

INFLUENCIA DEL AGREGADO NEUMÁTICO FINO SOBRE LA RESISTENCIA  
A LA COMPRESIÓN Y A LA PERMEABILIDAD AL AGUA EN EL CONCRETO  
CON UNA RELACIÓN A/C DE 0.55 Y 0.65.

DAVID ANDRÉS BELTRÁN CABEZAS  
JORGE ENRIQUE LOZANO VANEGAS



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ  
2014

INFLUENCIA DEL AGREGADO NEUMÁTICO FINO SOBRE LA RESISTENCIA  
A LA COMPRESIÓN Y A LA PERMEABILIDAD AL AGUA EN EL CONCRETO  
CON UNA RELACIÓN A/C DE 0.55 Y 0.65

DAVID ANDRÉS BELTRÁN CABEZAS  
JORGE ENRIQUE LOZANO VANEGAS

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniero Civil

Asesor Disciplinar  
I. C. Lucio Guillermo López

Asesor Metodológico  
Lic. Roy Morales Pérez.

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ  
2014

## NOTA DE ACEPTACIÓN

Observaciones

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma Director Trabajo de Grado

---

Firma del presidente jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá, Junio 3 de 2014

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Universidad La Gran Colombia por su colaboración en cuanto a conocimientos brindados durante el transcurso de nuestra carrera. De manera especial gracias a mis padres y mis familiares quienes nos aportaron apoyo y confianza para culminar esta nueva etapa de nuestras vidas. Finalmente agradecemos a personas que aportaron en el buen desarrollo académico y de la presente investigación. Entre las cuales tenemos: Martin laboratorista, ingeniero Lucio López, licenciado Roy Morales, directivas y docentes que aportaron en este camino.

**CARTA DE REMISIÓN Y APROBACIÓN DEL ARTÍCULO, TRABAJO DE GRADO, TESINA Y/O MONOGRAFÍA**

**(Decano de Facultad)**

**Bogotá D.C.** \_\_\_\_\_

Señores:

**Departamento de Biblioteca**

**Universidad La Gran Colombia**

Ciudad

Estimados señores:

Me dirijo a ustedes en mi calidad de Decano (a), con el fin de poner en su conocimiento la aprobación y entrega del trabajo de grado de los estudiantes JORGE ENRIQUE LOZANO VANEGAS Y DAVID ANDRÉS BELTRÁN CABEZAS, titulado "INFLUENCIA DEL AGREGADO NEUMÁTICO FINO SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y A LA PERMEABILIDAD AL AGUA EN EL CONCRETO CON UNA RELACIÓN A/C DE 0.55 Y 0.65". Para optar el título como Ingeniero Civil. Por lo anterior, informo que este trabajo reúne los requisitos exigidos en el Acuerdo 004 de Mayo de 2013.

Sin otro particular

\_\_\_\_\_

Firma

## TABLA DE CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
2. HIPÓTESIS.....	15
3. OBJETIVOS.....	16
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
4. ANTECEDENTES.....	17
5. JUSTIFICACIÓN.....	22
6. MARCO DE REFERENCIA .....	24
6.1. MARCO TEÓRICO.....	24
6.1.1. Concreto.....	24
6.1.2. Resistencia a la compresión.....	30
6.1.3. Permeabilidad del concreto .....	31
6.1.4. Dosificación de mezcla de concreto .....	31
6.1.5. Cemento.....	33
6.1.6. Agua .....	34
6.1.7. Agregado fino (arena).....	35
6.1.8. Agregado grueso (grava).....	35
6.1.9. Goma de neumático .....	36
6.2. MARCO LEGAL .....	38
7. DISEÑO METODOLÓGICO .....	41
7.1. ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	41
7.2. OPERACIONALIZACION DE OBJETIVOS.....	43
7.2.1. Fase 1: diseño y elaboración de especímenes de ensayo .....	43
7.2.2. Fase 2: resistencia a la compresión y permeabilidad al agua de la mezcla de concreto con distintos porcentajes de inclusión de caucho. ....	52
7.2.3. Fase 3: resultados y aplicación de la mezcla de concreto con caucho. .	53
8. CONCLUSIONES .....	97
9. RECOMENDACIONES.....	99

11. BIBLIOGRAFÍA .....	100
------------------------	-----

#### LISTA DE TABLAS

Tabla No 1. Bloques de ensayo con incorporación de caucho.....	18
Tabla No. 2 Cuadro comparativo entre caucho sintético y caucho natural.....	36
Tabla No 3. Materiales de la mezcla de concreto.....	434
Tabla No. 4. Resistencia a la compresión y relación A/C.....	45
Tabla No. 5. Determinación de cantidad de cemento.....	45
Tabla No. 6. Granulometría agregado grueso.....	46
Tabla No. 7. Granulometría agregado fino.....	46
Tabla No 8. Datos de agregados para mezcla .....	47
Tabla No 9. Dosificación de mezcla para 1m <sup>3</sup> de concreto de relación A/C 0,55. .....	47
Tabla No 10. Dosificación de mezcla para las diferentes sustituciones de agregado fino por neumático. A/C 0,55.....	48
Tabla No. 11. Dosificación de mezcla para las diferentes sustituciones de agregado fino por neumático. A/C 0,65.....	49
Tabla No. 12. Esquema organizacional.....	50
Tabla No. 13. Densidades de concreto con relación A/C 0,55 .....	69
Tabla No. 14. Densidades de concreto con relación A/C 0,65 .....	76

#### LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía No. 1. Concreto en estado fresco.....	24
Fotografía No. 2. Concreto en estado fraguado.....	25
Fotografía No. 3. Concreto en estado endurecido.....	25
Fotografía No. 4. Curado de concreto en inmersión.....	28
Fotografía No. 5. Resistencia a la compresión.....	30
Fotografía No. 6. Dosificación de mezcla con reemplazo de arena por caucho33	
Fotografía No. 7. Agregado fino neumático.....	38
Fotografía No. 8 Determinación de asentamiento.....	51
Fotografía No. 9 Ensayo de resistencia a la compresión.....	52

## LISTA DE GRAFICAS

Grafica No 1. Resistencia a la compresión, con sustitución de agregado fino por neumático de 0%. A/C 0,55.....	55
Grafica No. 2. Resistencia a la compresión, con sustitución de agregado fino por neumático de 10%. A/C 0,55.....	56
Grafica No. 3 Resistencia a la compresión, con sustitución de agregado fino por neumático de 20%. A/C 0,55.....	57
Grafica No. 4. Resistencia a la compresión, con sustitución de agregado fino por neumático de 30% y 5% de microsilice. A/C 0,55 .....	58
Grafica No. 5. Resistencia a la compresión, con sustitución de agregado fino por neumático de 40% y 5% de microsilice. A/C 0,55 .....	59
Grafica No. 6. Resistencia a la compresión, con sustitución de agregado fino por neumático variable. A/C 0,55. ....	60
Grafica No. 7. Resistencia a la compresión con una relación a/c 0,65 y un % de agregado neumático del 0%.....	62
Grafica No. 8. Resistencia a la compresión con una relación A/C 0,65 y un % de agregado neumático del 10%.....	63
Grafica No. 9. Resistencia a la compresión con una relación A/C 0,65 y un % de agregado neumático del 20%.....	64
Grafica No. 10. Resistencia a la compresión con una relación A/C 0,65 y un % de agregado neumático del 30% mas 5 % de microsilice .....	64
Grafica No. 11. Resistencia a la compresión con una relación A/C 0,65 y un % de agregado neumático del 40% mas 5 % de microsilice .....	65
Grafica No. 12. Resistencia a la compresión con una relación A/C 0,65 .....	66
Grafica no 13. Densidad de concreto con relación A/C 0,55 y agregado neumático de 0%.....	70
Grafica No. 14. Densidad de concreto con relación A/C 0,55 y agregado neumático de 10%.....	71
Grafica No. 15. Densidad de concreto con relación A/C 0,55 y agregado neumático de 20%.....	71
Grafica No.16. Densidad de concreto con relación A/C 0,55 y agregado neumático de 30% más 5% de microsilice. ....	72
Grafica No.17. Densidad de concreto con relación A/C 0,55 y agregado neumático de 40% más 5% de microsilice. ....	73
Grafica No. 18. Densidad de concreto con relación A/C 0,55 y agregado neumático variable. ....	74



Grafica No.19. Ddensidad de concreto con relación A/C 0,65 y agregado neumático del 0%.....	77
Grafica No.20. Ddensidad de concreto con relación A/C 0,65 y agregado neumático del 10%.....	77
Grafica No.21. Ddensidad de concreto con relación A/C 0,65 y agregado neumático del 20%.....	78
Grafica No.22. Ddensidad de concreto con relación A/C 0,65 y agregado neumático del 30% más 5% de microsilice .....	79
Grafica No.23. Ddensidad de concreto con relación A/C 0,65 y agregado neumático del 40% más 5% de microsilice .....	79
Grafica No.24. Densidad de concreto con relación A/C 0,65 .....	81
Grafica No.25. Sortividad para concreto A/C 0,55 y sustitución de neumático de 0% .....	83
Grafica No. 26. Sortividad para concreto A/C 0,55 y sustitución de neumático de 10%. .....	84
Grafica No. 27. Sortividad para concreto A/C 0,55 y sustitución de neumático de 20%. .....	85
Grafica No 28. Sortividad para concreto A/C 0,55 y sustitución de neumático de 30%, más 5% de microsilice.....	86
Grafica 29. Sortividad para concreto A/C 0,55 y sustitución de neumático de 40%, más 5% de microsilice.....	87
Grafica No. 30. Promedio de absorciones para concreto A/C 0,55 con diferentes sustituciones de neumático, en condición curado y no curado. ....	88
No.31. Sortividad para concreto A/C 0,65 y sustitución de neumático de 0% ..	90
Grafica No. 32. Sortividad para concreto A/C 0,65 y sustitución de neumático de 10%. .....	91
Grafica No. 33. Sortividad para concreto A/C 0,65 y sustitución de neumático de 20%. .....	91
Grafica No 34. Sortividad para concreto A/C 0,65 y sustitución de neumático de 30%, más 5% de microsilice.....	92
Grafica 35. Sortividad para concreto A/C 0,65 y sustitución de neumático de 40%, más 5% de microsilice.....	93
Grafica No. 36. Promedio de absorciones para concreto A/C 0,65 con diferentes sustituciones de neumático, en condición curado y no curado. ....	94

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Resistencia a la compresión a los 28 días con una relación A/C 0.55 .....	103
Anexo 2. Resistencia a la compresión a los 28 días con una relación A/C 0.65 .....	104
Anexo 3. Densidad de los cilindros a los 28 días con una relación A/C 0.55 .	105
Fuente: Autores .....	105
Anexo 4. Densidad de los cilindros a los 28 días con una relación A/C 0.65 .	106
Anexo 5. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 0%. A/C 0,55 .....	107
Anexo 6. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 0%. A/C 0,55 .....	108
Anexo 7. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 10%. A/C 0,55 .....	109
Anexo 8. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 10%. A/C 0,55 .....	110
Anexo 9. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 20%. A/C 0,55 .....	111
Anexo 10. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 20%. A/C 0,55 .....	112
Anexo 11. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 30%. A/C 0,55 + 5% de Microsílice .....	113
Anexo 12. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 30%. A/C 0,55 + 5% de Microsílice .....	114
Anexo 13. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 40%. A/C 0,55 + 5% de Microsílice .....	115
Anexo 14. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 40%. A/C 0,55 + 5% de Microsílice .....	116
Anexo 15. Permeabilidad al agua en mezcla de concreto con relación A/C 0,55. ....	117
Anexo. 16. Permeabilidad al agua en mezcla de concreto con relación A/C 0,55 y sustitución de agregado fino por neumático de 10% y 20%. ....	118
Anexo 17. Permeabilidad al agua en mezcla de concreto con relación A/C 0,55 y sustitución de agregado fino por neumático de 30% y 40%, adición de 5% de microsilice. ....	119

Anexo 18. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 0%. A/C 0,65 .....	120
Anexo 19. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 0%. A/C 0,65 .....	121
Anexo 20. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 10%. A/C 0,65 .....	122
Anexo 21. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 10%. A/C 0,65 .....	123
Anexo 22. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 20%. A/C 0,65 .....	124
Anexo 23. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 20%. A/C 0,65 .....	125
Anexo 24. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 30%. A/C 0,65 + 5% de Microsílice .....	126
Anexo 25. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 30%. A/C 0,65 + 5% de Microsílice .....	127
Anexo 26. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 40%. A/C 0,65 + 5% de Microsílice .....	128
Anexo 27. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 40%. A/C 0,65 + 5% de Microsílice .....	129
Anexo 28. Permeabilidad al agua en mezcla de concreto con relación A/C 0,65. ....	130
Anexo 29. Permeabilidad al agua en mezcla de concreto con relación A/C 0,65 y sustitución de agregado fino por neumático de 10% y 20%. ....	131
Anexo 30. Permeabilidad al agua en mezcla de concreto con relación A/C 0,65 y sustitución de agregado fino por neumático de 30% y 40%, adición de 5% de Microsílice. ....	132

# **UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

## **GENERALIDADES**

### **TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN**

Influencia del agregado neumático fino sobre la resistencia a la compresión y a la permeabilidad al agua en el concreto con una relación a/c de 0.55 y 0.65.

### **AUTORES**

Jorge Enrique Lozano Vanegas.  
David Andrés Beltrán Cabezas.

### **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Estructuras con tecnología apropiada para el mejoramiento de la calidad de vida.

### **ASESORES DEL PROYECTO**

I.C. Lucio Guillermo López Yépez, Asesor Disciplinar.

LIC. Roy W. Morales Pérez, Asesor Metodológico.

### **LUGAR DE ELABORACIÓN**

Departamento: Cundinamarca.  
Ciudad/año: Bogotá D.C. Mayo de 2014.  
Entidad: Universidad La Gran Colombia.

### **SUBLINEA DE INVESTIGACIÓN**

Estructuras – Diseño y tecnología del concreto.

### **SEMILLERO:**

Universidad La Gran Colombia Estructuras.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante los últimos tiempos la humanidad se ha visto afectada por los cambios climáticos, la contaminación y el crecimiento apresurado de la población, de tal manera se hace necesario mitigar en alguna medida este tipo de problemas, para lo cual es menester aplicar mecanismos que permitan reutilizar los materiales para evitar la explotación, ya que este es uno de los factores que generan el desequilibrio ambiental, afectando el hábitat de los ecosistemas. De otra parte es de señalar la importancia de reciclar en estos tiempos ya que el uso excesivo de los materiales que nos brinda la naturaleza y los creados por el hombre, durante su degradación generan grandes peligros para el ser humano como la contaminación y el cambio climático. Esta problemática es la preocupación vista en el artículo de la revista indexada, *construction and building materials*, titulado “properties and durability of hpc with tyre rubber wastes”, en donde se busca de alguna manera dar uso a la goma de neumático, adicionándosela al concreto. Finalmente es de mencionar que el crecimiento progresivo de la población, sustentado en los últimos censos realizados por el DANE en los años 1993 Y 2005, producto del desarrollo del país, crea la necesidad de brindar resguardo a los seres humanos (vivienda, salud, recreación, etc.), de esta forma se requiere de más construcciones que suplan las solicitudes del hombre, por consiguiente se demanda mayor cantidad de materiales de construcción, de allí la importancia del presente trabajo, ya que se pretende reunir estas tres problemáticas generales que afectan al hombre, para crear una nueva mezcla de concreto que nos permite evitar la explotación del agregado fino, reciclar la goma de los neumáticos desechados por los vehículos y finalmente determinar si la mezcla cumple con la resistencia necesaria para suplir la necesidad de obras de infraestructura de los seres humanos, de la misma manera se espera establecer si la utilización del agregado fino de caucho es económicamente viable en el sector de la construcción frente a los costos que tendría la mezcla de concreto tradicional. Dicho esto el principal problema de la presente investigación sería establecer en qué medida se afectan las propiedades mecánicas del concreto, pues de acuerdo a esto podremos establecer el uso apropiado de la nueva mezcla, de

esta manera se aplicaran básicamente dos ensayos uno de resistencia a la compresión y otro de durabilidad frente a la permeabilidad al agua. De acuerdo a lo anteriormente mencionado, durante este trabajo, se tiene la expectativa de responder ¿Cuál es la influencia del agregado neumático fino sobre la resistencia a la compresión y a la permeabilidad al agua en el concreto con una relación A/C de 0,55 y 0,65?

## 2. HIPÓTESIS

Al aumentar el porcentaje de caucho que sustituye agregado fino en una mezcla de concreto, se obtendrá una disminución de la resistencia a la compresión y aumentara la permeabilidad al agua del material.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la influencia del agregado neumático fino sobre la resistencia a la compresión y a la permeabilidad al agua en el concreto con una relación A/C de 0,55 Y 0,65.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer la variación de la resistencia a la compresión del concreto al modificar el porcentaje de agregado fino por caucho.
- Determinar la influencia que tiene la sustitución de agregado neumático fino en diferentes porcentajes, en la permeabilidad al agua de una mezcla de concreto.
- Analizar las posibilidades de uso en la industria de la construcción del concreto con reemplazo de agregado fino por caucho.



#### 4. ANTECEDENTES

En el artículo realizado por, F. Azevedo y colaboradores.<sup>1</sup> Se deja entrever la preocupación por el impacto ambiental que genera el desecho de neumáticos, de tal manera en su escrito plantean la forma de utilizar la goma de neumático en la mezcla de concreto, sin que se afecte en gran medida la permeabilidad de la mezcla. Para el desarrollo de esta investigación se realiza una sustitución de agregado fino por partículas de neumático, además cenizas volantes y metacaolín por una porción de cemento. La metodología de ensayo es la de absorción capilar de agua y la resistencia al ataque del ácido sulfúrico. Al finalizar el estudio los investigadores concluyen que la utilización de cenizas volantes y metacaolín junto con el caucho, contribuyen a evitar la pérdida de resistencia de la mezcla; de la misma manera mencionan que la utilización de un 45% de cenizas volantes y 15% de metacaolín, demuestran una mayor resistencia al ataque de ácido sulfúrico. Finalmente recomiendan realizar una sustitución de agregado fino por caucho de máximo un 15% para evitar que pierda sus características originales.

En el proyecto de grado realizado por Sergio Leonardo Gómez paz influencia del agregado neumático fino sobre la permeabilidad al agua y resistencia a la compresión en el concreto con una relación a/c de 0.45 se analiza la resistencia la compresión reemplazando porcentajes de neumático fino por arena luego sometidos a distintas cargas axiales para verificar en qué punto de estas fallan. Por otro lado en el ensayo de permeabilidad al agua se someten los cilindros a una lámina de agua constante por variaciones de tiempo y tomando su densidad inicial con las finales concluye que el comportamiento de absorción es debido a la mezcla con neumático y que esta acción puede beneficiar a estructuras q estén expuestas a fluidos.

---

<sup>1</sup> AZEVEDO, F. y colaboradores. Properties and durability of HPC with tyre rubber wastes. En: revista Construction and Building Materials. 2012. P1.

Así mismo Almeida Salazar.<sup>2</sup> “Estudio la utilización de fibras de caucho de neumáticos desechados en la elaboración de bloques de mampostería como alternativa de mitigación al impacto ambiental en el cantón Ambato”<sup>3</sup>. Para el desarrollo de esta tesis se elaboraron un total de 96 bloques de mampostería perforados, los cuales se encontraban distribuidos de la siguiente manera:

Tabla No 1. Bloques de ensayo con incorporación de caucho.

<b>MUESTRAS</b>	<b>% DE INCORPORACION DE CAUCHO</b>
<b>16</b>	<b>0</b>
<b>16</b>	<b>5</b>
<b>16</b>	<b>10</b>
<b>16</b>	<b>20</b>
<b>16</b>	<b>30</b>
<b>16</b>	<b>50</b>

Fuente: ALMEIDA, SALAZAR. Neyva Gissela. Utilización de fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de bloques de mampostería para mitigar el impacto ambiental en el cantón Ambato. En: Universidad técnica de Ambato. Ecuador 2011.

De otra parte es menester mencionar que para entender mejor el comportamiento del caucho se utilizaron dos tipos de fibra; la primera de ellas con medidas de 0,11 cm de diámetro y 0,57 cm de largo, la segunda con 0,14 cm de diámetro y 1,92 cm de largo; con estas se realizó la sustitución del agregado fino por caucho. Pasados 28 días de fraguado se procedió a fallar los bloques, para realizar una comparación de la resistencia con los bloques estándar, de allí se logró concluir durante el ensayo que “las fibras de caucho en el bloque mejoran la capacidad de adherencia entre los materiales, ya que

<sup>2</sup> ALMEIDA, SALAZAR. Neyva Gissela. Utilización de fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de bloques de mampostería para mitigar el impacto ambiental en el cantón Ambato. En: Universidad técnica de Ambato. Ecuador 2011. P 1

<sup>3</sup> Ibíd., p 6.

se presentó algo novedoso, los bloques se trisaban pero no se partieron en varios pedazos como sucedió con los ensayos del bloque normal, obteniendo como resultado un bloque con mejores características, esto es debido a las propiedades del caucho de ser elástico y flexible”<sup>4</sup>. Además se pudo determinar que los bloques que tenían incorporación de caucho entre 5% y 10% con fibras de 0,14 cm de diámetro y 1,92 cm de largo, presentan mayor resistencia que el bloque estándar, asimismo disminuye su peso. Finalmente se obtuvo que el bloque con incorporación del 5% de fibras de caucho, mejoro su resistencia en un 79,41% y disminuyo su peso en 1,76 %, respecto al bloque estándar. La investigadora en la parte final del trabajo recomienda que para la elaboración de los bloques con caucho, se debe tener especial cuidado en el proceso de fraguado, pues se debe llevar a cabo en un lugar libre de humedad, para que la influencia del caucho afecte en la disminución del peso del bloque.

Por otra parte A.K. Abdel Gawad.<sup>5</sup> Busco determinar la densidad y resistencia a la compresión de cubos de hormigón que presentan sustitución de agregados pétreos por astillas y miga de caucho. Para el desarrollo de dicha investigación fue necesario realizar una mezcla de hormigón con relación agua/cemento de 0,35, en donde se efectuaba una sustitución total de agregado grueso por astillas de caucho, de la misma manera se realizaron probetas en donde se hacía una sustitución total del agregado fino por miga de caucho y otra en donde solo se concebía un cambio del 50% del agregado fino por miga de caucho. Posteriormente a dicha dosificación se procede a ejecutar la mezcla para conformar las probetas de ensayo, las cuales fueron curadas en inmersión hasta el día de la prueba de compresión a la maquina universal.

De acuerdo a los datos obtenidos durante los ensayos, se pudo concluir que los especímenes que poseen caucho, tienen una notoria disminución de la resistencia y en una mayor medida aquellos en donde se realizó la sustitución del agregado grueso; sin embargo, cabe anotar que durante el ensayo se

---

<sup>4</sup> Ibíd. P 43.

<sup>5</sup> GAWAD, Abdel A.K. resistencia a la compresión del concreto utilizando llantas de desecho de goma. En: centro de investigación nacional y departamento de ingeniería civil de Giza, Egipto, 2010. P1.

observó que estos cubos de ensayo absorben una gran cantidad de energía. De otra parte es de mencionar que en términos de densidad el único espécimen que presento una disminución de aproximadamente un 30% respecto al cubo de control, fue el que tenía una sustitución del 100% del agregado grueso. Finalmente el autor del artículo recomienda continuar realizando investigaciones, en donde se ejecute la sustitución de agregado fino por miga de caucho, en diferentes porcentajes, además invita a adicionarle a la mezcla humo de sílice para mejorar su resistencia.

En el trabajo especial de grado de Luis Alberto Vásquez Coraspe.<sup>6</sup> se buscaba analizar las características de resistencia de una mezcla de concreto con sustitución de agregado fino por caucho en un 5% y 10% durante sus primeros días de fraguado, es de mencionar que este estudio se realizó bajo un método indirecto (método ultrasónico), el cual consiste “en la medición de velocidades, lo cual se fundamenta en la determinación del tiempo que tarda una onda ultrasónica en atravesar el concreto y a partir de esto, se calcula la velocidad del pulso”<sup>7</sup>, de tal manera se podrá inferir la calidad del concreto en cuanto a su resistencia ya que a mayor velocidad de pulso mayor resistencia del material que atraviesa. Para la realización de esta investigación se efectuó un diseño de mezcla tradicional con asentamiento entre 6 cm y 11cm, con una resistencia esperada a 28 días de 280 kg/cm<sup>3</sup>, además se llevó a cabo una sustitución de agregado fino por raspadura de caucho (RIPIO). Es importante mencionar, que los componentes de la mezcla son los convencionales, arena de río, roca caliza picada, agua, cemento portland tipo 1 y raspadura de caucho, siendo este último lo novedoso de la investigación.

La ejecución del ensayo de tiempos de viaje del pulso ultrasónico, se llevó a cabo bajo la Norma COVENIN N°1681-80, mediante un aparato transductor electro-acústico, el cual permite tomar las lecturas de velocidad. El estudio se realizó para mezclas de concreto con sustitución de agregado fino entre un 5% y 10%, para cada uno de los tamaños de caucho retenidos en el tamiz No 30 y

---

<sup>6</sup> VÁSQUEZ CORASPE, Luis Alberto. estudio y caracterización mediante ensayos no destructivos con ultrasonido de materiales compuestos concreto - raspadura de caucho (ripio). En: Caracas. Universidad central de Venezuela. Venezuela. 2003. P 1.

<sup>7</sup> *Ibíd.*, P 19.

tamiz No 50, durante distintos tiempos de fraguado, después de ser desencofrado el material. Finalmente el investigador llegó a la conclusión de que la mezcla con adición de caucho tiene una representativa disminución de la resistencia, para lo cual recomienda realizar ensayos destructivos a diferentes edades del concreto, que permita ratificar o refutar la conclusión de esta investigación, además ejecutar mediciones que permitan determinar el módulo de elasticidad y la relación de Poisson, por último invita a realizar investigaciones que contengan menor cantidad de caucho en la mezcla.

## 5. JUSTIFICACIÓN

El concreto hasta estos días ha demostrado muchas bondades y pocas deficiencias, sin embargo como esta es una mezcla de uso general, se hace necesario buscar la forma de reemplazar los materiales que la conforman por unos que contenga menor cantidad de recursos naturales, y además que durante su proceso de creación tenga un menor consumo de energía. Conociendo esta necesidad de la población en general es menester buscar la forma de mitigar este impacto ambiental, ya que la utilización del concreto va en aumento debido a las solicitudes de vivienda, seguridad, recreación, entre otras, que tiene el ser humano, además de esto es de señalar que por el desarrollo progresivo de la población es necesario abarcar mayor territorio o demoler edificaciones para la construcción de otras más robustas y de esta manera suplir la necesidad de la comunidad.

De otra parte es importante comunicar que varios investigadores pensando en la solución de este problema han ideado mezclas de concreto reciclado con escombros de construcción, buscando así, dar uso al material que se desecha en las demoliciones y además disminuir el consumo de agregados naturales, producto de esto se han obtenido resultados fenomenales ya que el comportamiento del escombros es similar al del agregado natural, por tanto las propiedades mecánicas del concreto se ven inalteradas. De otra parte es de mencionar que durante la exploración bibliográfica acerca del tema de concreto reciclado se ha encontrado investigaciones como la realizada por A.K. Abdel Gawad, para el centro de investigación nacional y departamento de ingeniería civil de Giza, Egipto, en el año 2010, titulado “resistencia a la compresión del concreto utilizando llantas de desecho de goma”, en donde también se le da uso al caucho extraída de los neumáticos, realizando cambios en los agregados, en donde finalmente concluyen que hay una baja en la resistencia, pero que aumenta la fluencia de la mezcla en el momento de fallar. A pesar de que las conclusiones acerca de la mezcla con caucho no son tan alentadoras, el impacto ambiental disminuye en gran medida, debido a la utilización de los neumáticos desechados de los vehículos.

En la presente investigación se pretende dar una nueva alternativa para el concreto reciclado, de tal manera, se implementaran partículas finas de caucho en la mezcla de concreto, con el fin de disminuir la utilización del agregado fino (arena), el cual es obtenido de los ríos y de las canteras. La importancia de esta investigación radica en una nueva forma de utilizar los neumáticos desechados por los vehículos, los cuales en la actualidad son abandonados en basureros donde posteriormente son incinerados generando contaminación y peligro para los seres humanos ya que este material es derivado del petróleo por ende, se generan problemas respiratorio y de cáncer. Cabe anotar que la explotación de los agregados generan desequilibrio en los ecosistemas que se encuentran circundantes, debido a las practicas necesarias para llevar a cabo esta tarea; entre estas se puede mencionar la extracción con maquinaria o manual de los pie de monte que consecutivamente genera deslizamientos, además la utilización de explosivos en cantera que afecta el equilibrio del medio ambiente.

## 6. MARCO DE REFERENCIA

### 6.1. MARCO TEÓRICO

#### 6.1.1. Concreto

Es la reunión de cemento, agua, agregados gruesos (grava) y agregados finos (arena), los cuales experimentan reacciones químicas que conforman una mezcla conglomerante. Esta composición tiene como propiedades principales la trabajabilidad, la cohesión, la resistencia y la durabilidad; las cuales pueden variar de acuerdo a la dosificación de la mezcla y a los aditivos que se le apliquen a esta para modificar las virtudes de alguna de sus propiedad, además cabe anotar que durante el proceso de concepción y adquisición de las propiedades de la mezcla, esta experimenta tres estados, los cuales se desarrollan a continuación:

**Estado fresco:** el concreto en estado fresco es una masa blanda que tiene propiedades de fácil trabajabilidad y cohesión. En este estado el concreto permite moldearlo y adaptarlo en figuras de dimensiones determinadas, es decir, la mezcla se mantiene en estado fresco durante su colocación y compactación.

Fotografía No. 1. Concreto en estado fresco.



Fuente: Autores.



**Estado Fraguado:** el concreto inicia su proceso de fraguado cuando este empieza a presentar una textura dura, en este momento la mezcla de concreto no debe ser alterada o manipulada por el hombre.

Fotografía No. 2. Concreto en estado fraguado.



Fuente: Autores.

**Estado endurecido:** este estado del concreto es cuando se obtiene una textura completamente dura, en este caso el concreto adquiere las propiedades de resistencia y durabilidad.

Fotografía No. 3. Concreto en estado endurecido.



Fuente: Autores.

Como se ha mencionada con posterioridad el concreto tiene cuatro propiedades fundamentales las cuales se definen enseguida:

**Trabajabilidad:** la trabajabilidad significa “que tan fácil es colocar, compactar y dar una acabado a una mezcla de concreto” <sup>8</sup> de acuerdo a esto se puede determinar la importancia que tiene esta propiedad del concreto, para lo cual se ha implementado la prueba de revenimiento que permite determinar la trabajabilidad del concreto. De otra parte es importante decir que la trabajabilidad del concreto depende de la cantidad de agua que contenga la mezcla, ya que un material muy seco no se deja moldear de una manera adecuada, por lo tanto se ve la necesidad de adicionar más agua para que mejore en alguna medida el manejo del material, sin embargo, se debe tener en cuenta que al agregarle más agua a la mezcla de concreto se verá afectada la resistencia y durabilidad al finalizar su proceso de fraguado. De la misma manera, la forma de los agregados influyen en la trabajabilidad del concreto, ya que estos al estar bien gradados y tener formas redondeadas y alargadas, permite que la mezcla se moldee adecuadamente a la formaleta en donde se está colocando.

**Cohesión:** es la propiedad que tiene la mezcla de concreto para mantener unidos y atraídos los materiales que la conforman (cemento, agua y agregados). Es de mencionar que la cohesión de la mezcla la incorpora en mayor medida la arena. De otra parte el concreto en estado fresco presenta esta propiedad de cohesión, lo cual le permite adherirse a superficies verticales para luego ser moldeado.

**Resistencia:** la resistencia es la propiedad que tiene el concreto de soportar cargas axiales sin fallar, es decir sin presentar agrietamiento. Básicamente la resistencia del concreto depende de la relación agua / cemento, la cual entre más baja sea, mayor será su resistencia, esto debido a un porcentaje superior de cemento presente en la mezcla. De otra parte, la densidad de la mezcla de concreto habla sobre su resistencia, ya que entre más denso el material mayor será su resistencia, de tal manera, en este caso es importante durante la

---

<sup>8</sup> Conceptos básicos del concreto. Capítulo 02. México. Ed: Instituto Mexicano del cemento y del concreto. 2004. P 4.

elaboración de la mezcla de concreto realizar una adecuada compactación, con el fin de tener un bajo porcentaje de vacíos. Finalmente es de mencionar que el concreto gana resistencia desde su primer día de fraguado y continua así hasta aproximadamente los 28 días de edad cuando alcanza un valor de resistencia importante y se estabiliza.

**Durabilidad:** Es la capacidad que tiene el concreto de resistir las sollicitaciones externas como el agua, la abrasión, el ataque químico o cualquier otra tipo de agresión presentes en el medio ambiente, sin sufrir cambios. La durabilidad máxima del concreto se consigue cuando este ha completado su proceso de fraguado, además cabe anotar que la durabilidad del concreto es directamente proporcional a la resistencia del mismo, por lo cual durante su proceso de fabricación es importante tener una adecuada compactación, con el fin de evitar los vacíos en la mezcla. Finalmente es de mencionar que esta propiedad se debe tener en cuenta para tomar los correctivos necesarios y garantizar que la mezcla no falle por durabilidad.

**Curado:** el curado del concreto es mantener húmeda dicha mezcla por un periodo de tiempo, para favorecer la reacción química de hidratación, ya que de esta manera se logra que el concreto alcance una mayor resistencia y durabilidad. Es menester mencionar que de presentarse una evaporación excesiva de agua podría presentarse agrietamiento en la mezcla de concreto, lo cual generara problemas en sus propiedades.

“El objeto del curado es mantener el concreto saturado, ya que la hidratación del cemento solo se logra en capilares llenos de agua, por lo que debe evitarse la evaporación excesiva de ésta. Además debe controlarse la temperatura, puesto que la rapidez de hidratación es más lenta a bajas temperaturas y más rápida a temperaturas elevadas (100 °C)”<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> DEPARTAMENTO DE MECANICA ESTRUCTURAL. El Salvador. Universidad centroamericana “José Simón Canas”. P 2. En: dirección electrónica, <http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoConcretoFresco/CURADO.pdf>. consultada el 14 de abril de 2013.

- **Curado con agua:** durante este tipo de fraguado se debe garantizar que el concreto se encuentre en constante contacto con el agua, para dicho fin existen distintas modalidades, las cuales se nombran a continuación:
  - **Inmersión:** es la modalidad más efectiva de curado pues se propende mantener el concreto saturado. Esta modalidad usualmente es aplicada para el curado de pisos, puentes, pavimentos y techos planos.

Fotografía No. 4. Curado de concreto en inmersión.



Fuente: Autores.

- **Rociado de niebla o aspersión:** se aplica agua mediante aspersores al elemento de concreto.
- **Costales, carpetas de algodón y alfombras:** se recubre el elemento de concreto con un costal, una carpeta de algodón o una alfombra húmeda, con el fin de proporcionarle esa humedad al elemento, posteriormente se humedece el material para mantener el agua en el concreto.

