOS	NTC 321 Tipo I	ASTM C-1157 Tipo GU
Óxido de magnesio, MgO, máximo (%)	6.00	7.00	–
Trióxido de azufre, SO ₃ , máximo (%)	3.50	3.50	–
PARÁMETROS FÍSICOS	ESPECIFICACIONES ARGOS	NTC 121 Tipo I	ASTM C-1157 Tipo GU
Fraguado inicial ⁽¹⁾ , mínimo (minutos)	90	45	45
Fraguado final ⁽¹⁾ , máximo (minutos)	320	480	420
Expansión autoclave, máximo (%)	0.80	0.80	0.80
Expansión en agua ⁽²⁾ , máximo (%)	0.02	–	0.02
Resistencia a 3 días ⁽³⁾ , mínimo (Mpa)	9	8.0	13
Resistencia a 7 días ⁽³⁾ , mínimo (Mpa)	16	15.0	20
Resistencia a 28 días ⁽³⁾ , mínimo (Mpa)	26	24.0	28

Fuente: ARGOS. Especificaciones Técnicas [Tabla]. [en línea] <<http://www.argos.co/Media/Colombia/images/Cemento%20gris%20uso%20general.pdf>> [citado el 21 de Febrero de 2014]

8. ANALISIS DE RESULTADOS

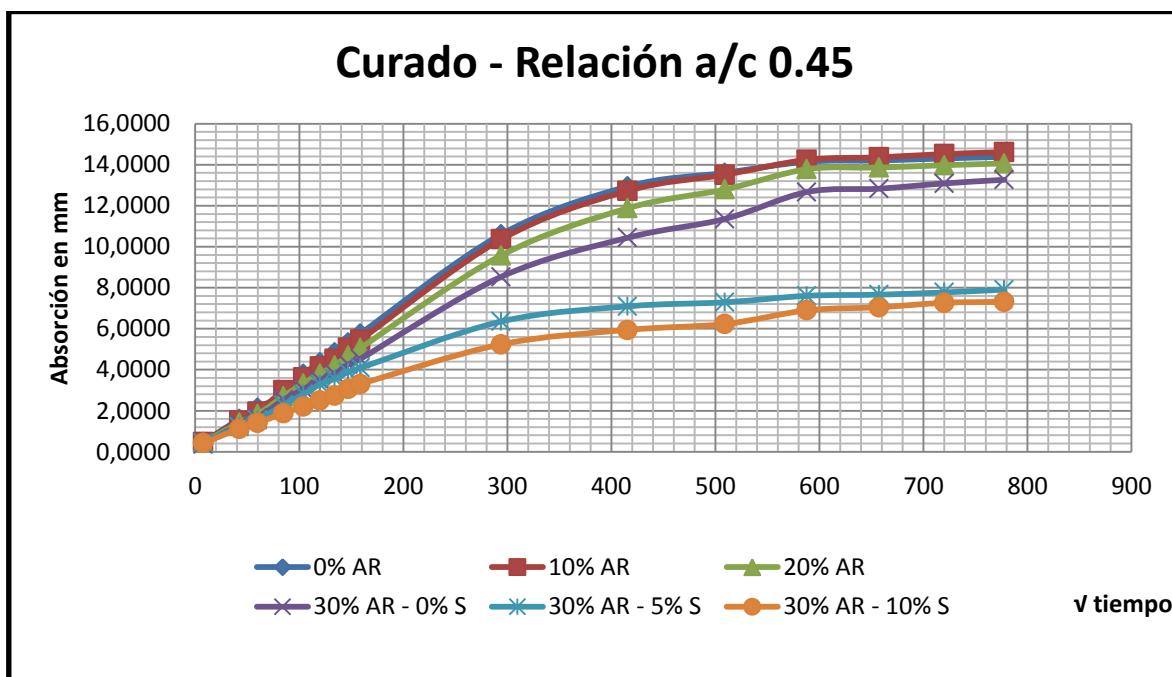
8.1 PERMEABILIDAD AL AGUA

A continuación se presentan los resultados de los ensayos de sortividad realizados para hallar la permeabilidad al agua de las probetas con las características de sustitución de agregado grueso por agregado reciclado y adición de microsílíce en algunos casos. Se presentan de acuerdo a la relación A/C para curado y no curado.

Relación A/C 0.45

En la gráfica 1, se evidencian los resultados obtenidos en cuanto a la permeabilidad al agua para probetas curadas con relación agua-cemento de 0.45. Las probetas que presentan mayor permeabilidad al agua son aquellas que contienen 0% de AR (probeta testigo), 10% de AR, 20% de AR y 30% de AR con 0% de microsílíce, mientras que las probetas que contienen 30% AR con 5% microsílíce y 30% AR con 10% de microsílíce presentan las absorciones más bajas, esto debido a la presencia del microsílíce que hace que los vacíos con aire se disminuyan y por lo tanto, el flujo de agua sea menor que en las probetas con mezclas convencionales o con algunos contenidos de agregado reciclado.

