

**ESTUDIO PARA CARACTERIZAR UNA MEZCLA DE CONCRETO CON  
CAUCHO RECICLADO EN UN 5% EN PESO COMPARADO CON UNA MEZCLA  
DE CONCRETO TRADICIONAL DE 3500 PSI.**

**JUAN CARLOS PÉREZ OYOLA  
YEISON LEONARDO ARRIETA BALLÉN**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D. C.  
2017**

**ESTUDIO PARA CARACTERIZAR UNA MEZCLA DE CONCRETO CON  
CAUCHO RECICLADO EN UN 5% EN PESO COMPARADO CON UNA MEZCLA  
DE CONCRETO TRADICIONAL DE 3500 PSI.**

**JUAN CARLOS PÉREZ OYOLA  
YEISON LEONARDO ARRIETA BALLÉN**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**Director  
ING. INGRID SILVA ROJAS**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D. C.  
2017**



## Atribución-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-ND 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra  
hacer un uso comercial de esta obra

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**Sin Obras Derivadas** — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado “**ESTUDIO PARA CARACTERIZAR UNA MEZCLA DE CONCRETO CON CAUCHO RECICLADO EN UN 5% EN PESO COMPARADO CO UNA MEZCLA DE CONCRETOS TRADICIONAL DE 3500 PSI**” presentado por Juan Carlos Pérez Oyola junto a Yeison Leonardo Arrieta Ballén, en cumplimiento del requisito parcial para optar al título de ingeniero civil, fue aprobado por el director del proyecto dirigido y por el jurado correspondiente.

---

**Ing. Ingrid Silva Rojas**  
Directora de trabajo de grado

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bogotá D.C abril de 2017

## DEDICATORIA

A Dios por habernos permitido la formación académica y por la meta de cumplir nuestro sueño de ser profesionales, por brindarnos la oportunidad de dar al mundo seres con grandes sueños, con metas y ambiciones, que esperan dar lo mejor de sí cada día para trabajar por el beneficio de aquellos que lo necesiten.

A nuestros padres, especialmente abuelos y hermanos, por brindarnos su apoyo incondicional en cada tropiezo y acompañándonos en cada alegría, por la confianza depositada y por todos los sacrificios y consejos que nos permiten ser lo que somos hoy, por nunca rendirse ante las dificultades, por ser incansables día tras día, animándonos a continuar y luchar sin importar cuantas veces caigamos, y por alimentarnos de valor y convicción para creer en nosotros mismos. Damos gracias a ellos porque el reflejo de sus actos y sueños, son el reflejo de lo que somos hoy.

En especial queremos dar un sincero y cordial agradecimiento a los educadores de nuestra universidad, aquellas encargadas de fomentar nuestra búsqueda de conocimiento y con ello encaminarnos hacia nuestro camino como profesionales. Gracias por esta labor tan honesta y silenciosa, que nos ha enseñado a crecer como personas y profesionales, compartiendo con nosotros tiempo y dedicación, experiencias, sabiduría y conocimiento, los cuales son el fruto de años de esfuerzos y dedicación que pocas veces son valorados, pero que alimentan nuestro ser y nos hacen partícipes de esta experiencia única y sencilla de la búsqueda de nuestra formación integral, gracias porque nuestra carrera por el mundo es la suma de pequeños acciones, que forjan un camino hacia grandes cambios, y ustedes son ahora parte de nuestro camino.

Juan y Yeison

## **AGRADECIMIENTO**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A la Directora del proyecto Ingrid Silva Rojas, por el conocimiento, experiencia y acompañamiento brindado a lo largo del desarrollo del presente trabajo de grado.

A la Universidad Católica de Colombia en general, por los recursos humanos en especial el encargado del laboratorio de concretos el señor Hugo Rondón, académicos y tecnológicos brindados para el desarrollo del presente trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

|   | pág. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN.....   | 14   |
| 1.GENERALIDADES DEL PROYECTO.....   | 15   |
| 1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....                                       | 15   |
| 1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....                           | 17   |
| 1.3 OBJETIVOS.....  | 18   |
| 1.3.1 Objetivo general.....   | 18   |
| 1.3.2 Objetivos específicos.....  | 18   |
| 1.4 ALCANCE Y LIMITACIONES.....   | 19   |
| 1.5 MARCO TEÓRICO.....  | 19   |
| 1.5.1 EL CONCRETO.....  | 19   |
| 1.5.2 LOS AGREGADOS Y SU CARACTERÍSTICAS PARA EL DISEÑO DE<br>CONCRETO..... | 20   |
| 1.5.2.1 NORMAS NTC AGREGADOS.....   | 21   |
| 1.5.2.2 AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO.....                                | 22   |
| 1.5.2.3 AGREGADO PROVENIENTE DE RESIDUO DE LLANTAS.....                     | 22   |
| 1.5.2.3.1 Composición de las llantas.....                                   | 22   |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| 1.5.2.3.2 | Proceso de trituración de los neumáticos para su reciclaje.....  | 23 |
| 1.5.2.3.3 | Aplicaciones actuales de neumáticos usados.....                  | 26 |
| 1.5.3     | DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO.....                               | 27 |
| 1.5.3.1   | NORMAS NTC MEZCLA.....   | 29 |
| 1.5.4     | PROPIEDADES MECÁNICA DEL CONCRETO.....                           | 30 |
| 1.5.4.1   | Resistencia a la compresión.....                                 | 30 |
| 1.5.4.2   | Resistencia a la tracción indirecta o método brasileiro.....     | 31 |
| 1.5.5     | PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO MODIFICADO CON<br>CAUCHO..... | 32 |
| 1.5.5.1   | Resistencia a la compresión.....                                 | 32 |
| 1.5.6     | MARCO CONCEPTUAL.....  | 35 |
| 1.6       | METODOLOGÍA.....   | 39 |
| 1.6.1     | CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS MATERIALES.....                    | 39 |
| 1.6.1.1   | Agregado Grueso.....   | 39 |
| 1.6.1.2   | Agregado Fino.....   | 41 |
| 1.6.1.2.1 | Caracterización del Cemento.....                                 | 41 |
| 1.6.1.2.2 | Caracterización de la Arena.....                                 | 41 |
| 1.6.1.3   | Caucho.....  | 42 |
| 1.6.2     | DISEÑO DE MEZCLA.....  | 43 |



|   |    |
|---|----|
| 1.6.2.1 Selecciones de Asentamiento.....  | 44 |
| 1.6.2.2 Selección de Tamaño Máximo.....   | 44 |
| 1.6.2.3 Estimación de Contenido de Aire.....  | 44 |
| 1.6.2.4 Estimación de Contenido de Agua de Mezclado.....  | 45 |
| 1.6.2.5 Determinación de la Resistencia de Diseño.....  | 46 |
| 1.6.2.6 Selección de Agua Cemento.....  | 47 |
| 1.6.2.7 Cálculo de Contenido de Cemento.....  | 48 |
| 1.6.2.8 Estimación de las Proporciones de los Agregados.....  | 49 |
| 1.6.2.9 Dosificación De La Sustitución Parcial De Agregado Fino Y Grueso Por<br>Caucho.....                       | 50 |
| 1.6.2.10 Diseño Mezcla Patrón (Concreto Convencional De 3500 Psi) Para El<br>Volumen De Un Cilindro.....          | 51 |
| 1.6.2.11 Diseño Mezclas De Concreto Con 5% En Peso Y Sus Respectiveos<br>Porcentajes De Caucho Fino Y Grueso..... | 54 |
| 1.6.3 IDENTIFICACIÓN DE MEZCLAS.....  | 55 |
| 1.6.4 ELABORACIÓN Y ENSAYO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO<br>HIDRÁULICO.....  | 55 |
| 1.6.5 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....  | 55 |
| 1.6.5.1 Medida de Manejabilidad.....  | 55 |

|  |    |
|--|----|
| 1.6.5.1.1 Método De Ensayo Para Determinar El Asentamiento Del Concreto NTC 396.....   | 56 |
| 1.6.5.1.2 Elaboración De Especímenes De Concreto Y Curado - NTC 550.....   | 56 |
| 1.6.6 ENSAYOS DEL CONCRETO ENDURECIDO.....   | 58 |
| 1.6.6.1 Método De Ensayo Para Determinar La Resistencia A La Compresión De Especímenes De Cilindro De Concreto – NTC 673.....        | 59 |
| 1.6.6.1.1 Cálculos Y Análisis De Falla.....  | 61 |
| 1.6.6.1.2 Comparativo Mezcla Patrón Y Mezcla Con Caucho Reciclado Para Ensayo de Compresión.....                                     | 64 |
| 1.6.6.2 Método de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Tensión Indirecta de Especímenes Cilíndricos de Concreto – NTC 722..... | 65 |
| 1.7 ANÁLISIS DE RESULTADO.....   | 69 |
| 1.7.1 Proporciones de los Materiales en la Mezcla de Concreto.....   | 69 |
| 1.7.2 Mezcla de Concreto en Estado Endurecido.....   | 70 |
| 1.7.2.1 Resistencia a la Compresión.....   | 70 |
| 1.7.2.2 Resistencia a la tracción indirecta.....   | 72 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....  | 76 |
| BIBLIOGRAFÍA.....  | 78 |