- **Curado con tierra:** es utilizado en elementos de concreto pequeños y de no mucha relevancia, consiste en mantener tierra húmeda sobre el elemento de concreto, teniendo en cuenta que esta no contenga materia orgánica y partículas superiores a 25 mm
- **Curado con arena y aserrín:** consiste en humedecer la arena y el aserrín, para de esta manera colocarlo sobre el elemento de concreto.
- **Curado con paja o heno:** esta modalidad tiene la misma metodología que el curado con arena y aserrín, sin embargo en este caso se debe tener en cuenta que por ser un material liviano se deben colocar capas gruesas humedecidas.
- **Materiales selladores:** este tipo de curado consiste en la colocación de membranas sobre el elemento de concreto con el fin de evitar la pérdida de agua por evaporación. Para dicho fin están dispuestas las siguientes modalidades:
- **Aplicación de película plástica:** “Se trata de hojas de polietileno con espesor de 0.10 mm y están disponibles en hojas transparentes, blancas o negras. Estas películas plásticas deben colocarse sobre la superficie mojada del concreto fresco, cubriendo todas las partes expuestas”<sup>10</sup>.
- **Papel impermeable:** se realiza con papel kraft el cual es adherido al elemento de concreto.
- **Compuestos líquidos para formar membranas de curado:** “Estos compuestos consisten esencialmente en ceras, resinas naturales o sintéticas y solventes de volatilidad elevada a la temperatura atmosférica.”<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> Op Cit. P 3.

<sup>11</sup> Ibíd. P 3.

### 6.1.2. Resistencia a la compresión

Es la capacidad que tiene el concreto de soportar cargas axiales por unidad de área, antes de llegar a su falla. Estas cargas son aplicadas en los extremos del espécimen, en dirección hacia su centro de gravedad, este efecto genera en el elemento de concreto aplastamiento, lo cual finalmente lo lleva a la falla, de donde se obtendrá el esfuerzo máximo soportado por el elemento antes de fisurarse o fracturarse, a lo cual se le denomina resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión de un espécimen de concreto depende en gran medida de la cantidad de cemento que tenga la mezcla, lo cual indica que una relación agua / cemento pequeña, le da mayor capacidad de resistencia a la compresión al elemento de concreto. Por otro lado es importante señalar que la calidad y dureza de los otros materiales (agregados) que componen la mezcla también son de importancia, pues estos también influyen en la resistencia a la compresión final que tenga el elemento de concreto, ya que de presentarse una falla en la calidad de estos, puede generar la pérdida de adherencia o la disminución de la capacidad de soporte de la mezcla de concreto.

Foto No. 5. Resistencia a la compresión.



Fuente: Autores.

### 6.1.3. Permeabilidad del concreto

“La permeabilidad en el concreto se refiere a la cantidad de migración de agua u otras sustancias líquidas por los poros del material en un determinado tiempo”<sup>12</sup> en otras palabras este término se refiere a la capacidad del concreto de resistir la penetración del agua u otras sustancias. Se debe tener claro que un concreto es más resistente cuando es menos permeable, ya que la presencia de agua dentro de la mezcla podría generar solubilidad en los componentes de la mezcla. De otra parte es de mencionar, que la inclusión de agua dentro de un espécimen de concreto se debe a los poros que este contenga, por lo cual se debe tener especial cuidado durante el proceso de compactación de la mezcla y durante su curado. Finalmente cabe decir, que para determinar la permeabilidad de un concreto se lleva a cabo el ensayo de sortividad, el cual determina la permeabilidad a través de la absorción capilar.

### 6.1.4. Dosificación de mezcla de concreto

La dosificación de mezcla en el concreto se refiere a la escogencia de los materiales en su cantidad para elaborar una mezcla de concreto que cumpla con especificaciones de resistencia y manejabilidad previas. Para llevar a cabo dicha tarea se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Resistencia deseada al finalizar su fraguado.
- Trabajabilidad deseada.
- Cantidad de mezcla y costo total.
- Asequibilidad a los materiales que componen la mezcla.

---

<sup>12</sup> VELEZ, Ligia M. permeabilidad y porosidad en el concreto. Instituto tecnológico metropolitano. 2010. En: dirección electrónica, [http://www.itm.edu.co/Revista\\_Tecnologicas/pdf/25Articulo09.pdf](http://www.itm.edu.co/Revista_Tecnologicas/pdf/25Articulo09.pdf). Consultada el 14 de abril de 2013. P 173.

Reiterando, la dosificación de mezcla en palabras practicas es la elección en proporciones adecuadas de agua cemento, grava y arena, para que una mezcla de concreto cumpla con los aspectos anteriormente mencionados. Finalmente para llevar a cabo una dosificación de mezcla de concreto se deben tener en cuenta los siguientes parámetros de sus materiales.

- **Granulometría de los agregados:** se refiere al tamaño de las partículas de agregados que compondrán la mezcla de concreto, esto es de vital importancia que si se tiene un material bien gradado habrá una correcta acomodación de los materiales y por consiguiente menos vacíos en la mezcla.
- **Módulo de finura (arena):** es el porcentaje de los valores retenidos acumulados desde el tamiz No 100 hasta el de 1,5” en los agregados finos, dividido entre 100.
- **Tamaño máximo (grava):** es el mayor tamiz por donde pasa todo el material.
- **Peso específico (arena, grava y cemento):** se refiere a la masa del elemento sobre unidad de volumen, lo cual se determina mediante laboratorios.
- **Absorción (arena y grava):** es un parámetro determinante para conocer el porcentaje de agua que tomaran los agregados al realizar la mezcla de los materiales.
- **Humedad (arena y grava):** es la relación existente entre la masa de agua y la masa seca del material en estudio, representada en porcentaje. Esta característica de la arena y la grava es determinante para conocer la cantidad de agua real que tendrá la mezcla de concreto.



Fotografía No. 6. Dosificación de mezcla con reemplazo de arena por caucho



Fuente: Autores.

#### 6.1.5. Cemento

El cemento es un conglomerante hidráulico, el cual reacciona al contacto con el agua, produciéndose una pasta inicialmente, la cual posteriormente se convertirá en una masa dura, resistente a cargas, aire y agua. El cemento se clasifica según la naturaleza de sus componentes, a continuación se presentan los tipos de cemento:

- **Cemento portland:** se produce al moler el Clinker y una o más formas de sulfato de calcio. Este a su vez se sub divide en los siguientes:
  - **Portland tipo 1:** es el destinado para desarrollar obras convencionales, a este tipo de cemento no se le exige ninguna propiedad especial.
  - **Portland tipo 2:** este tipo de cemento se destina para obras que se encuentran expuestas a ataques de sulfatos y en donde se requiere un moderado proceso de calor de hidratación.
  - **Portland tipo 3:** es un cemento que desarrolla alta resistencia inicial.
  - **Portland tipo 4:** es el que desarrolla bajo calor de hidratación.

- **Portland tipo 5:** este tipo de cemento ofrece alta resistencia a la acción de sulfatos.
- **Cemento portland de escoria de alto horno:** es la unión entre Clinker portland, escoria de alto horno y sulfato de calcio, teniendo en cuenta que la escoria de alto horno debe estar entre un 15% y 85% de la masa total del cemento.
- **Cemento siderúrgico supersulfatado:** es un producto que se obtiene al unir escoria de alto horno, Clinker portland, cemento portland y cal hidratada. El porcentaje de escoria de alto horno debe ser superior al 70% de la masa total de la mezcla.
- **cemento portland puzolanico:** producto que se obtiene de la unión de Clinker portland y puzolana. El contenido de puzolana debe estar entre un 25% y 50% de la masa total del cemento.
- **Cemento portland con adiciones:** es el cemento portland normal, definido anteriormente con un porcentaje de 15% a 30% de adiciones especiales.
- **Cemento de albañilería:** se trata de cemento portland con adición de elementos que carecen de propiedades hidráulicas. Esta adición debe estar entre el 15% y el 50% del peso total del cemento.
- **Cemento aluminoso:** producto que se obtiene por la pulverización del Clinker aluminoso.

#### 6.1.6. Agua

El agua es una sustancia universal, compuesta por dos moléculas de hidrogeno y una de oxígeno. Este líquido es de vital importancia para la existencia de todos los seres vivos. De otra parte para poder obtener el concreto es necesario aplicar agua, para que mediante esta se produzca la reacción química de hidratación necesaria para la creación del concreto. El agua que se

utiliza para dicha tarea debe ser potable con el fin de que la mezcla no se contamine y pierda sus propiedades, finalmente no es recomendable usar agua de mar ya que esta retrasa el proceso de fraguado de la mezcla de concreto.

#### 6.1.7. Agregado fino (arena)

El agregado fino es el material granular comprendido entre el tamiz de  $\frac{1}{4}$ " (6mm) y el tamiz No 100 (0,149mm). Este se genera de la fragmentación de rocas o areniscas. El agregado fino para concreto debe tener unas condiciones especiales para no afectar las propiedades de la mezcla, entre estas tenemos:

- Estar limpio, libre de materia orgánica.
- Estar bien graduada.
- Granos duros y resistentes.
- Preferiblemente que sus granos sean angulosos.

La obtención de este material usualmente es de ríos y de canteras.

#### 6.1.8. Agregado grueso (grava)

Es el material comprendido entre los tamices de  $\frac{3}{4}$ " (19,100 mm) y No 4 (4,760 mm), generalmente es obtenido de canteras y de ríos, usualmente se trata de basaltos caliza o granito. Es importante tener en cuenta que el agregado grueso es el que aporta resistencia a la mezcla de concreto, por tanto se debe tener especial cuidado en los siguientes requerimientos:

- Debe estar limpio, libre de materia orgánica.
- Debe estar bien graduado.
- Debe tener granos duros y resistentes.

### 6.1.9. Goma de neumático

La goma de neumático es conocida también como caucho, la cual tiene como principal uso la industria de las llantas. Una de sus principales características es la propiedad de ser sometida a esfuerzos provocando grandes deformaciones en el caucho, sin embargo al dejar de aplicar el esfuerzo en el material regresa al estado normal sin sufrir deformaciones permanentes. El componente principal del caucho es extraído “cuando por cortes o incisiones se rompen los conductos lactíferos de los árboles productores de caucho, estos segregan un líquido lechoso y turbio que contiene el caucho en suspensión y dividido en pequeñas gotitas de aspecto emulsionado. Como la secreción es relativamente abundante la misma se recoge en recipientes especiales en forma de pequeños baldes que se cuelgan al término de las incisiones; luego el jugo recolectado es sometido a un tratamiento para solidificarlo por evaporación o coagulación, ahumado, etc. en el mismo lugar de la cosecha”<sup>13</sup>. Posteriormente a la extracción de la materia prima del caucho se procede a vulcanizarlo, para que empiece a tomar las propiedades necesarias para ser utilizado en la industria de los neumáticos. De otra parte tenemos los cauchos de fabricación artificial, entre ellos el más conocido es el SBR, el cual es muy utilizado para las bandas de rodadura de los neumáticos, este caucho sintético es derivado del petróleo, su base es el estireno y butadieno. Mediante estudios de las propiedades de los cauchos se ha podido determinar que el caucho sintético SBR tiene un mejor desempeño que el caucho natural.

Tabla No. 2 Cuadro comparativo entre caucho sintético y caucho natural

Propiedades	Caucho Natural	SBR
Rango de Dureza	20-90	40-90
Resistencia a la rotura	Buena	Regular
Resistencia abrasiva	Excelente	Buena
Resistencia a la compresión	Buena	Excelente
Permeabilidad a los gases	Regular	Regular

Fuente: Materiales y compuestos para la industria del neumático.<sup>14</sup>

<sup>13</sup> CASTRO, Guillermo. Materiales y compuestos para la industria del neumático. Departamento de ingeniería mecánica F.I.U.B.A. 2008. En dirección electrónica: [http://materias.fi.uba.ar/6715/Material\\_archivos/Material%20complementario%2067.17/Material%20y%20Compuestos%20para%20la%20Industria%20del%20Neumatico.pdf](http://materias.fi.uba.ar/6715/Material_archivos/Material%20complementario%2067.17/Material%20y%20Compuestos%20para%20la%20Industria%20del%20Neumatico.pdf). Consultada el 14 de abril de 2013. P 19

<sup>14</sup> *Ibíd.*, P 38.

**Reciclaje de la goma de neumático:** el reciclaje del caucho de neumático consiste en darle un nuevo uso a las llantas desechadas por los vehículos, de tal manera para dicho fin se han implementado los siguientes métodos de reutilización:

- **Trituración mecánica:** mediante maquinas trituradoras se realiza el proceso de trozado del neumático, para posteriormente proceder a retirarle las impurezas a la goma de caucho, seguidamente se continua triturando la goma hasta obtener el tamaño deseado de partícula de caucho. Generalmente estas partículas de caucho son utilizadas para pistas deportivas, reductores de velocidad y aditivos de asfalto. Cabe resaltar que mediante este método de reciclaje no se genera ningún tipo de afectación al medio ambiente.
- **Regeneración:** el proceso se basa en romper las cadenas que forma el material con el fin de volver a vulcanizarla y obtener de nuevo caucho para la elaboración de llantas, sin embargo, este proceso genera la perdida de propiedades del caucho lo cual lo lleva finalmente a ser desechado totalmente.
- **Termólisis:** este método consisten en aplicar altas temperaturas en ausencia de oxígeno a las llantas desechadas, generando así la rotura de los enlaces químicos y llegando a separar los elementos que componen el neumático, consiguiendo de esta manera volver a llevar estos elementos a las industrias de neumáticos.
- **incineración:** en este método de reciclaje se utiliza la goma de neumático como elemento de combustión para generar altas temperaturas, usualmente es utilizado en la elaboración del cemento, asfaltos y ladrillos, en donde se requiere una gran cantidad de energía térmica. La goma de neumático es muy efectiva desarrollando esta tarea sin embargo, en el proceso se liberan varios elementos

contaminantes entre los cuales tenemos, monóxido de carbono, xileno, hollín, óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono, óxidos de zinc, benceno, fenoles, dióxido de azufre, óxido de plomo y tolueno.

- **Energía eléctrica:** con ayuda de una caldera, los neumáticos son introducidos dentro de ella, con el fin de generar vapor, el cual irá directamente a una turbina que posteriormente producirá energía eléctrica.

Finalmente es de mencionar que un gran porcentaje de neumáticos desechados son colocados en los rellenos sanitarios para posteriormente ser incinerados.

Foto No. 7. Agregado fino neumático.



Fuente: Autores.

## 6.2. MARCO LEGAL

A continuación se presentaran las normas de ensayo que se van a utilizar para el desarrollo del presente proyecto.

NORMA ICONTEC 77: tamizado de materiales granulados (agregados o áridos)

- **Objeto:** “esta norma tiene por objeto establecer el procedimiento que debe seguirse en las operaciones de tamizado de materiales granulados, con el de determinar su composición granulométrico”<sup>15</sup>.

NORMA ICONTEC 176: método para determinar la densidad y la absorción de agregados gruesos.

- **Objeto:** “esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso”<sup>16</sup>

NORMA ICONTEC 237: método para determinar el peso específico y la absorción de agregados finos.

- **Objeto:** “esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso”<sup>17</sup>

NORMA ICONTEC 396: método de ensayo para determinar el asentamiento del hormigón.

NORMA ICONTEC 92: método para determinar la masa unitaria de los agregados.

NORMA ICONTEC 1377: elaboración y curado de muestras en laboratorio.

**Objeto:** “esta norma tiene por objeto establecer el procedimiento para la elaboración y curado de muestras de hormigón en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo, usando hormigón compactado por varillado o vibración como se describe en la presente norma”<sup>18</sup>.

NORMA ICONTEC 673: ensayo de resistencia y compresión de cilindros normales de hormigón.

**Objeto:** “esta norma tiene por objeto establecer el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia a compresión de cilindros normales de hormigón”<sup>19</sup>.

ASTM-C 1585: sortividad: velocidad de absorción de agua en el concreto.

---

<sup>15</sup> ICONTEC. NORMAS TECNIAS COLOMBIANAS PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION – I. Bogotá D.C. Ed: LEGIS. 2000. P 274.

<sup>16</sup> S. Ibíd. P. 293.

<sup>17</sup> Ibíd. P. 296.

<sup>18</sup> ICONTEC. NORMAS TECNIAS COLOMBIANAS PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION – I. Bogotá D.C. Ed: LEGIS. 2000. P 312.

<sup>19</sup> S. Ibíd. P 326.

**Objeto:** “determinar la tasa de absorción (capacidad de absorción) de agua por el hormigón de cemento hidráulico, midiendo el aumento en la masa de una muestra resultante de la absorción de agua como una función del tiempo cuando sólo una superficie de la muestra se expone al agua”<sup>20</sup>.

---

<sup>20</sup> ASTM internacional. Método de prueba estándar para velocidad de absorción de agua en el concreto. Estados Unidos. 2007. P 1.



## 7. DISEÑO METODOLÓGICO

### 7.1. ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo experimental, ya que se pretende mediante ensayos de laboratorio obtener datos empíricos que nos permita verificar la hipótesis inicialmente planteada. Cabe resaltar que estos datos registrados en laboratorio, posteriormente tendrán un manejo estadístico para obtener resultados confiables.

De otra parte, este tipo de investigación se clasifica como correlacionar, debido a que, para dar respuesta a la pregunta de investigación se deben relacionar variables independientes y variables dependientes, de tal modo a continuación se definen las variables para dicha investigación.

#### **VARIABLES INDEPENDIENTES**

- **Porcentaje de caucho en la mezcla:** el caucho es un material que se caracteriza por permitir grandes deformaciones y regresar a su estado original. El material en mención es obtenido de forma artificial (derivado del petróleo) y de forma natural a través de árboles productores de caucho. Para la presente investigación se pretende utilizar pequeñas partículas de caucho que suplan la utilización del agregado fino (arena). Debido a esto, se puede considerar el porcentaje de caucho en la mezcla como una variable independiente ya que se podrá manipular, realizando cambios en los porcentajes de agregado fino por caucho, con el fin de obtener variaciones en las características del concreto, es decir en las variables dependientes.
- **Curado y no curado en la mezcla de concreto:** el curado es someter el espécimen de concreto, al contacto con el agua, con el fin de mantener un proceso de hidratación constante que le permita a la mezcla finalmente ganar mayor resistencia. De otra parte el no

curado, se refiere a mantener el espécimen de concreto sin ninguna alteración externa. Por consiguiente el curado y no curado de la mezcla de concreto es clasificada como una variable independiente, puesto que al realizar un tratamiento de curado o no curado en el concreto, este tendrá una variación en sus propiedades, lo cual nos lleva a influir en las variables dependientes.

### **Variables dependientes**

- **Resistencia a la compresión:** la resistencia a la compresión del concreto, es la capacidad de soportar un esfuerzo de aplastamiento, sin sufrir deformaciones permanentes ni grietas; para dicho fin es necesario que la mezcla haya tenido un buen proceso de fraguado y además que los materiales que la conforman tengan características apropiadas para la mezcla (cohesión, resistencia, durabilidad, etc.). De acuerdo a esto la resistencia a la compresión del concreto es considerada una variable dependiente, ya que esta cambiara en relación al porcentaje de arena que se le cambie a la mezcla por caucho, además estará influenciada por el tipo de curado que se le haya dado a la mezcla durante su proceso de fraguado.
- **Permeabilidad al agua:** la permeabilidad al agua del concreto es la movilización de agua a través de los poros de la mezcla en un determinado espacio de tiempo. Cuando un concreto es muy permeable, se considera que baja su resistencia, lo cual no es recomendable para la industria de la construcción. Finalmente la permeabilidad al agua del concreto es clasificada como una variable dependiente puesto que el desplazamiento de agua dentro de la mezcla de concreto, dependerá de la cantidad de vacíos que tenga el espécimen, lo cual está directamente relacionada con el tamaño y la acomodación de los materiales que conforman dicha mezcla, de tal manera la inclusión de distintos porcentajes de caucho dentro de la

mezcla arrojará diferentes resultados en la penetración del agua en el espécimen.

## 7.2. OPERACIONALIZACION DE OBJETIVOS

### 7.2.1. Fase 1: diseño y elaboración de especímenes de ensayo

**Actividad 1.1. Diseño teórico de mezcla:** previamente se calcula la cantidad de mezcla de concreto que se va a emplear para la construcción de los especímenes; a continuación se procede a realizar un diseño de mezcla convencional, por el método ACI, teniendo en cuenta datos aproximados como el de granulometría, absorción y humedad. De allí se obtiene la cantidad de material (agua, cemento, grava, arena y caucho.) que se va a utilizar para la elaboración de los 60 cilindros de ensayo.

**Actividad 1.2. Obtención de materiales:** los agregados finos y grueso (arena y grava), junto con el agua fueron proporcionados por la facultad de ingeniería civil de la universidad la Gran Colombia, estos se encontraban en el sitio de ensayo. El cemento y el caucho fueron adquiridos, siendo este último encargado a la empresa “GRUPO RENOVA”, la cual tardó varios días en tener el material listo.

Tabla No 3. Materiales de la mezcla de concreto

CONTENIDO DE LA MEZCLA DE CONCRETO	
CEMENTO	HOLCIM
ARENA	DE RIO
GRAVA	DE RIO
AGUA	POTABLE
CAUCHO EN PEQUEÑAS PARTICULAS	GRUPO RENOVA

Fuente: Autores.

**Actividad 1.3. Ensayos previos a la fundición:** para tener un diseño de mezcla final fue necesario realizar ensayos de laboratorio, en donde se

determinó finalmente la granulometría de los agregados, los pesos específicos, la absorción y la humedad.

**Actividad 1.4. Diseño final de mezcla:** con los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio, se procede a cargar los mismos en el diseño de mezcla inicial, con el fin de que nos arroje las cantidades finales y verdaderas para la realización de los especímenes de concreto. A continuación se presenta el procedimiento de dosificación de mezcla.

El diseño de mezcla se llevó a cabo por el método de la ACI, partiendo de los siguientes parámetros:

- Asentamiento 8cm a 10cm
- Contenido aproximado de aire atrapado 2%.

Tabla No. 3. Método ACI, cantidad de agua para concretos.

AGUA EN KILOGRAMOS POR METRO CUBICO DE CONCRETO PARA LOS TAMAÑOS DE AGREGADO INDICADOS							
CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO							
ASENTAMIENTO (cm)	10 mm	13 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm	75 mm
3 a 5	205	200	185	180	160	155	145
8 a 10	225	215	200	195	175	170	180
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170
contenido de aire %	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3
CONCRETO CON AIRE INCLUIDO							
ASENTAMIENTO (cm)	10 mm	13 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm	75 mm
3 a 5	180	175	165	160	145	140	135
8 a 10	200	190	180	175	165	155	150
15 a 18	215	205	190	185	170	165	160
contenido de aire %	8	7	6	5	4,5	4	3,5

Fuente: Instituto Americano del Concreto.

- De esto podemos obtener que por 1 m<sup>3</sup> de concreto se gastara 200 L de agua.

Como se tiene establecida la relación A/C 0,55 y 0,65, se determina la resistencia del concreto a los 28 días.

Tabla No. 4. Resistencia a la compresión y relación A/C.

RESISTENCIA A LA COMPRESION Y RELACION AGUA-CEMENTO		
RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS.	RELACION AGUA-CEMENTO	
	SIN AIRE	CON AIRE
	INCORPORADO	
450	0,38	
400	0,43	
350	0,48	0,40
300	0,55	0,46
250	0,62	0,53
200	0,70	0,61
150	0,80	0,71

Fuente: Instituto Americano del Concreto.

b.  $A/C = 0,55; 300 \text{ Kg/cm}^2$

$A/C = 0,65; 231,25 \text{ Kg/cm}^2$

- c. Se determina la cantidad de cemento para  $1 \text{ m}^3$  de concreto teniendo en cuenta la cantidad de agua y la relación A/C previamente establecidas.

Tabla No. 5. Determinación de cantidad de cemento

A	Contenido estimado de agua en la mezcla ( $\text{L/m}^3$ ) concreto	200
<b>A/C</b>	<b>Relación agua / cemento</b>	<b>0,55</b>
C	Peso cemento ( $\text{kg/m}^3$ )	363,636
P Especifico	Densidad cemento portland tipo 1 ( $\text{kg/m}^3$ )	3150
V	Volumen cemento ( $\text{m}^3$ )	0,115440

Fuente: Autores

- d. Teniendo la granulometría de los agregados finos y gruesos se determina el tamaño máximo y el módulo de finura.

Tabla No. 6. Granulometría agregado grueso.

GRUESO					
TAMIZ		Peso de la muestra retenido	Porcentage muestra retenido	Porcentage retenido	Porcentage que pasa
Plg "	mm	gr	%	%	%
1 1/2"	38,100	0	0	0	100,00
1"	25,400	0	0	0	100,00
3/4"	19,100	0	0	0	100,00
1/2"	12,500	246,77	9,50	9,49809476	90,50
3/8"	9,510	787,88	30,33	39,8233324	60,18
4	4,760	1399,88	53,88	93,7042454	6,30
8	2,380	58,04	2,23	95,9381856	4,06
16	1,19	18,17	0,70	96,6375428	3,36
30	0,595	7,86	0,30	96,9400716	3,06
50	0,297	18,28	0,70	97,6436627	2,36
100	0,149	34,85	1,34	98,9850275	1,01
200	0,08	22,35	0,86	99,8452715	0,15
fondo		4,02	0,15	100	0,00
sumatoria		2598,1	100,00		
		tamaño maximo		3/4"	19,1
		tamaño maximo nominal		1/2"	12,5

Fuente: Autores.

Tabla No. 7. Granulometría agregado fino.

FINO					
TAMIZ		Peso de la muestra retenido	Porcentage muestra retenido	Porcentage retenido	Porcentage que pasa
Plg "	mm	gr	%	%	%
1 1/2"	38,100	0	0	0	100,00
1"	25,400	0	0	0	100,00
3/4"	19,100	0	0	0	100,00
1/2"	12,500	0	0,00	0	100,00
3/8"	9,510	1,92	0,14	0,14	99,86
4	4,760	132,82	10,02	10,1604068	89,84
8	2,380	247,76	18,68	28,8433696	71,16
16	1,190	182,27	13,74	42,587895	57,41
30	0,595	149,51	11,27	53,8620706	46,14
50	0,297	329,188	24,82	78,6853154	21,31
100	0,149	208,28	15,71	94,39119	5,61
200	0,08	66,79	5,04	99,4276571	0,57
fondo		7,59	0,57	100	0,00
	muestra	1326,128	100,000		
		MOD FINURA		3,09	

Fuente: Autores.

Además mediante ensayos previos, establecidos en la NTC 77, 127, 129 y 177 se obtienen datos que se presentan a continuación:

Tabla No 8. Datos de agregados para mezcla

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Peso específico del cemento	3150	(Kg/m <sup>3</sup> )
Modulo finura de la arena	3,09	‰
Peso específico de la arena	2612	(Kg/m <sup>3</sup> )
Absorción de la arena	1,4	‰
Humedad de la arena	9,8	%
Peso específico de la grava	2590	(Kg/m <sup>3</sup> )
Tamaño máximo de la grava	19	mm (3/4)
Peso volumétrico de la grava	1467	kg/m <sup>3</sup>
Absorción de la grava	2,0	%
Humedad de la grava	1,99	%

Fuente: Autores.

- e. Teniendo el módulo de finura y el tamaño máximo se obtiene el volumen del agregado grueso, posteriormente, gracias a los datos adquiridos en laboratorio se establece el peso del agregado grueso para 1 m<sup>3</sup> de concreto. Finalmente se obtiene la dosificación del material para la mezcla correspondiente, no sin antes haber realizado una corrección por humedad y absorción de los agregados, de esta manera llegamos a la tabla que se presenta a continuación.

Tabla No 9. Dosificación de mezcla para 1m<sup>3</sup> de concreto de relación A/C 0,55.

	PESO REAL Kg/m <sup>3</sup>	PESO ESPECIFICO kg/m <sup>3</sup>
<b>Agua L</b>	127,60	1000
<b>Cemento</b>	363,64	3150
<b>Grava</b>	865,53	2590
<b>Aire</b>	0,00	0
<b>Micro sílice</b>	0,00	2300
<b>Arena</b>	862,95	2612
<b>Total</b>	<b>2219,71</b>	

Fuente: Autores

- f. Como se ha mencionado anteriormente en la presente investigación el objetivo es realizar sustituciones en diferentes porcentajes del agregado fino por neumático por lo cual a continuación se presentan dos tablas

g. que consolidan en qué medidas se realizaron las sustituciones para las dos relaciones A/C en estudio (0,55 y 0,65):

Tabla No 10. Dosificación de mezcla para las diferentes sustituciones de agregado fino por neumático. A/C 0,55.

ARN 0%, A/C 0,55	<b>CANTIDAD</b>	<b>14 CILINDROS</b>
	Cantidad de H2O (cm <sup>3</sup> )	2806,046
	W Cemento (gr)	7996,781
	W MICROSILICE (gr)	0
	W agregado fino (gr)	18977,227
	W agregado fino (gr) recalculado	18977,227
	W AGREGADO NEUMATICO gr	0
	w agregado grueso (gr)	19033,999
<b>total en gr</b>	<b>48814,053</b>	
ARN 10%, A/C 0,55	<b>CANTIDAD</b>	<b>14 CILINDROS</b>
	Cantidad de H2O (cm <sup>3</sup> )	2806,046
	W CEMENTO (gr)	7996,781
	W MICROSILICE (gr)	0
	W agregado fino (gr)	18977,227
	W agregado fino (gr) recalculado	17079,504
	W AGREGADO NEUMATICO gr	1897,723
	w agregado grueso (gr)	19033,999
<b>total en gr</b>	<b>48814,053</b>	
ARN 20%, A/C 0,55	<b>CANTIDAD</b>	<b>14 CILINDROS</b>
	Cantidad de H2O (cm <sup>3</sup> )	2806,046
	W CEMENTO (gr)	7996,781
	W MICROSILICE (gr)	0
	W agregado fino (gr)	18977,227
	W agregado fino (gr) recalculado	15181,782
	W AGREGADO NEUMATICO gr	3795,445
	w agregado grueso (gr)	19033,999
<b>total en gr</b>	<b>48814,053</b>	
ARN 30% + 5% MICROSILIC E, A/C 0,55	<b>CANTIDAD</b>	<b>14 CILINDROS</b>
	Cantidad de H2O (cm <sup>3</sup> )	2806,046
	W CEMENTO (gr)	7996,781
	W MICROSILICE (gr)	399,839
	W agregado fino (gr)	18977,227
	W agregado fino (gr) recalculado	13284,059
	W AGREGADO NEUMATICO gr	5693,168
	w agregado grueso (gr)	19033,999
<b>total en gr</b>	<b>49213,892</b>	
ARN 40% + 5% MICROSILIC E, A/C 0,55	<b>CANTIDAD</b>	<b>14 CILINDROS</b>
	Cantidad de H2O (cm <sup>3</sup> )	2806,046
	W CEMENTO (gr)	7996,781
	W MICROSILICE (gr)	399,839
	W agregado fino (gr)	18977,227
	W agregado fino (gr) recalculado	11386,336
	W AGREGADO NEUMATICO gr	7590,891
	w agregado grueso (gr)	19033,999
<b>total en gr</b>	<b>49213,892</b>	

Fuente: Autores



Tabla No. 11. Dosificación de mezcla para las diferentes sustituciones de agregado fino por neumático. A/C 0,65.

ARN 0%, A/C 0,65	<b>CANTIDAD</b>	<b>14 CILINDROS</b>
	Cantidad de H2O (cm <sup>3</sup> )	2720,353
	W Cemento (gr)	6766,507
	W MICROSILICE (gr)	0
	W agregado fino (gr)	19997,378
	W agregado fino (gr) recalculado	
	W AGREGADO NEUMATICO gr	0
	w agregado grueso (gr)	
	total en gr	48518,238
ARN 10%, A/C 0,65	<b>CANTIDAD</b>	<b>14 CILINDROS</b>
	Cantidad de H2O (cm <sup>3</sup> )	2720,353
	W CEMENTO (gr)	6766,507
	W MICROSILICE (gr)	0
	W agregado fino (gr)	19997,378
	W agregado fino (gr) recalculado	17997,64
	W AGREGADO NEUMATICO gr	1999,738
	w agregado grueso (gr)	19033,999
	total en gr	48518,238
ARN 20%, A/C 0,65	<b>CANTIDAD</b>	<b>14 CILINDROS</b>
	Cantidad de H2O (cm <sup>3</sup> )	2720,353
	W CEMENTO (gr)	6766,507
	W MICROSILICE (gr)	0
	W agregado fino (gr)	19997,378
	W agregado fino (gr) recalculado	15997,902
	W AGREGADO NEUMATICO gr	3999,476
	w agregado grueso (gr)	19033,999
	total en gr	48518,238
ARN 30% + 5% MICROSILIC E, A/C 0,65	<b>CANTIDAD</b>	<b>14 CILINDROS</b>
	Cantidad de H2O (cm <sup>3</sup> )	2720,353
	W CEMENTO (gr)	6766,507
	W MICROSILICE (gr)	338,325
	W agregado fino (gr)	19997,378
	W agregado fino (gr) recalculado	13998,165
	W AGREGADO NEUMATICO gr	5999,213
	w agregado grueso (gr)	19033,999
	total en gr	48856,563
ARN 40% + 5% MICROSILIC E, A/C 0,65	<b>CANTIDAD</b>	<b>14 CILINDROS</b>
	Cantidad de H2O (cm <sup>3</sup> )	2720,353
	W CEMENTO (gr)	6766,507
	W MICROSILICE (gr)	338,325
	W agregado fino (gr)	19997,378
	W agregado fino (gr) recalculado	11998,427
	W AGREGADO NEUMATICO gr	7998,951
	w agregado grueso (gr)	19033,999
	total en gr	48856,563

Fuente: Autores

**Actividad 1.5. Elaboración de especímenes de ensayo:** de acuerdo a la norma NTC 1377 se procede a elaborar los cilindros de concreto, haciendo uso de una mezcladora eléctrica, se revuelven los materiales hasta obtener una mezcla homogénea, para posteriormente ser depositada en camisas estándar de 20cm de alto por 10cm de diámetro, las cuales se encuentran aceitadas con ACPM. Para dicho proceso se llenan las camisas con la mezcla de concreto en tres (3) capas iguales, a las cuales se procede a ejecutar 25 golpes con una varilla de punta redonda, además se realiza un vibrado manual para evitar los vacíos en la mezcla. Finalmente las camisas junto con la mezcla son llevadas a un espacio libre de alteraciones externas, durante veinticuatro (24) horas.

Tabla No. 12. Esquema organizacional

	RELACIÓN AGUA/CEMENTO 0,55			RELACIÓN AGUA/CEMENTO 0,65	
CURADO		NO CURADO	CURADO		NO CURADO
N° CILINDROS		N° CILINDROS	N° CILINDROS		N° CILINDROS
6	ARN 0%	6	6	ARN 0%	6
6	ARN 10 %	6	6	ARN 10 %	6
6	ARN 20 %	6	6	ARN 20 %	6
6	ARN 30 %	6	6	ARN 30 %	6
	5% SF			5% SF	
6	ARN 40 %	6	6	ARN 40 %	6
	5% SF			5% SF	

ARN: agregado reciclado neumático			
CANTIDAD TOTAL DE CILINDROS A EVALUAR 120	ESPECIFICACIONES DE LOS CILINDROS	h= 20cm	TOTAL DE MEZCLA 0,094 m <sup>3</sup> + DESPERDICIO
		diámetro= 10cm	

Fuente: autores.

En cada porcentaje de adición de caucho se usaran 3 cilindros curados y 3 no curados para determinar la resistencia, además se emplearan 3 cilindros curado y 3 no curados para determinar la durabilidad frente a la permeabilidad del agua

**Actividad 1.6. Determinación de asentamientos:** simultáneamente a la elaboración de los especímenes se determina los asentamientos de la mezcla, siguiendo la metodología planteada en la norma NTC 396, la cual consiste básicamente en depositar la mezcla en tres (3) capas iguales aplicándoles 25 golpes, en un cono, el cual posteriormente será retirado, dejando la mezcla en libertad, para de esta manera obtener la diferencia entre la altura del cono y la altura de la mezcla cuando se dejó en libertad.