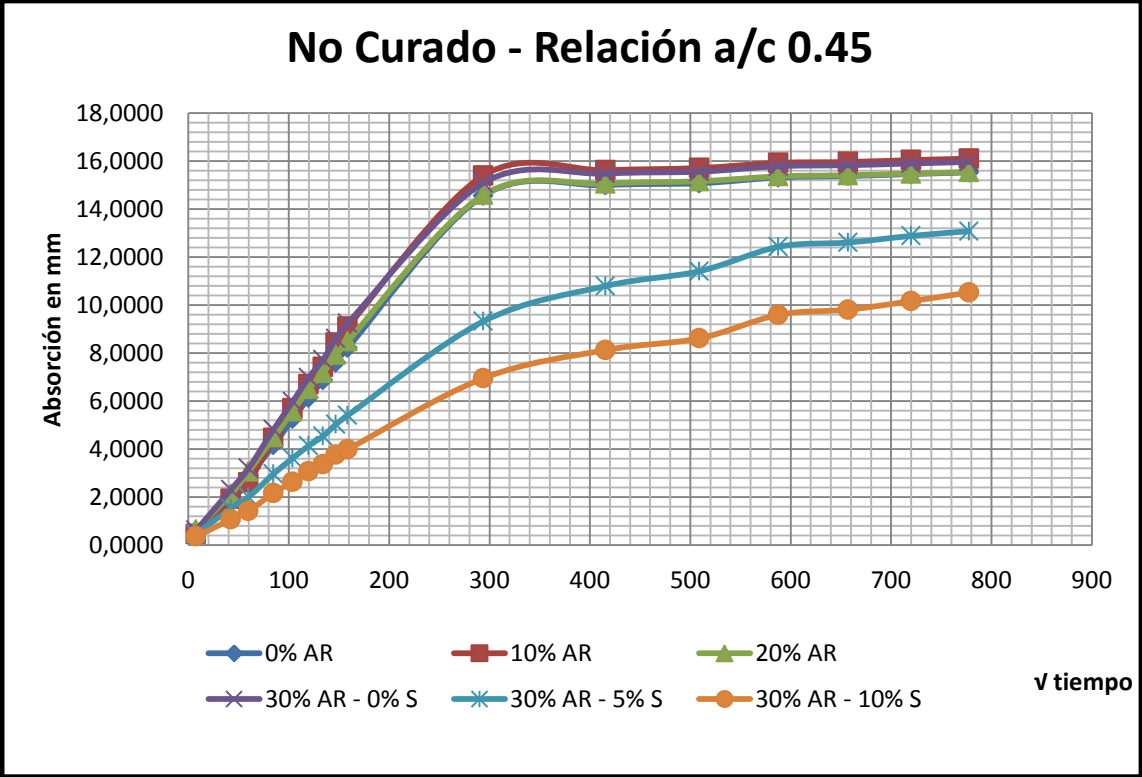
Gráfica 1. Sortividad relación A/C 0.45 Curado.



En términos de porcentaje es posible afirmar que las probetas que poseen 30% de AR con 10% de microsílíce presentan 49,17% menos absorción que la probeta testigo o piloto, así como las probetas que tienen 30% de AR con 5% de microsílíce muestran 45,05 % menos absorción que las probetas testigo, por el contrario las probetas con 10% de AR, 20% de AR y 30% de AR sin adiciones microsílíce se encuentran en un rango de absorción muy similar al de las probetas piloto (0% de AR) ubicándose todas éstas entre 1,57% y 7,78% de diferencia de absorción de agua.

La gráfica 2, permite ver la absorción de agua presentada por las probetas que tienen relación agua–cemento 0.45 y se encuentran en estado no curado. En éstas probetas es posible observar que aquellas con mayor permeabilidad son las probetas con contienen 0% de AR, 10% de AR, 20% de AR y 30% de AR con 0% de microsílíce, por el contrario las probetas que cuentan con 30% de AR con 5% de microsílíce y 30% de AR con 10% de microsílíce presentan bajas permeabilidades en comparación con la probeta testigo (0% de AR), muy probablemente debido a la adición de microsílíce con la que cuentan éstas últimas probetas.

Gráfica 2. Sortividad relación A/C 0.45 No Curado.

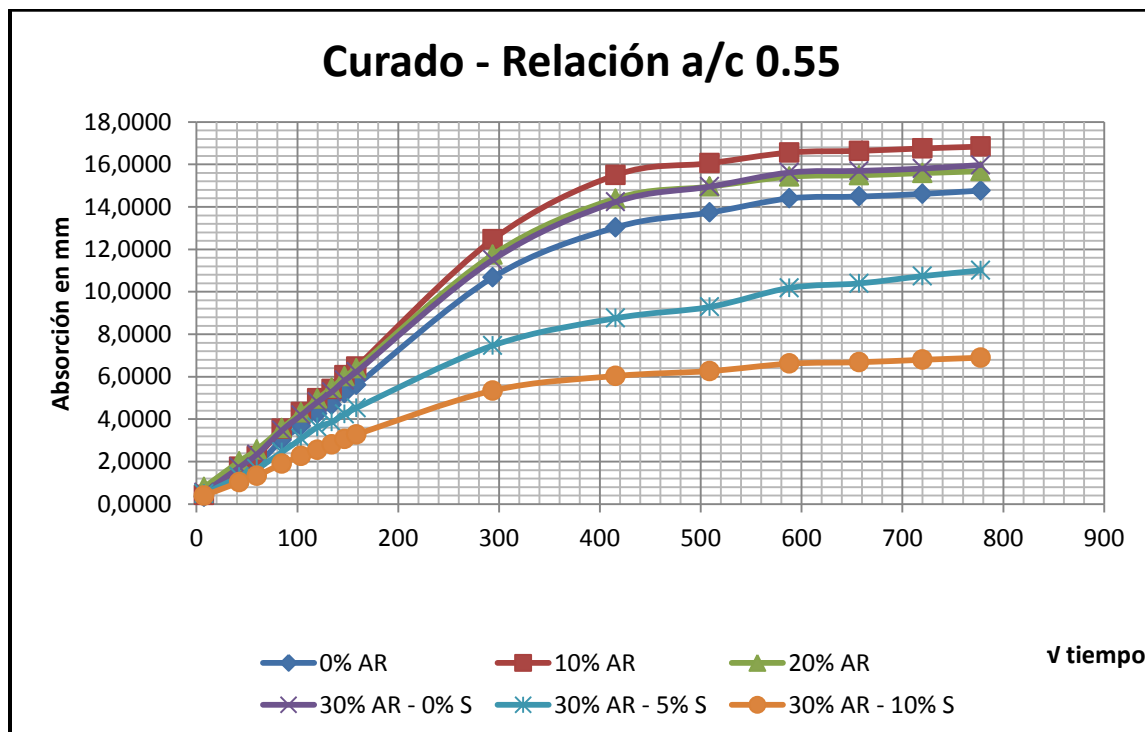


Aquellas probetas que presentaron mayor permeabilidad (10% de AR, 20% de AR y 30% de AR con 0% de microsílíce) tienen entre 0,12% y 3,71% más absorción en comparación con la probeta piloto, mientras que las probetas que presentaron las menores absorciones (30% de AR con 5% de microsílíce y 30% de AR con 10% de microsílíce), estuvieron 15,77% y 32,20% respectivamente por debajo de la absorción de la probeta testigo.