## LISTA DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Ensayos para caracterización agregados finos.....   | 21 |
| Tabla 2. Ensayos para caracterización agregados gruesos.....   | 22 |
| Tabla 3. Composición típica de llantas. (Secretaria de Medio Ambiente De Bogotá, 2006).....  | 23 |
| Tabla 4. Especificaciones del Concreto norma (NTC1486).....  | 28 |
| Tabla 5. Proporción de peso Volumen absoluto y volumen suelto de los componentes de una mezcla de concreto.....  | 28 |
| Tabla 6. Normas técnicas colombianas para el concreto y aditivos.....  | 29 |
| Tabla 7. Resistencia a compresión estudio hecho en España (Schultz et al., 2004).....  | 34 |
| Tabla 8. Resistencia a compresión, Estudio (Aiello & Leuzzi, 2010).....  | 36 |
| Tabla 9. Ensayo de agregados pétreos densidad y absorción de agregado grueso (NORMA INV. E-223 - NTC176).....  | 40 |
| Tabla 10. Ficha técnica de cemento gris tipo uso general.....  | 41 |
| Tabla 11. Ensayo de agregados pétreos densidad y absorción de agregado fino (NORMA INV. E-222- NTC 237).....   | 42 |
| Tabla 12. Densidad relativa aparente caucho.....   | 43 |
| Tabla 13. Requisitos aproximados de agua en la mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado.....                          | 44 |
| Tabla 14. Cantidad aproximada de aire esperado en concreto sin aire incluido para diferentes tamaños máximos de agregados.....   | 45 |
| Tabla 15. Cantidad calculada de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, en concreto con y sin aire incluido.....                         | 45 |
| Tabla 16. Cantidad requerida de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, en concreto con y sin aire incluido.....                         | 46 |
| Tabla 17. Relación agua cemento para los cementos colombianos, portland tipo I, para la resistencia a la compresión a los 28 días de edad en concretos sin aire incluido ..... | 48 |
| Tabla 18. Proporción De Cada Ingrediente De Mezcla De Concreto Patrón.....   | 50 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 19. Dosificación Para Mezcla Concreto Tradicional De 3500psi.....                  | 52 |
| Tabla 20. Dosificación Para Mezcla De 5% En Peso 50%Grueso; 50%Fino.....                 | 54 |
| Tabla 21. Dosificación Para Mezcla De 5% En Peso 70%Grueso; 30%Fino.....                 | 54 |
| Tabla 22. Dosificación Para Mezcla De 5% En Peso 30%Grueso; 70%Fino.....                 | 54 |
| Tabla 23. Tipos Y Números De Ensayos Realizados Durante La Investigación.....            | 59 |
| Tabla 24. Resultados y Datos De Ensayo a Compresión $f' C$ Para 7 Días De Fraguado.....  | 61 |
| Tabla 25. Resultados y Datos De Ensayo a Compresión $f' C$ Para 14 Días De Fraguado..... | 61 |
| Tabla 26. Resultados y Datos De Ensayo a Compresión $f' C$ Para 21 Días De Fraguado..... | 62 |
| Tabla 27. Resultados y Datos De Ensayo a Compresión $f' C$ Para 28 Días De Fraguado..... | 62 |
| Tabla 28. Resultados De Resistencia Promedio Del Ensayo A Compresión En (Psi).....       | 64 |
| Tabla 29. Resultados de Resistencia Promedio Ensayo A Tracción Indirecta (Psi).....      | 67 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Componentes Del Caucho.....  | 24 |
| Figura 2. Aplicaciones del caucho en el mercado.....   | 25 |
| Figura 3. Ensayo de resistencia a la compresión NTC 673.....   | 30 |
| Figura 4. Espécimen colocado en una máquina de ensayo para determinar la resistencia a la tensión indirecta NTC 722.....             | 31 |
| Figura 5. Resistencia a la compresión estudio (valadares et al, 2009).....   | 33 |
| Figura 6. Resistencias a la compresión estudio (Albano et al., 2007).....  | 34 |
| Figura 7. Resistencia a la compresión, estudio (Suk et al., 1998).....   | 35 |
| Figura 8. Resistencia a la compresión, estudio (Toutanji, 1996).....   | 35 |
| Figura 9. Resistencia a la compresión, estudio (Oviedo et al., 2008).....  | 36 |
| Figura 10. Agregado Grueso Utilizado en la Mezcla.....   | 40 |
| Figura 11. Agregado Fino Arena para utilizada en la mezcla.....  | 42 |
| Figura 12. Resistencia a la Compresión vs A/C.....   | 47 |
| Figura 13. Cono de Abrams.....   | 56 |
| Figura 14. molde metálico para la elaboración de especímenes dimensiones 10 cm de diámetro y 20cm de largo.....                      | 57 |
| Figura 15. Realizando los Especímenes de Concreto Universidad Católica de Colombia.....  | 57 |
| Figura 16. Curado Y Acabado De Los Especímenes De Concreto.....  | 58 |
| Figura 17. Ensayo A Compresión En Prensa Universal Universidad Católica de Colombia.....   | 60 |
| Figura 18. Tipos De Falla A Compresión.....  | 63 |
| Figura 19. Resultado De Ensayos De Resistencia A Compresión Comparando Valores De Muestra Patrón Y Concreto Con Caucho En (PSI)..... | 64 |
| Figura 20. Resultado De Ensayos De Resistencia A Compresión Comparando Valores De Muestra Patrón Y Concreto Con Caucho En (PSI)..... | 65 |
| Figura 21. Espécimen de Hormigón Sometido a Ensayo de Tracción Indirecta.....  | 66 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 22. Falla Cilindro de hormigón sometido a tracción indirecta NTC 722.....   | 67 |
| Figura 23. Resultado De Ensayos De Resistencia A tracción indirecta Comparando Valores De Muestra Patrón Y Concreto Con Caucho En (PSI)..... | 68 |
| Figura 24. Variación de tracción indirecta de mezclas con caucho de 28 días. (Psi).....  | 68 |
| Figura 25. Concretos con su Cantidad de Materiales para 1 Espécimen de Prueba.....   | 69 |
| Figura 26. Resultado De Ensayos De Resistencia A Compresión Comparando Valores De Muestra Patrón Y Concreto Con Caucho En (PSI).....         | 70 |
| Figura 27. Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días respecto a la mezcla de concreto tradicional o patrón (Psi).....        | 70 |
| Figura 28. Fracturas presentadas en especímenes de concreto convencional y modificados con grano de caucho reciclado.....                    | 72 |
| Figura 29. Resultado De Ensayos De Resistencia A tracción indirecta Comparando Valores De Muestra Patrón Y Concreto Con Caucho En (PSI)..... | 73 |
| Figura 30. Resultados ensayo tracción indirecta en sus correspondiente edades de curado evaluado en 10% $f' C$ .....                         | 74 |
| Figura 31. variación de tracción indirecta de especímenes de concreto a 28 días de edad con respecto a la muestra patrón (Psi).....          | 74 |
| Figura 32. Falla a tracción indirecta espécimen de concreto modificado con grano de caucho.....  | 75 |

## INTRODUCCIÓN

Colombia tiene un gran problema con los desechos de las llantas, no solo Colombia sufre este inconveniente en restituir este material que al haber terminado su vida útil genera problemas al medio ambiente. Entonces nace la necesidad de resolver esta problemática la cual pequeñas empresas micro basadas en la tecnología como algunas mexicanas el caso de leitmotive, fue emplear un problema de desechos para la fabricación de concreto en pro del medio ambiente.

Debido al incremento del sector de la construcción en los últimos años existe la necesidad de modificar las propiedades del concreto tales como la resistencia tensil, dureza, ductilidad y durabilidad, de manera que la incorporación del caucho en la mezcla resulta en mayor elasticidad y durabilidad, otorgándole un papel importantes en áreas de la construcción: como absorbedor de impacto en construcción de elementos viales y de sonido en barreras sónicas, y también en edificaciones sismo resistentes, etc. Considerando los anteriores panoramas, como son: la generación desmedida de llantas e insuficientes sitios de disposición final de las mismas y la escasez de recursos pétreos, se podría considerar que la reutilización de las llantas como material reciclado dentro del concreto, presenta una medida para contribuir al beneficio ambiental, técnico y económico para la sociedad

El proyecto de grado se formuló con el fin de determinar qué características y resultados se pueden obtener con la adición de caucho reciclado en el concreto para que el comportamiento físico mecánico del concreto cumpla con las necesidades de construcción establecidas por las (NTC) y la (NSR10) que estipulan los materiales sismoresistente. Para esto se desarrollaron en laboratorio una mezcla de concreto tradicional (normal 3500 psi) 3 mezclas diferentes de concreto de 3500 psi con su respectivo porcentaje de caucho fino y grueso en 5% total en peso, respectivamente se realizaron las pruebas de tracción indirecta método brasilero, y compresión, obteniendo valores para determinar cuál muestra se acerca a los valores esperados y posibles ventajas, de esta manera definiendo que cantidad de caucho reciclado de llantas es conveniente utilizar en proyectos que se esté analizando este material Concreto al cual se le adicionó el caucho molido provenientes de neumáticos en un peso de 5% del total de la mescla con diferente tamaño de partícula (tamiz 30 fino a tamiz 10 grueso), reemplazando el agregado fino y grueso de la mescla. Con relación agua/ cemento de 0,60 y edad de curado de 7 ,14, 21 y 28 días, el proyecto se realizó en el 2017 semestre I como proyecto de grado y requisito para obtener el título de ingeniero civil de la universidad católica de Colombia.