Fotografía No. 8 Determinación de asentamiento



Fuente: Autores.

**Actividad 1.7. Curado y no curado de cilindros:** después de veinticuatro (24) horas de fraguado de la mezcla de concreto, cuando este ya ha adquirido dureza se continúa con el desencofrado el cual consiste en retirar los cilindros de las camisas. Finalmente los cilindros son marcados debidamente para su control y treinta (30) de ellos son sometidos a inmersión en agua durante veintiocho (28) días; los treinta (30) restantes son colocados en un sitio libre de agentes externos que alteren su proceso de fraguado, durante los mismos veintiocho (28) días, de esta manera se lleva a cabo el proceso de curado y no curado en la mezcla de concreto.

7.2.2. Fase 2: resistencia a la compresión y permeabilidad al agua de la mezcla de concreto con distintos porcentajes de inclusión de caucho.

**Actividad 2.1. Ensayo de resistencia a la compresión (curados):** pasados veintiocho (28) días de fraguado, con curado de inmersión en agua, se procede a llevar los cilindros a la prensa hidráulica, para aplicar una carga axial compresiva que lleve al espécimen a la falla, de esta manera la maquina reporta una carga final soportada por el cilindro de ensayo, la cual será registrada para dar resultados de resistencia. Cabe resaltar que antes de llevar a cabo el ensayo, se toman las dimensiones del cilindro y su masa, para poder recopilar la mayor cantidad de datos que sirvan para las conclusiones finales.

**Actividad 2.2. Ensayo de resistencia a la compresión (no curados):** después de veintiocho (28) días de fraguado en un sitio libre de agentes externos, se procede a ejecutar la misma metodología mencionada en la anterior actividad.

Fotografía No. 9 Ensayo de resistencia a la compresión.



Fuente: Autores.

**Actividad 2.3. Corte de cilindros para permeabilidad:** posterior al ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes de concreto, se procede a ejecutar el corte de los treinta (30) cilindros restantes, aclarando que el corte se

realizara en su sección transversal, en toda la mitad del cilindro, dejándolo con una plataforma totalmente uniforme. Es de mencionar que dicha tarea se llevó a cabo con una pulidora eléctrica.

**Actividad 2.4. Secado de cilindros al horno:** para continuar con la realización del ensayo de sortividad (permeabilidad), se deben llevar al horno las mitades de los cilindros durante ocho (8) días, con el fin de secar totalmente los especímenes de ensayo.

**Actividad 2.5. Ensayo de sortividad (permeabilidad):** para la ejecución del ensayo de sortividad, se depositan las mitades de los cilindros dentro de un recipiente que contiene 3 mm de agua y una maya, con el fin de que una de las superficies del cilindro haga contacto con el agua. Preliminar a este hecho se debe tomar la masa de las mitades de los cilindros secos, para luego depositar los especímenes de ensayo en los recipientes con agua y tomar de nuevo las masas cada intervalo de tiempo.

**Actividad 2.6. Recopilar datos finales:** mediante formatos se registran los datos obtenidos en el ensayo de resistencia (masa de los cilindros, dimensiones y carga axial de falla) y ensayo de sortividad (masa de los especímenes secos y masa de los especímenes durante intervalos de tiempo establecidos).

7.2.3. Fase 3: resultados y aplicación de la mezcla de concreto con caucho.

**Actividad 3.1. Análisis de resultados:** teniendo los datos finales, se establece si algunos de ellos se encuentran erróneos, para eliminarlos de la muestra, seguidamente se realiza, a estos datos un manejo estadístico con el fin de obtener los valores numéricos que dan respuesta a la resistencia y a la permeabilidad al agua del concreto. Finalmente se establece un paralelo en donde se identifiquen los resultados de resistencia y permeabilidad de la mezcla convencional de concreto y la nueva mezcla de concreto con caucho; de la misma manera se valora que factores influyeron en el posible cambio que tuvo la nueva mezcla frente al concreto tradicional.

**Actividad 3.2. Tabulación y graficas de resultados:** mediante una tabla se recopilan y muestran los datos finales obtenidos de los ensayos, además se realiza una representación gráfica de dichos resultados.

**Actividad 3.3. Establecer uso de la nueva mezcla:** teniendo en cuenta las propiedades de resistencia y permeabilidad al agua de la mezcla de concreto con caucho, se determina cual podría ser su uso en la industria de la construcción.

**Actividad 3.4. Recomendaciones y conclusiones:** gracias a los resultados obtenidos mediante la presente investigación se podría establecer si es viable el uso de este nuevo material, además se podría recomendar la investigación de otras características de la mezcla de concreto con caucho.

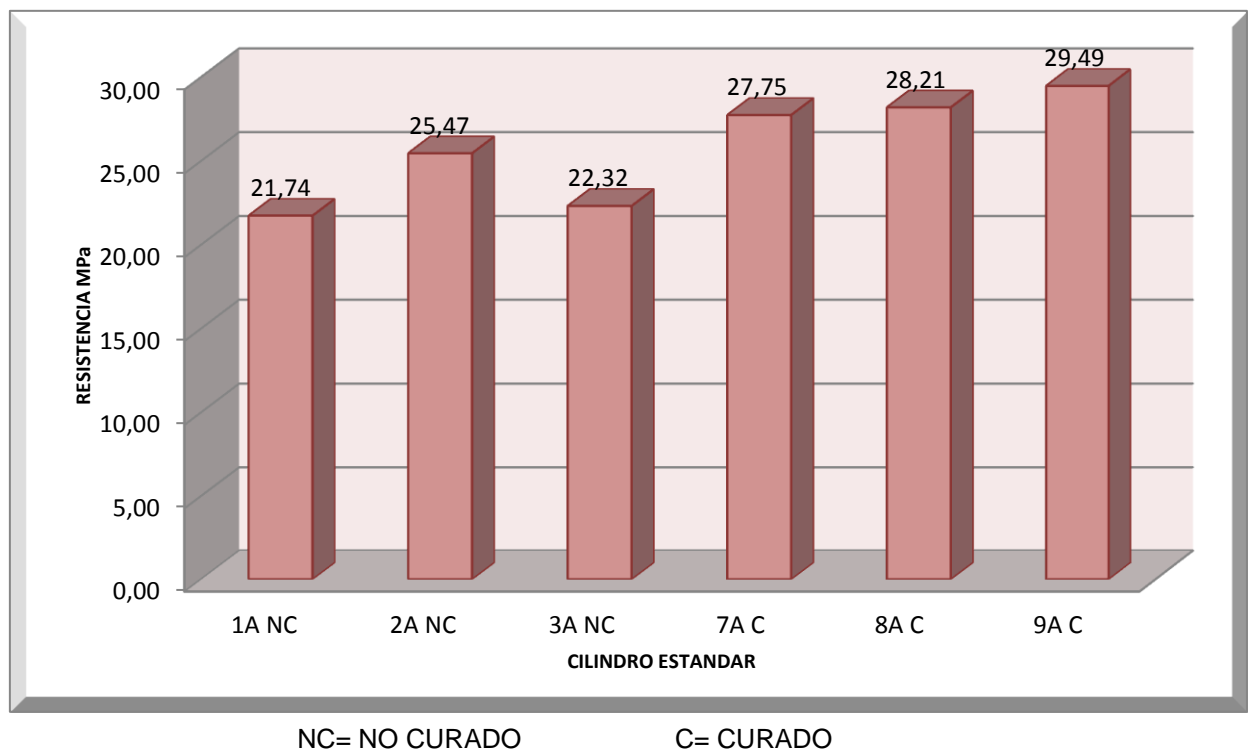
## ANÁLISIS Y RESULTADOS.

### RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA CONCRETO

A continuación presentamos los resultados de resistencia a la compresión obtenidos de la elaboración de 60 especímenes de ensayo, entre los cuales teníamos 30 con relación A/C 0,55 y 30 con relación A/C 0,65; estos contaban con variaciones en la sustitución de agregado fino por neumático y además la mitad de ellos fueron curados en inmersión en agua y los restantes no fueron curados.

La grafica 1 nos muestra las resistencias a compresión alcanzadas de los cilindros estándar, es decir de los que contienen la mezcla convencional.

Grafica No 1. Resistencia a la compresión, con sustitución de agregado fino por neumático de 0%. A/C 0,55.



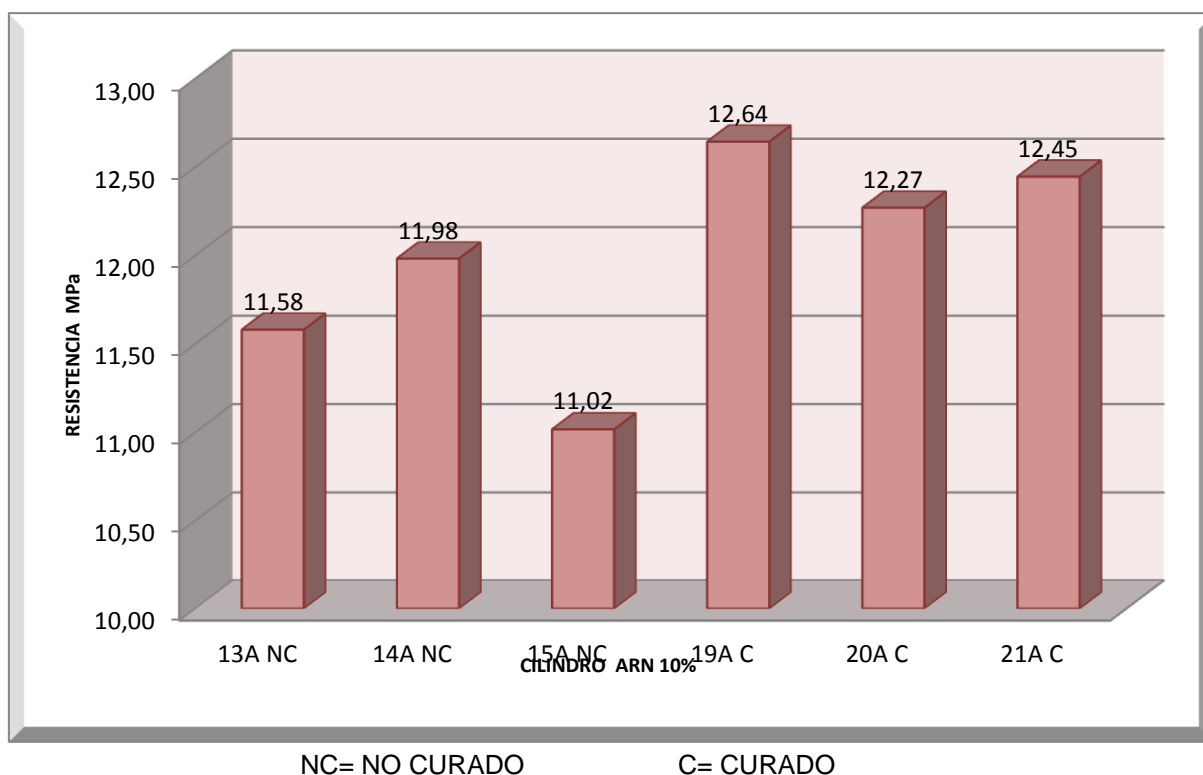
Fuente: Autores

Se puede determinar una variación notoria en la resistencia a la compresión ente los cilindros que fueron curados en inmersión en agua durante 28 días y los que simplemente fraguaron sin ningún tipo de curado; de esta manera podemos dimensionar la importancia del curado de la mezcla de concreto.

El promedio de resistencia a la compresión de los cilindros curados es de 28,5 MPa y los no curados alcanzaron un promedio de 23,2 MPa, presentando una reducción del 18,62% en la resistencia a la compresión frente a los cilindros curados.

En la gráfica 2 se presenta la resistencia a la compresión de cilindros que tuvieron una sustitución de agregado fino por neumático del 10%.

Grafica No. 2. Resistencia a la compresión, con sustitución de agregado fino por neumático de 10%. A/C 0,55.



Fuente: Autores

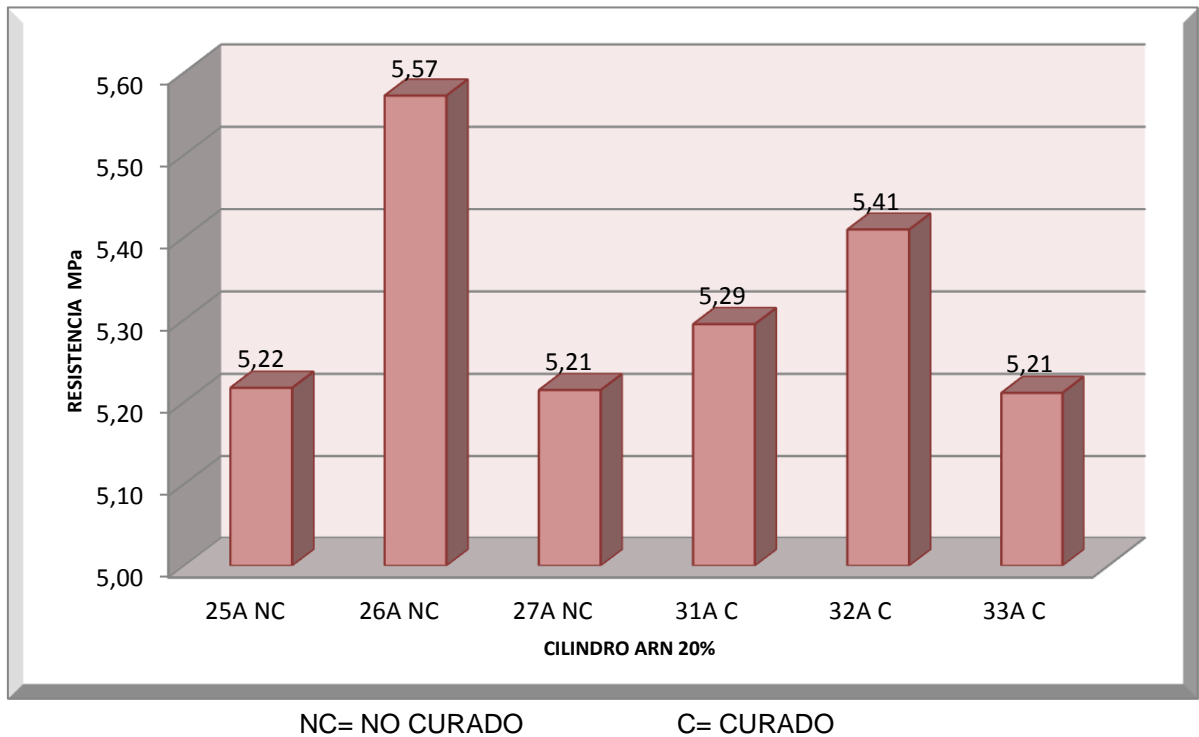
Fácilmente se puede establecer una variación de la resistencia a la compresión entre los cilindros que fueron curados y los no curados, lo cual nos permite establecer que en especímenes con sustitución de agregado fino por neumático, también es de gran importancia el curado del concreto.

Los cilindros curados alcanzaron un promedio de resistencia a la compresión de 12,5 MPa, mientras los no curados alcanzaron un promedio de 11,5 MPa, teniendo una reducción del 7,44%.



En la gráfica 3 se muestra la variación de la resistencia en especímenes de concreto a los cuales se les realizó sustitución de agregado fino por neumático de un 20%.

Grafica No. 3 Resistencia a la compresión, con sustitución de agregado fino por neumático de 20%. A/C 0,55.



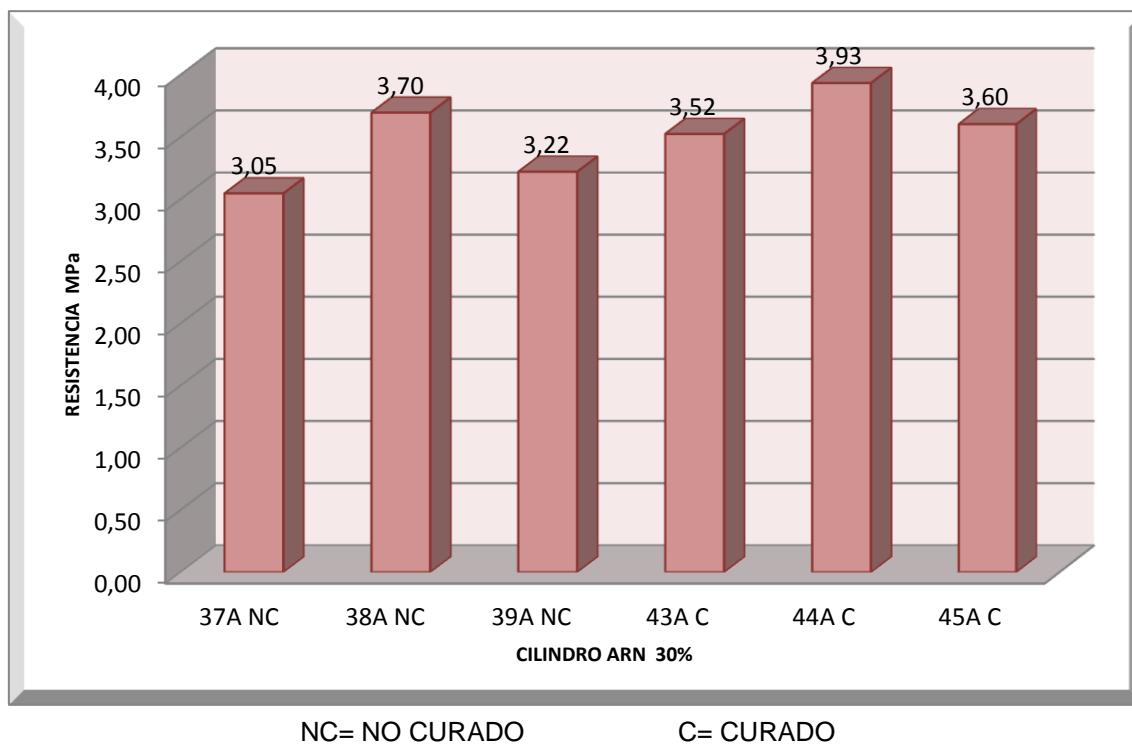
Fuente: Autores

En esta grafica podemos evidenciar que realmente la condición de cilindro curado o no curado no influyo en mayor medida en la resistencia a la compresión, además se observa con claridad que un dato se sale del promedio, posiblemente en la elaboración de los especímenes este tubo un mejor proceso.

En este caso los cilindros curados alcanzaron un promedio de resistencia de 5,3 MPa y los no curados de 5,3 MPa, de esta manera manteniéndose uniforme.

En la gráfica 4 se muestra los especímenes de ensayo que tuvieron sustitución de agregado fino por neumático del 30% y además una adición de microsilice del 5% en el peso del cemento.

Grafica No. 4. Resistencia a la compresión, con sustitución de agregado fino por neumático de 30% y 5% de microsilice. A/C 0,55.



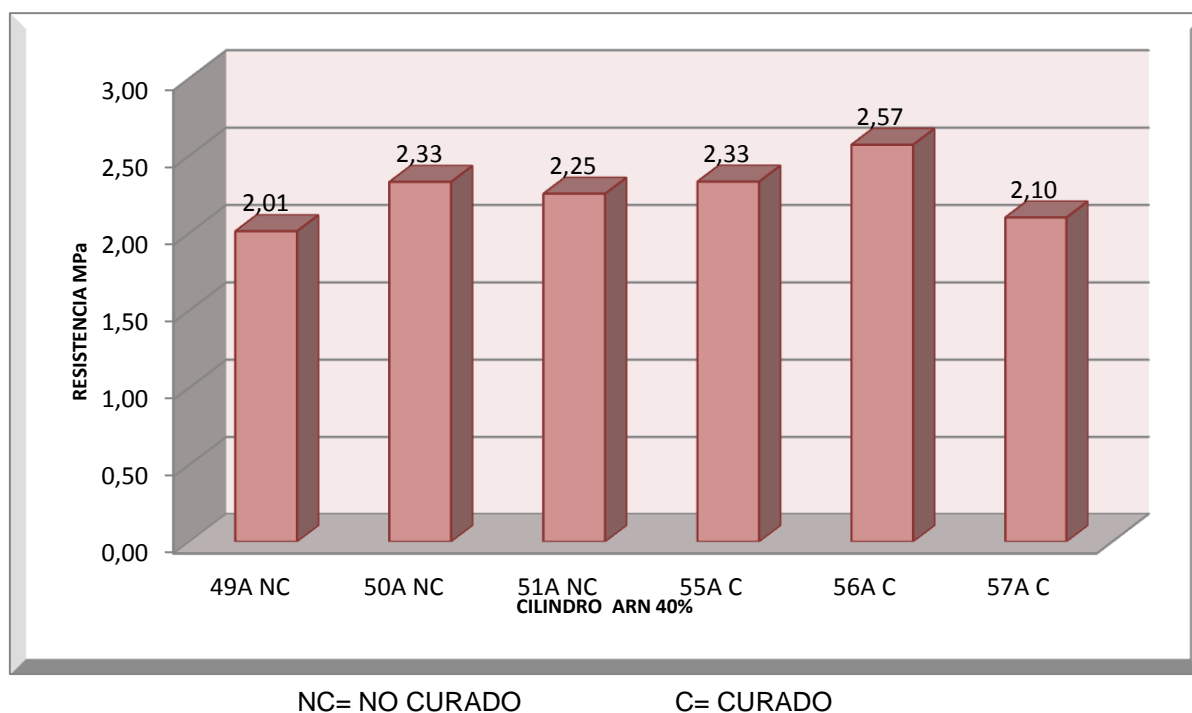
Fuente: Autores

Nuevamente se ve una diferencia en la resistencia a la compresión entre los cilindros que fueron curados en inmersión durante 28 días y los que no tuvieron curado, sin embargo no se evidencia un aumento de resistencia por la inclusión del microsilice y se mantiene la tendencia desde la primera sustitución.

El promedio de resistencia alcanzada por los cilindros curados fue de 3,7 MPa y los no curados alcanzaron un promedio de resistencia a la compresión de 3,3 MPa, obteniendo una reducción de 9,95%.

En la gráfica 5 se muestra los especímenes de ensayo que tuvieron sustitución de agregado fino por neumático del 40% y además una adición de microsilice del 5% en el peso del cemento.

Gráfica No. 5. Resistencia a la compresión, con sustitución de agregado fino por neumático de 40% y 5% de microsilice. A/C 0,55.



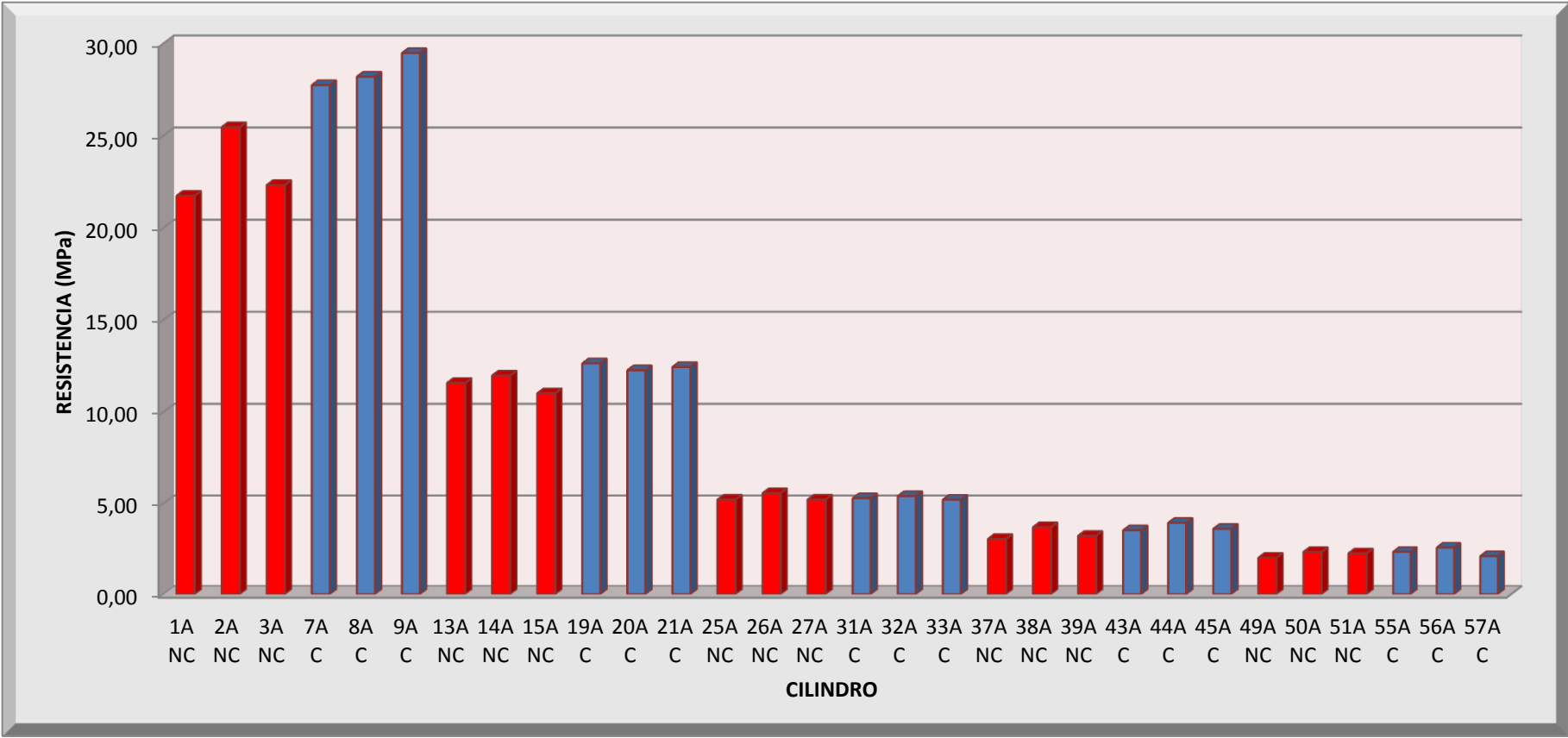
Fuente: Autores,

Se puede establecer una diferencia en la resistencia a la compresión entre los cilindros que fueron curados en inmersión durante 28 días, es decir aquellos que se mantuvieron con un contenido de humedad óptimo; y aquellos que simplemente se dejaron fraguar expuestos a agentes medio-ambientales normales.

El promedio de resistencia alcanzada por los cilindros curados fue de 2,3 MPa y los no curados de 2,2 MPa, alcanzando una reducción de 5,82%.

En la gráfica 6 se evidencia los especímenes de relación A/C 0,55 sometidos a ensayo de resistencia a la compresión en las diferentes sustituciones de agregado fino por neumático y con las adiciones de microsilice en las 2 sustituciones más grandes, además en las 2 condiciones curado (C) y no curado (NC).

Grafica No. 6. Resistencia a la compresión, con sustitución de agregado fino por neumático variable. A/C 0,55.



NC= NO CURADO

C= CURADO

Fuente: Autores

## ANÁLISIS GENERAL DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

A/C 0,55

En la gráfica 6 se puede observar una reducción significativa en la resistencia a la compresión a medida que se aumenta la sustitución de agregado fino por neumático.

Se puede afirmar que es más importante para la mezcla de concreto convencional las condiciones ideales de humedad y temperatura (curado), pues en nuestro ensayo se estableció que entre los cilindros estándar curados y no curados hubo una reducción de la resistencia que alcanzo el 18,62%, mientras que en los cilindros con sustitución de agregado fino por neumático la reducción de la resistencia a la compresión no supero el 10%.

A continuación presentaremos las comparaciones pertinentes para la relación A/C 0,55, en las diferentes sustituciones de agregado neumático.

- Concreto convencional, resistencia promedio = 25,8 MPa. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 10%, resistencia promedio = 12,0 MPa; en este caso se presentó una reducción del 53,58%.
- Concreto convencional, resistencia promedio = 25,8 MPa. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 20%, resistencia promedio = 5,3 MPa; en este caso se presentó una reducción del 79,46%.
- Concreto convencional, resistencia promedio = 25,8 MPa. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 30%, más adición de microsilice del 5%, resistencia promedio = 3,5 MPa; en este caso se presentó una reducción del 86,43%.
- Concreto convencional, resistencia promedio = 25,8 MPa. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 40%, más adición de microsilice del 5%, resistencia promedio = 2,3 MPa; en este caso se presentó una reducción del 91,10%.

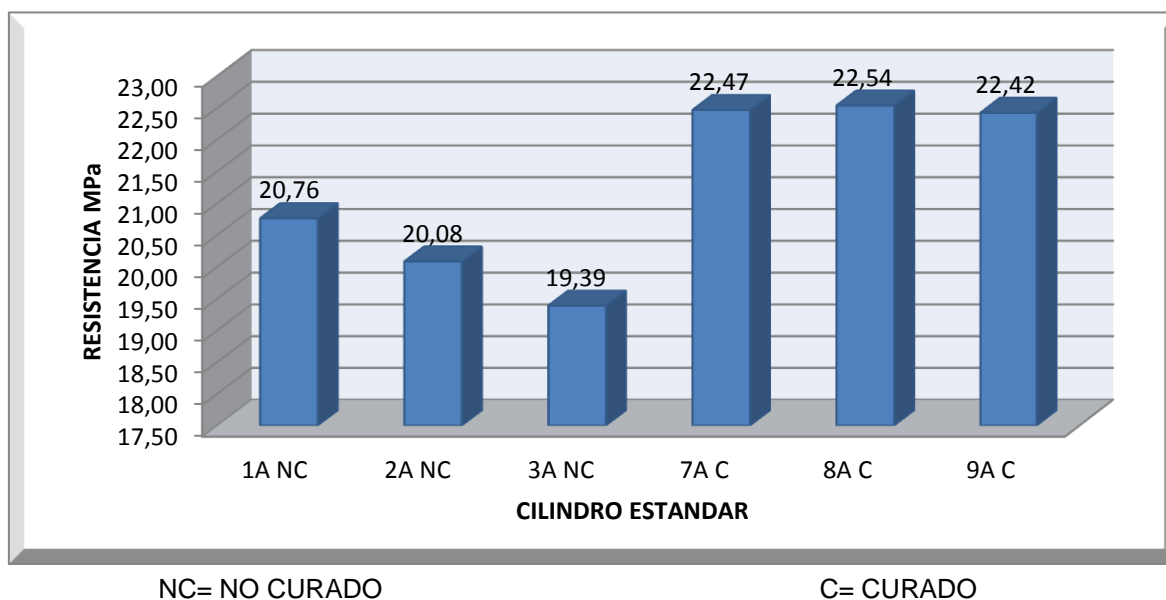
Obtenidos estos resultados básicamente se podría decir que la única mezcla que se podría llegar a utilizar seria la que tiene una sustitución de agregado fino por neumático del 10%, teniendo en cuenta un factor de seguridad del doble; de la misma manera se puede afirmar que las tres mezclas restantes serian obsoletas pues muestran una disminución en la resistencia a la compresión que supera el 60% por lo cual no sería idónea para la construcción.

De otra parte, es menester mencionar que la inclusión del microsilice en las mezclas de 30% y 40% de sustitución de agregado fino por neumático mostro una mejoría en la resistencia, pues al comparar las mezclas se obtuvo:

- ARN 0% = 25,8 MPa, frente a ARN 10% = 12,0 MPa reducción 53,58%
- ARN 10% = 12,0 MPa, frente a ARN 20% = 5,3 MPa; reducción 55,63%
- ARN 20% = 5,3 MPa, frente a ARN 30% + MICROSILICE 5% = 3,5 MPa; reducción 34,13%
- ARN 30% + MICROSILICE 5% = 3,5 MPa, frente a ARN 40% + MICROSILICE 5% = 2,3 MPa; reducción 35,32%.

De esta manera podemos concluir que en las mezclas sin inclusión de microsilice tuvo una tendencia a la baja en la resistencia a la compresión mayor al 50%, mientras que en las mezclas en donde se adiciono microsilice la tendencia a la baja fue un poco mayor al 30%, lo cual nos da a entender que el microsilice puede mejorar la resistencia a la compresión de las mezclas en aproximadamente un 20%.

Grafica No. 7. Resistencia a la compresión con una relación a/c 0,65 y un % de agregado neumático del 0%

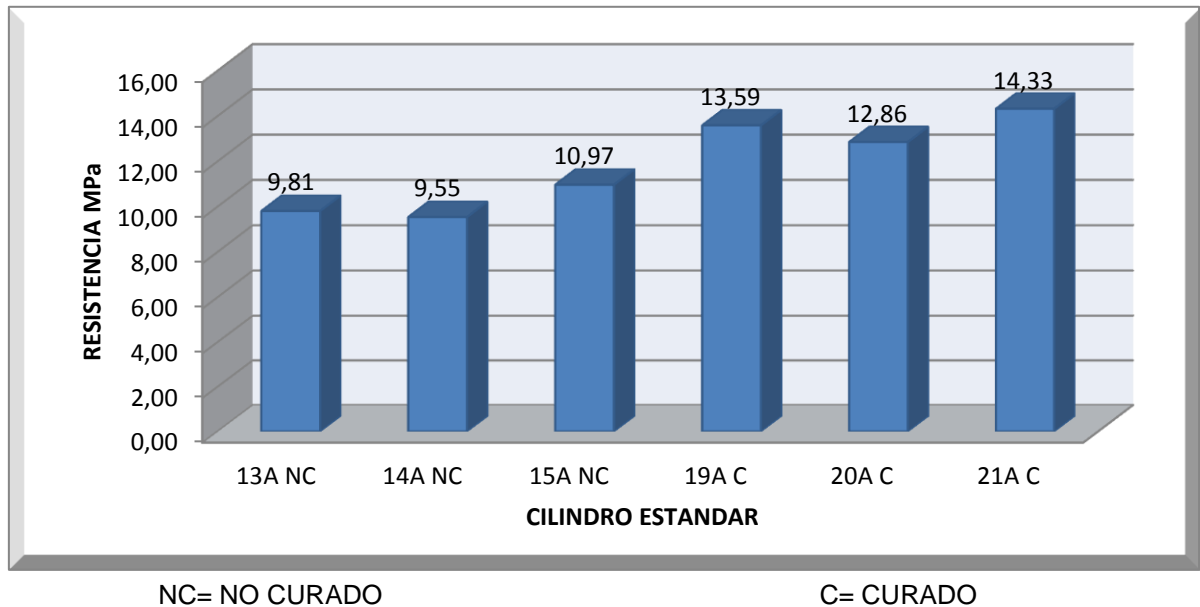


Fuente: Autores

Se puede determinar una variación notoria en la resistencia a la compresión ente los cilindros que fueron curados en inmersión en agua durante 28 días y los que simplemente fraguaron sin ningún tipo de curado; de esta manera podemos dimensionar la importancia del curado de la mezcla de concreto.