Relación A/C 0.55

La gráfica 3, corresponde a la absorción de probetas que poseen relación agua-cemento 0.55 y se encuentran curadas, en éstas probetas la mayor absorción se dio en aquellas que presentan 10% de AR, seguido por las probetas que contienen 20% de AR y 30% de AR con 0% de microsílíce, aunque las probetas con 0% de AR (probetas testigo) también tienen una alta absorción de agua en comparación con las probetas que tienen 30% de AR con 5% de microsílíce y 30% de AR con 10% de microsílíce, ya que éstas últimas (que contienen adiciones de microsílíce) muestran la menor absorción.

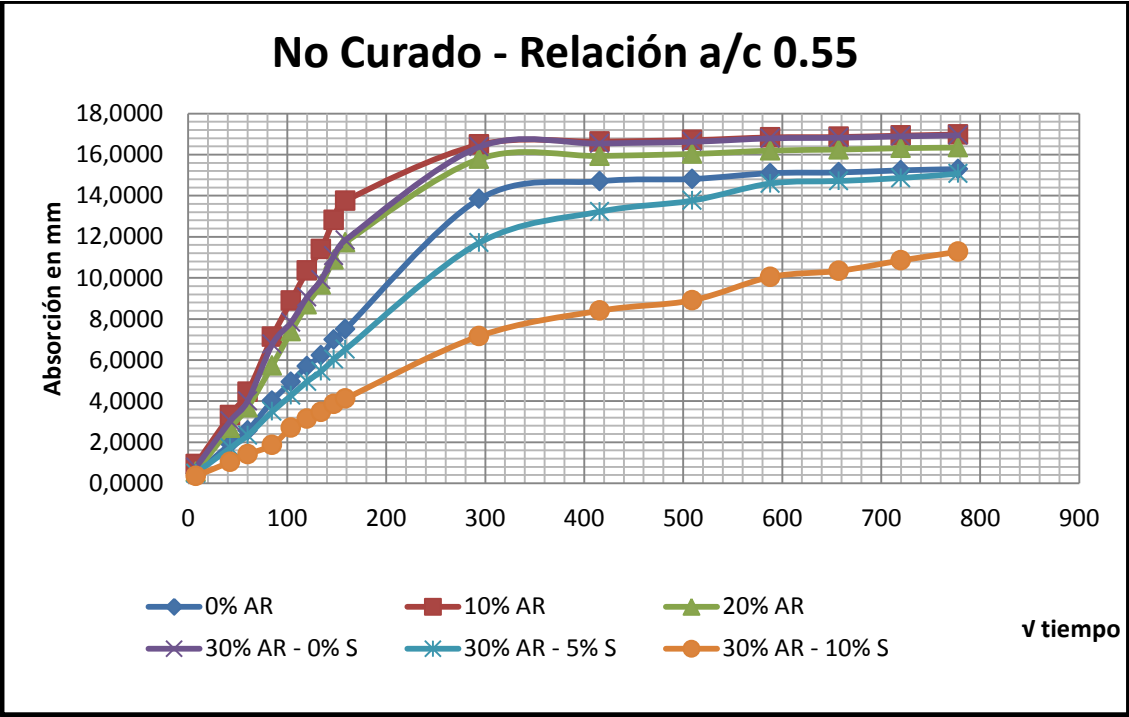
Gráfica 3. Sortividad relación A/C 0.55 Curado.



Al comparar el porcentaje de absorción que presentaron cada una de las probetas de distintas características con la probeta piloto se encontró que las probetas con 10% de AR superaron la absorción en 14,05%, las probetas con 20% de AR tuvieron una absorción 6,16% mayor y las probetas con 30% de AR y 0% de microsílíce también obtuvieron una absorción 8,16% mayor. Mientras que las probetas con adiciones de microsílíce presentaron comportamientos diferentes, las probetas constituidas por 30% de AR con 5% de microsílíce mostraron una disminución en la permeabilidad de 25,45% respecto a la probeta testigo y las probetas de 30% de AR con 10% de microsílíce tuvieron 53,30% menos absorción que la probeta piloto.

Para las probetas que contienen una relación agua-cemento de 0.55 y no fueron curadas, de acuerdo con la gráfica 4, se establece que las muestras de concreto con agregado reciclado en un 30%, con un 5% y 10% de microsílíce, muestran una baja permeabilidad, a diferencia de las probetas con un 10% de AR y 20% de AR que obtuvieron una alta absorción de agua ya que no poseen ningún tipo de aditivo que contrarreste el flujo del agua dentro del concreto, cabe señalar que estas probetas se basan en la probeta piloto.

Gráfica 4. Sortividad relación A/C 0.55 No Curado.