# 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

## 1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo está enfocado en la disminución de los efectos negativos al medio ambiente, recuperando residuos para uso alternativo como en materias primas de la industria concretara. Lo que se busca es la posibilidad de dar la pauta en diseñar un concreto con agregados triturados de cantera y material reciclado de llantas.

En Los últimos años las investigaciones para concreto modificados con adicción de caucho se han venido realizando en diferentes países (Portugal, Líbano, España, Venezuela, Brasil, estados unidos y Colombia entre otros), concentrando su atención en las propiedades mecánicas y de durabilidad con el objetivo de ser utilizado en nuevas tecnologías de construcción, ampliando así su forma de uso constructivo.

Las formas de fabricación de las diferentes muestras para ensayos han variado en porcentajes y tamaños según cada investigación. A nivel internacional se tiene como ejemplos la investigación realizada en Portugal en donde el caucho fue incorporado al concreto mediante la sustitución en volumen de agregado fino y grueso, con reemplazo de 5, 10 y 15% del volumen total del agregado, este agregado se obtuvo mediante molindas mecánicas y criogénicas para las cuales se hicieron ensayos por separado Valadares, Bravo & Brito<sup>1</sup>, posteriormente se hicieron ensayos a la durabilidad con los mismos porcentajes del volumen de agregado Bravo & Brito<sup>2</sup> y con los mismos diseños de mezcla. Ensayos realizados en Venezuela en donde el agregado fino y grueso fue reemplazado por caucho en porcentajes del 5%, cambiando el tamaño de este último en fino, grueso y al azar, que era una mezcla de los dos anteriores Albano, Camacho, Hernández, Bravo & Guevara<sup>3</sup>, ensayos realizados en España, en donde el agregado fino fue reemplazado por porcentajes de 3.5 y 5% en volumen de caucho Schultz, Olivares & Bollati<sup>4</sup>; estudios realizados en Estados Unidos en donde el agregado fino fue reemplazado por grano de caucho, látex sólido y látex líquido y una mezcla de ambos en un 5%, Suk, Lee, Soo & Wook<sup>5</sup>; investigación realizada en Puerto Rico en donde el agregado grueso fue sustituido en porcentajes de 25%, 50%, Valoración De Propiedades Mecánicas Y De Durabilidad De Concreto Adicionado Con Residuos De Llantas De Caucho. 44%

---

<sup>1</sup> Valadares, Bravo & Brito. Estudio de durabilidad del concreto, 2001.P.3.

<sup>2</sup> Bravo & Brito ensayo de reemplazo agregado fino y grueso por caucho, Venezuela.1989.

<sup>3</sup> Albano, Camacho, Hernández, Bravo & Guevara. Ensayos reemplazando agregado fino por caucho, España 2005.

<sup>4</sup> Schultz, Olivares & Bollati. sobre remplazo de agregado por látex, Estudios en EE.UU. 2004.

<sup>5</sup> Suk, Lee, Soo & Wook, investigación Reemplazando agregado grueso por caucho, Puerto Rico 2001.



75% y 100% por grano de caucho proveniente de neumáticos Toutanji<sup>6</sup>. Estudio realizado en Italia, donde el agregado fino fue reemplazado por partículas de caucho con porcentajes de 0, 15, 30, 50 y 75% Aiello & Leuzzi<sup>7</sup>.

A nivel nacional, se han realizado investigaciones de concreto con adición de caucho Oviedo, Buendía, Ruiz, Gómez & León<sup>8</sup>, los autores sustituyeron el agregado grueso por tiras de caucho en porcentajes del 5%, 10% y 15%, estas tiras fueron extraídas de la parte lateral de las llantas sin excluir los textiles que poseen estas, los tamaños de estas partículas eran del orden de 50 mm x 4 mm x 2 mm.

Isa & Salem<sup>9</sup> realizaron en el Líbano un estudio que tuvo como objeto encontrar la manera de disminuir el porcentaje de agregados finos sustituyéndolo por caucho molido. Esto se logró tratando de asemejar la gradación del caucho a la del agregado fino y así sustituir estos agregados por su correspondiente volumen de caucho en polvo. Obtuvieron buenos resultados de resistencia a compresión cuando el contenido de caucho es inferior a 25% debido a la mejora de la ductilidad del hormigón concluyeron que podría implementarse en elementos resistentes a los golpes o impactos por ejemplo los separadores viales.

Pelsser, zavarise, longo & bernardin<sup>10</sup>, elaboraron un estudio en Brasil, en el que estudiaron la viabilidad técnica de la sustitución de la arena en concreto adicionando cauchos sometidos a tratamientos químicos de hidróxido de sodio, y a la adición de humo de sílice para recuperar la resistencia, específicamente para una resistencia a la compresión de 50 mpa. Observaron el hormigón con caucho tratado químicamente presentó una recuperación excepcional de la fuerza a compresión perdida. Concluyendo que el caucho de neumático reciclado demuestra ser un excelente agregado para ser empleado en mezclas de concreto; no obstante, debido a las pérdidas de resistencia agregar hidróxido de sodio y humo de sílice recupera significativamente la resistencia a la compresión.

Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Caracas, Venezuela<sup>11</sup>, presentaron que la influencia de la adición de la raspadura de las bandas de rodamiento de los neumáticos a los compuestos de concreto, a través de ensayos destructivos y no destructivos. Los estudios sobre resistencia a la compresión y a la tracción realizados a los compuestos a la composición de 5% en peso, así como con diferentes tamaños de partícula de caucho reciclado (grueso 1,19mm, fino <1,19 mm, al azar) a la edad de 28 días, demostraron que la mezcla con caucho al "azar"

---

<sup>6</sup> Toutanji. El uso de caucho de neumáticos partículas en concreto a Reemplazar Mineral Agregados," Journal of Cement y Composites de hormigón, (1996), vol. 18, No. 2.

<sup>7</sup> Aiello & Leuzzi. ensayos de reemplazo material llenante por caucho en diferentes porcentajes, Italia 2003.

<sup>8</sup> Oviedo, Buendía, Ruiz, Gómez & León. estudio sustitución de tiras de caucho en el material fino de la mezcla, Colombia 2005.

<sup>9</sup> Isa & Salem. Estudio reducción material fino por caucho molido, (2013) Líbano.

<sup>10</sup> Pelsser, zavarise, longo & bernardin<sup>10</sup> ensayos de adición de caucho tratado con productos químicos para reemplazarlo en el componente fino, Brasil (2011).

<sup>11</sup> Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela. proyecto de materiales elaborado con grano caucho reciclado con dos tamaños diferentes de partículas, Caracas mar. 2008, Rev. Fac. En g. UCV v.23 n.

que es la mezcla de caucho fino y grueso en proporciones no conocidas presenta un comportamiento muy parecido a la mezcla tradicional de concreto para construcción. Esta investigación promete un buen camino en la incorporación del caucho en el concreto, con este proyecto de grado se resuelve en qué proporción se encuentra esa mezcla al azar de caucho fino y grueso donde el concreto estructural se comporta muy parecido al tradicional, realizando ensayos de laboratorios (tracción indirecta y compresión con 3 tipos de muestras con diferente proporción de caucho fino y grueso simulando la mezcla ya trabajada pero obteniendo un parámetro exacto de porcentajes, siguiendo los procedimientos de la (NORMA TÉCNICA COLOMBIANA) definiendo con que muestra se puede tener mejores resultados, para la mezcla estudiada y posibles mezclas que se realicen más adelante con el fin de comercializar el producto y proponer nuevas tecnologías de desempeño del concreto pensando en pro del ambiente reduciendo emisiones de CO<sub>2</sub> y contaminación que producen las llantas.

## 1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Vásquez, p<sup>12</sup> asegura en su libro que en Colombia se consume un promedio entre 4,5 y 5,5 millones de llantas al año, de las cuales se recicla por incineración un 72% se reencaucha un 17%, un 6% tiene un destino artesanal y un 5% el Ministerio de Ambiente<sup>13</sup> presume que se le da otros usos, de formas diferentes. Aún más las llantas no pueden colocarse en los rellenos sanitarios junto a otros productos para ser procesadas, ya que generan obstrucción que provocan grandes volúmenes y contaminación, o porque está prohibido acumularlos por incendios subterráneos.

En el país existen empresas que tratan este producto triturado y separando los componentes de las llantas (caucho, acero y fibras), para poder darles usos alternativos, pero son pocas las que hacen esta labor debido a la falta de gestión e interacción entre el estado y las grandes industrias. Se puede resaltar que en este momento el gobierno nacional apunta a proyectos en los que se involucra el uso del caucho reciclado en la construcción conforme lo informó el vicepresidente de la república, Vargas Lleras<sup>14</sup> dice que “valoran en los pliegos de licitación con 100 puntos adicionales aquellos proponentes que en la mezcla asfáltica vayan a usar el grano de caucho que se deriva de la llantas usadas”.