El promedio de resistencia a la compresión de los cilindros curados es de 22,5 MPa y los no curados alcanzaron un promedio de 20,1 MPa, presentando una reducción del 10,62% en la resistencia a la compresión frente a los cilindros curados

Grafica No. 8. Resistencia a la compresión con una relación A/C 0,65 y un % de agregado neumático del 10%

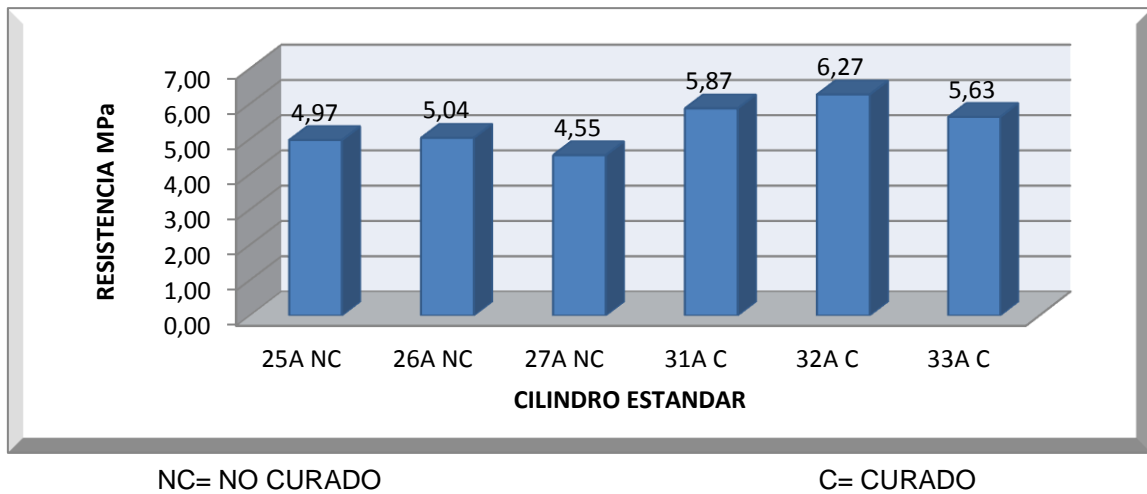


Fuente: Autores

Fácilmente se puede establecer una variación de la resistencia a la compresión entre los cilindros que fueron curados y los no curados, lo cual nos permite establecer que en especímenes con sustitución de agregado fino por neumático, también es de gran importancia el curado del concreto.

Los cilindros curados alcanzaron un promedio de resistencia a la compresión de 13,6 MPa, mientras los no curados alcanzaron un promedio de 10,1 MPa, teniendo una reducción del 25,6%%.

Grafica No. 9. Resistencia a la compresión con una relación A/C 0,65 y un % de agregado neumático del 20%

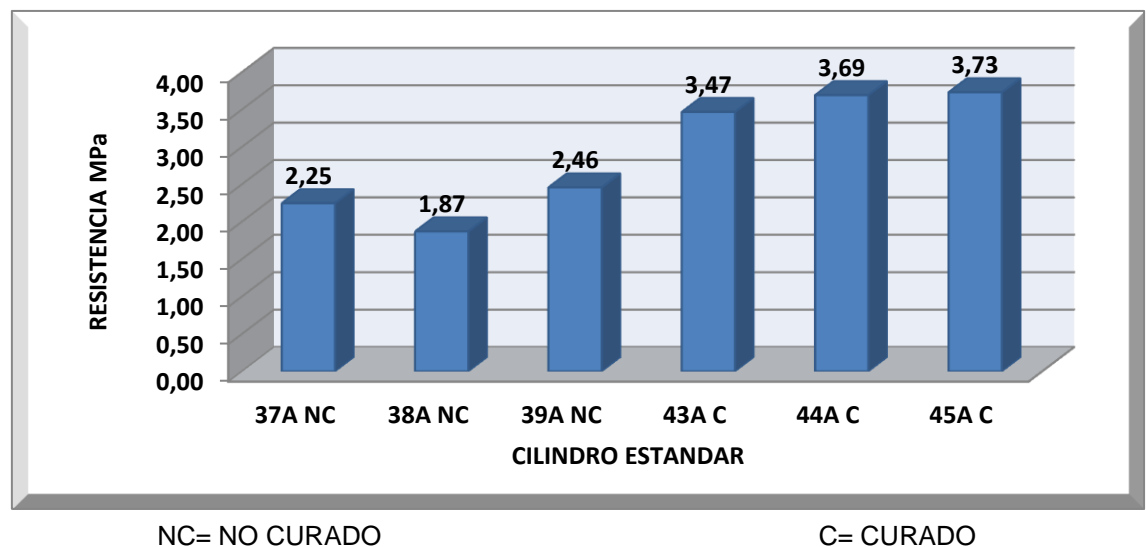


Fuente: Autores

En esta grafica podemos evidenciar que realmente la condición de cilindro curado o no curado no influyo en mayor medida en la resistencia a la compresión, además se observa con claridad que un dato se sale del promedio, posiblemente en la elaboración de los especímenes este tubo un mejor proceso.

En este caso los cilindros curados alcanzaron un promedio de resistencia de 5,9 MPa y los no curados de 4,9 MPa, de esta manera manteniéndose uniforme.

Grafica No. 10. Resistencia a la compresión con una relación A/C 0,65 y un % de agregado neumático del 30% mas 5 % de microsilice

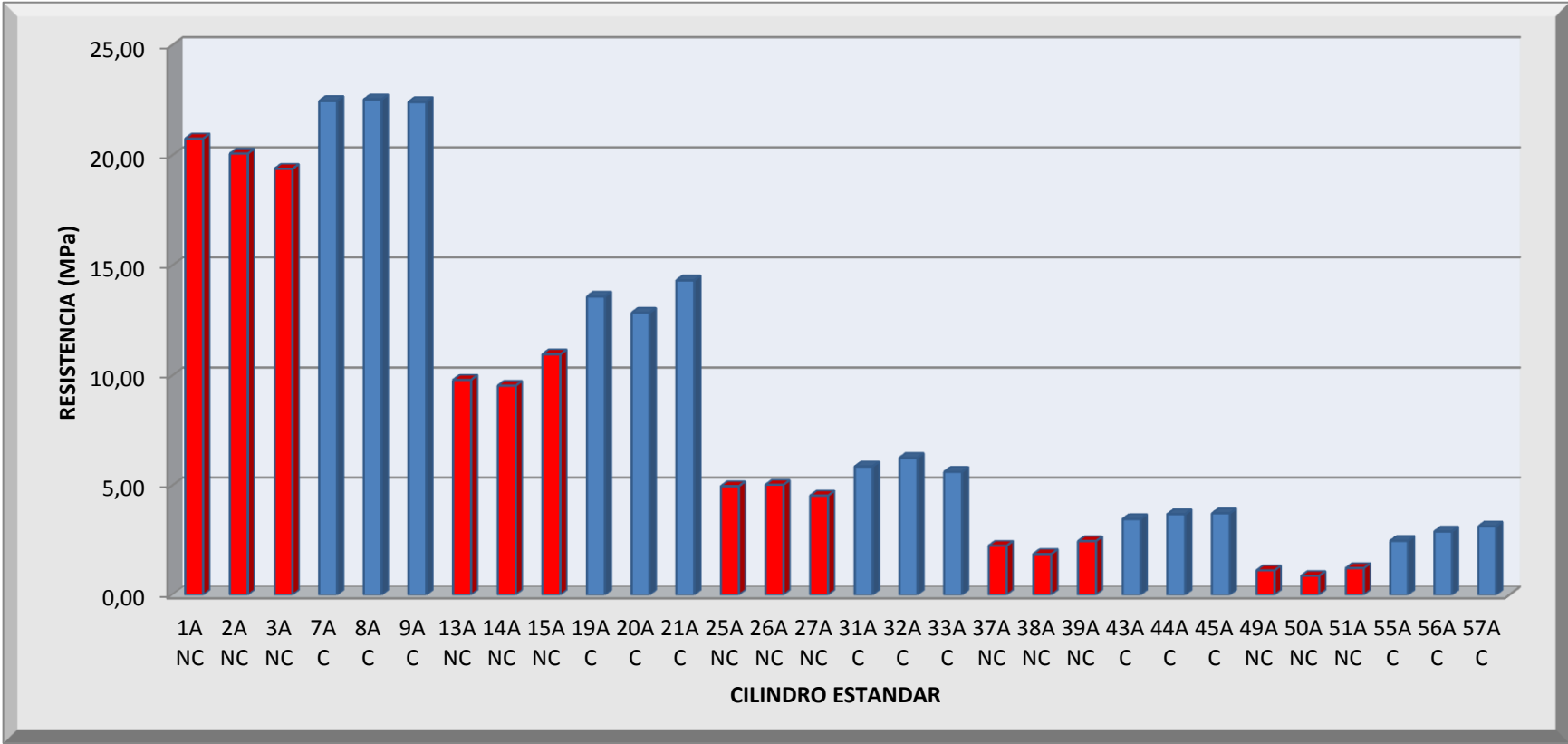


Fuente: Autores





Grafica No. 12. Resistencia a la compresión con una relación A/C 0,65



NC= NO CURADO

C= CURADO

Fuente: Autores

## ANÁLISIS GENERAL DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

A/C 0,65

En la gráfica 12 se puede observar una reducción significativa en la resistencia a la compresión a medida que se aumenta la sustitución de agregado fino por neumático.

Se puede afirmar que es más importante para la mezcla de concreto convencional las condiciones ideales de humedad y temperatura (curado), pues en nuestro ensayo se estableció que entre los cilindros estándar curados y no curados hubo una reducción de la resistencia que alcanzo el 10,7%, mientras que en los cilindros con sustitución de agregado fino por neumático la reducción de la resistencia a la compresión no supero el 10%.

A continuación presentaremos las comparaciones pertinentes para la relación A/C 0,65, en las diferentes sustituciones de agregado neumático.

- Concreto convencional, resistencia promedio = 21,3 MPa. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 10%, resistencia promedio = 11,9 MPa; en este caso se presentó una reducción del 44.3%.
- Concreto convencional, resistencia promedio = 21,3 MPa. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 20%, resistencia promedio = 5,4 MPa; en este caso se presentó una reducción del 74.7%.
- Concreto convencional, resistencia promedio = 21,3 MPa. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 30%, más adición de microsilice del 5%, resistencia promedio = 2,9 MPa; en este caso se presentó una reducción del 86,3%.
- Concreto convencional, resistencia promedio = 25,8 MPa. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 40%, más adición de microsilice del 5%, resistencia promedio = 2,0 MPa; en este caso se presentó una reducción del 90,8%.

Obtenidos estos resultados básicamente se podría decir que la única mezcla que se podría llegar a utilizar seria la que tiene una sustitución de agregado fino por neumático del 10%, teniendo en cuenta un factor de seguridad del doble; de la misma manera se puede afirmar que las tres mezclas restantes serian obsoletas pues muestran una disminución en la resistencia a la compresión que supera el 60% por lo cual no sería idónea para la construcción.

De otra parte, es menester mencionar que la inclusión del microsilice en las mezclas de 30% y 40% de sustitución de agregado fino por neumático mostro una mejoría en la resistencia, pues al comparar las mezclas se obtuvo:

- ARN 0% = 21,3 MPa, frente a ARN 10% = 11,9 MPa; reducción 44,3%
- ARN 10% = 11,9 MPa, frente a ARN 20% = 5,4 MPa; reducción 54,53%
- ARN 20% = 5,4 MPa, frente a ARN 30% + MICROSILICE 5% = 2,9 MPa; reducción 45,98%
- ARN 30% + MICROSILICE 5% = 2,9 MPa, frente a ARN 40% + MICROSILICE 5% = 2,0 MPa; reducción 32,92%.

De esta manera podemos concluir que en las mezclas sin inclusión de microsilice tuvo una tendencia a la baja en la resistencia a la compresión mayor al 50%, mientras que en las mezclas en donde se adiciono microsilice la tendencia a la baja fue un poco mayor al 30%, lo cual nos da a entender que el microsilice puede mejorar la resistencia a la compresión de las mezclas en aproximadamente un 20%

## DENSIDADES DE CONCRETO

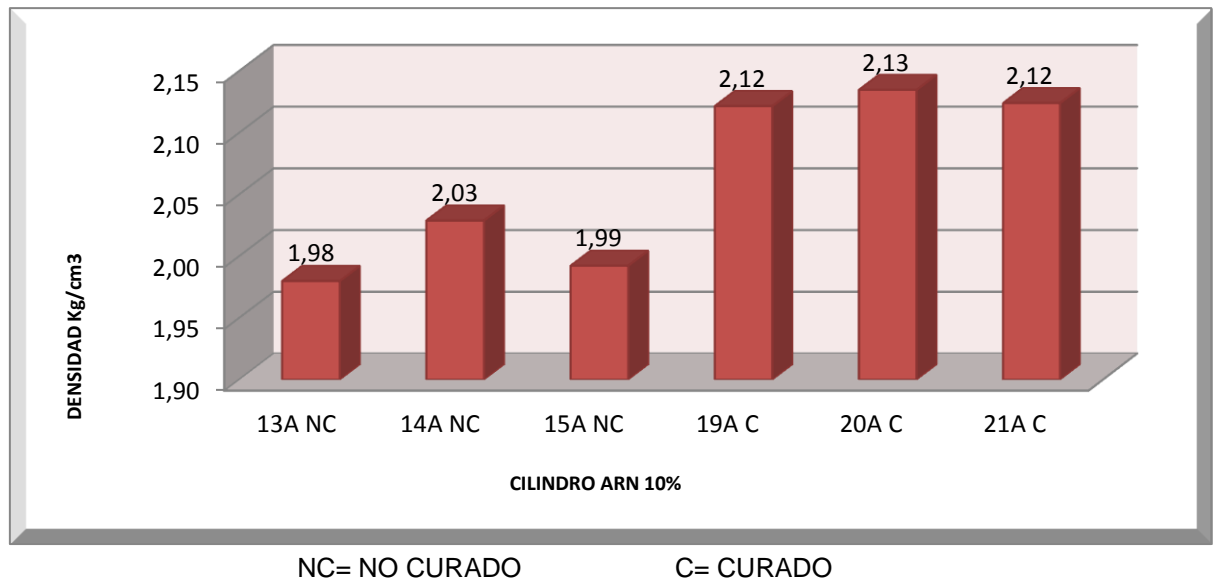
Tabla No. 13. Densidades de concreto con relación A/C 0,55

DENSIDAD DE ESPECIMENES							
	Nº CILINDRO	DIAMETRO (cm)	MASA (gr)	ALTURA (cm)	AREA SECCION (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )
ARN 0	1A NC	10,21	3475	20,20	81,87	1653,84	2,10
	2A NC	10,22	3494	20,30	81,95	1663,66	2,10
	3A NC	10,21	3487	20,00	81,79	1635,86	2,13
	7A C	10,32	3730	20,20	83,57	1688,03	2,21
	8A C	10,32	3761	20,10	83,57	1679,68	2,24
	9A C	10,18	3609	20,20	81,39	1644,14	2,20
ARN 10%	13A NC	10,15	3220	20,10	80,91	1626,37	1,98
	14A NC	10,10	3316	20,40	80,12	1634,42	2,03
	15A NC	10,25	3370	20,50	82,52	1691,58	1,99
	19A C	10,15	3502	20,40	80,91	1650,64	2,12
	20A C	10,10	3472	20,30	80,12	1626,41	2,13
	21A C	10,15	3506	20,40	80,91	1650,64	2,12
ARN 20%	25A NC	10,10	3060	20,30	80,12	1626,41	1,88
	26A NC	10,05	3900	20,30	79,33	1610,35	2,42
	27A NC	10,18	3065	20,20	81,31	1642,52	1,87
	31A C	10,05	3071	20,20	79,33	1602,41	1,92
	32A C	10,20	3264	20,40	81,71	1666,95	1,96
	33A C	10,25	3201	20,30	82,52	1675,08	1,91
ARN 30% + 5% Microsilice	37A NC	10,10	2697	20,00	80,12	1602,37	1,68
	38A NC	10,15	2811	20,20	80,91	1634,46	1,72
	39A NC	10,10	2706	20,10	80,12	1610,38	1,68
	43A C	10,20	2977	20,30	81,71	1658,77	1,79
	44A C	10,00	2863	20,10	78,54	1578,65	1,81
	45A C	10,00	2924	20,10	78,54	1578,65	1,85
ARN 40% + 5% Microsilice	49A NC	10,00	2410	20,00	78,54	1570,80	1,53
	50A NC	10,00	2475	20,00	78,54	1570,80	1,58
	51A NC	10,00	2490	20,00	78,54	1570,80	1,59
	55A C	10,05	2731	20,00	79,33	1586,55	1,72
	56A C	10,15	2921	20,20	80,91	1634,46	1,79
	57A C	10,30	2774	20,20	83,32	1683,13	1,65

Fuente: Autores.



Grafica No. 14. Densidad de concreto con relación A/C 0,55 y agregado neumático de 10%.

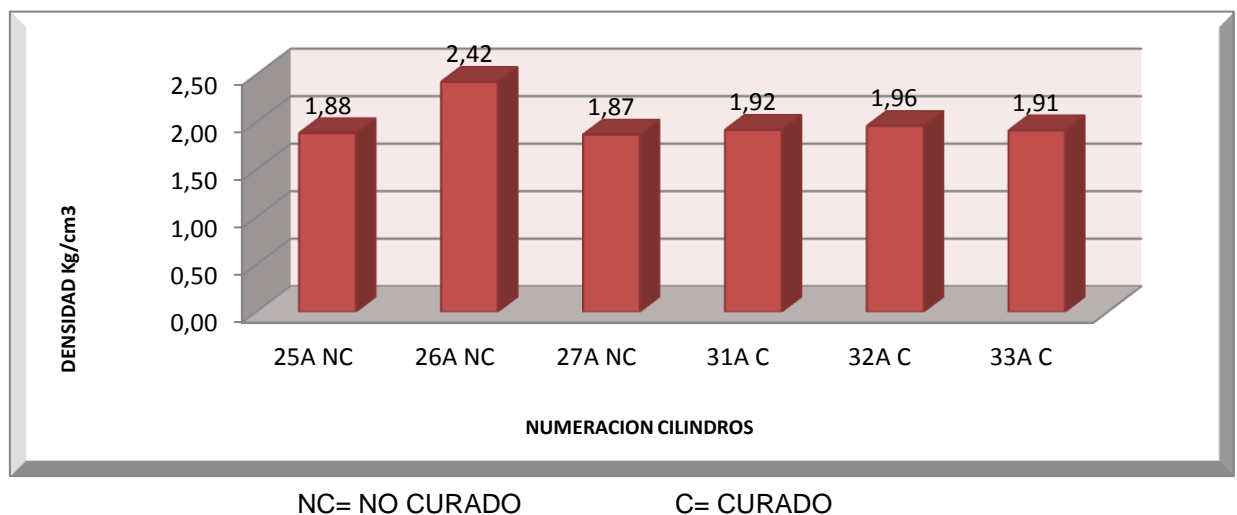


Fuente: Autores

Los cilindros curados tienen un promedio de densidad del 2,13 gr/cm<sup>3</sup>, mientras los no curados tienen un promedio de densidad del 2,00 gr/cm<sup>3</sup>, presentando una reducción del 5,95%; posiblemente este cambio es debido a que los cilindros curados aun contenían agua en sus poros lo cual genero un aumento de masa y por ende una densidad más alta respecto a los no curado.

A continuación en la gráfica 15 se presentan las densidades para una mezcla de concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 20%.

Grafica No. 15. Densidad de concreto con relación A/C 0,55 y agregado neumático de 20%.

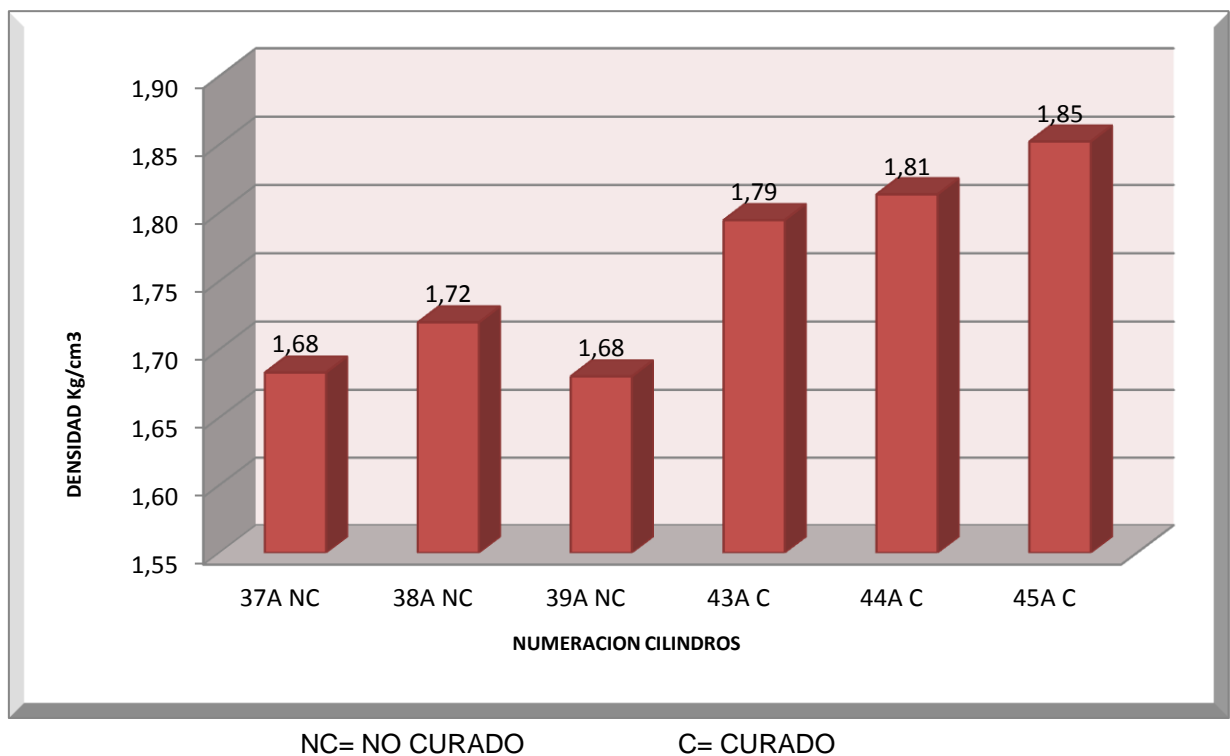


Fuente: Autores

Los cilindros curados alcanzaron una densidad promedio de 1,93 gr/cm<sup>3</sup>, mientras los cilindros no curados llegaron a obtener una densidad promedio de 2,06 gr/cm<sup>3</sup>, teniendo un aumento del 6,63%, lo cual no es usual, sin embargo en la gráfica podemos identificar un pico en los cilindros no curados, el cual levanto el promedio de los mismo, esto se debe a que probablemente este espécimen tubo algún proceso diferente a sus análogos.

La grafica 16 muestra las densidades de los especímenes de ensayo que contenían sustitución de agregado fino por neumático del 30% y una adición de microsilice del 5%.

Grafica No.16. Densidad de concreto con relación A/C 0,55 y agregado neumático de 30% más 5% de microsilice.



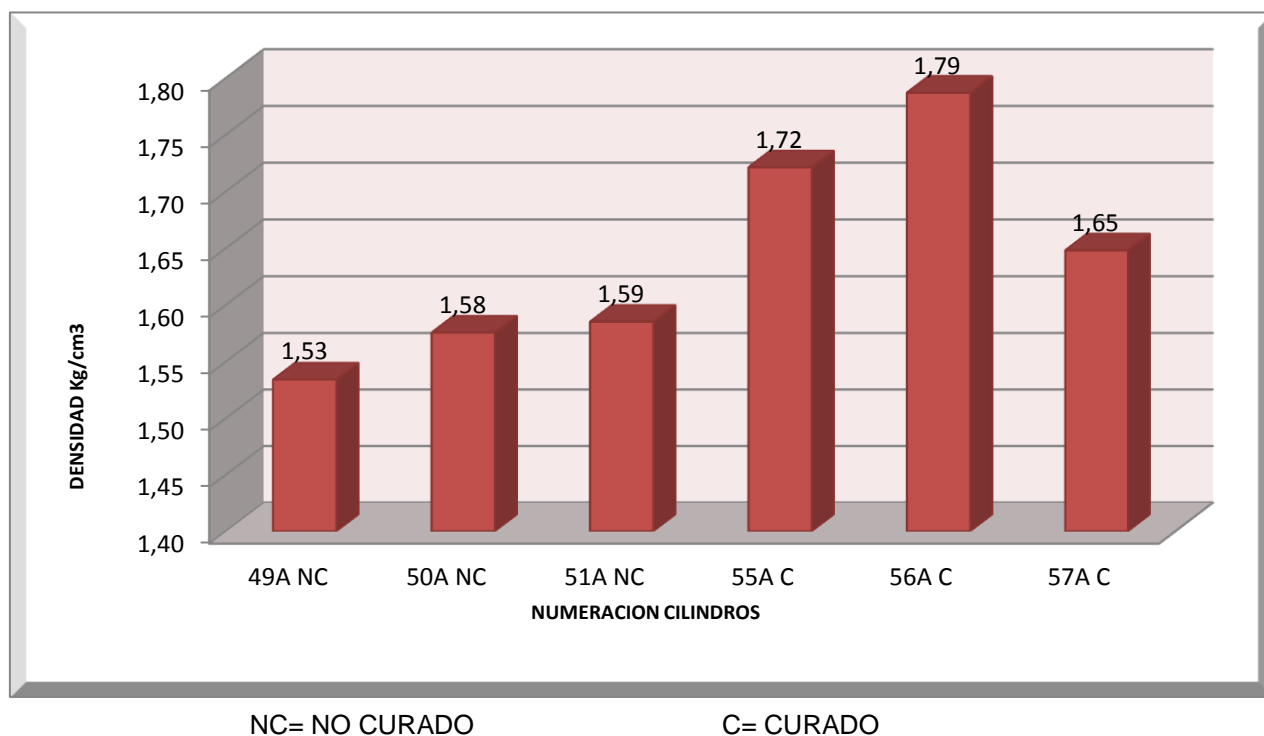
Fuente: Autores

Los cilindros curados tienen un promedio de densidad del 1,82 gr/cm<sup>3</sup>, mientras los no curados tienen un promedio de densidad del 1,69 gr/cm<sup>3</sup>, presentando una reducción del 6,91%; posiblemente este cambio es debido a que los cilindros curados aun contenían agua en sus poros lo cual genero un aumento de masa y por ende una densidad más alta respecto a los no curado.



La grafica 17 muestra las densidades de los especímenes de ensayo que contenían sustitución de agregado fino por neumático del 40% y una adición de microsilice del 5%.

Grafica No.17. Densidad de concreto con relación A/C 0,55 y agregado neumático de 40% más 5% de microsilice.

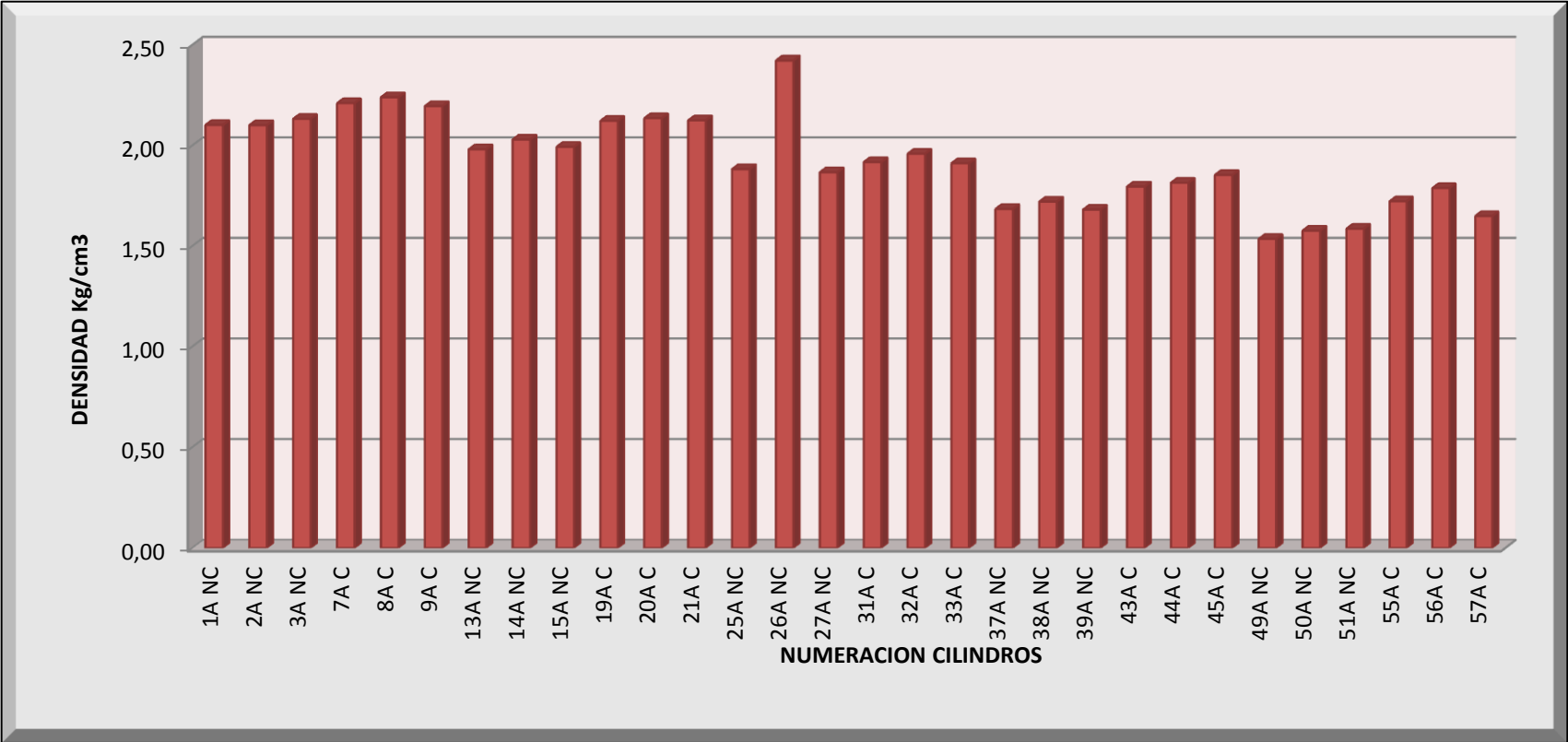


Fuente: Autores

Los cilindros curados tienen un promedio de densidad del  $1,72 \text{ gr/cm}^3$ , mientras los no curados tienen un promedio de densidad del  $1,57 \text{ gr/cm}^3$ , presentando una reducción del 8,95%; posiblemente este cambio es debido a que los cilindros curados aun contenían agua en sus poros lo cual genero un aumento de masa y por ende una densidad más alta respecto a los no curado.

En la gráfica 18 se evidencia los especímenes de relación A/C 0,55 a los cuales se les tomaron sus dimensiones y masa para determinar su densidad, vale la pena mencionar que dichos cilindros se encontraban con diferentes sustituciones de agregado fino por neumático y con las adiciones de microsilice en las 2 sustituciones más grandes, además en las 2 condiciones curado (C) y no curado (NC).

Grafica No. 18. Densidad de concreto con relación A/C 0,55 y agregado neumático variable.



NC= NO CURADO

C= CURADO

Fuente: Autores

## ANÁLISIS GENERAL DE LA DENSIDAD

A/C 0,55

En la gráfica 13 se puede observar con claridad que la tendencia es que a mayor sustitución de agregado fino por caucho menor es la densidad y esto es directamente proporcional a su masa, ya que esta es la que realmente está variando pues a mayor inclusión de caucho menor es la masa de la mezcla. Todo esto se debe a que el caucho pesa menos que la arena y además tiene un mayor volumen, lo cual genera este cambio en los valores de densidad en una mezcla de concreto.

De otra parte es de mencionar que durante el proceso de elaboración de los cilindros se evidencio físicamente que con el mismo diseño de mezcla para todas las tandas de cilindros a medida que se realizaba la sustitución de agregado fino por caucho y se aumentaba este porcentaje el volumen de la mezcla también aumentaba.

A continuación presentamos las discrepancias entre densidades de las diferentes sustituciones de agregado fino por neumático y con las adiciones de microsilice.

- Concreto convencional, densidad promedio = 2,16 gr/cm<sup>3</sup>. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 10% densidad promedio = 2,06 gr/cm<sup>3</sup>; en este caso presento una reducción del 4,60%.
- Concreto convencional, densidad promedio = 2,16 gr/cm<sup>3</sup>. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 20% densidad promedio = 1,99 gr/cm<sup>3</sup>; en este caso presento una reducción del 7,87%.
- Concreto convencional, densidad promedio = 2,16 gr/cm<sup>3</sup>. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 30% más adición de microsilice del 5% densidad promedio = 1,76 gr/cm<sup>3</sup>; en este caso presento una reducción del 18,52%.