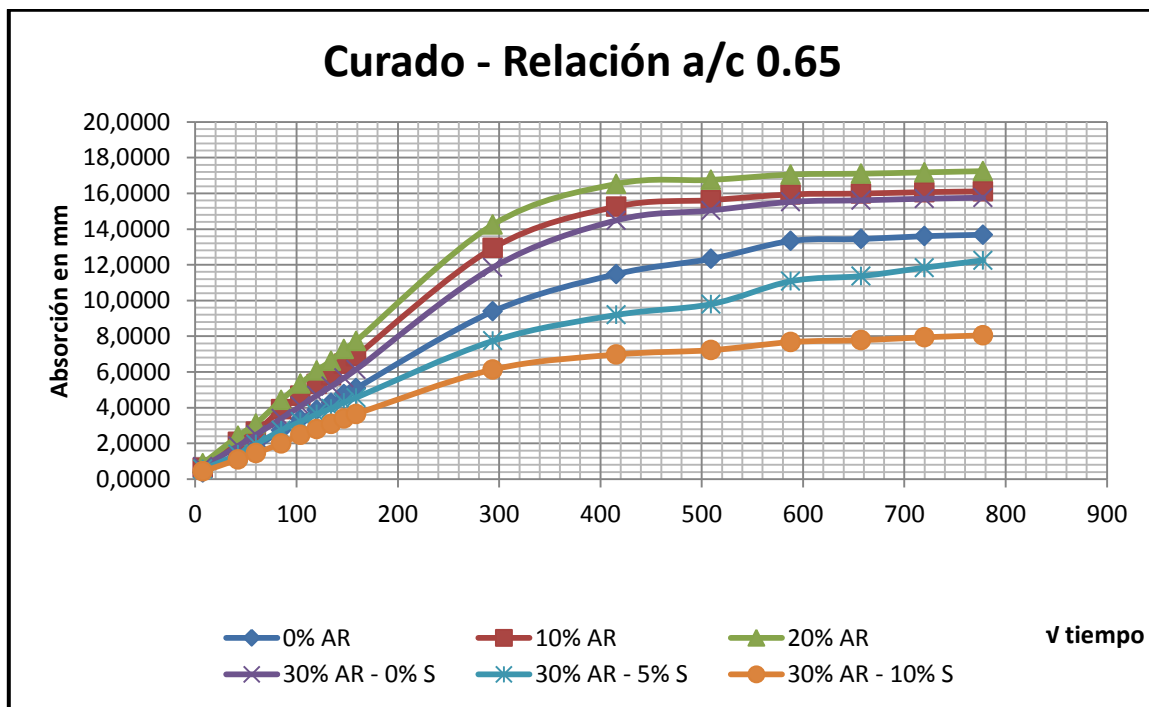


El incremento en permeabilidad que se presentó en la probeta con 10% de AR fue de un 11%, cabe señalar que la probeta de 30% de AR con 0% de microsílíce se aproxima a un mismo comportamiento. La probeta con más baja permeabilidad es la que contiene 30% de AR con 10% de microsílíce, la cual presenta una disminución del 26% con respecto a la probeta guía.

Relación A/C 0.65

En la gráfica 5, se muestra la tendencia de las probetas con respecto a la permeabilidad teniendo en cuenta que son curadas y poseen una relación agua-cemento de 0.65, se determina que las más permeables son las que poseen un porcentaje de AR de 10%, 20% y 30%, basándose en la tendencia de la probeta testigo. Por otro lado, se presenta una baja permeabilidad en las probetas que contienen 30% de AR con 5% de microsílíce y 30% de AR con 10% de microsílíce, dado que éste ayuda a disminuir los espacios con aire dentro del concreto.

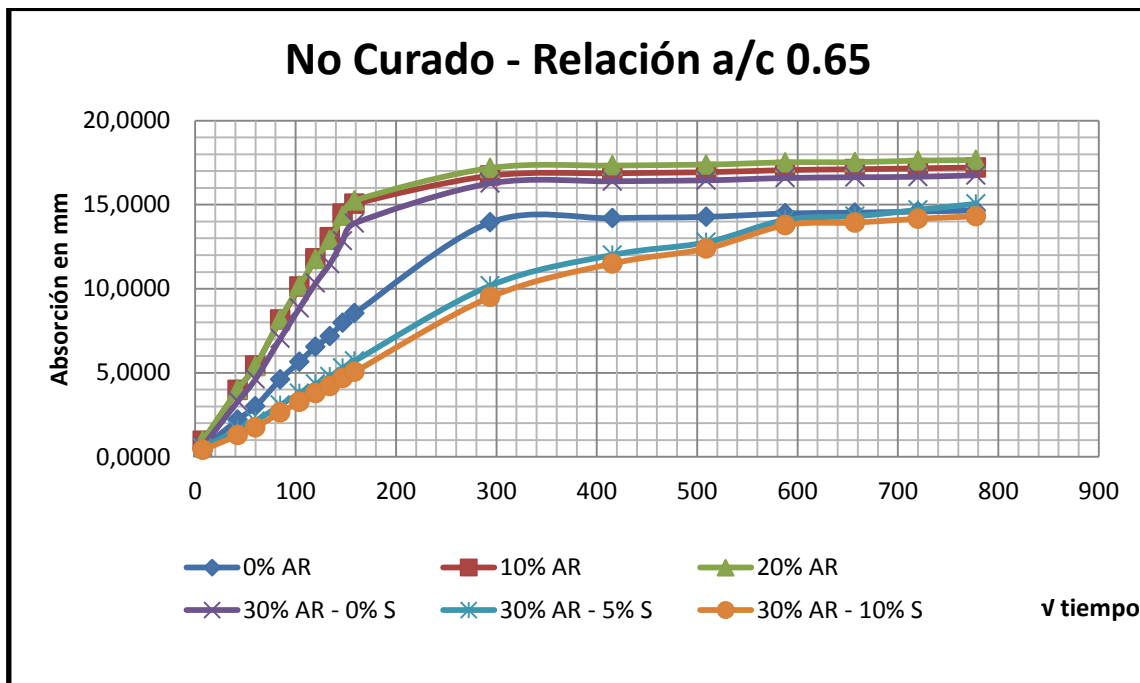
Gráfica 5. Sortividad relación A/C 0.65 Curado.



Como ya se mencionó las probetas que presentaron una mayor permeabilidad fueron las de 10% de AR, 20% de AR y 30% de AR, por lo anterior cabe mencionar que la que presentó el incremento más alto con un 26% con respecto a la probeta guía, fue la de 20% de AR, por otro lado la probeta que mostró un una disminución de un 41% fue la que contiene 30% de AR con 10% de microsílíce.