En la actualidad el caucho reciclado no es un material importante en la construcción debido a falta de investigaciones en materia de laboratorios y demás ensayos que se disponen para observar el funcionamiento de las mezclas con el material, algunas investigaciones adelantadas se demuestra que tiene propiedades que sirve

---

<sup>12</sup> Vásquez p. Análisis De Sensibilidad De Un Proyecto De Reciclaje De Llantas Ministerio de Ambiente, Colombia, (2011).

<sup>13</sup> Ministerio de Ambiente. El Gránulo de Caucho Reciclado (GCR) proveniente de las llantas usadas, será utilizado en la construcción de vías en el territorio nacional, Bogotá, junio 10 de 2015.

<sup>14</sup> Vargas Lleras. Ministerio de Ambiente, 2015.

como material llenante, además que generando una mezcla al azar de grano fino y grueso tiene buenas características de tensión y compresión Rev. Fac. Ing. UCV v.23 n.1 Caracas mar<sup>15</sup>.

Conociendo de antemano estas investigaciones con el presente trabajo se pretende determinar con que muestra y conociendo su porcentaje de caucho fino o grueso en la muestra se puede obtener un resultado cercano comparado con una mezcla tradicional, realizando ensayos de (tensión, y compresión bajo los lineamientos de la NORMA TÉCNICA COLOMBIANA) podemos comparar dichas muestras y obtener valores que nos permitan definir una muestra patrón que sirva de futuros ensayos donde se amplifique el grado de análisis del producto y así poderlo incorporar en proyectos de ingeniería estructural.

Teniendo en cuenta lo anterior, se formula el siguiente interrogante que resuelve el presente proyecto, ¿Es posible identificar ventajas en una mezcla de concreto con grano de caucho reciclado en 5% en peso de material particulado fino y grueso con respecto a una mezcla de concreto tradicional de 3500 psi?

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo general**

- Caracterizar el concreto de 3500 psi con mezcla de grano de caucho al 5% de material particulado fino y grueso en diferente porcentaje, comparado con una mezcla tradicional.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Diseñar las mezclas con material fino y grueso de grano de caucho reciclado en 5% en peso según (NTC) siguiendo sus especificaciones para su correcta investigación.
- Realizar a la mezcla laboratorios según (NTC 722) el ensayo de tracción indirecta método brasilero y compresión (NTC 673), a los 7,14, 21 y 28 días obteniendo valores del estudio de investigación.
- Analizar datos obtenidos de laboratorios y concluir con qué porcentaje de caucho se presenta el mejor comportamiento del concreto a (compresión, y tracción indirecta método brasilero según la (NTC 722, NTC 673) para desarrollar futuras mezclas en pro de investigaciones de este material en la utilización de la construcción.

---

<sup>15</sup> Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela. Op. Cit. p. 16.

## 1.4 ALCANCE Y LIMITACIONES

El trabajo de grado pretende estudiar las propiedades mecánicas de diseño, (compresión, y tracción indirecta método brasilero), mediante el diseño de mezclas en la cual se reemplazó parte de los agregados finos y grueso por caucho molido en porcentajes, en un 5% en peso total, conociendo el comportamiento del compuesto de concreto de caucho con agregado de tamaño al azar ya estudiadas muestra que sus propiedades analizadas presentan valores parecidos a los del concreto hidráulico de 3500 Psi. Albano, Camacho, Hernández, Bravo & Guevara<sup>16</sup> Asegura que Esto se debe a que las partículas pequeñas se colocan en los huecos dejados por las partículas grandes de caucho, disminuyendo de esta forma la porosidad, Para lograrlo se realizó nuevas mezclas con estas características y se falló los cilindros a ensayos mencionados definiendo cual presenta mejores condiciones, con base en ello el alcance del proyecto es definir el porcentaje de caucho fino y grueso que llaman al azar en investigaciones previas estudiando sus efectos en la incorporación del caucho molido en diseños de mezcla de 3500 psi.

- Las limitaciones que se presentaron en el proyecto fue el factor tiempo. para dar con valores y resultados más amplios no se logró realizar nuevas mezclas por el tiempo que requiere el concreto para que adquiriera su resistencia en 28 días (fraguado), y poder analizar mejor estas variables que dependen del tiempo.

## 1.5 MARCO TEÓRICO

### 1.5.1 EL CONCRETO

Uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción es el concreto u hormigón. Holcim<sup>17</sup> plantea que El concreto u hormigón es una mezcla de cemento, agua, arena y grava que se endurece o fragua espontáneamente en contacto con el aire o por transformación química interna hasta lograr consistencia pétreo. Por su durabilidad, resistencia a la compresión e impermeabilidad se emplea para levantar edificaciones, y pegar o revestir superficies y protegerlas de la acción de sustancias químicas.

Argos<sup>18</sup> El concreto es el material resultante de la mezcla de cemento con agregados y agua, utilizado para estructuras que pueden soportar grandes cargas. Cuando el concreto está fresco se le puede dar cualquier forma y una vez se endurece tiene las características de ser durable en el tiempo y de resistir esfuerzos

---

<sup>16</sup> Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela. Op. Cit. p.5.

<sup>17</sup> Holcim Colombia. Concretos y morteros, Colombia 2017. P.1

<sup>18</sup> Argos Cementos propiedades del cemento, Colombia, 2017. P.1.

mecánicos como la compresión. En esta investigación se empleará cemento de la empresa Argos tipo gris de uso general pues se emplea en obras que no requieren propiedades especiales.

Holcim<sup>19</sup> concluye que los elementos que hacen parte del concreto son los agregados, que son agregados finos o gruesos según sea su especificación técnica y se define como materiales inertes que tienen una resistencia natural, siendo el principal motivo de su uso en la mezcla, ya que actúan como elemento de relleno y otorgan parte de la resistencia a compresión del hormigón, los agregados que se emplearán en la presente investigación provienen de la empresa ASOGRAVAS ubicada Cra. 17 No. 88-23 Of. 302 Bogotá- Colombia. El Instituto de concreto, ASOCRETO<sup>20</sup> El agua es el componente del concreto que entra en contacto con el cemento para proporcionar propiedades de fraguado y endurecimiento a fin de formar un sólido compacto con los agregados.

La resistencia a compresión del concreto varía ampliamente con respecto a las propiedades de sus elementos integrantes y de las proporciones en el diseño de la mezcla. En cuanto a las especificaciones técnicas, en Colombia se emplean las normas técnicas colombianas (NTC) que se han desarrollado con el fin de reglamentar y controlar los requisitos y métodos de diseño en la fabricación y comercialización del concreto en la economía global, estas normas son conocidas por su objetividad y alta calidad técnica).

ASOCEM<sup>21</sup> plantea que en la industria de la construcción, los sobrantes de los neumáticos se han incorporado a las mezclas para la elaboración de concreto hidráulico prefabricado para resistencias más ligeras, como pavimentos rígido y flexible y paneles viales resistentes al impacto. Algunos estudios indican que las propiedades del grano de caucho reciclado no modifican las características propias del concreto, pero provoca una disminución de la resistencia a compresión y tracción en el compuesto, que se debe a la segregación existente entre el caucho y la pasta de cemento, para la cual debe haber un material que contrarreste ése efecto. Con dicho propósito, en la investigación que se pretende hacer se adicionó un 5% en peso de material de caucho grueso y fino para que contrarreste esta condición buscando la menor porosidad de la mezcla.

## **1.5.2 LOS AGREGADOS Y SU CARACTERÍSTICAS PARA EL DISEÑO DE CONCRETO**

Uní cauca<sup>22</sup> estudio plantea que Los agregados también llamados áridos son aquellos materiales inertes, de forma granular naturales o artificiales, que

---

<sup>19</sup> Holcim. características del cemento, Bogotá Colombia, 2015. P.6.

<sup>20</sup> Instituto del concreto ASOCRETOS. características del fraguado, Bogotá 2017.

<sup>21</sup> ASOCEM. Asociación Productores de Cemento. Reciclado de Concreto: La mejor elección, Perú 2013. P.1.

<sup>22</sup> Universidad del cauca. En estudio agregado para mortero o concreto, Santiago de Cali, 2017.

aglomerados con el cemento portland en presencia de agua forman un todo compacto (piedra artificial), conocido como mortero o concreto.

### 1.5.2.1 NORMAS NTC AGREGADOS

Paso siguiente después de seleccionado los materiales a utilizar en la fabricación de la mezcla se lleva a cabo los procedimientos necesarios para determinar sus propiedades físicas y mecánicas. Para llevar a dichos procesos es necesaria la realización de ensayos de laboratorio bajo las normas NTC.

Las NTC son un conjunto de documentos creados por el Icontec los cuales establecen directrices, reglas y características para el diseño de un proceso o producto permitiendo alcanzar la calidad. A continuación se nombran las normas NTC empleadas según el tipo de material.