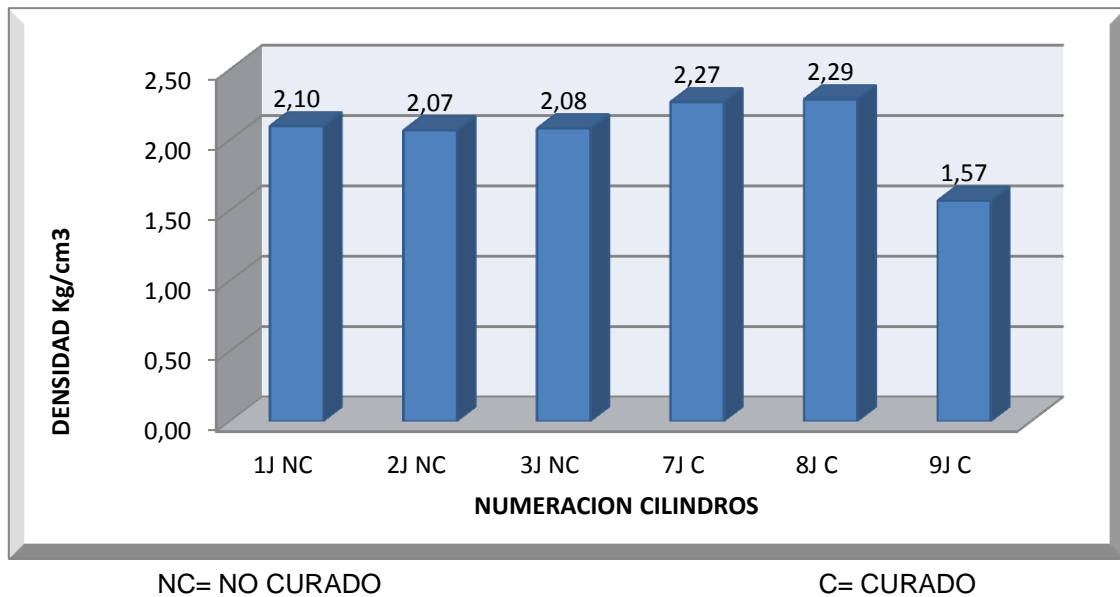
Concreto convencional, densidad promedio = 2,16 gr/cm<sup>3</sup>. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 40% más adición de microsilice del 5% densidad promedio = 1,64 gr/cm<sup>3</sup>; en este caso presento una reducción del 24,07%

Tabla No. 14. Densidades de concreto con relación A/C 0,65

DENSIDAD DE ESPECÍMENES							
	N <sup>o</sup> CILINDRO	DIÁMETRO (cm)	MAS A (gr)	ALTURA (cm)	ÁREA SECCIÓN (cm <sup>2</sup> )	VOLUME N (cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )
ARN 0	1J NC	10.18	3433	20.10	81.39	1636.00	2.10
	2J NC	10.32	3458	20.00	83.65	1672.94	2.07
	3J NC	10.25	3441	20.05	82.52	1654.45	2.08
	7J C	10.10	3690	20.30	80.12	1626.41	2.27
	8J C	10.14	3715	20.10	80.75	1623.17	2.29
	9J C	10.11	2566	20.40	80.28	1637.66	1.57
ARN 10%	13J NC	10.19	3179	20.15	81.55	1643.29	1.93
	14J NC	10.20	3225	20.35	81.71	1662.86	1.94
	15J NC	10.22	3290	20.30	82.03	1665.29	1.98
	19J C	10.15	3415	20.40	80.91	1650.64	2.07
	20J C	10.10	3350	20.10	80.12	1610.38	2.08
	21J C	10.11	3495	20.15	80.28	1617.59	2.16
ARN 20%	25J NC	10.12	2080	20.30	80.44	1632.86	1.27
	26J NC	10.18	3150	20.20	81.39	1644.14	1.92
	27J NC	10.18	2098	20.10	81.39	1636.00	1.28
	31J C	10.20	3035	20.20	81.71	1650.60	1.84
	32J C	10.08	3110	20.50	79.80	1635.93	1.90
	33J C	10.20	3002	20.10	81.71	1642.43	1.83
ARN 30% + 5% Microsilice	37J NC	10.10	3497	20.15	80.12	1614.39	2.17
	38J NC	10.11	2715	20.00	80.28	1605.55	1.69
	39J NC	10.18	2680	20.20	81.39	1644.14	1.63
	43J C	10.14	2740	20.20	80.75	1631.24	1.68
	44J C	10.00	2710	20.30	78.54	1594.36	1.70
	45J C	10.12	2738	20.10	80.44	1616.77	1.69
ARN 40% + 5% Microsilice	49J NC	10.12	2220	20.00	80.44	1608.73	1.38
	50J NC	10.14	2290	20.10	80.75	1623.17	1.41
	51J NC	10.20	2310	20.50	81.71	1675.12	1.38
	55J C	10.15	2451	20.20	80.91	1634.46	1.50
	56J C	10.05	2520	20.20	79.33	1602.41	1.57
	57J C	10.28	2500	20.20	83.00	1676.60	1.49

FUENTE: AUTORES

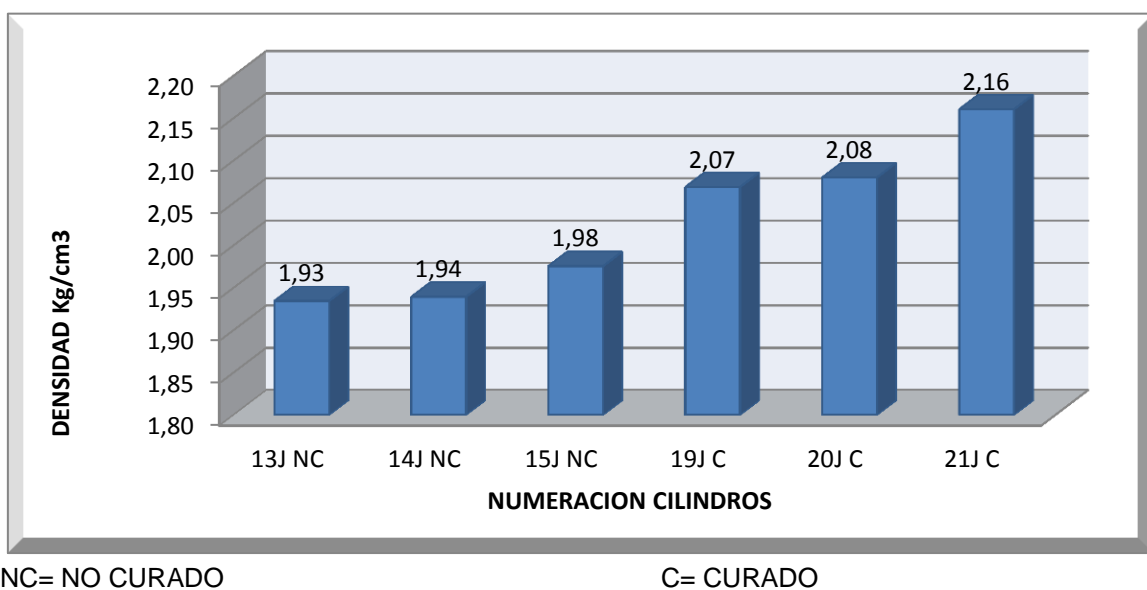
Grafica No.19. Ddensidad de concreto con relación A/C 0,65 y agregado neumático del 0%



Fuente: Autores.

Los cilindros curados tienen un promedio de densidad del 2,08 gr/cm<sup>3</sup>, mientras los no curados tienen un promedio de densidad del 2,04 gr/cm<sup>3</sup>, presentando una reducción del 1,93%; posiblemente este cambio es debido a que los cilindros curados aun contenían agua en sus poros lo cual genero un aumento de masa no muy notorio y por ende una densidad más alta respecto a los no curado.

Grafica No.20. Densidad de concreto con relación A/C 0,65 y agregado neumático del 10%



Fuente: Autores.





Los cilindros curados tienen un promedio de densidad del 1,52 gr/cm<sup>3</sup>, mientras los no curados tienen un promedio de densidad del 1,39 gr/cm<sup>3</sup>, presentando una reducción del 8,62%; posiblemente este cambio es debido a que los cilindros curados aun contenían agua en sus poros lo cual genero un aumento de masa y por ende una densidad más alta respecto a los no curado.





## ANÁLISIS GENERAL DE LA DENSIDAD

A/C 0,65

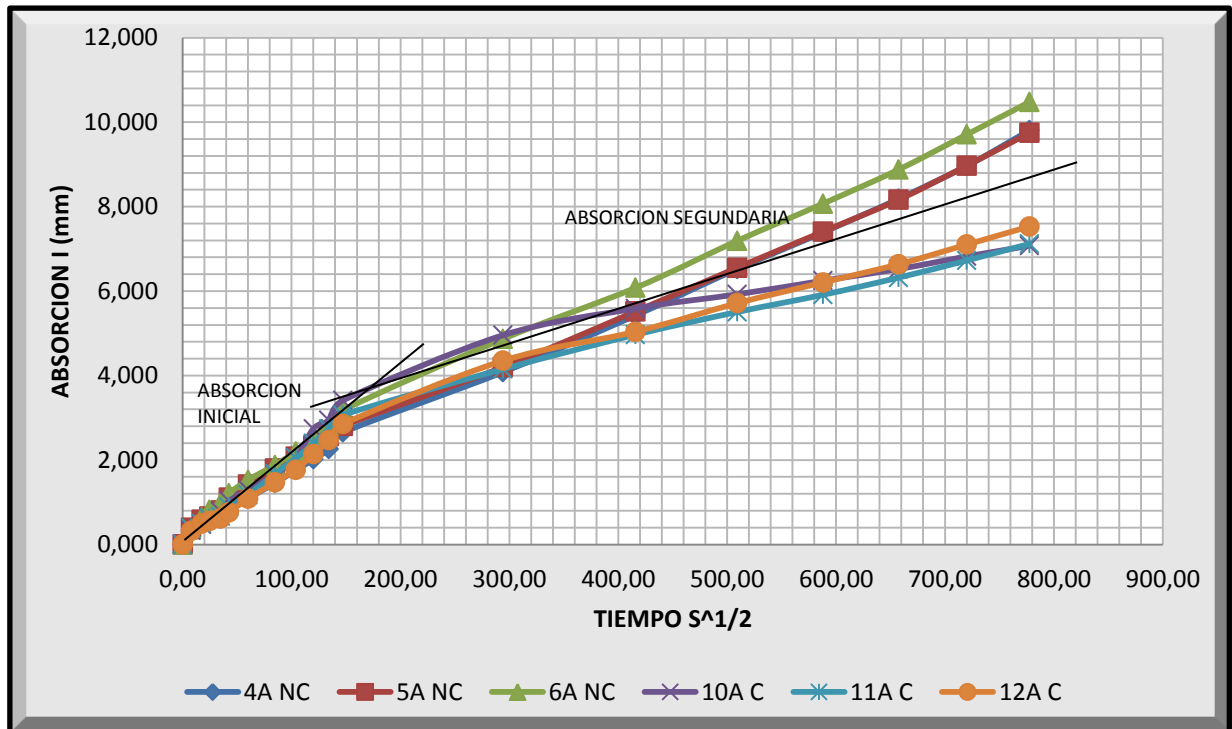
En la gráfica 13 se puede observar con claridad que la tendencia es que a mayor sustitución de agregado fino por caucho menor es la densidad y esto es directamente proporcional a su masa, ya que esta es la que realmente está variando pues a mayor inclusión de caucho menor es la masa de la mezcla. Todo esto se debe a que el caucho pesa menos que la arena y además tiene un mayor volumen, lo cual genera este cambio en los valores de densidad en una mezcla de concreto.

De otra parte es de mencionar que durante el proceso de elaboración de los cilindros se evidencio físicamente que con el mismo diseño de mezcla para todas las tandas de cilindros a medida que se realizaba la sustitución de agregado fino por caucho y se aumentaba este porcentaje el volumen de la mezcla también aumentaba.

A continuación presentamos las discrepancias entre densidades de las diferentes sustituciones de agregado fino por neumático y con las adiciones de microsilice.

- Concreto convencional, densidad promedio = 2,06 gr/cm<sup>3</sup>. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 10% densidad promedio = 2,03 gr/cm<sup>3</sup>; en este caso presento una reducción del 1,70%.
- Concreto convencional, densidad promedio = 2,06 gr/cm<sup>3</sup>. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 20% densidad promedio = 1,67 gr/cm<sup>3</sup>; en este caso presento una reducción del 18,84%.
- Concreto convencional, densidad promedio = 2,06 gr/cm<sup>3</sup>. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 30% más adición de microsilice del 5% densidad promedio = 1,76 gr/cm<sup>3</sup>; en este caso presento una reducción del 14,63%.
- Concreto convencional, densidad promedio = 2,06 gr/cm<sup>3</sup>. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 40% más adición de microsilice del 5% densidad promedio = 1,46 gr/cm<sup>3</sup>; en este caso presento una reducción del 29,40%.

Grafica No.25. Sortividad para concreto A/C 0,55 y sustitución de neumático de 0%



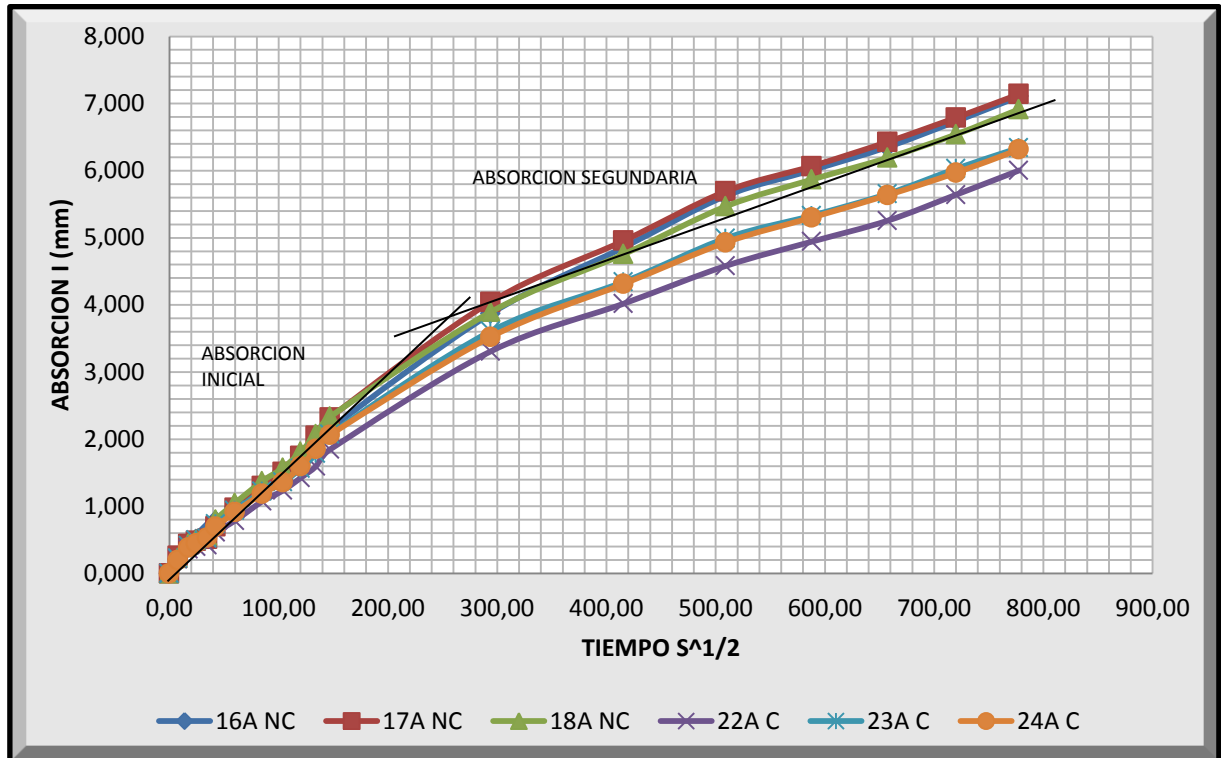
FUENTE: Autores

Podemos determinar de la gráfica que los cilindros no curados presentan una absorción secundaria mayor a los curados, posiblemente por la carencia de agua a la cual estuvieron expuestos durante su proceso de fraguado.

Los cilindros no curados llegaron a una absorción secundaria promedio de 7,44 mm, mientras que los cilindros curados alcanzaron una absorción secundaria promedio de 6,02 mm, estableciendo una reducción del 19,07%.

En la gráfica 26 se presenta la absorción de agua en relación a la raíz cuadrada del tiempo para especímenes con sustitución de agregado fino por neumático de un 10%

Grafica No. 26. Sortividad para concreto A/C 0,55 y sustitución de neumático de 10%.



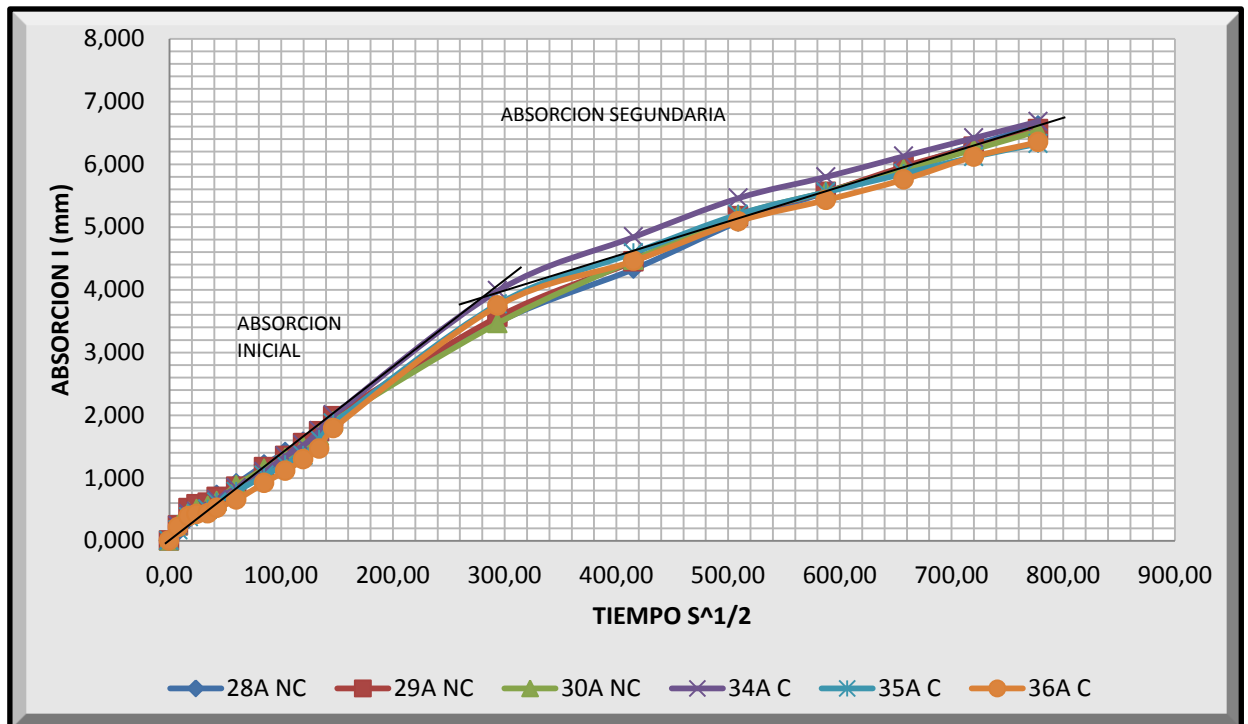
FUENTE: Autores

Podemos observar en la gráfica que los cilindros no curados presentan una absorción secundaria mayor a los curados, posiblemente por la carencia de agua a la cual estuvieron expuestos durante su proceso de fraguado.

Los cilindros no curados alcanzaron un promedio de absorción secundaria de 5,78 mm, mientras los cilindros curados llegaron a una absorción secundaria promedio de 5,05 mm, llegando a una reducción de 12,58%

A continuación en la gráfica 27 presentamos la absorción de agua frente a la raíz cuadrada del tiempo de cilindros de concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 20%, en condiciones de fraguado de curado y no curado.

Grafica No. 27. Sortividad para concreto A/C 0,55 y sustitución de neumático de 20%.



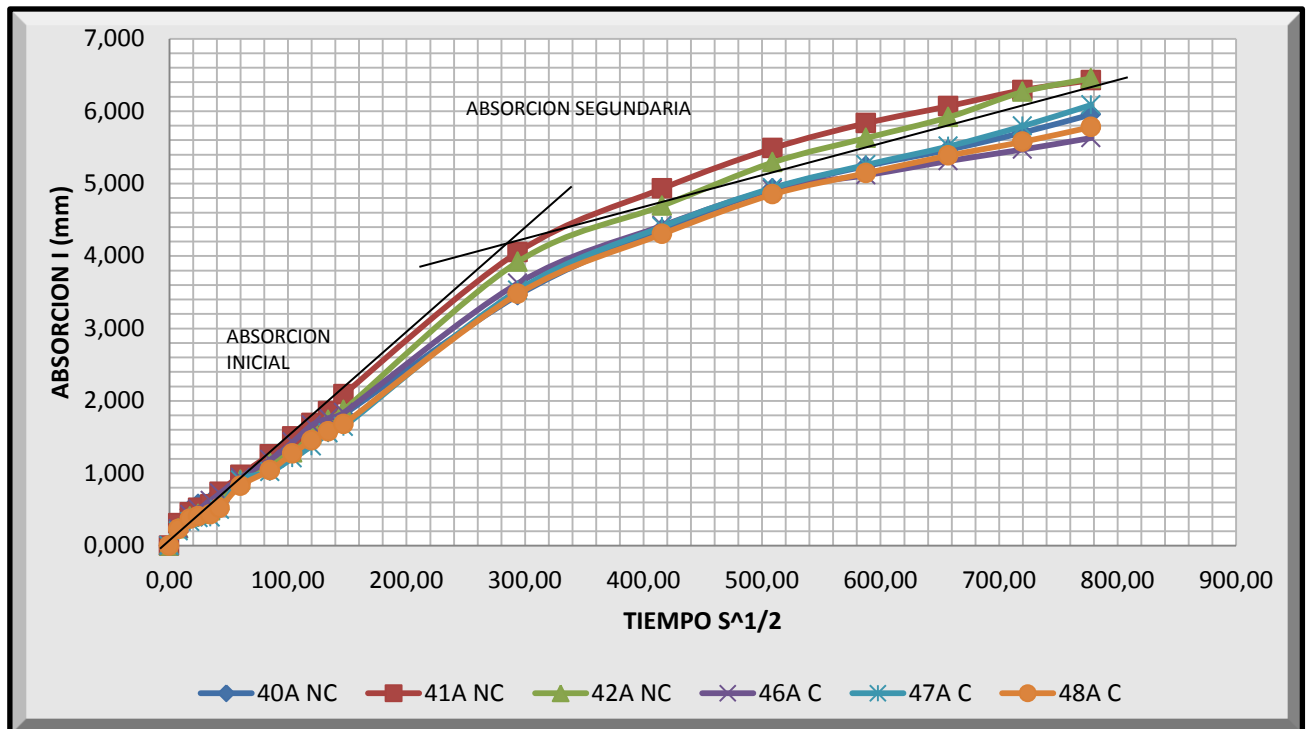
Fuente: Autores

Realmente la gráfica nos permite deducir que no hay una dispersión en los datos y más bien todos los especímenes mantuvieron la misma tendencia de absorción durante el tiempo.

Los cilindros no curados alcanzaron una absorción secundaria promedio de 5,34 mm, mientras los cilindros curados llegaron a una absorción secundaria promedio de 5,41mm, alcanzando una aumento de 1,29%.

En la gráfica 28 se presenta la absorción de agua en relación a la raíz cuadrada del tiempo para especímenes con sustitución de agregado fino por neumático de un 30% más adición de microsíllice del 5%.

Grafica No 28. Sortividad para concreto A/C 0,55 y sustitución de neumático de 30%, más 5% de microsilice.



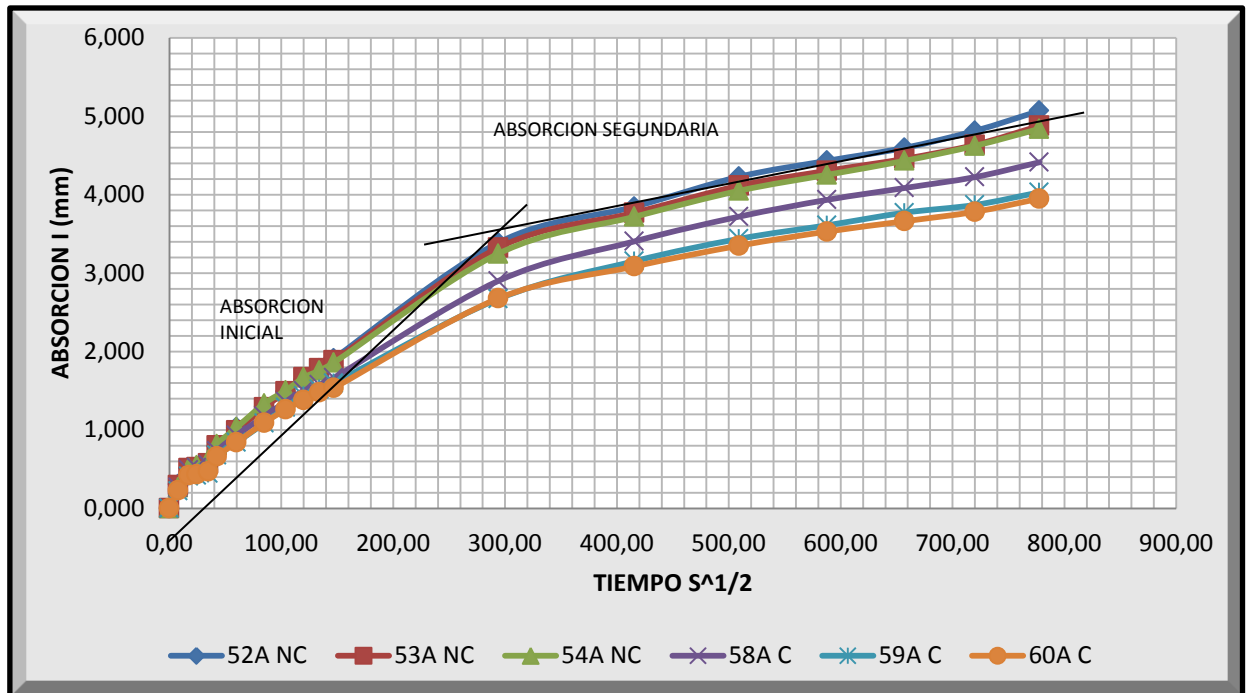
Fuente: Autores

Se puede establecer de la gráfica una absorción mayor de los cilindros no curados, probablemente por la carencia de agua durante el proceso de fraguado.

Los cilindros no curados alcanzaron un promedio de absorción secundaria de 5,35 mm, mientras los cilindros curados llegaron a una absorción secundaria promedio de 4,98 mm, llegando a una reducción de 6,99%.

En la gráfica 29 se presenta la absorción de agua en relación a la raíz cuadrada del tiempo para especímenes con sustitución de agregado fino por neumático de un 40% más adición de microsilice del 5%.

Grafica 29. Sortividad para concreto A/C 0,55 y sustitución de neumático de 40%, más 5% de microsilice.



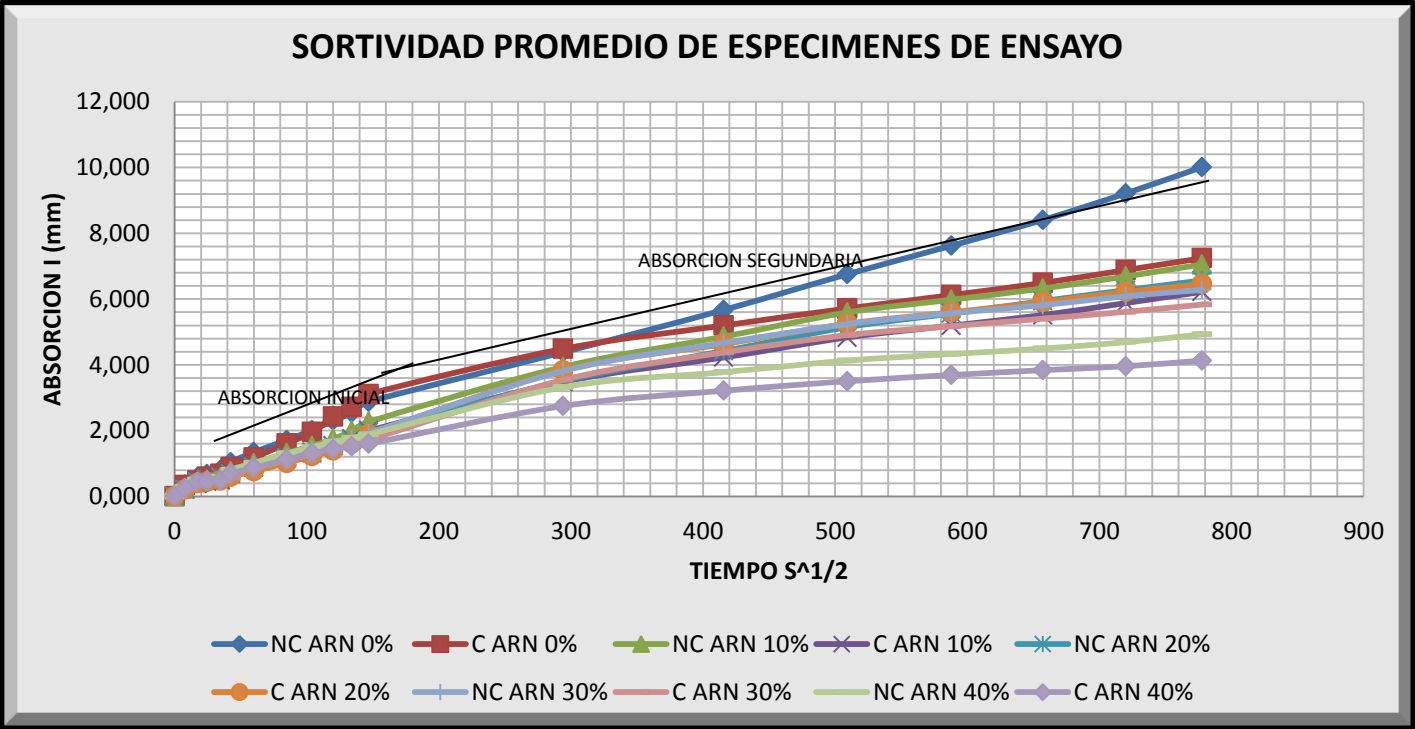
Fuente: Autores

En esta grafica se puede identificar con claridad el aumento de absorción de los cilindros no curados respecto a los curados, posiblemente por la carencia de agua durante el proceso de fraguado.

Los cilindros no curados alcanzaron un promedio de absorción secundaria de 4,24 mm, mientras los cilindros curados llegaron a una absorción secundaria promedio de 3,58 mm, llegando a una reducción de 15,47%

A continuación presentamos grafica 30 en donde encontramos las absorciones frente a la raíz cuadrada del tiempo de cilindros con relación A/C 0,55 y sustitución de agregado fino por neumático variable, con inclusión de 5% de microsilice en las sustituciones mayores y en condiciones de curado y no curado.

Grafica No. 30. Promedio de absorciones para concreto A/C 0,55 con diferentes sustituciones de neumático, en condición curado y no curado.



Fuente: Autores



## ANÁLISIS GENERAL DE SORTIVIDAD

A/C 0,55

En la gráfica 19 se puede establecer con claridad que la mezcla de concreto convencional absorbe agua en mayor medida, posiblemente por las propiedades químicas y físicas de los elementos que la componen, mientras que los cilindros que tienen sustitución de agregado fino por neumático absorben una menor cantidad de agua, lo cual es un aspecto positivo pues nos permite inferir que la mezcla propuesta en este trabajo es más durable frente a la permeabilidad al agua que la mezcla convencional.

A continuación presentaremos las comparaciones pertinentes para la relación A/C 0,55, en las diferentes sustituciones de agregado neumático.

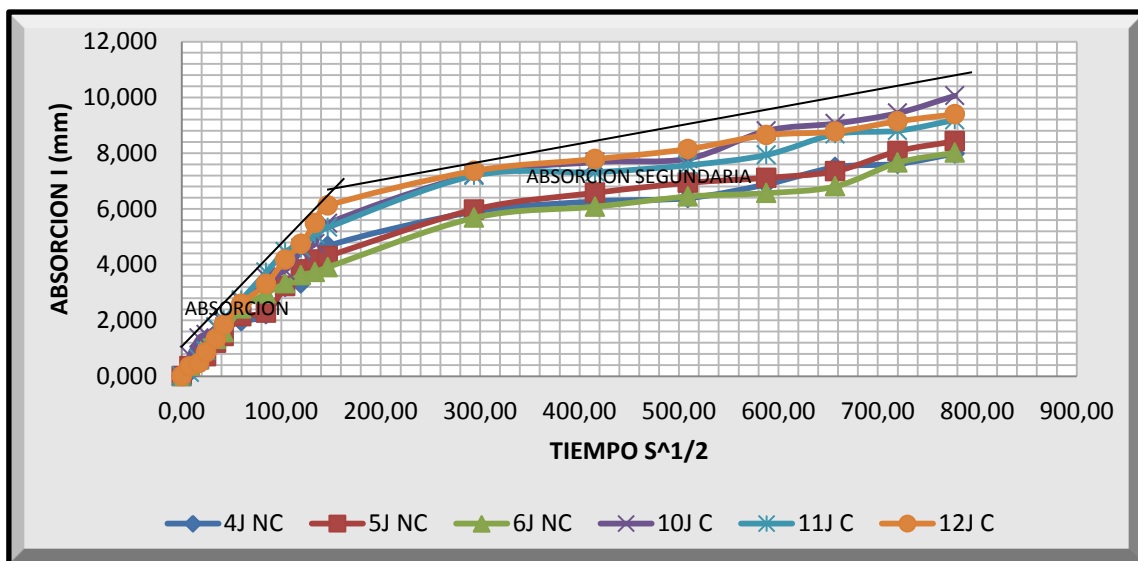
- Concreto convencional, absorción secundaria promedio = 6,73 mm. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 10%, absorción secundaria promedio = 5,41 mm; en este caso se presentó una reducción en la absorción secundaria del 19,61%.
- Concreto convencional, absorción secundaria promedio = 6,73 mm. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 20%, absorción secundaria promedio = 5,38 mm; en este caso se presentó una reducción en la absorción secundaria del 20,06%.
- Concreto convencional, absorción secundaria promedio = 6,73 mm. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 30% y adición de microsilice del 5%, absorción secundaria promedio = 5,16 mm; en este caso se presentó una reducción en la absorción secundaria del 23,33%.
- Concreto convencional, absorción secundaria promedio = 6,73 mm. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 40% y adición de microsilice del 5%, absorción secundaria promedio = 3,91 mm; en este caso se presentó una reducción en la absorción secundaria del 41,90%.

De estos datos podemos inferir que no se ve con claridad el efecto de la microsilice en las dos últimas mezclas, pues la primera de ellas no presenta una variación brusca frente a su inmediatamente superior a pesar de que la

última mezcla si presenta una disminución considerable, por lo cual no nos es claro el efecto de dicho componente.

De otra parte, es de añadir que se mantuvo una tendencia de absorción secundaria que no supero el 6% entre las sustituciones del 10%, 20% y 30% del agregado fino por neumático frente a la mezcla convencional. Esto también nos permite afirmar que el cambio notorio frente a la mezcla tradicional se presentó en el concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 10%

No.31. Sortividad para concreto A/C 0,65 y sustitución de neumático de 0%

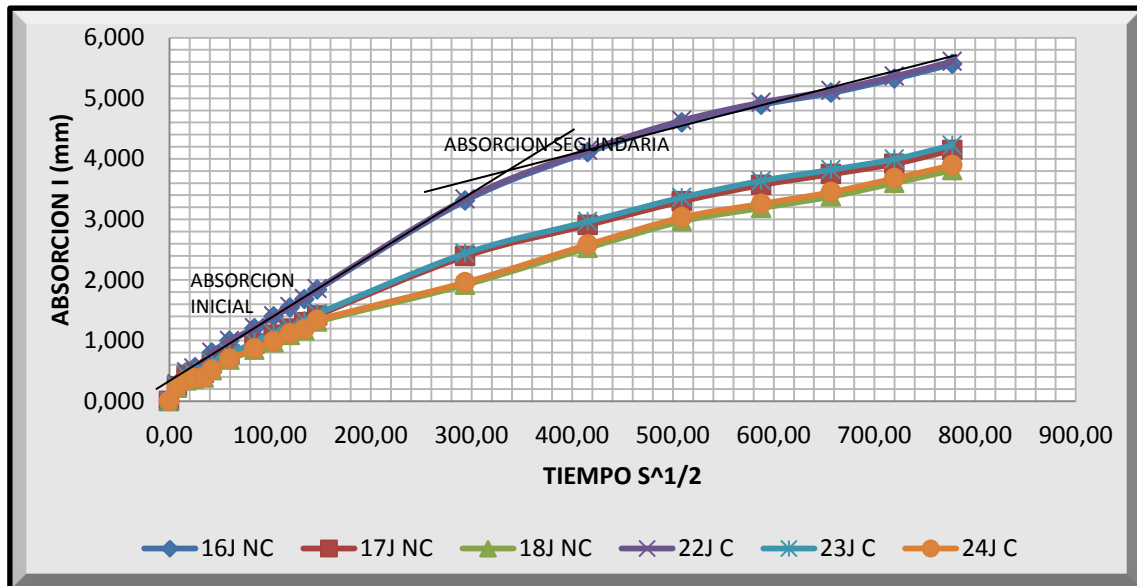


Fuente: Autores

Podemos determinar de la gráfica que los cilindros no curados presentan una absorción secundaria mayor a los curados, posiblemente por la carencia de agua a la cual estuvieron expuestos durante su proceso de fraguado.

Los cilindros no curados llegaron a una absorción secundaria promedio de 3,851mm, mientras que los cilindros curados alcanzaron una absorción secundaria promedio de 4,749mm, estableciendo una reducción del 18,90%.

Grafica No. 32. Sortividad para concreto A/C 0,65 y sustitución de neumático de 10%.