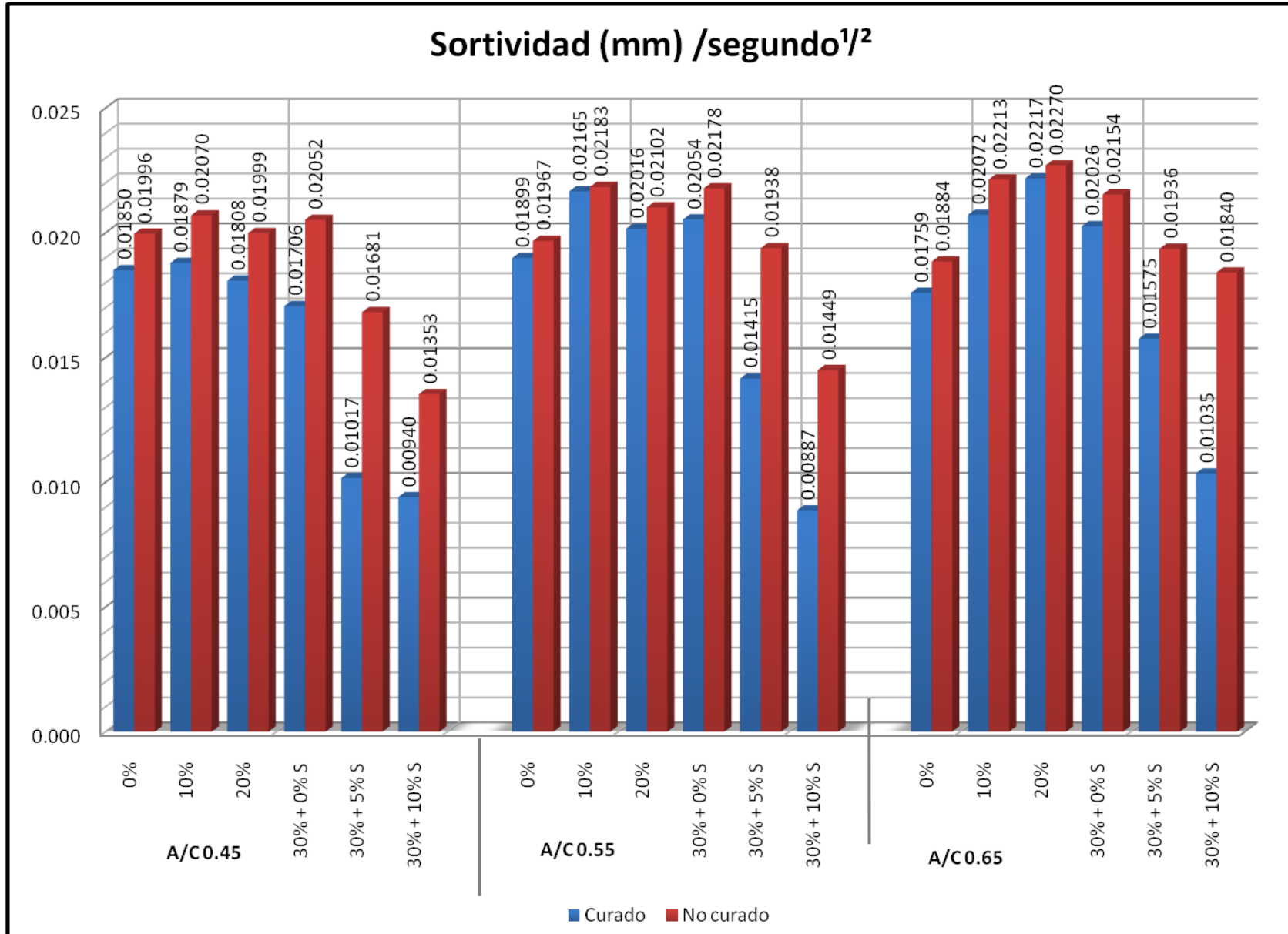
En la gráfica 6, se observa los resultados que se obtuvo referentes a la absorción para los cilindros no curados con una relación de agua-cemento de 0.65, de ésta se analiza que las probetas que mostraron una mayor permeabilidad fueron las que contienen 10% de AR, 20% de AR y 30% de AR sin adición de microsílíce, teniendo como referencia la probeta testigo (0 % de AR). A diferencia de las probetas con un 30% de AR con adición del 5% y 10% de microsílíce debido a las propiedades de la adición que disminuye los vacíos existentes en la probeta permitiendo un menor flujo del agua entre ellos.

Gráfica 6. Sortividad relación A/C 0.65 No Curado.



Basándose en el comportamiento que tuvo la probeta guía, según la gráfica, se puede deducir que los cilindros con 10% de AR, 20% de AR y 30% de AR, aproximadamente tienen un aumento del 17% en permeabilidad, a diferencia de las que contienen un 30% de AR con adición de un 5% y 10% de microsílíce, las cuales no presentan una diferencia significativa en la absorción a comparación de la probeta guía.

Gráfica 7. Resumen de sortividad.



Según la gráfica 7 se establece que para la relación agua/cemento de 0.45 se analiza lo siguiente:

Las probetas guías curadas presentan una sortividad de 0,01850, por otro lado las no curadas tienen una sortividad de 0.01996, el cual arroja una diferencia del 7.3% en la sortividad.

En las probetas con 10% de AR las no curadas muestran una sortividad de 0.02070 y las curadas 0.01879, con una desigualdad en la sortividad del 9.2%. Para las que contienen un 20% de AR no curadas existe una sortividad de 0.01999, y para las curadas es de 0.01808 con una diferenciación del 9.5%. Para las curadas y no curadas con un porcentaje del 30% de AR se presenta una sortividad de 0.01706 y 0.02052 respectivamente con un 16.8% de desigualdad.

Observando las probetas que contienen un 30% de AR con 5% de microsilíce se establece para las curadas y no curadas una sortividad de 0.01017 y 0.01681 con una diferencia del 39.5 % y para las probetas con el mismo porcentaje de AR pero con adición del 10% en las curadas se evidencia una sortividad de 0.0040 en cambio en las no curadas es de 0.01353, a comparación con las demás probetas estas presentan una alta diferencia en la sortividad de un 70%.