**Tabla 1. Ensayos para caracterización agregados finos**

| <b>Nombre del Ensayo</b>   | <b>No. Ensayo NTC</b> | <b>Descripción</b>   |
|--|-----------------------|--|
| Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. | 77                    | Esta norma abarca la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas que componen los agregados finos y gruesos, a través de un proceso de tamizado.                       |
| Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.             | 237                   | Esta norma este método de ensayo cubre la determinación de la densidad aparente y nominal, en una condición de temperatura de 23°C a $\pm 2^\circ\text{C}$ y la absorción del agregado fino. |

Fuente: tomado de la NTC.

**Tabla 2. Ensayos para caracterización agregados gruesos.**

| <b>Nombre del Ensayo</b>   | <b>No. Ensayo NTC</b> | <b>Descripción</b>   |
|--|-----------------------|--|
| Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. | 77                    | Esta norma abarca la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas que componen los agregados finos y gruesos, a través de un proceso de tamizado.                                   |
| Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso  | 176                   | Este ensayo tiene por objeto determinar la densidad y la absorción del agregado grueso. La densidad se puede expresar como densidad aparente SSS (saturada y superficialmente seca), o densidad nominal. |
| Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.    | 92                    | Esta norma determina la masa unitaria en condición compactada o suelta y el cálculo de los vacíos entre las partículas de agregados finos, gruesos o mezclados.  |

Fuente: tomado de la NTC.

### **1.5.2.2 AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO.**

Aunque básicamente los agregados pueden clasificarse por su tamaño en finos y gruesos, existen distintos tipos como: Clasificación por origen, Clasificación por color, Clasificación por tamaño de partícula, Clasificación por modo de fragmentación, Clasificación por peso específico. Agregados reciclados. Pero en este caso se clasifico por el diámetro de sus partículas. Se usa una malla del número 4 (4.75 milímetros), lo que queda retenido en la malla son agregados gruesos; lo que pasa esta malla (pero que es retenido en una malla del número 400, de 0.037 milímetros) son los agregados finos.

### **1.5.2.3 AGREGADO PROVENIENTE DE RESIDUO DE LLANTAS.**

#### **1.5.2.3.1 Composición de las llantas**

Secretaría de Medio Ambiente<sup>23</sup> publica de Bogotá que Las llantas están elaboradas de 5 tipos de materiales que les dan, dependiendo del uso al cual se destinan, sus características especiales como resistencia a la carga, posibilidad de manejar alta

<sup>23</sup> Secretaria de medio ambiente 2015.P.1.

presión, características de adherencia, entre otros. La Tabla 3. Muestra la composición de los neumáticos para automóviles y carros en porcentaje.

**Tabla 3. Composición típica de llantas. (Secretaría de Medio Ambiente De Bogotá, 2006)**

| Material                 | Composición (%) |          |
|--------------------------|-----------------|----------|
|                          | Automóviles     | Camiones |
| Caucho natural           | 14              | 27       |
| Caucho sintético         | 27              | 14       |
| Rellenos Reforzantes     | 28              | 28       |
| Acero                    | 14              | 15       |
| Antioxidantes y rellenos | 17              | 16       |

Fuente: Secretaría de medio ambiente.

#### 1.5.2.3.2 Proceso de trituración de los neumáticos para su reciclaje.

El proceso de reciclado se realiza destrozando la llanta en partes grandes, luego el resultado se vuelve a romper para hacerlas más pequeñas, y así se continúa destrozando la llanta en partículas cada vez más chicas, hasta lograr triturar y reducir las llantas a un tamaño tan pequeño que pareciera arena de hule negro. Actualmente existen dos métodos de trituración que son la trituración mecánica y la trituración criogénica.

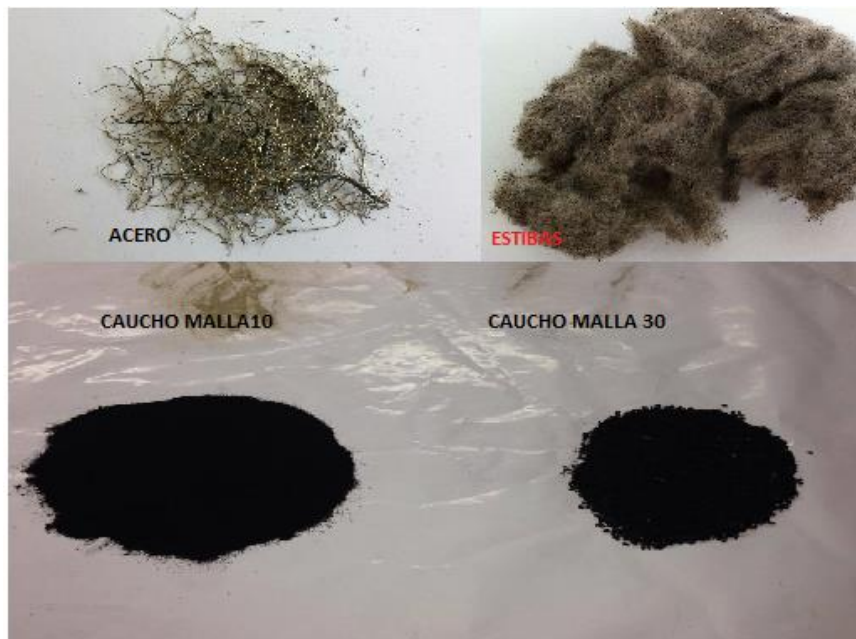
Trituración mecánica.

Recyclair<sup>24</sup> desde su página muestra e informa, Este proceso es puramente mecánico, no existen agentes químicos ni Adición de calor. Consta de pasar el neumático inicial por una serie de triturados sucesivos hasta conseguir reducir su volumen a un tamaño de salida muy pequeño, el cual dependerá del uso posterior que se le vaya a dar al producto. (ver Figura 1) y luego se emplean clasificadores neumáticos y magnéticos para separar el textil y el acero presentes. La mayor ventaja de este proceso es que se obtienen productos de buena calidad con un reducido número de etapas de proceso.

<sup>24</sup>Recyclair. Procesos de obtención del caucho reciclado (GCR), Cundinamarca, 2017.página oficial.



**Figura 1. Componentes Del Caucho**



Fuente: Elaboración Propia.

#### Trituración criogénica.

La trituración criogénica consiste en congelar con nitrógeno líquido llantas enteras, las cuales son golpeadas para obtener el caucho en forma de polvo, con liberación de nitrógeno gaseoso.

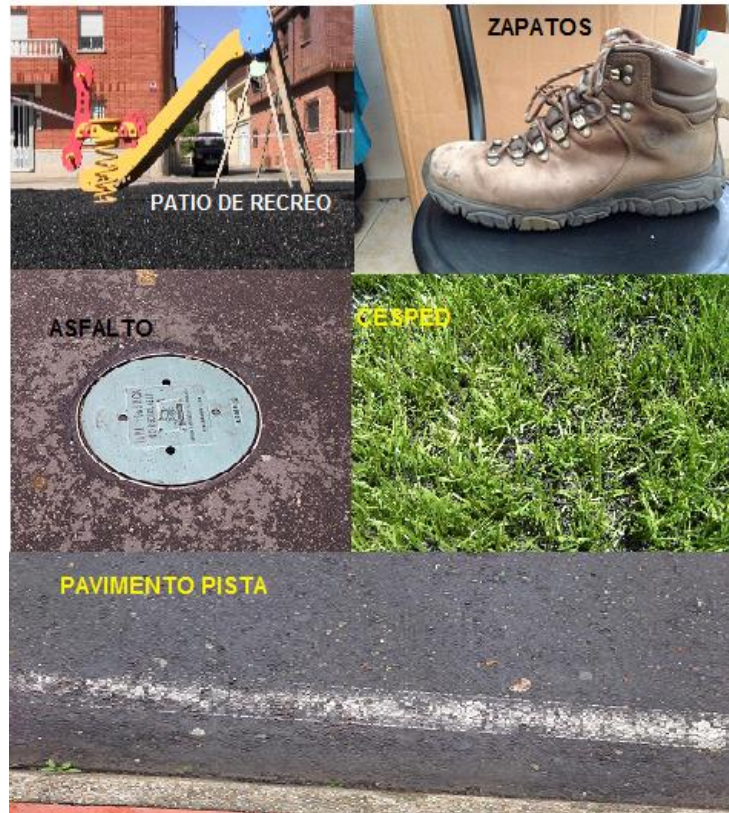
El DAMA<sup>25</sup> señala que Este proceso tiene como ventaja el reducido tamaño de las partículas obtenidas y como desventaja el hecho de que las partículas de acero y caucho se encuentran mezcladas; adicionalmente requiere instalaciones con altos costos de inversión y mantenimiento, así como maquinaria altamente especializada.

Recicla<sup>26</sup> Este método necesita unas instalaciones muy complejas lo que hace que tampoco sean rentables económicamente y el mantenimiento de la maquinaria y del proceso es difícil. La baja calidad de los productos obtenidos y la dificultad material y económica para purificar y separar el caucho y el metal entre si y de los materiales textiles que forman el neumático provoca que este sistema sea poco recomendable. Figura 1.