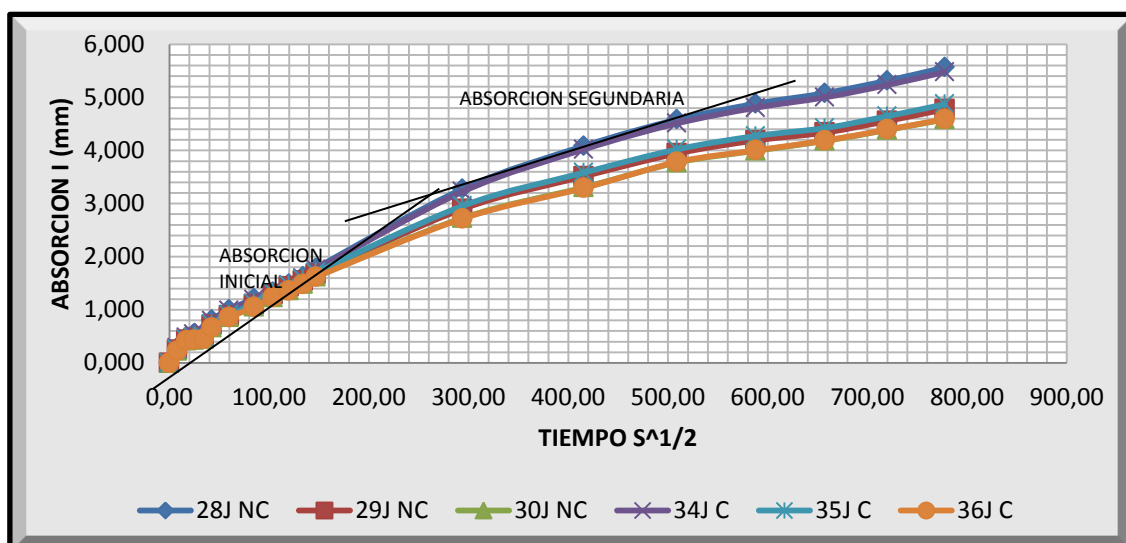


Fuente: Autores

Podemos observar en la gráfica que los cilindros no curados presentan una absorción secundaria mayor a los curados, posiblemente por la carencia de agua a la cual estuvieron expuestos durante su proceso de fraguado.

Los cilindros no curados alcanzaron un promedio de absorción secundaria de 1,86 mm, mientras los cilindros curados llegaron a una absorción secundaria promedio de 1,895 mm, llegando a una reducción de 1,52%

Grafica No. 33. Sortividad para concreto A/C 0,65 y sustitución de neumático de 20%.

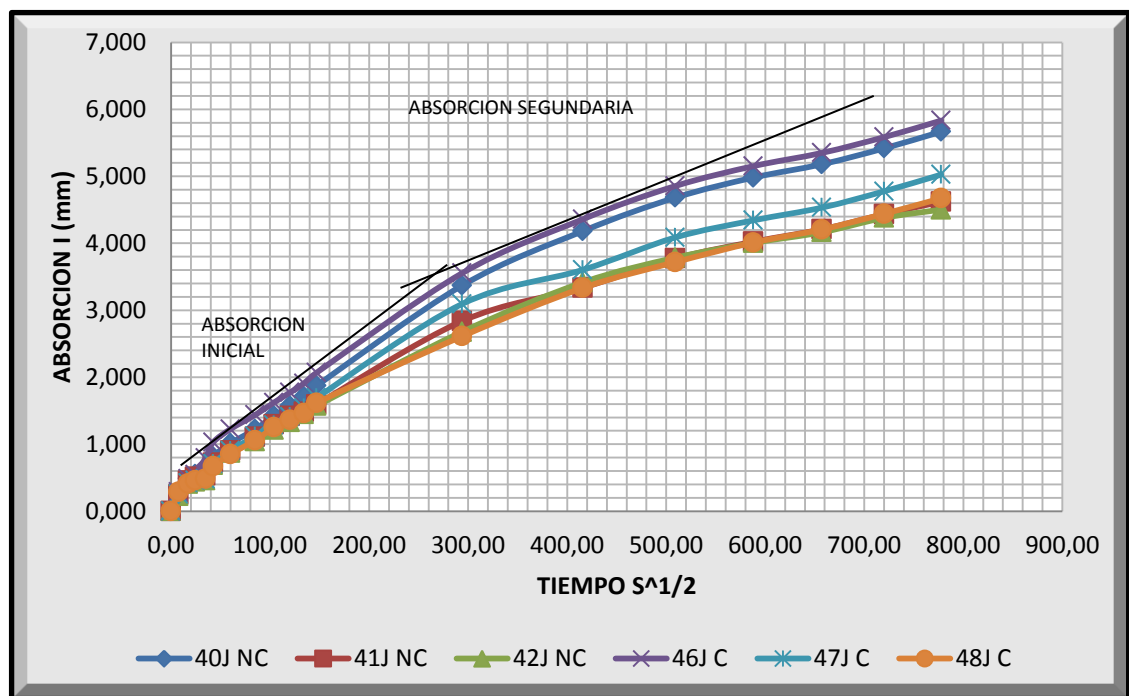


Fuente: Autores

Realmente la gráfica nos permite deducir que no hay una dispersión en los datos y más bien todos los especímenes mantuvieron la misma tendencia de absorción durante el tiempo.

Los cilindros no curados alcanzaron una absorción secundaria promedio de 2,11 mm, mientras los cilindros curados llegaron a una absorción secundaria promedio de 2,09mm, alcanzando una aumento de 1,26%.

Grafica No 34. Sortividad para concreto A/C 0,65 y sustitución de neumático de 30%, más 5% de microsílíce

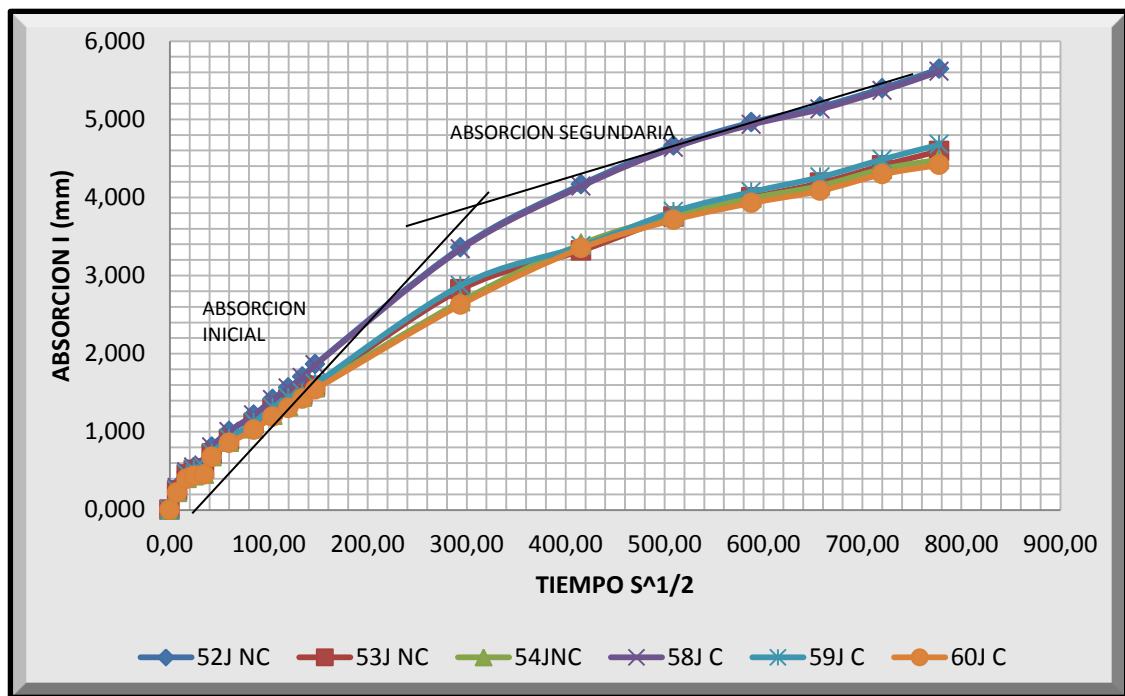


Fuente: Autores

Se puede establecer de la gráfica una absorción mayor de los cilindros no curados, probablemente por la carencia de agua durante el proceso de fraguado.

Los cilindros no curados alcanzaron un promedio de absorción secundaria de 2,90 mm, mientras los cilindros curados llegaron a una absorción secundaria promedio de 2,211 mm, llegando a una reducción de 5,46%.

Grafica 35. Sortividad para concreto A/C 0,65 y sustitución de neumático de 40%, más 5% de microsilice.

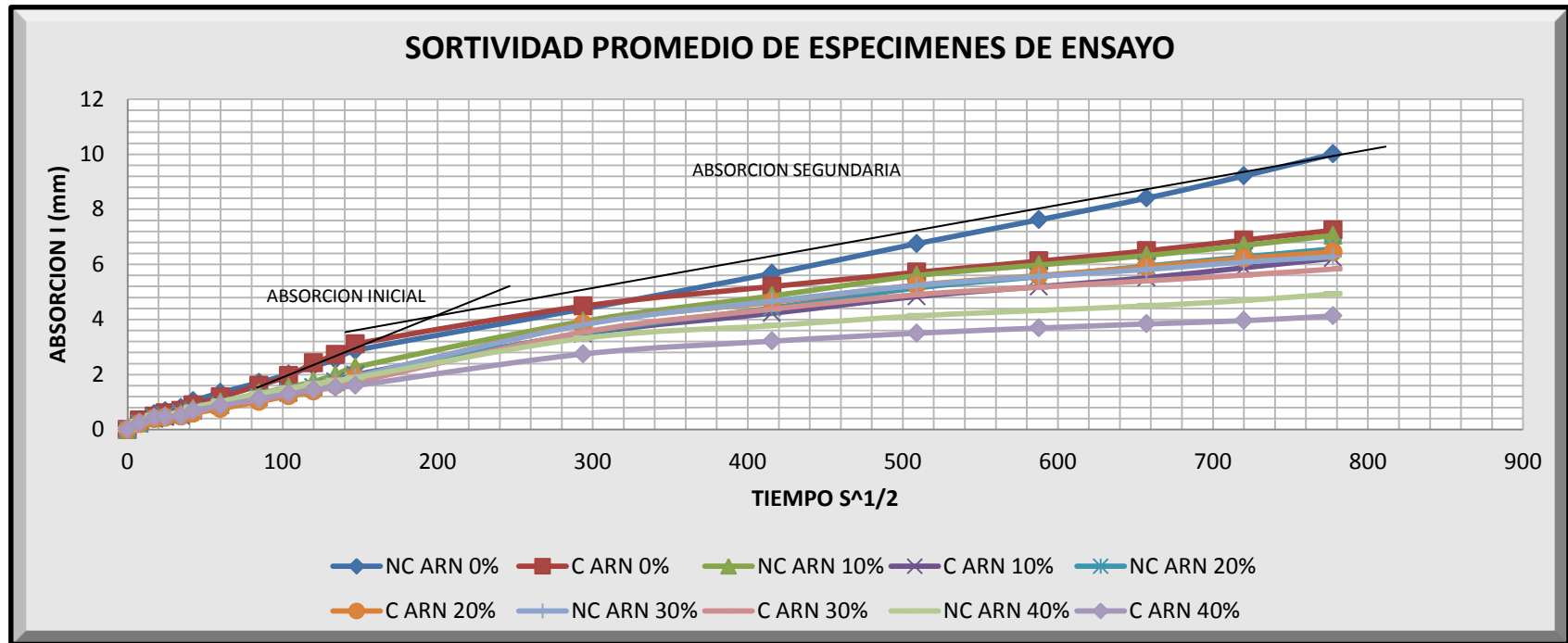


Fuente: Autores

En esta grafica se puede identificar con claridad el aumento de absorción de los cilindros no curados respecto a los curados, posiblemente por la carencia de agua durante el proceso de fraguado.

Los cilindros no curados alcanzaron un promedio de absorción secundaria de 2,081 mm, mientras los cilindros curados llegaron a una absorción secundaria promedio de mm, llegando a una reducción de 0,132%.

Grafica No. 36. Promedio de absorciones para concreto A/C 0,65 con diferentes sustituciones de neumático, en condición curado y no curado.



FUENTE: AUTORES

## ANÁLISIS GENERAL DE SORTIVIDAD

A/C 0,65

En la gráfica 36 se puede establecer con claridad que la mezcla de concreto convencional absorbe agua en mayor medida, posiblemente por las propiedades químicas y físicas de los elementos que la componen, mientras que los cilindros que tienen sustitución de agregado fino por neumático absorben una menor cantidad de agua, lo cual es un aspecto positivo pues nos permite inferir que la mezcla propuesta en este trabajo es más durable frente a la permeabilidad al agua que la mezcla convencional.

A continuación presentaremos las comparaciones pertinentes para la relación A/C 0,65, en las diferentes sustituciones de agregado neumático.

- Concreto convencional, absorción secundaria promedio = 4,30 mm. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 10%, absorción secundaria promedio = 1,88 mm; en este caso se presentó una reducción en la absorción secundaria del 43,73%.
- Concreto convencional, absorción secundaria promedio = 4.300 mm. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 20%, absorción secundaria promedio = 2,10 mm; en este caso se presentó una reducción en la absorción secundaria del 48,95%.
- Concreto convencional, absorción secundaria promedio = 4,30 mm. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 30% y adición de microsilice del 5%, absorción secundaria promedio = 2,15 mm; en este caso se presentó una reducción en la absorción secundaria del 50,00%.
- Concreto convencional, absorción secundaria promedio = 4,30 mm. Frente a concreto con sustitución de agregado fino por neumático del 40% y adición de microsilice del 5%, absorción secundaria promedio = 2,079 mm; en este caso se presentó una reducción en la absorción secundaria del 48,35%.

De acuerdo a este análisis se puede inferir que la absorción para una relación a/c de 0,65 es del 50% comparada con la pasta tradicional del concreto.

También es importante mencionar que al agregar microsilice esta no genera ningún cambio en cuanto a la absorción por lo tanto no es de gran claridad dicha adición con respecto a este ensayo.



## 8. CONCLUSIONES

- La mezcla con agregado neumático será de utilidad cuando no sea posible llevar a cabo un curado del concreto pues este no presenta una mayor variación en la resistencia entre curado y no curado sin embargo se debe tener en cuenta un factor de seguridad F.S elevado pues la disminución de la resistencia entre el concreto convencional y la nueva mezcla de caucho supera el 50%
- Los cilindros con neumático se desmoronaban en las esquinas y de esa forma fallaban lo cual nos permitió volverlo a someter a carga de allí obtuvimos que dichos cilindros podían soportar la misma carga hasta dos veces hasta desintegrarse totalmente, de dicho comportamiento también podemos deducir que la falla se presenta por adherencia pues las partículas de caucho que se encontraban expuestas se despegaban del cilindro con facilidad sin embargo su núcleo permanece resistente
- Se puede afirmar que los cilindros que reciben un proceso de fraguado adecuado aporta en gran medida en la resistencia a la compresión y en la durabilidad frente a la permeabilidad al agua
- Se podría emplear el agregado neumático en estructuras que están sometidas a flujo constante de agua ya que las existentes están sometidas la gran mayoría a un flujo de agua pero sería interesante verificar con un flujo constante.
- Cabe reflejar que debido a las resistencias obtenidas y expuestas anteriormente se puede considerar construir o utilizar este concreto para soportar cargas axiales como las de personas en puentes peatonales
- Debido al porcentaje agregado neumático la densidad de nuestros cilindros bajo considerablemente sería adecuado verla reflejada en

soportes, moldes o estructuras que no necesiten ser muy resistentes a la compresión. Expuestas a la intemperie y de fácil traslado de un lugar a otro

- En caso de una destrucción o una catástrofe las estructuras edificadas con este tipo de concreto a la hora de fallar no sería explosivamente como lo es el concreto tradicional sino de una forma un poco menos insegura

## 9. RECOMENDACIONES

- Al aplicar microsilice al mezclar la pasta de concreto que tiene menor sustitución de agregado fino por neumático (20 y 30). Demostró una mejora en la resistencia a la compresión
- Para el diseño de mezcla con partículas de caucho sería recomendable realizar la dosificación volumétrica de esta manera se podría establecer en qué proporción tiene el caucho más rendimiento que la arena.
- Se recomienda que se agregue desde el inicio en que se experimenta con agregado neumático cantidades de microsilice para verificar sus aportes considerables en cuanto a la resistencia a la compresión
- Según lo experimentado en el momento del mezclado de la pasta de concreto sería pertinente tener en cuenta que el agregado neumático absorbe más agua que la arena y nuestra pasta de concreto en porcentajes considerables de agregado neumático carecía de agua
- Se debería tener en cuenta hacer las sustituciones con fibras y hacer una comparación en cuanto al ensayo resistencia a la compresión con partículas de agregado neumático
- Se debería establecer la explotación del agregado fino (arena) y si es viable tanto medio ambiente e ingenieril adoptar un porcentaje muy pequeño de agregado neumático y de esta manera obtener benéficos

## 11. BIBLIOGRAFÍA

VÁSQUEZ CORASPE, Luis Alberto. Estudio y caracterización mediante ensayos no destructivos con ultrasonido de materiales compuestos concreto - raspadura de caucho (ripio). En: Universidad central de Venezuela. Venezuela. 2003.

AZEVEDO, F. PACHECO-TORGAL, F. C. Jesus. BARROSO DE AGUIAR, J.L. CAMÕES A.F. Properties and durability of HPC with tyre rubber wastes. . En: revista Construction and Building Materials. Guimarães. 2012.

ALMEIDA, SALAZAR. Neyva Gissela. Utilización de fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de bloques de mampostería para mitigar el impacto ambiental en el cantón Ambato. En: Universidad técnica de Ambato. Ecuador. 2011.

GAWAD, Abdel A.K. resistencia a la compresión del concreto utilizando llantas de desecho de goma. En: centro de investigación nacional y departamento de ingeniería civil de Giza, Egipto, 2010.

Conceptos básicos del concreto. Capítulo 02. México. Ed: Instituto Mexicano del cemento y del concreto. 2004.

DE LA GRAZA, Gaspar. Materiales y construcción, segunda edición. México. Ed: Trillas. 2007.

INCONTEC. NORMAS TECNIAS COLOMBIANAS PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION – I. Bogotá D.C. Ed: LEGIS. 2000.

DEPARTAMENTO DE MECANICA ESTRUCTURAL. El Salvador. Universidad centroamericana "José Simón Canas". En dirección electrónica: <http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoConcretoFresco/CURADO.pdf>. Consultada el 14 de abril de 2013.

VELEZ, Ligia M. permeabilidad y porosidad en el concreto. Instituto tecnológico metropolitano. 2010. En dirección electrónica: [http://www.itm.edu.co/Revista\\_Tecnologicas/pdf/25Articulo09.pdf](http://www.itm.edu.co/Revista_Tecnologicas/pdf/25Articulo09.pdf). Consultada el 14 de abril de 2013.

NAVARRO, TELLO, Roger Job. Dosificación y diseño de mezclas de concreto. Universidad señor de SIPAN. 2011.

CASTRO, Guillermo. Materiales y compuestos para la industria del neumático. Departamento de ingeniería mecánica F.I.U.B.A. 2008. En dirección electrónica: [http://materias.fi.uba.ar/6715/Material\\_archivos/Material%20complementario%2067.17/Materiales%20y%20Compuestos%20para%20la%20Industria%20del%20Neumatico.pdf](http://materias.fi.uba.ar/6715/Material_archivos/Material%20complementario%2067.17/Materiales%20y%20Compuestos%20para%20la%20Industria%20del%20Neumatico.pdf). Consultada el 14 de abril de 2013.

SAMARAEZ CHEMICAL CONSULTING, S.L. reciclaje de neumáticos fuera de uso. España. NFUs. Samaruez. 2008.

CASTRO, Guillermo. Reutilización, reciclado y disposición final de neumáticos. Departamento de ingeniería mecánica F.I.U.B.A. 2007. En dirección electrónica: [http://materias.fi.uba.ar/6715/Material\\_archivos/Material%20complementario%2067.17/Materiales%20y%20Compuestos%20para%20la%20Industria%20del%20Neumatico.pdf](http://materias.fi.uba.ar/6715/Material_archivos/Material%20complementario%2067.17/Materiales%20y%20Compuestos%20para%20la%20Industria%20del%20Neumatico.pdf). Consultada el 14 de abril de 2013.

# **ANEXO A.**

# **RESULTADOS**

Anexo 1. Resistencia a la compresión a los 28 días con una relación A/C 0.55

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A/C 0,55				
RESISTENCIA DE DISEÑO 300 KG/CM2 = 2,94 KN/CM2				
	Nº CILINDRO	FUERZA AXIAL PARA FALLA (KN)	ÁREA SECCIÓN (cm2)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)
<b>ARN 0</b>	1A NC	178.00	81.87	21,7
	2A NC	208.70	81.95	25,5
	3A NC	182.60	81.79	22,3
	7A C	231.90	83.57	27,8
	8A C	235.70	83.57	28,2
	9A C	240.00	81.39	29,5
<b>ARN 10%</b>	13A NC	93.70	80.91	11,6
	14A NC	96.00	80.12	12,0
	15A NC	90.90	82.52	11,0
	19A C	102.30	80.91	12,6
	20A C	98.30	80.12	12,3
	21A C	100.70	80.91	12,4
<b>ARN 20%</b>	25A NC	41.80	80.12	5,2
	26A NC	44.20	79.33	5,6
	27A NC	42.40	81.31	5,2
	31A C	42.00	79.33	5,3
	32A C	44.20	81.71	5,4
	33A C	43.00	82.52	5,2
<b>ARN 30% + 5% Microsílice</b>	37A NC	24.40	80.12	3,0
	38A NC	29.90	80.91	3,7
	39A NC	25.80	80.12	3,2
	43A C	28.80	81.71	3,5
	44A C	30.90	78.54	3,9
	45A C	28.30	78.54	3,6
<b>ARN 40% + 5% Microsílice</b>	49A NC	15.80	78.54	2,0
	50A NC	18.30	78.54	2,3
	51A NC	17.70	78.54	2,3
	55A C	18.50	79.33	2,3
	56A C	20.80	80.91	2,6
	57A C	17.50	83.32	2,1

Fuente: Autores.

Anexo 2. Resistencia a la compresión a los 28 días con una relación A/C 0.65

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A/C 0,65</b>				
<b>RESISTENCIA DE DISEÑO 231,25 KG/CM2 = 2,27 KN/CM2</b>				
	<b>Nª CILINDRO</b>	<b>FUERZA AXIAL PARA FALLA (KN)</b>	<b>ÁREA SECCIÓN (cm2)</b>	<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)</b>
<b>ARN 0</b>	1J NC	169	81.39	20,8
	2J NC	168	83.65	20,1
	3J NC	160	82.52	19,4
	7J C	180	80.12	22,5
	8J C	182	80.75	22,5
	9J C	180	80.28	22,4
	<b>ARN 10%</b>	13J NC	80	81.55
14J NC		78	81.71	9,5
15J NC		90	82.03	11
19J C		110	80.91	13,6
20J C		103	80.12	12,9
21J C		115	80.28	14,3
<b>ARN 20%</b>		25J NC	40	80.44
	26J NC	41	81.39	5
	27J NC	37	81.39	4,5
	31J C	48	81.71	5,9
	32J C	50	79.8	6,3
	33J C	46	81.71	5,6
	<b>ARN 30% + 5% Microsílice</b>	37J NC	18	80.12
38J NC		15	80.28	1,9
39ª NC		20	81.39	2,5
43J C		28	80.75	3,5
44J C		29	78.54	3,7
45J C		30	80.44	3,7
<b>ARN 40% + 5% Microsílice</b>		49J NC	9	80.44
	50J NC	7	80.75	0,9
	51J NC	10	81.71	1,2
	55J C	20	80.91	2,5
	56J C	23	79.33	2,9
	57J C	26	83	3,1

Fuente: Autores



Anexo 3. Densidad de los cilindros a los 28 días con una relación A/C 0.55

DENSIDAD DE ESPECIMENES							
	Nº CILINDRO	DIAMETRO (cm)	MASA (gr)	ALTURA (cm)	AREA SECCION (cm2)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (gr/cm3)
ARN 0	1A NC	10.21	3475	20.2	81.87	1653.84	2.1
	2A NC	10.22	3494	20.3	81.95	1663.66	2.1
	3A NC	10.21	3487	20	81.79	1635.86	2.13
	7A C	10.32	3730	20.2	83.57	1688.03	2.21
	8A C	10.32	3761	20.1	83.57	1679.68	2.24
	9A C	10.18	3609	20.2	81.39	1644.14	2.2
ARN 10%	13A NC	10.15	3220	20.1	80.91	1626.37	1.98
	14A NC	10.1	3316	20.4	80.12	1634.42	2.03
	15A NC	10.25	3370	20.5	82.52	1691.58	1.99
	19A C	10.15	3502	20.4	80.91	1650.64	2.12
	20A C	10.1	3472	20.3	80.12	1626.41	2.13
	21A C	10.15	3506	20.4	80.91	1650.64	2.12
ARN 20%	25A NC	10.1	3060	20.3	80.12	1626.41	1.88
	26A NC	10.05	3900	20.3	79.33	1610.35	2.42
	27A NC	10.18	3065	20.2	81.31	1642.52	1.87
	31A C	10.05	3071	20.2	79.33	1602.41	1.92
	32A C	10.2	3264	20.4	81.71	1666.95	1.96
	33A C	10.25	3201	20.3	82.52	1675.08	1.91
ARN 30% + 5% Microsilice	37A NC	10.1	2697	20	80.12	1602.37	1.68
	38A NC	10.15	2811	20.2	80.91	1634.46	1.72
	39A NC	10.1	2706	20.1	80.12	1610.38	1.68
	43A C	10.2	2977	20.3	81.71	1658.77	1.79
	44A C	10	2863	20.1	78.54	1578.65	1.81
	45A C	10	2924	20.1	78.54	1578.65	1.85
ARN 40% + 5% Microsilice	49A NC	10	2410	20	78.54	1570.8	1.53
	50A NC	10	2475	20	78.54	1570.8	1.58
	51A NC	10	2490	20	78.54	1570.8	1.59
	55A C	10.05	2731	20	79.33	1586.55	1.72
	56A C	10.15	2921	20.2	80.91	1634.46	1.79
	57A C	10.3	2774	20.2	83.32	1683.13	1.65

Fuente: Autores

Anexo 4. Densidad de los cilindros a los 28 días con una relación A/C 0.65

DENSIDAD DE ESPECIMENES							
	Nº CILINDRO	DIAMETRO (cm)	MASA (gr)	ALTURA (cm)	AREA SECCION (cm2)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (gr/cm3)
ARN 0	1J NC	10.18	3433	20.1	81.39	1636	2.1
	2J NC	10.32	3458	20	83.65	1672.94	2.07
	3J NC	10.25	3441	20.05	82.52	1654.45	2.08
	7J C	10.1	3690	20.3	80.12	1626.41	2.27
	8J C	10.14	3715	20.1	80.75	1623.17	2.29
	9J C	10.11	2566	20.4	80.28	1637.66	1.57
ARN 10%	13J NC	10.19	3179	20.15	81.55	1643.29	1.93
	14J NC	10.2	3225	20.35	81.71	1662.86	1.94
	15J NC	10.22	3290	20.3	82.03	1665.29	1.98
	19J C	10.15	3415	20.4	80.91	1650.64	2.07
	20J C	10.1	3350	20.1	80.12	1610.38	2.08
	21J C	10.11	3495	20.15	80.28	1617.59	2.16
ARN 20%	25J NC	10.12	2080	20.3	80.44	1632.86	1.27
	26J NC	10.18	3150	20.2	81.39	1644.14	1.92
	27J NC	10.18	2098	20.1	81.39	1636	1.28
	31J C	10.2	3035	20.2	81.71	1650.6	1.84
	32J C	10.08	3110	20.5	79.8	1635.93	1.9
	33J C	10.2	3002	20.1	81.71	1642.43	1.83
ARN 30% + 5% Microsilice	37J NC	10.1	3497	20.15	80.12	1614.39	2.17
	38J NC	10.11	2715	20	80.28	1605.55	1.69
	39J NC	10.18	2680	20.2	81.39	1644.14	1.63
	43J C	10.14	2740	20.2	80.75	1631.24	1.68
	44J C	10	2710	20.3	78.54	1594.36	1.7
	45J C	10.12	2738	20.1	80.44	1616.77	1.69
ARN 40% + 5% Microsilice	49J NC	10.12	2220	20	80.44	1608.73	1.38
	50J NC	10.14	2290	20.1	80.75	1623.17	1.41
	51J NC	10.2	2310	20.5	81.71	1675.12	1.38
	55J C	10.15	2451	20.2	80.91	1634.46	1.5
	56J C	10.05	2520	20.2	79.33	1602.41	1.57
	57J C	10.28	2500	20.2	83	1676.6	1.49

Fuente: Autores

Anexo 5. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 0%. A/C 0,55

MUESTRA A/C 0,55 ARN 0%	ESPECIMEN				4A NC				5A NC				6A NC			
	DIAMETRO (mm)				102.1				102.15				102.05			
MASA (gr)				1738.2				1746.8				1744.6				
AREA EXPUESTA (mm2)				8187.331614				8195.352512				8179.314644				
DESIDAD DE AGUA (gr/mm3)				0.001				0.001				0.001				
ARN 0%				S <sup>1/2</sup>	I (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	I (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	I (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )			
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS													
0	0	0	0	0	0	1738.2	0	0	1746.8	0	0	1744.6	0			
0	0	1	60	7.75	0.32	1740.8	0.041	0.39	1750	0.0504	0.35	1747.5	0.0458			
0	0.1	5	300	17.32	0.5	1742.3	0.0289	0.59	1751.6	0.0338	0.64	1749.8	0.0367			
0	0.2	10	600	24.49	0.55	1742.7	0.0224	0.66	1752.2	0.0269	0.82	1751.3	0.0334			
0	0.3	20	1200	34.64	0.61	1743.2	0.0176	0.81	1753.4	0.0232	0.98	1752.6	0.0282			
0	0.5	30	1800	42.43	0.79	1744.7	0.0187	1.11	1755.9	0.0262	1.21	1754.5	0.0285			
0	1	60	3600	60	1.09	1747.1	0.0181	1.42	1758.4	0.0236	1.53	1757.1	0.0255			
0	2	120	7200	84.85	1.45	1750.1	0.0171	1.79	1761.5	0.0211	1.88	1760	0.0222			
0	3	180	10800	103.92	1.76	1752.6	0.0169	2.07	1763.8	0.02	2.2	1762.6	0.0212			
0	4	240	14400	120	2.02	1754.7	0.0168	2.34	1766	0.0195	2.56	1765.5	0.0213			
0	5	300	18000	134.16	2.26	1756.7	0.0168	2.56	1767.8	0.0191	2.8	1767.5	0.0209			
0	6	360	21600	146.97	2.65	1759.9	0.018	2.81	1769.8	0.0191	3.18	1770.6	0.0216			
1	24	1440	86400	293.94	4.08	1771.6	0.0139	4.2	1781.2	0.0143	4.87	1784.4	0.0166			
2	48	2880	172800	415.69	5.42	1782.6	0.013	5.52	1792	0.0133	6.08	1794.3	0.0146			
3	72	4320	259200	509.12	6.52	1791.6	0.0128	6.55	1800.5	0.0129	7.19	1803.4	0.0141			
4	96	5760	345600	587.88	7.39	1798.7	0.0126	7.41	1807.5	0.0126	8.07	1810.6	0.0137			
5	120	7200	432000	657.27	8.18	1805.2	0.0125	8.16	1813.7	0.0124	8.88	1817.2	0.0135			
6	144	8640	518400	720	8.97	1811.6	0.0125	8.97	1820.3	0.0125	9.71	1824	0.0135			
7	168	10080	604800	777.69	9.81	1818.5	0.0126	9.75	1826.7	0.0125	10.48	1830.3	0.0135			

Fuente: Autores

Anexo 6. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 0%. A/C 0,55

MUESTRA A/C 0,55 ARN 0%	ESPECIMEN				10A C				11A C				12A C			
	DIAMETRO (mm)				103.15				103.15				101.8			
MASA (gr)				1865				1880.5				1843.6				
AREA EXPUESTA (mm <sup>2</sup> )				8356.6				8356.6				8139.3				
DESIDAD DE AGUA (gr/mm <sup>3</sup> )				0.001				0.001				0.001				
ARN 0%				S <sup>1/2</sup>	I (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	I (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	I (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )			
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS													
0	0	0	0	0	0	1865	0	0	1880.5	0	0	1843.6	0			
0	0	1	60	7.75	0.34	1867.8	0.0433	0.38	1883.7	0.0494	0.32	1846.2	0.0412			
0	0.1	5	300	17.32	0.47	1868.9	0.0269	0.49	1884.6	0.0283	0.49	1847.6	0.0284			
0	0.2	10	600	24.49	0.62	1870.2	0.0254	0.62	1885.7	0.0254	0.55	1848.1	0.0226			
0	0.3	20	1200	34.64	0.78	1871.5	0.0225	0.67	1886.1	0.0193	0.61	1848.6	0.0177			
0	0.5	30	1800	42.43	1.03	1873.6	0.0243	0.89	1887.9	0.0209	0.76	1849.8	0.018			
0	1	60	3600	60	1.29	1875.8	0.0215	1.17	1890.3	0.0195	1.08	1852.4	0.018			
0	2	120	7200	84.85	1.66	1878.9	0.0196	1.68	1894.5	0.0197	1.47	1855.6	0.0174			
0	3	180	10800	103.92	2.05	1882.1	0.0197	2.05	1897.6	0.0197	1.77	1858	0.017			
0	4	240	14400	120	2.74	1887.9	0.0228	2.39	1900.5	0.0199	2.14	1861	0.0178			
0	5	300	18000	134.16	2.94	1889.6	0.0219	2.74	1903.4	0.0204	2.47	1863.7	0.0184			
0	6	360	21600	146.97	3.41	1893.5	0.0232	3.06	1906.1	0.0208	2.85	1866.8	0.0194			
1	24	1440	86400	293.94	4.95	1906.4	0.0169	4.15	1915.2	0.0141	4.35	1879	0.0148			
2	48	2880	172800	415.69	5.59	1911.7	0.0134	4.97	1922	0.0119	5.04	1884.6	0.0121			
3	72	4320	259200	509.12	5.92	1914.5	0.0116	5.5	1926.5	0.0108	5.71	1890.1	0.0112			
4	96	5760	345600	587.88	6.25	1917.2	0.0106	5.91	1929.9	0.0101	6.2	1894.1	0.0106			
5	120	7200	432000	657.27	6.52	1919.5	0.0099	6.32	1933.3	0.0096	6.63	1897.6	0.0101			
6	144	8640	518400	720	6.82	1922	0.0095	6.73	1936.7	0.0093	7.1	1901.4	0.0099			
7	168	10080	604800	777.69	7.07	1924.1	0.0091	7.12	1940	0.0092	7.53	1904.9	0.0097			