Para las probetas con relación agua/cemento 0,55 se tiene que: aquellas con 0% de AR presentan una diferencia de 3.5% de absorción siendo las probetas curadas las que presentan la menor permeabilidad; las probetas curadas con 10% de AR poseen una sortividad de 0.02165, mientras que las probetas no curadas y con ésta misma condición poseen 0.02183 de sortividad, lo que es un 0.82% de diferencia; en las probetas con 20% de AR se presenta una diferencia de 4.1% mientras que las probetas de 30% de AR con 0% de microsilíce presentan una diferencia de 5.7%. También se evidencia que las probetas que contienen adiciones de microsilíce en 5% y 10% tienen una diferencia de 27% y 38.8% respectivamente entre las probetas curadas y no curadas, siendo éstas las que tienen mayor diferencia entre sí de todas las probetas.

En cuanto a las probetas con relación de agua/cemento de 0.65 se establece los siguientes resultados:

La sortividad para las probetas guías no curadas y curadas fue de 0.01884 y 0.01759 respectivamente con una desigualdad de 6.5%. Para las probetas con un 10% de AR se presenta una diferencia de 15% ya que la sortividad de los no curados es 0.02072 y de los curados es 0.01759, con respecto a las que poseen un 20% de AR la sortividad que se presentó para las no curadas fue de 0.02270 y

las curadas con 0.02217 el cual poseen una desigualdad del 2.3%. Para las que contienen 30% de AR la sortividad para las curadas es 0.02026 y para las no curadas es 0.02154, mostrando una diferencia del 6%.

Según la gráfica 7 las probetas con un 30% de AR y adición del 5% de microsílíce, para las no curadas se indica una sortividad de 0.01936, en las curadas es de 0.01575 dando un porcentaje de diferenciación del 18.6%. Relacionando las demás probetas con la que contiene 30% de AR y adición de 10% de microsílíce donde presentan una sortividad de 0.01035 curadas y 0.01840 no curadas, la diferencia es bastante notoria con un porcentaje del 43.7%.

Análisis general

- Con base a las gráficas del ensayo de permeabilidad se puede concluir que al implementar agregado reciclado como sustitución de agregado grueso en la mezcla para el concreto en porcentajes de 10%, 20% y 30%, aumenta el número y tamaño de vacíos dentro del mismo, éste comportamiento facilita el paso de agua dando como resultado una mayor permeabilidad.
- En las probetas con 30% de AR y adición de microsílíce en un 5% y 10% se presenta una disminución en la permeabilidad, dado que la utilización del microsílíce como aditivo en el concreto con agregado reciclado, actúa como elemento impermeabilizante sellando y evitando el flujo de agua dentro de los vacíos existentes.

Cabe mencionar que las probetas que presentaron una permeabilidad menor en todos los casos fueron las que constan de un 30% de AR con 10% de microsílíce; teniendo en cuenta lo anterior, se puede inferir que a mayor porcentaje de microsílíce utilizado como aditivo, mayor será la disminución de la permeabilidad en el concreto reciclado.

- Observando las propiedades de las probetas cabe señalar que otro factor que influye en el aumento de la permeabilidad, es el proceso de curado, puesto que mediante este proceso se busca saturar el concreto para que sus espacios, originalmente llenos de agua sean reemplazados por los productos de hidratación del cemento; por lo tanto, aquellas que no se sometieron a curado tienen una mayor permeabilidad ya que poseen más poros, produciendo además una disminución drástica en su resistencia.
- Conforme a la relación agua/cemento se sabe que a medida que disminuye, la resistencia aumenta y la permeabilidad es menor, a partir de ello se

concluye que las probetas que presentaron una mayor permeabilidad fueron las que poseen una relación de agua/cemento de 0,65.

- Respecto a la gráfica resumen se puede concluir que las probetas no curadas en todos los casos y sin importar la relación agua/cemento presentaron mayores permeabilidades que las probetas curadas, además es muy notable la diferencia en la sortividad de las probetas curadas y no curadas de 30% de AR con 5% de microsílíce y de 30% de AR con 10% de microsílíce, siendo las probetas no curadas las que presentan mayor permeabilidad.

8.2 PENETRABILIDAD AL ION CLORURO

En la tabla 6, presentada a continuación se exponen los resultados de los ensayos de colorimetría correspondientes a penetrabilidad al ion cloruro de las probetas con las características de sustitución de agregado grueso por agregado reciclado y adición de microsílíce, en algunos casos. Se presentan de acuerdo a los parámetros de curado y no curado.

Tabla 6. Penetrabilidad de ion cloruro.

<i>Penetrabilidad de ion cloruro (mm)</i>				<i>Penetrabilidad de ion cloruro (mm)</i>			
AR	Curado			AR	No curado		
	0.45	0.55	0.65		0.45	0.55	0.65
0%	45.18	80.61	70.54	0%	52.71	100.00	74.72
10%	35.54	97.02	66.67	10%	59.74	100.00	91.34
20%	61.94	87.73	100.00	20%	44.77	63.60	100.00
30% - 0%S	40.30	59.29	100.00	30% - 0%S	51.60	61.38	100.00
30% - 5%S	22.53	70.90	77.82	30% - 5%S	100.00	91.57	68.68
30% - 10%S	26.13	54.55	86.97	30% - 10%S	25.61	53.45	95.66