<sup>25</sup> El departamento técnico administrativo del medio ambiente, Bogotá Colombia 2000.

<sup>26</sup> Ibid., p 12.

**Figura 2. Aplicaciones del caucho en el mercado**



Fuente: Elaboración propia.

Para la investigación se contactó a la empresa GCR SOLUCIONES, que se encuentra en el municipio de Madrid (Cundinamarca), donde procesan las llantas en desuso, con el fin de aprovechar este material previniendo contaminaciones y malos depósitos se pueden utilizar para: sustrato para jardinería, superficies seguras para parques de diversión (elementos de protección), caucho pulverizado o granulado que sirven como aditivos a carreteras ecológicas y aplicaciones de ingeniería como son materiales compresibles para juntas de dilatación. Este proceso de transformación del caucho realizado por la empresa GCR SOLUCIONES es el siguiente:

**a)** Desgarradora de llantas – acero: Extrae el aro de acero de la llanta, obteniendo un acero que es nuevamente aprovechado en las siderúrgicas.

**b)** Primer proceso de trituración: Las llantas son puestas en una banda que las dirige a la tolva principal en cuyo interior hay varios juegos de cuchillas de acero de alta resistencia, que cuentan con una capacidad de procesamiento de dos (2) toneladas/hora, de allí se obtienen los trozos de caucho con tamaño aproximado de 120 mm.

**c)** Pre-granulador o Rasper: Equipo de molienda secundaria que tiene una capacidad de cuatro (4) toneladas/hora y que alimenta dos granuladores. A partir del pre-granulador es eliminado el acero hasta obtener un producto libre de metal.

**d)** Planta de granulometría fina: Dos molinos granuladores producen gránulos entre malla 8 y malla 30; uno de los productos de mayor aceptación dentro del mercado mundial utilizado en la construcción de carreteras ecológicas.

**e)** Extractor de fibra: Un conjunto de ciclones extrae la fibra del material generado por el molino granulador, que puede incorporarse a los procesos de fabricación de artículos de cemento, como tejas entre otros.

**f)** Extractor de acero: El acero hecho casi polvo es separado del granulo de caucho en la última etapa, gracias a la presencia de dos electroimanes en línea.

### **1.5.2.3.3 Aplicaciones actuales de neumáticos usados.**

Las prácticas no sustentables para el manejo de llantas usadas es el principal impulsor de los llamados combustibles alternos (CA), para sustituir el uso de combustibles convencionales en hornos de cemento, reemplazar los combustibles fósiles tradicionales con CA reduce las emisiones totales de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> dado que, a través de los métodos habituales de disposición, muchos de los CA generan emisiones de CO<sub>2</sub> con contenidos de biomasa que son consideradas como “de emisión neutra de carbono”, de esta forma se han venido experimentando en los hornos de cemento el uso de materiales como los CA y de esta manera evitar la producción y liberación de gas metano.

La forma de utilización más común y que actualmente se está dando a las llantas usadas trituradas provenientes de procesos mecánicos o criogénicos es su adición al pavimento asfáltico tradicional.

La incorporación del grano de caucho reciclado (GCR) en las mezclas asfálticas ha sido de buena aceptabilidad desde hace algunas décadas en muchos países por los buenos resultados en el desempeño de los pavimentos asfálticos.

Existen tres maneras básicas de emplear las llantas trituradas libres de acero y textiles en asfaltos modificados:

- **Asfalto modificado convencional:** La fabricación de este tipo de asfalto consiste en mezclar el caucho con el tamaño de partícula apropiado junto con los demás agregados antes de adicionar el asfalto, y se conoce tradicionalmente como asfalto modificado por vía seca.
- **Asfalto químicamente modificado:** Consiste en mezclar el caucho directamente con el pavimento (ligante), con lo cual se consigue una mayor homogeneidad.

- Uso como relleno de capa asfáltica: El uso de las llantas trituradas como relleno en la capa asfáltica junto con el “recebo” es una aplicación ampliamente extendida ya que mejora las propiedades de flexibilidad e impermeabilidad de la capa.
- Insonorizante en autopistas: las llantas son trituradas y empacadas en láminas ya sea de polímeros reciclados o láminas metálicas para instalar las barreras según la geometría y la distribución requerida.

### 1.5.3 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

Sánchez Guzmán<sup>27</sup> en su libro manifiesta que el diseño de mezclas de concreto, es un proceso que consiste en la selección de ingredientes disponibles (cemento, agregados, agua y aditivos) y la determinación de sus cantidades relativas para producir concreto con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiere las propiedades de resistencia, durabilidad, peso unitario, estabilidad de volumen y apariencia.

Jesús David Osorio<sup>28</sup> dice que una vez realizada la caracterización de los materiales se procederá hacer el diseño de la mezcla de concreto. El diseño de mezcla de un concreto se basa principalmente en conseguir una determinada resistencia a compresión en una edad específica y cumplir las propiedades que el concreto debe tener cuando la estructura esté en servicio.

Existen distintos métodos de diseño dentro de los cuales está:

- Método ACI
- Método Fuller
- Método Bolomey
- Método Faury
- Método Gráfico
- Entre otros.

Se deben establecer las especificaciones del concreto o características que deben cumplir para disminuir el grado de incertidumbre de la dosificación, estas propiedades son las siguientes:

---

<sup>27</sup> GUZMÁN. Tecnología del concreto y del mortero, Bogotá: Brandhar Editores Ltda. Pontificia Universidad Javeriana, 2001.P.6-38.

<sup>28</sup> 360° en concreto. ingeniero civil Jesús David Osorio de argos, Colombia 2017.página oficial.

**Tabla 4. Especificaciones de la Concreta norma (NTC1486)**

| Especificaciones del concreto |   |
|-------------------------------|---|
| 1.                            | Máximo y mínimo asentamiento  |
| 2.                            | Tamaño máximo y tamaño nominal del agregado   |
| 3.                            | Contenido mínimo de aire incluido, mejorar la durabilidad en ciertos climas                             |
| 4.                            | Resistencia a la compresión mínima necesaria, por las condiciones estructurales                         |
| 5.                            | Resistencia mínima de sobre diseño  |
| 6.                            | Relación máxima de agua cemento y/o contenido mínimo de cemento   |
| 7.                            | Máximo contenido de cemento para evitar el agrietamiento por exceso de temperatura en concreto masivo   |
| 8.                            | Máximo contenido de cemento para evitar el agrietamiento por contracción en condiciones de baja humedad |
| 9.                            | Tipos especiales de cemento y agregados   |
| 10.                           | Peso unitario mínimo para presas de gravedad y estructuras similares                                    |
| 11.                           | Uso de aditivos   |

Fuente: (Sánchez de Guzmán, 2001).

Los agregados se comercializan por volumen suelto y se dosifican por peso, se debe realizar una conversión utilizando las masas unitarias sueltas de cada material, en la tabla 5 se muestran las proporciones entre el peso, volumen absoluto y volumen suelto de los agregados en mezclas de concreto. Donde se establece que si hay más de un agregado fino o grueso, cada uno se tratará separadamente.

**Tabla 5. Proporción de peso Volumen absoluto y volumen suelto de los componentes de una mezcla de concreto.**

| Proporción   | Agua                             | Cemento         | Agregado Fino      | Agregado Grueso    |
|--|----------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| Por peso para 1 kg de cemento (kg)                                     | $A = \frac{A}{C}$                | 1               | f                  | g                  |
| Por peso para 1 m <sup>3</sup> de concreto (kg)                        | $A = \left(\frac{A}{C}\right) C$ | C               | fca.               | pc                 |
| Por volumen absoluto para 1 kg de cemento (litro)                      | $A = \frac{A}{C}$                | $\frac{1}{Gc}$  | $\frac{1}{Gf}$     | $\frac{g}{Gg}$     |
| Por volumen absoluto para 1 m <sup>3</sup> de concreto (litro)         | $A = \left(\frac{A}{C}\right) C$ | $\frac{C}{Gc}$  | $\frac{fC}{Gf}$    | $\frac{gC}{Gg}$    |
| Por volumen suelto para 1 kg de cemento (m <sup>3</sup> )              | $A = \frac{A}{C}$                | $\frac{1}{Dc}$  | $\frac{f}{Df}$     | $\frac{g}{Dg}$     |
| Por volumen suelto para 1 m <sup>3</sup> de concreto (m <sup>3</sup> ) | $A = \left(\frac{A}{C}\right) C$ | $\frac{C}{Dc}$  | $\frac{fC}{Df}$    | $\frac{gC}{Dg}$    |
| Por volumen suelto para un bulto de cemento (m <sup>3</sup> )          | $\left(\frac{A}{C}\right) 50$    | $\frac{50}{Dc}$ | $\frac{(f50)}{Df}$ | $\frac{(g50)}{Dg}$ |

Fuente: (Sánchez de Guzmán, 2001).

En donde:

A/C= relación agua cemento

C= contenido de cemento en  $\text{kg/m}^3$

Gc, Gf, Gg= Peso específico del cemento, del agregado fino y agregado grueso respectivamente en g/cc

Dc, Df, Dg= Masa unitaria suelta del cemento, del agregado fino y grueso respectivamente en  $\text{kg/m}^3$ .