Fuente: Autores

Anexo 7. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 10%. A/C 0,55

MUESTRA A/C 0,55	ESPECIMEN				16A NC				17A NC				18A NC			
	DIAMETRO (mm)				101.5				101				102.5			
MASA (gr)				1605				1654				1680				
AREA EXPUESTA (mm2)				8091.4				8011.61				8251.61				
DESIDAD DE AGUA (gr/mm3)				0.001				0.001				0.001				
ARN 10%					S <sup>1/2</sup>	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )		
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS													
0	0	0	0	0	0	1605	0	0	1654	0	0	1680	0			
0	0	1	60	7.75	0.21	1606.7	0.0271	0.26	1656.1	0.0338	0.22	1681.8	0.029			
0	0.1	5	300	17.32	0.38	1608.1	0.0221	0.44	1657.5	0.0252	0.44	1683.5	0.0252			
0	0.2	10	600	24.49	0.51	1609.1	0.0207	0.49	1657.9	0.0199	0.5	1684	0.0204			
0	0.3	20	1200	34.64	0.63	1610.1	0.0182	0.51	1658.1	0.0148	0.56	1684.5	0.0162			
0	0.5	30	1800	42.43	0.78	1611.3	0.0184	0.7	1659.6	0.0165	0.8	1686.4	0.0188			
0	1	60	3600	60	0.99	1613	0.0165	0.97	1661.8	0.0162	1.05	1688.4	0.0175			
0	2	120	7200	84.85	1.29	1615.4	0.0151	1.3	1664.4	0.0153	1.37	1691	0.0162			
0	3	180	10800	103.92	1.52	1617.3	0.0146	1.51	1666.1	0.0145	1.57	1692.6	0.0151			
0	4	240	14400	120	1.69	1618.7	0.0141	1.75	1668	0.0146	1.81	1694.5	0.0151			
0	5	300	18000	134.16	1.85	1620	0.0138	2.05	1670.4	0.0153	2.07	1696.6	0.0154			
0	6	360	21600	146.97	2.15	1622.4	0.0146	2.32	1672.6	0.0158	2.33	1698.7	0.0159			
1	24	1440	86400	293.94	3.87	1636.3	0.0132	4.04	1686.4	0.0138	3.89	1711.2	0.0132			
2	48	2880	172800	415.69	4.86	1644.3	0.0117	4.96	1693.7	0.0119	4.76	1718.1	0.0114			
3	72	4320	259200	509.12	5.62	1650.5	0.011	5.69	1699.6	0.0112	5.47	1723.8	0.0107			
4	96	5760	345600	587.88	6.01	1653.6	0.0102	6.07	1702.6	0.0103	5.87	1727	0.01			
5	120	7200	432000	657.27	6.35	1656.4	0.0097	6.43	1705.5	0.0098	6.19	1729.6	0.0094			
6	144	8640	518400	720	6.74	1659.5	0.0094	6.79	1708.4	0.0094	6.54	1732.4	0.0091			
7	168	10080	604800	777.69	7.11	1662.5	0.0091	7.14	1711.2	0.0092	6.91	1735.4	0.0089			

Fuente: Autores

Anexo 8. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 10%. A/C 0,55

MUESTRA A/C 0,55	ESPECIMEN				22A C				23A C				24A C			
	DIAMETRO (mm)				101.5				101				101.5			
MASA (gr)				1748				1731				1750				
AREA EXPUESTA (mm2)				8011.8654				8011.8654				8091.38715				
DESIDAD DE AGUA (gr/mm3)				0.001				0.001				0.001				
ARN 10%				S <sup>1/2</sup>	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )			
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS													
0	0	0	0	0	0	1748	0	0	1731	0	0	1750	0			
0	0	1	60	7.75	0.21	1749.7	0.0274	0.22	1732.8	0.029	0.2	1751.6	0.0255			
0	0.1	5	300	17.32	0.36	1750.9	0.0209	0.41	1734.3	0.0238	0.38	1753.1	0.0221			
0	0.2	10	600	24.49	0.4	1751.2	0.0163	0.5	1735	0.0204	0.44	1753.6	0.0182			
0	0.3	20	1200	34.64	0.42	1751.4	0.0123	0.52	1735.2	0.0151	0.53	1754.3	0.0153			
0	0.5	30	1800	42.43	0.61	1752.9	0.0144	0.74	1736.9	0.0174	0.69	1755.6	0.0163			
0	1	60	3600	60	0.79	1754.3	0.0131	0.94	1738.5	0.0156	0.91	1757.4	0.0152			
0	2	120	7200	84.85	1.07	1756.6	0.0127	1.22	1740.8	0.0144	1.19	1759.6	0.014			
0	3	180	10800	103.92	1.24	1757.9	0.0119	1.36	1741.9	0.0131	1.36	1761	0.0131			
0	4	240	14400	120	1.42	1759.4	0.0119	1.56	1743.5	0.013	1.59	1762.9	0.0133			
0	5	300	18000	134.16	1.6	1760.8	0.0119	1.78	1745.3	0.0133	1.85	1765	0.0138			
0	6	360	21600	146.97	1.85	1762.8	0.0126	2.07	1747.6	0.0141	2.06	1766.7	0.014			
1	24	1440	86400	293.94	3.31	1774.5	0.0113	3.61	1759.9	0.0123	3.52	1778.5	0.012			
2	48	2880	172800	415.69	4.02	1780.2	0.0097	4.34	1765.8	0.0104	4.31	1784.9	0.0104			
3	72	4320	259200	509.12	4.58	1784.7	0.009	4.99	1771	0.0098	4.93	1789.9	0.0097			
4	96	5760	345600	587.88	4.94	1787.6	0.0084	5.33	1773.7	0.0091	5.3	1792.9	0.009			
5	120	7200	432000	657.27	5.25	1790.1	0.008	5.65	1776.3	0.0086	5.64	1795.6	0.0086			
6	144	8640	518400	720	5.64	1793.2	0.0078	6.03	1779.3	0.0084	5.97	1798.3	0.0083			
7	168	10080	604800	777.69	6	1796.1	0.0077	6.34	1781.8	0.0082	6.32	1801.1	0.0081			

Fuente: Autores

Anexo 9. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 20%. A/C 0,55

MUESTRA A/C 0,55	ESPECIMEN				28A NC				29A NC				30A NC			
	DIAMETRO (mm)				101				100.5				101.75			
MASA (gr)				1528				1946				1531.4				
AREA EXPUESTA (mm <sup>2</sup> )				8011.8654				7932.73635				8131.295288				
DESIDAD DE AGUA (gr/mm <sup>3</sup> )				0.001				0.001				0.001				
ARN 20%				S <sup>1/2</sup>	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )			
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS													
0	0	0	0	0	0	1528	0	0	1946	0	0	1531.4	0			
0	0	1	60	7.75	0.15	1529.2	0.0193	0.24	1947.9	0.0309	0.25	1533.4	0.0318			
0	0.1	5	300	17.32	0.35	1530.8	0.0202	0.52	1950.1	0.0298	0.46	1535.1	0.0263			
0	0.2	10	600	24.49	0.46	1531.7	0.0189	0.58	1950.6	0.0237	0.5	1535.5	0.0206			
0	0.3	20	1200	34.64	0.6	1532.8	0.0173	0.61	1950.8	0.0175	0.55	1535.9	0.016			
0	0.5	30	1800	42.43	0.72	1533.8	0.0171	0.69	1951.5	0.0163	0.63	1536.5	0.0148			
0	1	60	3600	60	0.91	1535.3	0.0152	0.86	1952.8	0.0143	0.89	1538.6	0.0148			
0	2	120	7200	84.85	1.21	1537.7	0.0143	1.17	1955.3	0.0138	1.14	1540.7	0.0135			
0	3	180	10800	103.92	1.41	1539.3	0.0136	1.35	1956.7	0.013	1.32	1542.1	0.0127			
0	4	240	14400	120	1.57	1540.6	0.0131	1.55	1958.3	0.0129	1.5	1543.6	0.0125			
0	5	300	18000	134.16	1.72	1541.8	0.0128	1.74	1959.8	0.013	1.67	1545	0.0125			
0	6	360	21600	146.97	1.97	1543.8	0.0134	1.98	1961.7	0.0135	1.91	1546.9	0.013			
1	24	1440	86400	293.94	3.48	1555.9	0.0118	3.57	1974.3	0.0121	3.47	1559.6	0.0118			
2	48	2880	172800	415.69	4.33	1562.7	0.0104	4.45	1981.3	0.0107	4.48	1567.8	0.0108			
3	72	4320	259200	509.12	5.08	1568.7	0.01	5.17	1987	0.0102	5.19	1573.6	0.0102			
4	96	5760	345600	587.88	5.55	1572.5	0.0094	5.56	1990.1	0.0095	5.56	1576.6	0.0095			
5	120	7200	432000	657.27	5.94	1575.6	0.009	5.96	1993.3	0.0091	5.92	1579.5	0.009			
6	144	8640	518400	720	6.3	1578.5	0.0088	6.28	1995.8	0.0087	6.24	1582.1	0.0087			
7	168	10080	604800	777.69	6.62	1581	0.0085	6.56	1998	0.0084	6.53	1584.5	0.0084			

Fuente: Autores

Anexo 10. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 20%. A/C 0,55

MUESTRA A/C 0,55	ESPECIMEN				34A C				35A C				36A C			
	DIAMETRO (mm)				100.5				102				102.5			
MASA (gr)				1349.7				1629.1				1601.3				
AREA EXPUESTA (mm <sup>2</sup> )				7932.73635				8171.3016				8251.60875				
DESIDAD DE AGUA (gr/mm <sup>3</sup> )				0.001				0.001				0.001				
ARN 20%				S <sup>1/2</sup>	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )			
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS													
0	0	0	0	0	0	1531.2	0	0	1629.1	0	0	1601.3	0			
0	0	1	60	7.75	0.24	1533.1	0.0309	0.17	1630.5	0.0221	0.22	1603.1	0.0282			
0	0.1	5	300	17.32	0.43	1534.6	0.0247	0.38	1632.2	0.0219	0.39	1604.5	0.0224			
0	0.2	10	600	24.49	0.47	1534.9	0.019	0.43	1632.6	0.0175	0.42	1604.8	0.0173			
0	0.3	20	1200	34.64	0.5	1535.2	0.0146	0.5	1633.2	0.0145	0.44	1604.9	0.0126			
0	0.5	30	1800	42.43	0.66	1536.4	0.0155	0.61	1634.1	0.0144	0.52	1605.6	0.0123			
0	1	60	3600	60	0.84	1537.9	0.0141	0.78	1635.5	0.0131	0.65	1606.7	0.0109			
0	2	120	7200	84.85	1.1	1539.9	0.0129	1.04	1637.6	0.0123	0.92	1608.9	0.0109			
0	3	180	10800	103.92	1.35	1541.9	0.013	1.21	1639	0.0117	1.11	1610.5	0.0107			
0	4	240	14400	120	1.53	1543.3	0.0127	1.36	1640.2	0.0113	1.3	1612	0.0108			
0	5	300	18000	134.16	1.75	1545.1	0.0131	1.62	1642.3	0.012	1.47	1613.4	0.0109			
0	6	360	21600	146.97	2	1547.1	0.0136	1.87	1644.4	0.0127	1.79	1616.1	0.0122			
1	24	1440	86400	293.94	3.98	1562.8	0.0136	3.77	1659.9	0.0128	3.74	1632.2	0.0127			
2	48	2880	172800	415.69	4.84	1569.6	0.0116	4.59	1666.6	0.011	4.46	1638.1	0.0107			
3	72	4320	259200	509.12	5.46	1574.5	0.0107	5.2	1671.6	0.0102	5.09	1643.3	0.01			
4	96	5760	345600	587.88	5.8	1577.2	0.0099	5.56	1674.5	0.0095	5.43	1646.1	0.0092			
5	120	7200	432000	657.27	6.13	1579.8	0.0093	5.85	1676.9	0.0089	5.76	1648.8	0.0088			
6	144	8640	518400	720	6.42	1582.1	0.0089	6.12	1679.1	0.0085	6.12	1651.8	0.0085			
7	168	10080	604800	777.69	6.68	1584.2	0.0086	6.33	1680.8	0.0081	6.35	1653.7	0.0082			

Fuente: Autores



Anexo 11. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 30%. A/C 0,55 + 5% de Microsilíce

MUESTRA A/C 0,55	ESPECIMEN				40A NC				41A NC				42A NC			
	DIAMETRO (mm)				101.5				101.5				101			
MASA (gr)				1349.7				1402.9				1352.9				
AREA EXPUESTA (mm <sup>2</sup> )				8011.8654				8091.38715				8011.8654				
DESIDAD DE AGUA (gr/mm <sup>3</sup> )				0.001				0.001				0.001				
ARN 30% + 5% MICROSILICE				S <sup>1/2</sup>	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )			
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS													
0	0	0	0	0	0	1349.7	0	0	1402.9	0	0	1352.9	0			
0	0	1	60	7.75	0.29	1352	0.0371	0.31	1405.4	0.0399	0.24	1354.8	0.0306			
0	0.1	5	300	17.32	0.5	1353.7	0.0288	0.46	1406.6	0.0264	0.4	1356.1	0.0231			
0	0.2	10	600	24.49	0.57	1354.3	0.0234	0.52	1407.1	0.0212	0.44	1356.4	0.0178			
0	0.3	20	1200	34.64	0.6	1354.5	0.0173	0.57	1407.5	0.0164	0.49	1356.8	0.0141			
0	0.5	30	1800	42.43	0.72	1355.5	0.0171	0.74	1408.9	0.0175	0.62	1357.9	0.0147			
0	1	60	3600	60	0.94	1357.2	0.0156	0.98	1410.8	0.0163	0.91	1360.2	0.0152			
0	2	120	7200	84.85	1.19	1359.2	0.014	1.26	1413.1	0.0149	1.15	1362.1	0.0135			
0	3	180	10800	103.92	1.4	1360.9	0.0135	1.51	1415.1	0.0145	1.29	1363.2	0.0124			
0	4	240	14400	120	1.54	1362	0.0128	1.69	1416.6	0.0141	1.54	1365.2	0.0128			
0	5	300	18000	134.16	1.66	1363	0.0124	1.85	1417.9	0.0138	1.73	1366.8	0.0129			
0	6	360	21600	146.97	1.81	1364.2	0.0123	2.09	1419.8	0.0142	1.87	1367.9	0.0127			
1	24	1440	86400	293.94	3.46	1377.4	0.0118	4.05	1435.7	0.0138	3.92	1384.3	0.0133			
2	48	2880	172800	415.69	4.37	1384.7	0.0105	4.93	1442.8	0.0119	4.69	1390.5	0.0113			
3	72	4320	259200	509.12	4.93	1389.2	0.0097	5.49	1447.3	0.0108	5.29	1395.3	0.0104			
4	96	5760	345600	587.88	5.24	1391.7	0.0089	5.83	1450.1	0.0099	5.63	1398	0.0096			
5	120	7200	432000	657.27	5.47	1393.5	0.0083	6.07	1452	0.0092	5.92	1400.3	0.009			
6	144	8640	518400	720	5.7	1395.4	0.0079	6.29	1453.8	0.0087	6.27	1403.1	0.0087			
7	168	10080	604800	777.69	5.95	1397.4	0.0077	6.43	1454.9	0.0083	6.45	1404.6	0.0083			

Fuente: Autores

Anexo 12. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 30%. A/C 0,55 + 5% de Microsilíce

MUESTRA A/C 0,55	ESPECIMEN				46A C				47A C				48A C			
	DIAMETRO (mm)				102				100				100			
MASA (gr)				1487.5				1432.6				1462.8				
AREA EXPUESTA (mm2)				8171.3016				7854				7854				
DESIDAD DE AGUA (gr/mm3)				0.001				0.001				0.001				
ARN 30% + 5% MICROSILICE				S <sup>1/2</sup>	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )			
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS													
0	0	0	0	0	0	1487.5	0	0	1432.6	0	0	1462.8	0			
0	0	1	60	7.75	0.23	1489.4	0.03	0.2	1434.2	0.0263	0.23	1464.6	0.0296			
0	0.1	5	300	17.32	0.43	1491	0.0247	0.33	1435.2	0.0191	0.37	1465.7	0.0213			
0	0.2	10	600	24.49	0.5	1491.6	0.0205	0.38	1435.6	0.0156	0.41	1466	0.0166			
0	0.3	20	1200	34.64	0.62	1492.6	0.018	0.39	1435.7	0.0114	0.43	1466.2	0.0125			
0	0.5	30	1800	42.43	0.72	1493.4	0.017	0.5	1436.5	0.0117	0.52	1466.9	0.0123			
0	1	60	3600	60	0.94	1495.2	0.0157	0.9	1439.7	0.0151	0.83	1469.3	0.0138			
0	2	120	7200	84.85	1.19	1497.2	0.014	1.02	1440.6	0.012	1.04	1471	0.0123			
0	3	180	10800	103.92	1.43	1499.2	0.0138	1.21	1442.1	0.0116	1.27	1472.8	0.0123			
0	4	240	14400	120	1.66	1501.1	0.0139	1.38	1443.4	0.0115	1.45	1474.2	0.0121			
0	5	300	18000	134.16	1.76	1501.9	0.0131	1.55	1444.8	0.0116	1.58	1475.2	0.0118			
0	6	360	21600	146.97	1.84	1502.5	0.0125	1.64	1445.5	0.0112	1.68	1476	0.0114			
1	24	1440	86400	293.94	3.62	1517.1	0.0123	3.53	1460.3	0.012	3.48	1490.1	0.0118			
2	48	2880	172800	415.69	4.42	1523.6	0.0106	4.41	1467.2	0.0106	4.3	1496.6	0.0104			
3	72	4320	259200	509.12	4.92	1527.7	0.0097	4.94	1471.4	0.0097	4.85	1500.9	0.0095			
4	96	5760	345600	587.88	5.12	1529.3	0.0087	5.26	1473.9	0.0089	5.14	1503.2	0.0087			
5	120	7200	432000	657.27	5.31	1530.9	0.0081	5.51	1475.9	0.0084	5.39	1505.1	0.0082			
6	144	8640	518400	720	5.47	1532.2	0.0076	5.79	1478.1	0.008	5.58	1506.6	0.0077			
7	168	10080	604800	777.69	5.63	1533.5	0.0072	6.09	1480.4	0.0078	5.78	1508.2	0.0074			

Fuente: Autores

Anexo 13. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 40%. A/C 0,55 + 5% de Microsilíce

MUESTRA A/C 0,55	ESPECIMEN				52A NC				53A NC				54A NC			
	DIAMETRO (mm)				100				100				100			
MASA (gr)				1208.1				1236.2				1246.1				
AREA EXPUESTA (mm <sup>2</sup> )				7854				7854				7854				
DESIDAD DE AGUA (gr/mm <sup>3</sup> )				0.001				0.001				0.001				
ARN 40% + 5% MICROSILICE				S <sup>1/2</sup>	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )			
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS													
0	0	0	0	0	0	1208.1	0	0	1236.2	0	0	1246.1	0			
0	0	1	60	7.75	0.31	1210.5	0.0394	0.29	1238.5	7.4232	0.27	1248.2	0.0345			
0	0.1	5	300	17.32	0.51	1212.1	0.0294	0.51	1240.2	0.0294	0.51	1250.1	0.0294			
0	0.2	10	600	24.49	0.53	1212.3	0.0218	0.52	1240.3	0.0213	0.55	1250.4	0.0224			
0	0.3	20	1200	34.64	0.57	1212.6	0.0165	0.57	1240.7	0.0165	0.61	1250.9	0.0176			
0	0.5	30	1800	42.43	0.79	1214.3	0.0186	0.8	1242.5	0.0189	0.81	1252.5	0.0192			
0	1	60	3600	60	1.03	1216.2	0.0172	0.99	1244	0.0166	1.03	1254.2	0.0172			
0	2	120	7200	84.85	1.3	1218.3	0.0153	1.29	1246.3	0.0152	1.34	1256.6	0.0158			
0	3	180	10800	103.92	1.49	1219.8	0.0143	1.49	1247.9	0.0143	1.5	1257.9	0.0145			
0	4	240	14400	120	1.64	1221	0.0137	1.67	1249.3	0.0139	1.67	1259.2	0.0139			
0	5	300	18000	134.16	1.78	1222.1	0.0133	1.78	1250.2	0.0133	1.76	1259.9	0.0131			
0	6	360	21600	146.97	1.91	1223.1	0.013	1.88	1251	0.0128	1.86	1260.7	0.0126			
1	24	1440	86400	293.94	3.39	1234.7	0.0115	3.32	1262.3	0.0113	3.25	1271.6	0.011			
2	48	2880	172800	415.69	3.85	1238.3	0.0093	3.77	1265.8	0.0091	3.72	1275.3	0.0089			
3	72	4320	259200	509.12	4.23	1241.3	0.0083	4.11	1268.5	0.0081	4.05	1277.9	0.008			
4	96	5760	345600	587.88	4.43	1242.9	0.0075	4.3	1270	0.0073	4.25	1279.5	0.0072			
5	120	7200	432000	657.27	4.6	1244.2	0.007	4.46	1271.2	0.0068	4.43	1280.9	0.0067			
6	144	8640	518400	720	4.81	1245.9	0.0067	4.63	1272.6	0.0064	4.62	1282.4	0.0064			
7	168	10080	604800	777.69	5.07	1247.9	0.0065	4.88	1274.5	0.0063	4.84	1284.1	0.0062			

Fuente: Autores

Anexo 14. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 40%. A/C 0,55 + 5% de Microsilíce

MUESTRA A/C 0,55	ESPECIMEN				58A C				59A C				60A C			
	DIAMETRO (mm)				100.5				101.5				103			
MASA (gr)				1365.4				1459.8				1388.1				
AREA EXPUESTA (mm <sup>2</sup> )				7932.73635				8091.38715				8332.3086				
DESIDAD DE AGUA (gr/mm <sup>3</sup> )				0.001				0.001				0.001				
ARN 40% + 5% MICROSILICE				S <sup>1/2</sup>	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )			
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS													
0	0	0	0	0	0	1365.4	0	0	1459.8	0	0	1388.1	0			
0	0	1	60	7.75	0.26	1367.5	0.0342	0.22	1461.6	0.0287	0.23	1390	0.0294			
0	0.1	5	300	17.32	0.49	1369.3	0.0284	0.41	1463.1	0.0235	0.42	1391.6	0.0243			
0	0.2	10	600	24.49	0.52	1369.5	0.0211	0.42	1463.2	0.0172	0.43	1391.7	0.0176			
0	0.3	20	1200	34.64	0.55	1369.8	0.016	0.44	1463.4	0.0128	0.47	1392	0.0135			
0	0.5	30	1800	42.43	0.73	1371.2	0.0172	0.68	1465.3	0.016	0.66	1393.6	0.0156			
0	1	60	3600	60	0.93	1372.8	0.0155	0.84	1466.6	0.014	0.84	1395.1	0.014			
0	2	120	7200	84.85	1.17	1374.7	0.0138	1.09	1468.6	0.0128	1.09	1397.2	0.0129			
0	3	180	10800	103.92	1.36	1376.2	0.0131	1.29	1470.2	0.0124	1.26	1398.6	0.0121			
0	4	240	14400	120	1.5	1377.3	0.0125	1.43	1471.4	0.0119	1.38	1399.6	0.0115			
0	5	300	18000	134.16	1.58	1377.9	0.0117	1.52	1472.1	0.0113	1.48	1400.4	0.011			
0	6	360	21600	146.97	1.66	1378.6	0.0113	1.59	1472.7	0.0108	1.54	1400.9	0.0105			
1	24	1440	86400	293.94	2.9	1388.4	0.0099	2.67	1481.4	0.0091	2.68	1410.4	0.0091			
2	48	2880	172800	415.69	3.4	1392.4	0.0082	3.15	1485.3	0.0076	3.08	1413.8	0.0074			
3	72	4320	259200	509.12	3.72	1394.9	0.0073	3.44	1487.6	0.0067	3.35	1416	0.0066			
4	96	5760	345600	587.88	3.93	1396.6	0.0067	3.61	1489	0.0061	3.53	1417.5	0.006			
5	120	7200	432000	657.27	4.08	1397.8	0.0062	3.77	1490.3	0.0057	3.66	1418.6	0.0056			
6	144	8640	518400	720	4.22	1398.9	0.0059	3.87	1491.1	0.0054	3.78	1419.6	0.0053			
7	168	10080	604800	777.69	4.41	1400.4	0.0057	4.03	1492.4	0.0052	3.95	1421	0.0051			

Fuente: Autores

Anexo 15. Permeabilidad al agua en mezcla de concreto con relación A/C 0,55.

A/C 0,55				S <sup>1/2</sup>	ARN 0%					
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS		4A NC	5A NC	6A NC	10A C	11A C	12A C
				I (mm)	I (mm)	I (mm)	I (mm)	I (mm)	I (mm)	
0	0	0	0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0	0	1	60	7,75	0,318	0,390	0,355	0,335	0,383	0,319
0	0,1	5	300	17,32	0,501	0,586	0,636	0,467	0,491	0,491
0	0,2	10	600	24,49	0,550	0,659	0,819	0,622	0,622	0,553
0	0,3	20	1200	34,64	0,611	0,805	0,978	0,778	0,670	0,614
0	0,5	30	1800	42,43	0,794	1,110	1,210	1,029	0,886	0,762
0	1	60	3600	60,00	1,087	1,415	1,528	1,292	1,173	1,081
0	2	120	7200	84,85	1,453	1,794	1,883	1,663	1,675	1,474
0	3	180	10800	103,92	1,759	2,074	2,201	2,046	2,046	1,769
0	4	240	14400	120,00	2,015	2,343	2,555	2,740	2,393	2,138
0	5	300	18000	134,16	2,260	2,562	2,800	2,944	2,740	2,469
0	6	360	21600	146,97	2,650	2,806	3,179	3,410	3,063	2,850
1	24	1440	86400	293,94	4,079	4,198	4,866	4,954	4,152	4,349
2	48	2880	172800	415,69	5,423	5,515	6,076	5,588	4,966	5,037
3	72	4320	259200	509,12	6,522	6,552	7,189	5,923	5,505	5,713
4	96	5760	345600	587,88	7,389	7,407	8,069	6,247	5,911	6,204
5	120	7200	432000	657,27	8,183	8,163	8,876	6,522	6,318	6,634
6	144	8640	518400	720,00	8,965	8,968	9,707	6,821	6,725	7,101
7	168	10080	604800	777,69	9,808	9,749	10,478	7,072	7,120	7,531

Fuente: Autores

Anexo. 16. Permeabilidad al agua en mezcla de concreto con relación A/C 0,55 y sustitución de agregado fino por neumático de 10% y 20%.

A/C 0,55				S <sup>1/2</sup>	ARN 10%						ARN 20%					
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS		16A NC	17A NC	18A NC	22A C	23A C	24A C	28A NC	29A NC	30A NC	34A C	35A C	36A C
					l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	60	7.75	0.21	0.262	0.225	0.212	0.225	0.198	0.15	0.24	0.246	0.24	0.171	0.218
0	0.1	5	300	17.32	0.383	0.437	0.437	0.362	0.412	0.383	0.349	0.517	0.455	0.429	0.379	0.388
0	0.2	10	600	24.49	0.507	0.487	0.499	0.399	0.499	0.445	0.462	0.58	0.504	0.466	0.428	0.424
0	0.3	20	1200	34.64	0.63	0.512	0.562	0.424	0.524	0.531	0.599	0.605	0.553	0.504	0.502	0.436
0	0.5	30	1800	42.43	0.779	0.699	0.799	0.612	0.736	0.692	0.724	0.693	0.627	0.656	0.612	0.521
0	1	60	3600	60	0.989	0.974	1.048	0.786	0.936	0.915	0.911	0.857	0.885	0.845	0.783	0.654
0	2	120	7200	84.85	1.285	1.298	1.373	1.073	1.223	1.186	1.211	1.172	1.144	1.097	1.04	0.921
0	3	180	10800	103.92	1.52	1.51	1.573	1.236	1.36	1.359	1.41	1.349	1.316	1.349	1.212	1.115
0	4	240	14400	120	1.693	1.747	1.81	1.423	1.56	1.594	1.573	1.551	1.5	1.525	1.358	1.297
0	5	300	18000	134.16	1.854	2.047	2.072	1.598	1.785	1.854	1.722	1.74	1.673	1.752	1.615	1.466
0	6	360	21600	146.97	2.15	2.322	2.334	1.847	2.072	2.064	1.972	1.979	1.906	2.004	1.872	1.794
1	24	1440	86400	293.94	3.868	4.044	3.894	3.308	3.607	3.522	3.482	3.567	3.468	3.983	3.769	3.745
2	48	2880	172800	415.69	4.857	4.955	4.756	4.019	4.344	4.313	4.331	4.45	4.477	4.841	4.589	4.46
3	72	4320	259200	509.12	5.623	5.692	5.467	4.581	4.993	4.931	5.08	5.168	5.19	5.458	5.201	5.09
4	96	5760	345600	587.88	6.006	6.066	5.866	4.943	5.33	5.302	5.554	5.559	5.559	5.799	5.556	5.429
5	120	7200	432000	657.27	6.352	6.428	6.191	5.255	5.654	5.636	5.941	5.963	5.915	6.127	5.85	5.756
6	144	8640	518400	720	6.736	6.79	6.541	5.642	6.029	5.969	6.303	6.278	6.235	6.416	6.119	6.12
7	168	10080	604800	777.69	7.106	7.14	6.915	6.004	6.341	6.315	6.615	6.555	6.53	6.681	6.327	6.35

Fuente: Autores

Anexo 17. Permeabilidad al agua en mezcla de concreto con relación A/C 0,55 y sustitución de agregado fino por neumático de 30% y 40%, adición de 5% de microsilice.

A/C 0,55				S <sup>1/2</sup>	ARN 30% + 5% MICROSILICE						ARN 40% + 5% MICROSILICE					
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS		40A NC	41A NC	42A NC	46A C	47A C	48A C	52A NC	53A NC	54A NC	58A C	59A C	60A C
					I (mm)	I (mm)	I (mm)	I (mm)	I (mm)	I (mm)	I (mm)	I (mm)	I (mm)	I (mm)	I (mm)	I (mm)
0	0	0	0	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0	1	60	7.75	0.287	0.309	0.237	0.233	0.204	0.229	0.306	0.293	0.267	0.265	0.222	0.228
0	0.1	5	300	17.32	0.499	0.457	0.399	0.428	0.331	0.369	0.509	0.509	0.509	0.492	0.408	0.420
0	0.2	10	600	24.49	0.574	0.519	0.437	0.502	0.382	0.407	0.535	0.522	0.547	0.517	0.420	0.432
0	0.3	20	1200	34.64	0.599	0.569	0.487	0.624	0.395	0.433	0.573	0.573	0.611	0.555	0.445	0.468
0	0.5	30	1800	42.43	0.724	0.742	0.624	0.722	0.497	0.522	0.789	0.802	0.815	0.731	0.680	0.660
0	1	60	3600	60.00	0.936	0.976	0.911	0.942	0.904	0.828	1.031	0.993	1.031	0.933	0.840	0.840
0	2	120	7200	84.85	1.186	1.261	1.148	1.187	1.019	1.044	1.299	1.286	1.337	1.172	1.088	1.092
0	3	180	10800	103.92	1.398	1.508	1.286	1.432	1.210	1.273	1.490	1.490	1.502	1.361	1.285	1.260
0	4	240	14400	120.00	1.535	1.693	1.535	1.664	1.375	1.451	1.642	1.668	1.668	1.500	1.434	1.380
0	5	300	18000	134.16	1.660	1.854	1.735	1.762	1.553	1.579	1.783	1.783	1.757	1.576	1.520	1.476
0	6	360	21600	146.97	1.810	2.089	1.872	1.836	1.642	1.681	1.910	1.884	1.859	1.664	1.594	1.536
1	24	1440	86400	293.94	3.457	4.054	3.919	3.622	3.527	3.476	3.387	3.323	3.247	2.899	2.670	2.676
2	48	2880	172800	415.69	4.369	4.931	4.693	4.418	4.405	4.304	3.845	3.769	3.718	3.404	3.151	3.084
3	72	4320	259200	509.12	4.930	5.487	5.292	4.920	4.940	4.851	4.227	4.113	4.049	3.719	3.436	3.348
4	96	5760	345600	587.88	5.242	5.833	5.629	5.115	5.258	5.144	4.431	4.304	4.253	3.933	3.609	3.528
5	120	7200	432000	657.27	5.467	6.068	5.916	5.311	5.513	5.386	4.596	4.456	4.431	4.084	3.769	3.660
6	144	8640	518400	720.00	5.704	6.291	6.266	5.470	5.793	5.577	4.813	4.635	4.622	4.223	3.868	3.780
7	168	10080	604800	777.69	5.954	6.427	6.453	5.629	6.086	5.780	5.067	4.876	4.838	4.412	4.029	3.948

Fuente: Autores

Anexo 18. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 0%. A/C 0,65

MUESTRA A/C 0,65	ESPECIMEN				4J NC				5J NC				6J NC			
	DIAMETRO (mm)				101.8				103.2				102.5			
MASA (gr)				1587.5				1597				1597				
AREA EXPUESTA (mm2)				8139.29				8364.7				8251.61				
DESIDAD DE AGUA (gr/mm3)				0.001				0.001				0.001				
ARN 0%				S <sup>1/2</sup>	I (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	I (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	I (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )			
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS													
0	0	0	0	0	0	1587.5	0	0	1597	0	0	1597	0			
0	0	1	60	7.75	0.12	1588.5	0.0159	0.36	1600	0.0463	0.36	1600	0.0469			
0	0.1	5	300	17.32	0.49	1591.5	0.0284	0.6	1602	0.0345	0.61	1602	0.035			
0	0.2	10	600	24.49	0.98	1595.5	0.0401	0.72	1603	0.0293	1.21	1607	0.0495			
0	0.3	20	1200	34.64	1.23	1597.5	0.0355	1.2	1607	0.0345	1.33	1608	0.0385			
0	0.5	30	1800	42.43	1.84	1602.5	0.0434	1.43	1609	0.0338	1.58	1610	0.0371			
0	1	60	3600	60	1.97	1603.5	0.0328	2.15	1615	0.0359	2.42	1617	0.0404			
0	2	120	7200	84.85	2.21	1605.5	0.0261	2.27	1616	0.0268	2.97	1621.5	0.035			
0	3	180	10800	103.92	3.19	1613.5	0.0307	3.23	1624	0.0311	3.33	1624.5	0.0321			
0	4	240	14400	120	3.32	1614.5	0.0276	3.83	1629	0.0319	3.62	1626.83	0.0301			
0	5	300	18000	134.16	3.93	1619.5	0.0293	4.18	1632	0.0312	3.74	1627.83	0.0278			
0	6	360	21600	146.97	4.67	1625.5	0.0318	4.3	1633	0.0293	3.91	1629.265	0.0266			
1	24	1440	86400	293.94	5.9	1635.5	0.0201	5.98	1647	0.0203	5.68	1643.865	0.0193			
2	48	2880	172800	415.69	6.27	1638.5	0.0151	6.58	1652	0.0158	6.08	1647.165	0.0146			
3	72	4320	259200	509.12	6.39	1639.5	0.0125	6.93	1655	0.0136	6.44	1650.165	0.0127			
4	96	5760	345600	587.88	6.88	1643.5	0.0117	7.11	1656.5	0.0121	6.56	1651.165	0.0112			
5	120	7200	432000	657.27	7.49	1648.5	0.0114	7.35	1658.5	0.0112	6.81	1653.165	0.0104			
6	144	8640	518400	720	7.62	1649.5	0.0106	8.07	1664.5	0.0112	7.65	1660.165	0.0106			
7	168	10080	604800	777.69	7.99	1652.5	0.0103	8.43	1667.5	0.0108	8.02	1663.165	0.0103			