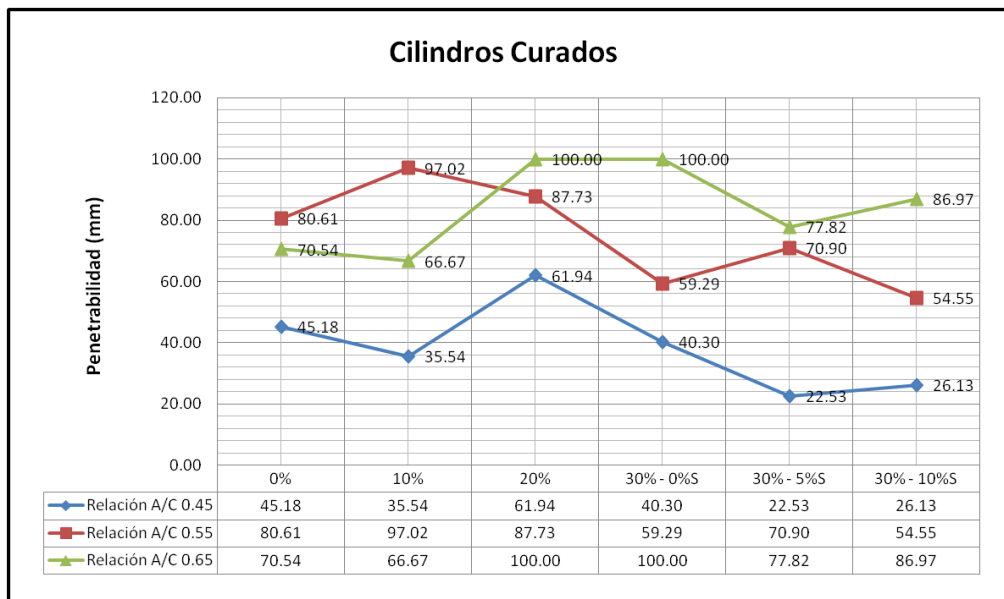
Cilindros Curados

La gráfica 8 contiene los resultados de penetrabilidad al ion cloruro para los cilindros curados con sustitución de agregado grueso por agregado reciclado en diferentes porcentajes y distintas relaciones agua/cemento. Es posible afirmar según ésta gráfica, que los cilindros que presentaron mayor penetrabilidad corresponden a aquellos con relación a/c 0.55 y 0.65 mientras que aquellos cilindros con relación a/c 0.45 presentaron más bajo nivel de penetrabilidad en todos los casos de sustitución de agregado grueso.

Con respecto a las probetas testigo, para el caso de las probetas curadas en la relación a/c 0.55 se evidencia una penetrabilidad 43.95% mayor que para la relación a/c 0.45, de la misma manera para una relación a/c 0.65 se observa un aumento de penetrabilidad con respecto a las probetas con relación a/c 0.45 que es del 35,95 %.

Para las demás condiciones de cantidad de AR los resultados obtenidos son variables respecto a la penetrabilidad; sin embargo, en la mayoría de los casos las relaciones a/c más altas contienen mayores valores de penetrabilidad de ion cloruro, el caso en que no se presenta ésta tendencia es para 20% de AR como sustitución.

Gráfica 8. Penetrabilidad de Cilindros Curados



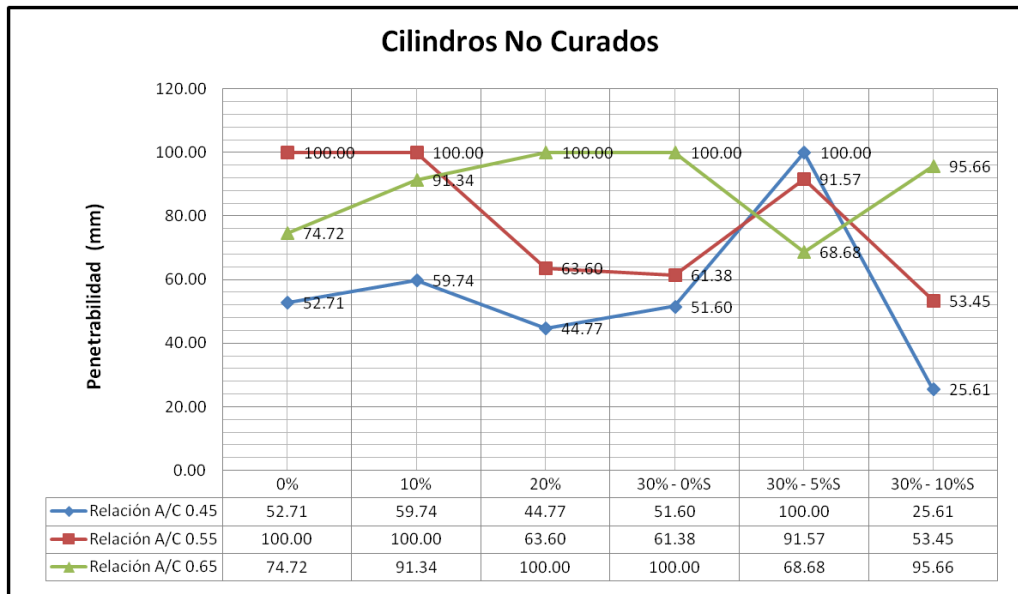
Cilindros no curados

La gráfica 9 evidencia los resultados de penetrabilidad al ion cloruro para cilindros no curados con sustitución de agregado grueso por agregado reciclado en diferentes porcentajes y distintas relaciones agua/cemento. Teniendo en cuenta estos resultados se puede determinar, que los cilindros que presentaron mayor penetrabilidad corresponden a aquellos con relación a/c 0.55 y 0.65 mientras que aquellos cilindros con relación a/c 0.45 presentaron más bajo nivel de penetrabilidad en la mayoría de los casos de sustitución de agregado grueso.

Con respecto a las probetas testigo no curadas de relaciones a/c de 0.55 presentan una absorción del 100%, seguidas de la relación a/c de 0.65 el cual presentan una absorción de 29.45% mayor a las de 0.45.

Al igual que los resultados de los cilindros curados para las demás condiciones de cantidad de AR no se presentan tendencias claras respecto a la penetrabilidad, teniendo en cuenta que en la mayoría de los casos las relaciones a/c de 0.55 y 0.65 contienen mayores valores de penetrabilidad de ion cloruro, a excepción del caso de los cilindros con relación a/c de 0.45 y 30% de AR y adición del 5% de microsilíce el cual contiene un 100% en absorción.

Gráfica 9. Penetrabilidad de Cilindros No Curados



Análisis general

- En los cilindros curados sin sustitución de AR se evidencia que en las probetas con relación a/c de 0.55 presentaron mayor absorción, al igual que en los cilindros con 10% de AR.

Para los cilindros con 30% de AR con adición de microsilíce del 5 y 10%, los que presentaron mayor absorción fueron los de relación a/c de 0.65, a diferencia de los porcentajes de AR anteriormente mencionados, las probetas con 20% y 30% de AR presentan una penetrabilidad total del ion cloruro.