### 1.5.3.1 NORMAS NTC MEZCLA

Las Normas establecen las especificaciones y métodos de prueba que se deben cumplir en el Concreto Hidráulico y en su elaboración, dosificado en masa, utilizado como material de construcción, entregado en estado fresco y sin endurecer a pie de obra.

**Tabla 6. Normas técnicas colombianas para el concreto y aditivos.**

| NUMERO DE LA NORMA | NOMBRE   |
|--------------------|--|
| NTC 396            | Ingeniería civil y Arquitectura. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto   |
| NTC 454            | Concreto Fresco. Toma de muestras.   |
| NTC 504            | Ingeniería Civil y Arquitectura. Refrentando de especímenes cilindros de concreto  |
| NTC 550            | Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra   |
| NTC 673            | Concretos. Ensayos de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto  |
| NTC 890            | Ingeniería Civil y Arquitectura. Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por medio de su resistencia a la penetración. |
| NTC 1028           | Ingeniería Civil y Arquitectura. Determinación del contenido de aire en concreto fresco. Método volumétrico.                               |
| NTC 1032           | Ingeniería Civil y A arquitectura. Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión   |
| NTC 3318           | Concreto Premezclado   |
| NTC 3459           | Concretos. Agua para la elaboración de concreto.   |
| NTC 4025           | Concretos. Método de Ensayo para determinar el Modulo de Elasticidad estático y relación de Poisson en concreto a compresión               |
|                    |  |

| NUMERO DE LA NORMA | NOMBRE   |
|--------------------|--|
| NTC 3502           | Ingeniería Civil y Arquitectura. Aditivos incorporadores de aire para concreto.  |
| NTC 1299           | Concretos. Aditivos químicos para el concreto  |
| NTC 3823           | Ingeniería Civil y Arquitectura. Muestreo y ensayo de cenizas volantes o puzolanas naturales para uso como aditivo mineral en el concreto de cemento portland. |
| NTC 4637           | Ingeniería Civil y Arquitectura. Concretos. Especificaciones para el uso de microsíllica como adición en mortero y concreto de cemento hidráulico              |
| NTC 4023           | Ingeniería Civil y Arquitectura. Especificaciones para aditivos químicos usados en la producción de concreto fluido  |

Fuente: [www.cemexcolombia.com](http://www.cemexcolombia.com)

## 1.5.4 PROPIEDADES MECÁNICA DEL CONCRETO

### 1.5.4.1 Resistencia a la compresión.

La NTC 673 (ASTM C39)<sup>29</sup> indica que la resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto, la forma de evaluar esta resistencia es mediante pruebas mecánicas que pueden ser destructivas, para lo cual se toman muestras y se hacen especímenes para fallar. La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto a la carga axial, generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm<sup>2</sup>) a una edad de 28 días y se calcula dividiendo la máxima carga soportada por el espécimen durante el ensayo entre el área de la sección transversal promedio.

**Figura 3. Ensayo de resistencia a la compresión NTC 673.**



<sup>29</sup> Normas técnicas colombianas y su correspondiente norma americana. Resistencia a la compresión: NTC 673. Bogotá Colombia 2017. P.4-5.

Fuente: Elaboración propia.

#### 1.5.4.2 Resistencia a la tracción indirecta o método brasilero.

**NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 722<sup>30</sup>**, el método de ensayo presentado aquí consiste en la aplicación de una fuerza de compresión diametral en la longitud de un espécimen de concreto cilíndrico a una velocidad que se encuentra dentro del intervalo prescrito hasta que ocurra la falla. Esta carga induce esfuerzos de tensión en el plano que contiene la carga aplicada y esfuerzos de compresión relativamente altos en el área inmediatamente circundante a la carga aplicada. Ocurre falla por tensión, no por compresión, debido a que las áreas de aplicación de carga se encuentran en estado de compresión triaxial, lo que les permite soportar esfuerzos de compresión mayores que los indicados en el resultado del ensayo de resistencia a la compresión uniaxial.

**Figura 4. Espécimen colocado en una máquina de ensayo para determinar la resistencia a la tensión indirecta NTC 722.**



Fuente: Elaboración propia.

Para desarrollar el laboratorio propuesto se tienen en cuenta los siguientes puntos:

- Se elabora y cura una muestra de concreto en el laboratorio con mucha cautela y control de materiales, generando buenas condiciones de ensayo, usando concreto que se pueda compactar con apisonamiento o vibración.
- El exceso de humedad en las probetas curadas en agua, se elimina de las superficies de las probetas, antes de su colocación en la máquina de ensayo.

---

<sup>30</sup> Norma técnica colombiana. Tracción indirecta: NTC 722 ,Bogotá 2017.P. 3-6.



- La probeta se coloca centrada en la prensa, si se desea utilizando el dispositivo opcional. Se sitúan con cuidado las bandas de apoyo y, si fuera necesario, las piezas de carga a lo largo de la parte superior e inferior del plano de carga de la probeta.

Cálculos:

La resistencia a la tensión indirecta del espécimen se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$T = \frac{2 * p}{\pi * L * d}$$

Donde:

T = resistencia a la tensión indirecta, (KPa)

P = carga máxima aplicada, indicada por la máquina de ensayo, (KN).

l = longitud en

m= diámetro, en m.

Informe

El informe debe contener la siguiente información:

Identificación del cilindro Diámetro y longitud, (m).

Carga máxima, en (KN).

Resistencia a la tensión indirecta, calculada con aproximación a 35 KPa.

La proporción estimada de agregado grueso fracturado durante el ensayo.

Edad del espécimen. Historia del curado.

Defectos en el espécimen.

Tipo de fractura.

Tipo de espécimen.

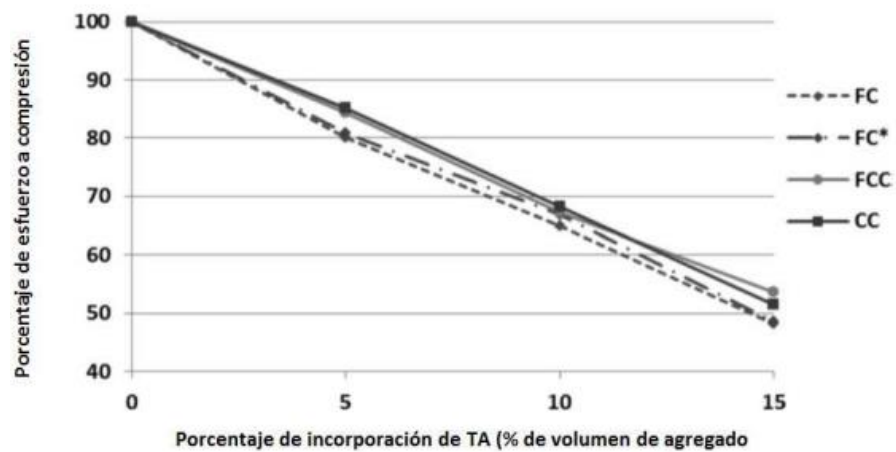
## **1.5.5 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO MODIFICADO CON CAUCHO**

### **1.5.5.1 Resistencia a la compresión**

Cuando se habla de propiedades mecánicas en el concreto, se estudia básicamente la resistencia a la compresión, esta es la propiedad más común de desempeño que utilizan los ingenieros para diseñar diferentes tipos de estructuras. Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se usan fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con la resistencia especificada de los proyectos y además permite estimar otros parámetros de diseño tales como módulo de elasticidad, resistencia a la tracción, resistencia al corte, etc.

Para Valadares F et al<sup>31</sup>, los resultados de los ensayos mecánicos evidencian que la resistencia a la compresión es fuertemente afectada y se ve reducida con el aumento de la adición de volumen incorporado de caucho sin importar si este fue molido de forma mecánica o criogénica. Como se observa en la figura 5, la pérdida de resistencia para 5%, 10% y 15% de reemplazo es del orden de 14% 31% y 49% respectivamente, este comportamiento es lógico comparando la diferencia de rigidez entre los agregados de caucho y los agregados minerales; en cuanto a la evolución de la pérdida de resistencia a compresión a largo plazo, en todas las muestras es más pronunciada en edades tempranas, con el transcurrir del tiempo la resistencia propiedad se ve mejorada.

**Figura 5. Resistencia a la compresión estudio (valadares et al, 2009)**



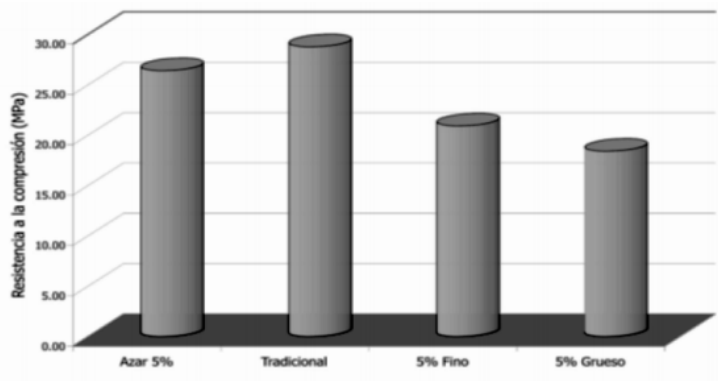
Fuente: (valadares et al 2009).