Fuente: Autores



Anexo 19. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 0%. A/C 0,65

MUESTRA A/C 0,65	ESPECIMEN				10J C				11J C				12J C			
	DIAMETRO (mm)				101				101.4				101.1			
	MASA (gr)				1665				1680.5				1604.5			
	AREA EXPUESTA (mm <sup>2</sup> )				8011.87				8075.45				8027.74			
	DESIDAD DE AGUA (gr/mm <sup>3</sup> )				0.001				0.001				0.001			
ARN 0%				S <sup>^</sup> 1/2	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>^</sup> 1/2)	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>^</sup> 1/2)	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>^</sup> 1/2)			
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS													
0	0	0	0	0	0	1665	0	0	1680.5	0	0	1604.5	0			
0	0	1	60	7.75	0.75	1671	0.0967	0.12	1681.5	0.016	0.35	1607.3	0.045			
0	0.1	5	300	17.32	1.37	1676	0.0793	0.62	1685.5	0.0357	0.47	1608.3	0.0273			
0	0.2	10	600	24.49	1.5	1677	0.0611	0.9	1687.8	0.0369	0.85	1611.3	0.0346			
0	0.3	20	1200	34.64	1.75	1679	0.0504	1.77	1694.8	0.0511	1.35	1615.3	0.0388			
0	0.5	30	1800	42.43	1.92	1680.4	0.0453	2.02	1696.8	0.0476	1.84	1619.3	0.0435			
0	1	60	3600	60	2.67	1686.4	0.0445	2.74	1702.6	0.0456	2.59	1625.3	0.0432			
0	2	120	7200	84.85	3.54	1693.4	0.0418	3.73	1710.6	0.0439	3.31	1631.1	0.0391			
0	3	180	10800	103.92	3.79	1695.4	0.0365	4.47	1716.6	0.043	4.19	1638.1	0.0403			
0	4	240	14400	120	4.47	1700.8	0.0372	4.59	1717.6	0.0383	4.75	1642.6	0.0396			
0	5	300	18000	134.16	4.76	1703.1	0.0354	5.09	1721.6	0.0379	5.49	1648.6	0.0409			
0	6	360	21600	146.97	5.48	1708.9	0.0373	5.34	1723.6	0.0363	6.12	1653.6	0.0416			
1	24	1440	86400	293.94	7.23	1722.9	0.0246	7.19	1738.6	0.0245	7.36	1663.6	0.025			
2	48	2880	172800	415.69	7.68	1726.5	0.0185	7.32	1739.6	0.0176	7.79	1667	0.0187			
3	72	4320	259200	509.12	7.8	1727.5	0.0153	7.57	1741.6	0.0149	8.15	1669.9	0.016			
4	96	5760	345600	587.88	8.8	1735.5	0.015	7.94	1744.6	0.0135	8.65	1673.9	0.0147			
5	120	7200	432000	657.27	9.06	1737.6	0.0138	8.68	1750.6	0.0132	8.77	1674.9	0.0133			
6	144	8640	518400	720	9.44	1740.6	0.0131	8.8	1751.6	0.0122	9.14	1677.9	0.0127			
7	168	10080	604800	777.69	10.06	1745.6	0.0129	9.19	1754.7	0.0118	9.39	1679.9	0.0121			

Fuente: Autores

Anexo 20. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 10%. A/C 0,65

MUESTRA A/C 0,65	ESPECIMEN				16J NC				17J NC				18J NC			
	DIAMETRO (mm)				101.9				102				102.2			
MASA (gr)				1599.5				1622.5				1655				
AREA EXPUESTA (mm <sup>2</sup> )				8155.29				8171.3				8203.38				
DESIDAD DE AGUA (gr/mm <sup>3</sup> )				0.001				0.001				0.001				
ARN 10%				S <sup>1/2</sup>	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )			
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS													
0	0	0	0	0	0	1599.5	0	0	1622.5	0	0	1655	0			
0	0	1	60	7.75	0.28	1601.8	0.0364	0.24	1624.5	0.0316	0.22	1656.8	0.0283			
0	0.1	5	300	17.32	0.48	1603.4	0.0276	0.42	1625.9	0.024	0.34	1657.8	0.0197			
0	0.2	10	600	24.49	0.54	1603.9	0.022	0.45	1626.2	0.0185	0.37	1658	0.0149			
0	0.3	20	1200	34.64	0.56	1604.1	0.0163	0.47	1626.3	0.0134	0.38	1658.15	0.0111			
0	0.5	30	1800	42.43	0.8	1606	0.0188	0.62	1627.6	0.0147	0.51	1659.15	0.0119			
0	1	60	3600	60	0.99	1607.6	0.0166	0.77	1628.8	0.0128	0.68	1660.6	0.0114			
0	2	120	7200	84.85	1.2	1609.3	0.0142	0.95	1630.25	0.0112	0.85	1661.95	0.01			
0	3	180	10800	103.92	1.4	1610.9	0.0135	1.1	1631.45	0.0105	0.97	1662.95	0.0093			
0	4	240	14400	120	1.55	1612.1	0.0129	1.19	1632.25	0.0099	1.09	1663.95	0.0091			
0	5	300	18000	134.16	1.68	1613.2	0.0125	1.3	1633.15	0.0097	1.16	1664.55	0.0087			
0	6	360	21600	146.97	1.84	1614.5	0.0125	1.41	1634.05	0.0096	1.31	1665.75	0.0089			
1	24	1440	86400	293.94	3.31	1626.5	0.0113	2.39	1642.05	0.0081	1.92	1670.75	0.0065			
2	48	2880	172800	415.69	4.11	1633	0.0099	2.91	1646.25	0.007	2.53	1675.75	0.0061			
3	72	4320	259200	509.12	4.6	1637	0.009	3.3	1649.45	0.0065	2.97	1679.35	0.0058			
4	96	5760	345600	587.88	4.89	1639.4	0.0083	3.57	1651.65	0.0061	3.19	1681.15	0.0054			
5	120	7200	432000	657.27	5.09	1641	0.0077	3.75	1653.11	0.0057	3.38	1682.7	0.0051			
6	144	8640	518400	720	5.32	1642.9	0.0074	3.92	1654.51	0.0054	3.6	1684.53	0.005			
7	168	10080	604800	777.69	5.57	1644.9	0.0072	4.14	1656.36	0.0053	3.81	1686.28	0.0049			

Fuente: Autores

Anexo 21. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 10%. A/C 0,65

MUESTRA A/C 0,65	ESPECIMEN				22J C				23J C				24J C			
	DIAMETRO (mm)				101.5				101				101.1			
	MASA (gr)				1717.5				1685				1757.5			
	AREA EXPUESTA (mm <sup>2</sup> )				8091.39				8011.87				8027.74			
	DESIDAD DE AGUA (gr/mm <sup>3</sup> )				0.001				0.001				0.001			
ARN 10%					S <sup>^</sup> 1/2	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>^</sup> 1/2)	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>^</sup> 1/2)	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>^</sup> 1/2)		
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS													
0	0	0	0	0	0	1717.5	0	0	1685	0	0	1757.5	0			
0	0	1	60	7.75	0.28	1719.8	0.0367	0.25	1687	0.0322	0.22	1759.3	0.0289			
0	0.1	5	300	17.32	0.48	1721.4	0.0278	0.42	1688.4	0.0245	0.35	1760.3	0.0201			
0	0.2	10	600	24.49	0.54	1721.9	0.0222	0.46	1688.7	0.0189	0.37	1760.5	0.0153			
0	0.3	20	1200	34.64	0.57	1722.1	0.0164	0.47	1688.8	0.0137	0.39	1760.65	0.0113			
0	0.5	30	1800	42.43	0.8	1724	0.0189	0.64	1690.1	0.015	0.52	1761.65	0.0122			
0	1	60	3600	60	1	1725.6	0.0167	0.79	1691.3	0.0131	0.7	1763.1	0.0116			
0	2	120	7200	84.85	1.21	1727.3	0.0143	0.97	1692.75	0.0114	0.87	1764.45	0.0102			
0	3	180	10800	103.92	1.41	1728.9	0.0136	1.12	1693.95	0.0107	0.99	1765.45	0.0095			
0	4	240	14400	120	1.56	1730.1	0.013	1.22	1694.75	0.0101	1.11	1766.45	0.0093			
0	5	300	18000	134.16	1.69	1731.2	0.0126	1.33	1695.65	0.0099	1.19	1767.05	0.0089			
0	6	360	21600	146.97	1.85	1732.5	0.0126	1.44	1696.55	0.0098	1.34	1768.25	0.0091			
1	24	1440	86400	293.94	3.34	1744.5	0.0114	2.44	1704.55	0.0083	1.96	1773.25	0.0067			
2	48	2880	172800	415.69	4.14	1751	0.01	2.96	1708.75	0.0071	2.58	1778.25	0.0062			
3	72	4320	259200	509.12	4.63	1755	0.0091	3.36	1711.95	0.0066	3.03	1781.85	0.006			
4	96	5760	345600	587.88	4.93	1757.4	0.0084	3.64	1714.15	0.0062	3.26	1783.65	0.0055			
5	120	7200	432000	657.27	5.13	1759	0.0078	3.82	1715.61	0.0058	3.45	1785.2	0.0052			
6	144	8640	518400	720	5.36	1760.9	0.0074	4	1717.01	0.0055	3.68	1787.03	0.0051			
7	168	10080	604800	777.69	5.61	1762.9	0.0072	4.23	1718.86	0.0054	3.9	1788.78	0.005			

Fuente: Autores

Anexo 22. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 20%. A/C 0,65

MUESTRA A/C 0,65	ESPECIMEN				28J NC				29J NC				30J NC			
	DIAMETRO (mm)				101.2				101.8				101.8			
MASA (gr)				1030				1567				1037.15				
AREA EXPUESTA (mm <sup>2</sup> )				8043.63				8139.29				8139.29				
DESIDAD DE AGUA (gr/mm <sup>3</sup> )				0.001				0.001				0.001				
ARN 20%				S <sup>1/2</sup>	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )			
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS													
0	0	0	0	0	0	1030	0	0	1567	0	0	1037.15	0			
0	0	1	60	7.75	0.29	1032.3	0.0369	0.25	1569	0.0317	0.23	1039	0.0293			
0	0.1	5	300	17.32	0.48	1033.9	0.028	0.43	1570.5	0.0248	0.42	1040.55	0.0241			
0	0.2	10	600	24.49	0.55	1034.4	0.0223	0.47	1570.8	0.0191	0.43	1040.65	0.0176			
0	0.3	20	1200	34.64	0.57	1034.6	0.0165	0.49	1570.96	0.014	0.45	1040.805	0.013			
0	0.5	30	1800	42.43	0.81	1036.5	0.019	0.72	1572.82	0.0169	0.66	1042.555	0.0157			
0	1	60	3600	60	1	1038.05	0.0167	0.89	1574.22	0.0148	0.86	1044.155	0.0143			
0	2	120	7200	84.85	1.21	1039.75	0.0143	1.1	1575.94	0.0129	1.06	1045.755	0.0125			
0	3	180	10800	103.92	1.34	1040.75	0.0129	1.29	1577.54	0.0125	1.24	1047.205	0.0119			
0	4	240	14400	120	1.49	1041.95	0.0124	1.44	1578.69	0.012	1.36	1048.255	0.0114			
0	5	300	18000	134.16	1.62	1043.05	0.0121	1.55	1579.59	0.0115	1.49	1049.255	0.0111			
0	6	360	21600	146.97	1.78	1044.35	0.0121	1.67	1580.59	0.0114	1.62	1050.355	0.011			
1	24	1440	86400	293.94	3.28	1056.35	0.0111	2.9	1590.59	0.0099	2.73	1059.355	0.0093			
2	48	2880	172800	415.69	4.08	1062.85	0.0098	3.51	1595.59	0.0084	3.31	1064.055	0.008			
3	72	4320	259200	509.12	4.58	1066.85	0.009	3.94	1599.09	0.0077	3.77	1067.855	0.0074			
4	96	5760	345600	587.88	4.88	1069.25	0.0083	4.19	1601.09	0.0071	3.99	1069.655	0.0068			
5	120	7200	432000	657.27	5.08	1070.85	0.0077	4.34	1602.29	0.0066	4.18	1071.155	0.0064			
6	144	8640	518400	720	5.31	1072.75	0.0074	4.55	1604.07	0.0063	4.39	1072.855	0.0061			
7	168	10080	604800	777.69	5.56	1074.75	0.0072	4.78	1605.87	0.0061	4.58	1074.455	0.0059			

Fuente: Autores

Anexo 23. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 20%. A/C 0,65

MUESTRA A/C 0,65	ESPECIMEN				34J C				35J C				36J C			
	DIAMETRO (mm)				102				100.8				102			
MASA (gr)				1515.6				1508.5				1491.14				
AREA EXPUESTA (mm2)				8171.3				7980.17				8171.3				
DESIDAD DE AGUA (gr/mm3)				0.001				0.001				0.001				
ARN 20%				S <sup>1/2</sup>	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )			
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS													
0	0	0	0	0	0	1515.6	0	0	1508.5	0	0	1491.14	0			
0	0	1	60	7.75	0.28	1517.9	0.0363	0.25	1510.5	0.0324	0.23	1492.99	0.0292			
0	0.1	5	300	17.32	0.48	1519.5	0.0276	0.44	1512	0.0253	0.42	1494.54	0.024			
0	0.2	10	600	24.49	0.54	1520	0.022	0.48	1512.3	0.0194	0.43	1494.64	0.0175			
0	0.3	20	1200	34.64	0.56	1520.2	0.0163	0.5	1512.46	0.0143	0.45	1494.795	0.0129			
0	0.5	30	1800	42.43	0.8	1522.1	0.0187	0.73	1514.32	0.0172	0.66	1496.545	0.0156			
0	1	60	3600	60	0.99	1523.65	0.0164	0.9	1515.72	0.0151	0.86	1498.145	0.0143			
0	2	120	7200	84.85	1.19	1525.35	0.0141	1.12	1517.44	0.0132	1.05	1499.745	0.0124			
0	3	180	10800	103.92	1.32	1526.35	0.0127	1.32	1519.04	0.0127	1.23	1501.195	0.0118			
0	4	240	14400	120	1.46	1527.55	0.0122	1.46	1520.19	0.0122	1.36	1502.245	0.0113			
0	5	300	18000	134.16	1.6	1528.65	0.0119	1.58	1521.09	0.0118	1.48	1503.245	0.011			
0	6	360	21600	146.97	1.76	1529.95	0.0119	1.7	1522.09	0.0116	1.62	1504.345	0.011			
1	24	1440	86400	293.94	3.22	1541.95	0.011	2.96	1532.09	0.0101	2.72	1513.345	0.0092			
2	48	2880	172800	415.69	4.02	1548.45	0.0097	3.58	1537.09	0.0086	3.29	1518.045	0.0079			
3	72	4320	259200	509.12	4.51	1552.45	0.0089	4.02	1540.59	0.0079	3.78	1522.045	0.0074			
4	96	5760	345600	587.88	4.8	1554.85	0.0082	4.27	1542.59	0.0073	4	1523.845	0.0068			
5	120	7200	432000	657.27	5	1556.45	0.0076	4.42	1543.79	0.0067	4.19	1525.345	0.0064			
6	144	8640	518400	720	5.23	1558.35	0.0073	4.65	1545.57	0.0065	4.39	1527.045	0.0061			
7	168	10080	604800	777.69	5.48	1560.35	0.007	4.87	1547.37	0.0063	4.59	1528.645	0.0059			

Fuente: Autores

Anexo 24. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 30%. A/C 0,65 + 5% de Microsilíce

MUESTRA A/C 0,65	ESPECIMEN				40J NC				41J NC				42J NC			
	DIAMETRO (mm)				101				101.1				101.8			
MASA (gr)				1102				1142.3				1145.3				
AREA EXPUESTA (mm <sup>2</sup> )				8011.87				8027.74				8139.29				
DESIDAD DE AGUA (gr/mm <sup>3</sup> )				0.001				0.001				0.001				
ARN 30% + 5% DE MICROSILICE				S <sup>1/2</sup>	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )			
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS													
0	0	0	0	0	0	1102	0	0	1142.3	0	0	1145.3	0			
0	0	1	60	7.75	0.29	1104.3	0.0371	0.25	1144.3	0.0322	0.23	1147.15	0.0293			
0	0.1	5	300	17.32	0.49	1105.9	0.0281	0.45	1145.95	0.0263	0.41	1148.6	0.0234			
0	0.2	10	600	24.49	0.55	1106.4	0.0224	0.51	1146.4	0.0209	0.44	1148.9	0.0181			
0	0.3	20	1200	34.64	0.57	1106.6	0.0166	0.53	1146.58	0.0154	0.46	1149.05	0.0133			
0	0.5	30	1800	42.43	0.81	1108.5	0.0191	0.72	1148.09	0.017	0.69	1150.9	0.0162			
0	1	60	3600	60	1.01	1110.1	0.0169	0.9	1149.54	0.015	0.87	1152.4	0.0145			
0	2	120	7200	84.85	1.22	1111.8	0.0144	1.11	1151.19	0.0131	1.04	1153.8	0.0123			
0	3	180	10800	103.92	1.42	1113.4	0.0137	1.29	1152.69	0.0125	1.22	1155.2	0.0117			
0	4	240	14400	120	1.57	1114.6	0.0131	1.42	1153.69	0.0118	1.33	1156.1	0.0111			
0	5	300	18000	134.16	1.71	1115.7	0.0127	1.48	1154.19	0.011	1.45	1157.1	0.0108			
0	6	360	21600	146.97	1.87	1117	0.0127	1.59	1155.09	0.0108	1.57	1158.1	0.0107			
1	24	1440	86400	293.94	3.37	1129	0.0115	2.84	1165.09	0.0097	2.68	1167.1	0.0091			
2	48	2880	172800	415.69	4.18	1135.5	0.0101	3.34	1169.09	0.008	3.42	1173.1	0.0082			
3	72	4320	259200	509.12	4.68	1139.5	0.0092	3.77	1172.59	0.0074	3.78	1176.1	0.0074			
4	96	5760	345600	587.88	4.98	1141.9	0.0085	4.02	1174.59	0.0068	4.01	1177.9	0.0068			
5	120	7200	432000	657.27	5.18	1143.5	0.0079	4.21	1176.09	0.0064	4.16	1179.2	0.0063			
6	144	8640	518400	720	5.42	1145.4	0.0075	4.43	1177.89	0.0062	4.38	1180.95	0.0061			
7	168	10080	604800	777.69	5.67	1147.4	0.0073	4.62	1179.39	0.0059	4.5	1181.95	0.0058			

Fuente: Autores

Anexo 25. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 30%. A/C 0,65 + 5% de Microsilíce

MUESTRA A/C 0,65	ESPECIMEN				46J C				47J C				48J C			
	DIAMETRO (mm)				101.4				100				101.2			
MASA (gr)				1367				1350				1357				
AREA EXPUESTA (mm2)				8075.45				7854				8043.63				
DESIDAD DE AGUA (gr/mm3)				0.001				0.001				0.001				
ARN 30% + 5% DE MICROSILICE					S <sup>1/2</sup>	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )		
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS													
0	0	0	0	0	0	1367	0	0	1350	0	0	1357	0			
0	0	1	60	7.75	0.28	1369.3	0.0368	0.25	1352	0.0329	0.29	1359.3	0.0369			
0	0.1	5	300	17.32	0.48	1370.9	0.0279	0.42	1353.3	0.0243	0.41	1360.3	0.0237			
0	0.2	10	600	24.49	0.54	1371.4	0.0222	0.46	1353.6	0.0187	0.46	1360.7	0.0188			
0	0.3	20	1200	34.64	0.79	1373.4	0.0229	0.48	1353.75	0.0138	0.48	1360.88	0.0139			
0	0.5	30	1800	42.43	1.03	1375.3	0.0242	0.71	1355.55	0.0167	0.67	1362.38	0.0158			
0	1	60	3600	60	1.23	1376.9	0.0204	0.9	1357.1	0.0151	0.85	1363.85	0.0142			
0	2	120	7200	84.85	1.44	1378.6	0.0169	1.12	1358.78	0.0132	1.06	1365.51	0.0125			
0	3	180	10800	103.92	1.62	1380.1	0.0156	1.28	1360.08	0.0123	1.25	1367.06	0.012			
0	4	240	14400	120	1.77	1381.3	0.0148	1.41	1361.08	0.0118	1.36	1367.96	0.0114			
0	5	300	18000	134.16	1.91	1382.4	0.0142	1.54	1362.08	0.0115	1.46	1368.76	0.0109			
0	6	360	21600	146.97	2.07	1383.7	0.0141	1.69	1363.3	0.0115	1.62	1370.01	0.011			
1	24	1440	86400	293.94	3.55	1395.7	0.0121	3.09	1374.3	0.0105	2.61	1378.01	0.0089			
2	48	2880	172800	415.69	4.36	1402.2	0.0105	3.6	1378.3	0.0087	3.33	1383.81	0.008			
3	72	4320	259200	509.12	4.85	1406.2	0.0095	4.09	1382.1	0.008	3.72	1386.91	0.0073			
4	96	5760	345600	587.88	5.15	1408.6	0.0088	4.34	1384.1	0.0074	4.01	1389.26	0.0068			
5	120	7200	432000	657.27	5.35	1410.2	0.0081	4.53	1385.6	0.0069	4.21	1390.84	0.0064			
6	144	8640	518400	720	5.58	1412.1	0.0078	4.78	1387.51	0.0066	4.44	1392.71	0.0062			
7	168	10080	604800	777.69	5.83	1414.1	0.0075	5.03	1389.47	0.0065	4.67	1394.58	0.006			

Fuente: Autores

Anexo 26. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 40%. A/C 0,65 + 5% de Microsilíce

MUESTRA A/C 0,65	ESPECIMEN				52J NC				53J NC			54J NC		
	DIAMETRO (mm)				101.20				101.40			102.00		
MASA (gr)				1102				1142.3			1145.3			
AREA EXPUESTA (mm2)				8043.63				8075.45			8171.30			
DESIDAD DE AGUA (gr/mm3)				0.001				0.001			0.001			
ARN 40% + 5% DE MICROSILICE				S <sup>1/2</sup>	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS											
0	0	0	0	0.00	0.00	1102	0.00	0.00	1142.3	0.00	0.00	1145.3	0.00	
0	0	1	60	7.75	0.29	1104.3	0.0369	0.25	1144.3	0.0320	0.23	1147.15	0.0292	
0	0.1	5	300	17.32	0.48	1105.9	0.0280	0.45	1145.95	0.0261	0.40	1148.6	0.0233	
0	0.2	10	600	24.49	0.55	1106.4	0.0223	0.51	1146.4	0.0207	0.44	1148.9	0.0180	
0	0.3	20	1200	34.64	0.57	1106.6	0.0165	0.53	1146.58	0.0153	0.46	1149.05	0.0132	
0	0.5	30	1800	42.43	0.81	1108.5	0.0190	0.72	1148.09	0.0169	0.69	1150.9	0.0162	
0	1	60	3600	60.00	1.01	1110.1	0.0168	0.90	1149.54	0.0149	0.87	1152.4	0.0145	
0	2	120	7200	84.85	1.22	1111.8	0.0144	1.10	1151.19	0.0130	1.04	1153.8	0.0123	
0	3	180	10800	103.92	1.42	1113.4	0.0136	1.29	1152.69	0.0124	1.21	1155.2	0.0117	
0	4	240	14400	120.00	1.57	1114.6	0.0131	1.41	1153.69	0.0118	1.32	1156.1	0.0110	
0	5	300	18000	134.16	1.70	1115.7	0.0127	1.47	1154.19	0.0110	1.44	1157.1	0.0108	
0	6	360	21600	146.97	1.86	1117	0.0127	1.58	1155.09	0.0108	1.57	1158.1	0.0107	
1	24	1440	86400	293.94	3.36	1129	0.0114	2.82	1165.09	0.0096	2.67	1167.1	0.0091	
2	48	2880	172800	415.69	4.16	1135.5	0.0100	3.32	1169.09	0.0080	3.40	1173.1	0.0082	
3	72	4320	259200	509.12	4.66	1139.5	0.0092	3.75	1172.59	0.0074	3.77	1176.1	0.0074	
4	96	5760	345600	587.88	4.96	1141.9	0.0084	4.00	1174.59	0.0068	3.99	1177.9	0.0068	
5	120	7200	432000	657.27	5.16	1143.5	0.0078	4.18	1176.09	0.0064	4.15	1179.2	0.0063	
6	144	8640	518400	720.00	5.40	1145.4	0.0075	4.41	1177.89	0.0061	4.36	1180.95	0.0061	
7	168	10080	604800	777.69	5.64	1147.4	0.0073	4.59	1179.39	0.0059	4.49	1181.95	0.0058	

Fuente: Autores



Anexo 27. Sortividad del concreto no curado, con sustitución de neumático de 40%. A/C 0,65 + 5% de Microsilíce

MUESTRA A/C 0,65	ESPECIMEN				58J C				59J C				60J C			
	DIAMETRO (mm)				101.5				100.5				102.8			
MASA (gr)				1224.5				1248.1				1246				
AREA EXPUESTA (mm2)				8091.39				7932.74				8299.98				
DESIDAD DE AGUA (gr/mm3)				0.001				0.001				0.001				
ARN 40% + 5% DE MICROSILICE				S <sup>1/2</sup>	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )	l (mm)	MASA (gr)	S(mm/S <sup>1/2</sup> )			
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS													
0	0	0	0	0	0	1224.5	0	0	1248.1	0	0	1246	0			
0	0	1	60	7.75	0.28	1226.8	0.0367	0.25	1250.1	0.0325	0.22	1247.85	0.0288			
0	0.1	5	300	17.32	0.48	1228.4	0.0278	0.46	1251.75	0.0266	0.4	1249.3	0.023			
0	0.2	10	600	24.49	0.54	1228.9	0.0222	0.52	1252.2	0.0211	0.43	1249.6	0.0177			
0	0.3	20	1200	34.64	0.57	1229.1	0.0164	0.54	1252.38	0.0156	0.45	1249.75	0.013			
0	0.5	30	1800	42.43	0.8	1231	0.0189	0.73	1253.89	0.0172	0.67	1251.6	0.0159			
0	1	60	3600	60	1	1232.6	0.0167	0.91	1255.34	0.0152	0.86	1253.1	0.0143			
0	2	120	7200	84.85	1.21	1234.3	0.0143	1.12	1256.99	0.0132	1.02	1254.5	0.0121			
0	3	180	10800	103.92	1.41	1235.9	0.0136	1.31	1258.49	0.0126	1.19	1255.9	0.0115			
0	4	240	14400	120	1.56	1237.1	0.013	1.44	1259.49	0.012	1.3	1256.8	0.0108			
0	5	300	18000	134.16	1.69	1238.2	0.0126	1.5	1259.99	0.0112	1.42	1257.8	0.0106			
0	6	360	21600	146.97	1.85	1239.5	0.0126	1.61	1260.89	0.011	1.54	1258.8	0.0105			
1	24	1440	86400	293.94	3.34	1251.5	0.0114	2.87	1270.89	0.0098	2.63	1267.8	0.0089			
2	48	2880	172800	415.69	4.14	1258	0.01	3.38	1274.89	0.0081	3.35	1273.8	0.0081			
3	72	4320	259200	509.12	4.63	1262	0.0091	3.82	1278.39	0.0075	3.71	1276.8	0.0073			
4	96	5760	345600	587.88	4.93	1264.4	0.0084	4.07	1280.39	0.0069	3.93	1278.6	0.0067			
5	120	7200	432000	657.27	5.13	1266	0.0078	4.26	1281.89	0.0065	4.08	1279.9	0.0062			
6	144	8640	518400	720	5.36	1267.9	0.0074	4.49	1283.69	0.0062	4.3	1281.65	0.006			
7	168	10080	604800	777.69	5.61	1269.9	0.0072	4.68	1285.19	0.006	4.42	1282.65	0.0057			

Fuente: Autores

Anexo 28. Permeabilidad al agua en mezcla de concreto con relación A/C 0,65.

A/C 0,65				S <sup>1/2</sup>	ARN 0%					
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS		4J NC	5J NC	6J NC	10J C	11J C	12J C
					I (mm)	I (mm)	I (mm)	I (mm)	I (mm)	I (mm)
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0
0	0	1	60	7,75	0.123	0.359	0.364	0.749	0.124	0.349
0	0,1	5	300	17,32	0.491	0.598	0.606	1.373	0.619	0.473
0	0,2	10	600	24,49	0.983	0.717	1.212	1.498	0.904	0.847
0	0,3	20	1200	34,64	1.229	1.196	1.333	1.747	1.771	1.345
0	0,5	30	1800	42,43	1.843	1.435	1.575	1.922	2.018	1.844
0	1	60	3600	60,00	1.966	2.152	2.424	2.671	2.737	2.591
0	2	120	7200	84,85	2.211	2.271	2.969	3.545	3.727	3.314
0	3	180	10800	103,92	3.194	3.228	3.333	3.794	4.47	4.185
0	4	240	14400	120,00	3.317	3.826	3.615	4.468	4.594	4.746
0	5	300	18000	134,16	3.932	4.184	3.736	4.755	5.089	5.493
0	6	360	21600	146,97	4.669	4.304	3.91	5.479	5.337	6.116
1	24	1440	86400	293,94	5.897	5.978	5.679	7.227	7.195	7.362
2	48	2880	172800	415,69	6.266	6.575	6.079	7.676	7.318	7.786
3	72	4320	259200	509,12	6.389	6.934	6.443	7.801	7.566	8.147
4	96	5760	345600	587,88	6.88	7.113	6.564	8.799	7.938	8.645
5	120	7200	432000	657,27	7.495	7.352	6.807	9.062	8.681	8.77
6	144	8640	518400	720,00	7.617	8.07	7.655	9.436	8.804	9.143
7	168	10080	604800	777,69	7.986	8.428	8.018	10.06	9.188	9.392

Fuente: Autores

Anexo 29. Permeabilidad al agua en mezcla de concreto con relación A/C 0,65 y sustitución de agregado fino por neumático de 10% y 20%.

A/C 0,65				S <sup>1/2</sup>	ARN 10%						ARN 20%					
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS		16J NC	17J NC	18J NC	22J C	23J C	24J C	28J NC	29J NC	30J NC	34J C	35J C	36J C
					l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)
0	0	0	0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0	0	1	60	7,75	0,282	0,245	0,219	0,284	0,250	0,224	0,286	0,246	0,227	0,281	0,251	0,226
0	0,1	5	300	17,32	0,478	0,416	0,341	0,482	0,424	0,349	0,485	0,430	0,418	0,477	0,439	0,416
0	0,2	10	600	24,49	0,540	0,453	0,366	0,544	0,462	0,374	0,547	0,467	0,430	0,538	0,476	0,428
0	0,3	20	1200	34,64	0,564	0,465	0,384	0,569	0,474	0,392	0,572	0,487	0,449	0,563	0,496	0,447
0	0,5	30	1800	42,43	0,797	0,624	0,506	0,803	0,637	0,517	0,808	0,715	0,664	0,795	0,729	0,661
0	1	60	3600	60,00	0,993	0,771	0,683	1,001	0,786	0,698	1,001	0,887	0,861	0,985	0,905	0,857
0	2	120	7200	84,85	1,202	0,948	0,847	1,211	0,967	0,866	1,212	1,098	1,057	1,193	1,120	1,053
0	3	180	10800	103,92	1,398	1,095	0,969	1,409	1,117	0,990	1,336	1,295	1,235	1,316	1,321	1,231
0	4	240	14400	120,00	1,545	1,193	1,091	1,557	1,217	1,115	1,486	1,436	1,364	1,462	1,465	1,359
0	5	300	18000	134,16	1,680	1,303	1,164	1,693	1,329	1,190	1,622	1,547	1,487	1,597	1,578	1,481
0	6	360	21600	146,97	1,839	1,413	1,310	1,854	1,442	1,339	1,784	1,670	1,622	1,756	1,703	1,616
1	24	1440	86400	293,94	3,311	2,393	1,920	3,337	2,440	1,962	3,276	2,898	2,728	3,225	2,956	2,717
2	48	2880	172800	415,69	4,108	2,907	2,529	4,140	2,964	2,585	4,084	3,513	3,306	4,020	3,583	3,293
3	72	4320	259200	509,12	4,598	3,298	2,968	4,635	3,364	3,033	4,581	3,943	3,772	4,510	4,021	3,782
4	96	5760	345600	587,88	4,893	3,567	3,188	4,931	3,638	3,257	4,880	4,188	3,994	4,803	4,272	4,002
5	120	7200	432000	657,27	5,089	3,746	3,377	5,129	3,821	3,451	5,079	4,336	4,178	4,999	4,422	4,186
6	144	8640	518400	720,00	5,322	3,917	3,600	5,364	3,995	3,678	5,315	4,554	4,387	5,232	4,645	4,394
7	168	10080	604800	777,69	5,567	4,144	3,813	5,611	4,226	3,896	5,563	4,776	4,583	5,476	4,871	4,590

Fuente: Autores

Anexo 30. Permeabilidad al agua en mezcla de concreto con relación A/C 0,65 y sustitución de agregado fino por neumático de 30% y 40%, adición de 5% de Microsílice.

A/C 0,65				S <sup>1/2</sup>	ARN 30% + 5% MICROSILICE						ARN 40% + 5% MICROSILICE					
DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS		40J NC	41A NC	42J NC	46J C	47J C	48J C	52J NC	53J NC	54J NC	58J C	59J C	60JC
					l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)	l (mm)
0	0	0	0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0	0	1	60	7,75	0,287	0,249	0,227	0,285	0,255	0,286	0,286	0,248	0,226	0,284	0,252	0,223
0	0,1	5	300	17,32	0,487	0,455	0,405	0,483	0,420	0,410	0,485	0,452	0,404	0,482	0,460	0,398
0	0,2	10	600	24,49	0,549	0,511	0,442	0,545	0,458	0,460	0,547	0,508	0,441	0,544	0,517	0,434
0	0,3	20	1200	34,64	0,574	0,533	0,461	0,793	0,477	0,482	0,572	0,530	0,459	0,569	0,540	0,452
0	0,5	30	1800	42,43	0,811	0,721	0,688	1,028	0,707	0,669	0,808	0,717	0,685	0,803	0,730	0,675
0	1	60	3600	60,00	1,011	0,902	0,872	1,226	0,904	0,852	1,007	0,897	0,869	1,001	0,913	0,855
0	2	120	7200	84,85	1,223	1,107	1,044	1,436	1,118	1,058	1,218	1,101	1,040	1,211	1,121	1,024
0	3	180	10800	103,92	1,423	1,294	1,216	1,622	1,283	1,251	1,417	1,287	1,212	1,409	1,310	1,193
0	4	240	14400	120,00	1,573	1,419	1,327	1,771	1,411	1,363	1,566	1,410	1,322	1,557	1,436	1,301
0	5	300	18000	134,16	1,710	1,481	1,450	1,907	1,538	1,462	1,703	1,472	1,444	1,693	1,499	1,422
0	6	360	21600	146,97	1,872	1,593	1,573	2,068	1,693	1,617	1,865	1,584	1,566	1,854	1,612	1,542
1	24	1440	86400	293,94	3,370	2,839	2,678	3,554	3,094	2,612	3,357	2,822	2,668	3,337	2,873	2,627
2	48	2880	172800	415,69	4,181	3,337	3,416	4,359	3,603	3,333	4,165	3,317	3,402	4,140	3,377	3,349
3	72	4320	259200	509,12	4,681	3,773	3,784	4,854	4,087	3,718	4,662	3,751	3,769	4,635	3,818	3,711
4	96	5760	345600	587,88	4,980	4,022	4,005	5,151	4,342	4,011	4,960	3,999	3,990	4,931	4,070	3,928
5	120	7200	432000	657,27	5,180	4,209	4,165	5,350	4,533	4,207	5,159	4,184	4,149	5,129	4,260	4,084
6	144	8640	518400	720,00	5,417	4,433	4,380	5,585	4,776	4,440	5,396	4,407	4,363	5,364	4,486	4,295
7	168	10080	604800	777,69	5,667	4,620	4,503	5,832	5,025	4,672	5,644	4,593	4,485	5,611	4,676	4,416

Fuente: Autores