- En los cilindros no curados con 0% y 10 % de AR, para los que poseen una relación de a/c de 0.55 presentan una penetrabilidad total del ion cloruro, al igual que los cilindros con 20% y 30% de AR pero en este caso son para los de relación a/c de 0.65.

En cuanto a las probetas con 30% de AR con adición del 5% de microsílíce también muestran una penetración total, a diferencia de las anteriores esto se presenta en las que contienen una relación de a/c de 0.45.

- Se puede concluir en forma general que en las probetas curadas con relación a/c de 0.45, con un 30% de AR y adición del 5% de microsílíce presentan una penetrabilidad del ion cloruro bastante baja a diferencia de las que contienen una relación de a/c de 0.55 y 0.65, esto se debe a la disminución de los vacíos existentes en la probeta gracias a las propiedades de la adición de microsílíce.

9. CONCLUSIONES

- De acuerdo al ensayo de sortividad para medir la propiedad de permeabilidad en el concreto con AR se establece que:
 - ❖ La relación a/c es un parámetro que influye altamente en la permeabilidad al agua, a menores relaciones a/c menores permeabilidades.
 - ❖ Las probetas no curadas presentan mayor permeabilidad al agua que las probetas curadas, debido a que la hidratación proveniente del curado en las probetas permite que en el proceso de secado existan menos fisuras en la estructura interna del concreto.
 - ❖ La mejor condición para disminuir la permeabilidad al agua se da en probetas de 30% de AR con adición de 5% y 10% de microsilíce, las demás sustituciones de AR no presentan disminuciones significativas respecto de la probeta piloto, esto se debe a que la adición de microsilíce ayuda a ocupar los vacíos existentes en la mezcla y por lo tanto evita mayores migraciones de agua dentro del concreto.
- Teniendo en cuenta el ensayo de colorimetría para determinar la penetrabilidad al ion cloruro se obtiene:
 - ❖ No es posible establecer tendencias causadas por las cantidades de AR utilizado como sustitución debido a que independientemente de las propiedades de las probetas, el comportamiento del ion presenta una alta agresividad arrojando resultados variables.
 - ❖ Las probetas en condiciones curadas tienen más baja penetrabilidad al ion cloruro que aquellas probetas que no pasaron por procesos de curado.
 - ❖ Respecto a la relación a/c, la relación de 0.65 presenta datos atípicos si se tiene en cuenta que lo esperado es que a mayor relación a/c exista mayor penetrabilidad al ion cloruro.

10.RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar los ensayos de penetrabilidad al ion cloruro y permeabilidad al agua en concretos reciclados con relaciones agua/cemento distintas a las manejadas en ésta investigación.
- Es importante realizar futuras investigaciones de durabilidad de concretos reciclados utilizando distintos porcentajes de agregado reciclado como sustitución de agregado grueso para evidenciar más profundamente el comportamiento de los concretos reciclados.

11. BIBLIOGRAFÍA

- BAUTISTA C, LUCENA J, RODRÍGUEZ D. Influencia del ion cloruro en la durabilidad del concreto reciclado con distintas relaciones agua cemento y diferentes porcentajes de agregado reciclado. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil. Bogotá D.C., Universidad la Gran Colombia, 2013. 77 p.
- Comité ACI 201. Guía para la Durabilidad del Hormigón. [en línea] <http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI_201_2R_01.pdf> [citado el 20 de noviembre de 2013]
- EL TIEMPO. Escombros de obra se deben recoger: Secretaría de Ambiente, 2013 [en línea] <http://www.eltiempo.com/colombia/bogota/ARTICULO-WEB-NEW_NOTA_INTERIOR-13034166.html> [citado el 20 de noviembre de 2013]
- GIL J, GONZALES D, RODRÍGUEZ J. Influencia de la permeabilidad al agua en la durabilidad del concreto reciclado con diferentes relaciones agua/cemento y microsílíce como adicción. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil. Bogotá D.C., Universidad la Gran Colombia, 2012. 116 p.
- GOMEZ CORTES, José. Durabilidad del concreto: Permeabilidad del concreto. Bogotá: Universidad nacional, 2002. 2-9 p.
- HERMIDA G. Concreto de baja permeabilidad, algo más que disminuir a/c. En: Noticreto 118 (Mayo/Junio 2013); 10P.
- JOVANÉ CARRILLO, Manuel. Comparación de permeabilidad en el concreto mediante ensayos de sortividad y permeabilidad superficial inicial. Bogotá, 2009, p 23-25 .tesis de investigación (magister en estructuras). Universidad nacional. Facultad de ingeniería.

- KOSMATKA. Steven, KERKHOFF, Beatrix y PANARES. William. Design and control of concrete mixtures: Fundamentals of concrete. (Edition 4). Washington: Printheory, 2008.
- LÓPEZ YÉPEZ, Lucio. Influencia del porcentaje de adición de micro sílice y del curado en la penetración del ion cloruro en concreto de alto desempeño. Trabajo de grado (magister en estructuras). Bogotá D.C., Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, 2012. 61p.
- Mónica Eljaiek Urzola, Edgar Quiñones Bolaños, Javier Mouthon Bello. Aprovechamiento de los escombros generados en actividades de demolición de placas de pavimento en Cartagena – Colombia. Colombia, 2011, Universidad de Cartagena, p 6.
- NG K, TAM C, TAM V. Deformation and Sorptivity of Recycled Aggregate Concrete Produced by Two Stage Mixing Approach. En: Surveying and Built Environment Vol. 17(1), 7-14 June 2006. 8P.
- ULLOA MAYORGA, Viviana. Durabilidad de hormigones armadas, con árido reciclado: una evolución de la corrosión en un ambiente marino. Valencia, 2012, 10-21.trabajo de grado (Doctorado en ingeniería de la construcción y gestión ambiental). Universidad politécnica de valencia. Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. Departamento de ingeniería de la construcción y de proyectos de ingeniería civil.