De la misma forma, Albano et al<sup>32</sup>, muestran una disminución de la resistencia a la compresión en las muestras con caucho fino y grueso entre un 26% y un 31% respecto al concreto tradicional; mientras que la disminución a la resistencia en los cilindros con caucho al azar (grueso + fino) solo disminuye en un 8%, como lo muestra la figura 6.

<sup>31</sup> Valadares F et al. Concrete with Used Tire Rubber Aggregates: Mechanical Performance, España, 2012. P.10.

<sup>32</sup> Albano et al. Estudio "Influence of scrap rubber addition to Portland I concrete" Influencia del caucho en la Adición Del Concreto, Caracas Mar. 2008. Rev. Fac. En g. UCV v.23 n.1.

**Figura 6. Resistencias a la compresión estudio (Albano et al., 2007)**



Fuente: (Albano et al., 2007)

Schultz et al<sup>33</sup>, presentan resultados similares a los anteriores en donde se observa disminución de la resistencia a la compresión con el aumento de porcentaje de volumen según tabla 7; para el reemplazo sin caucho la resistencia a la compresión es de 36.34 Mpa y al adicionar el 3.5% de caucho la resistencia se ve disminuida a 25.97 Mpa. En este estudio el autor no presentan resultados para porcentaje de reemplazo del 5%, sin embargo incluye la columna en la tabla 7.

**Tabla 7. Resistencia a compresión estudio hecho en España (Schultz et al., 2004).**

| Lab. de materiales ETSAM          | Mezclas sin caucho | Mezcla con caucho 3,5% volumen | Mezcla con caucho 5% volumen |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Resistencia a la compresión (MPa) | 36.34              | 25.97                          | -                            |

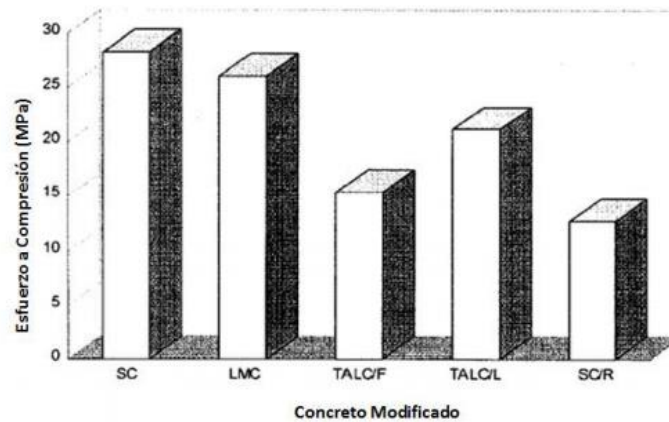
Fuente: (Schultz et al., 2004).

Para Suk H et al<sup>34</sup>, la resistencia a la compresión se ve disminuida en un 54.9% con la adición de grano de caucho (SC/R) respecto a la muestra de concreto estándar (SC), certificando los resultados hechos en los países anteriores; como se puede observar en la figura 7. El análisis de los resultados para los demás tipos de concreto no se realiza teniendo en cuenta que tienen adición de látex en sus mezclas.

<sup>33</sup> Schultz et al. Hormigón con fibras de caucho de recuperación de neumáticos usados y de polipropileno diseño del firme de hormigón de caucho, Madrid España 2004.P.1-15.

<sup>34</sup> Suk H et al. Development of tire- added latex concrete, desarrollo de adicción de fibras de caucho látex al concreto 1998.

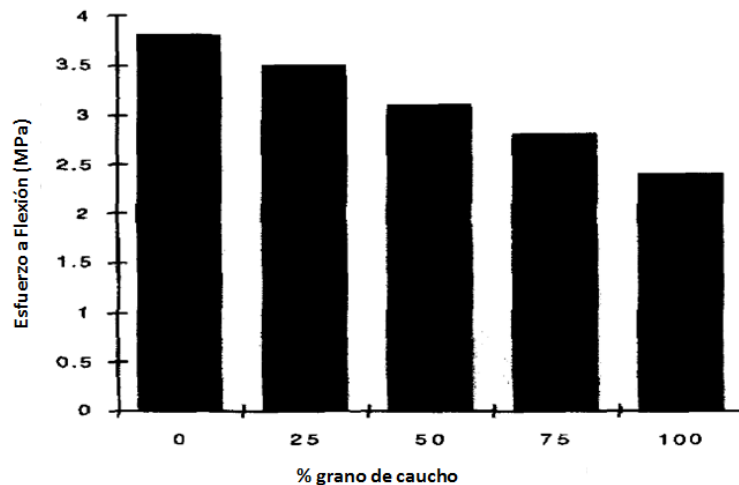
**Figura 7. Resistencia a la compresión, estudio (Suk et al., 1998).**



Fuente: (Suk et al., 1998).

Según Toutanji<sup>35</sup>, el efecto de la sustitución del agregado grueso por 25%, 50%, 75% y 100% de virutas de caucho produce pérdidas en la resistencia a la compresión de 39%, 56% 69 y 75% respectivamente, el autor destaca que el comportamiento no es lineal y presenta más bien un comportamiento similar al de una parábola como se observa en la figura 8.

**Figura 8. Resistencia a la compresión, estudio (Toutanji, 1996).**

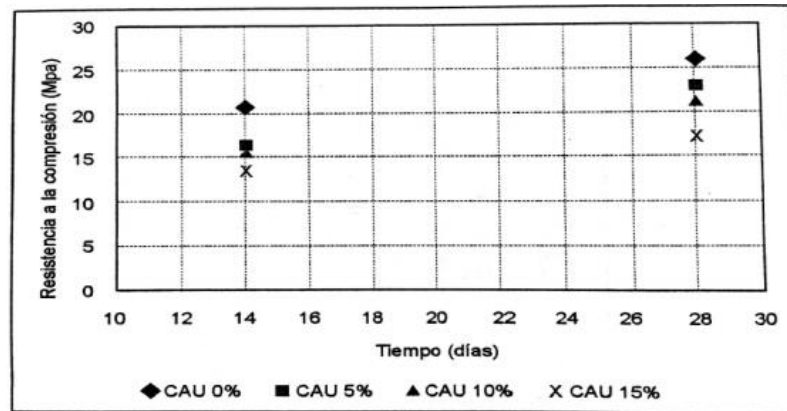


Fuente: (Toutanji, 1996).

<sup>35</sup> Toutanji, H. "El uso de partículas de caucho de neumáticos en concreto a Reemplazar por Agregados," Journal of Cemento y Composites de hormigón, (1996), vol. 18, No. 2.

Los autores Oviedo et al<sup>36</sup>, presentan resultados similares respecto a los realizados a nivel internacional, en donde la resistencia del concreto a la compresión se ve disminuida con el aumento de porcentaje de adición de caucho que varía de 5%, 10% a 15%; como se puede observar en la figura 9 la disminución de la resistencia es del 11.2%, 17.3% y 38% respectivamente.

**Figura 9. Resistencia a la compresión, estudio (Oviedo et al., 2008).**



Fuente: Estudio (Oviedo et al., 2008).

Como era de esperar para Aiello & Leuzzi<sup>37</sup>, la resistencia a la compresión disminuyó progresivamente con el aumento de porcentaje de agregado de caucho con valores de 11.6% para muestras con 15% de sustitución y de 37.1% para muestras con 75% de sustitución, como se observa en la tabla 8 estos resultados confirman nuevamente las investigaciones mencionadas anteriores.

**Tabla 8. Resistencia a compresión, Estudio (Aiello & Leuzzi, 2010).**

| No. | Resistencia Compresión (Mpa) | COV. (%) | St.dev.(Mpa) | Disminución (%) |
|-----|------------------------------|----------|--------------|-----------------|
| C2  | 27.11                        | 5.78     | 1.57         | —               |
| RA2 | 23.97                        | 1.90     | 0.46         | 11.6            |
| RB2 | 20.41                        | 1.97     | 0.40         | 24.7            |
| RC2 | 19.45                        | 6.48     | 1.26         | 28.3            |
| RD2 | 17.06                        | 3.93     | 0.67         | 37.1            |

Fuente: Estudio (Aiello & Leuzzi, 2010).

<sup>36</sup> Oviedo et al. Estudio del concreto hidráulico con adición de tiras de caucho de desecho de llanta, Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería Vol.18, No. 71 (Jul.-Sep. 2008) p. 7-17

<sup>37</sup> Aiello, M. A.; and Leuzzi, F. Waste Tire Rubberized Concrete: Properties at Fresh and Hardened State, 2010. Waste Management, AUG-SEP, vol. 30, no. 8-9, pp. 1696-1704.

### 1.5.6 MARCO CONCEPTUAL.

**ENSAYO DE COMPRESIÓN:** En ingeniería, el ensayo de compresión es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión.

**RESISTENCIA A LA FLEXIÓN:** Esfuerzo máximo de la fibra desarrollado en una probeta justo antes de que se agriete o se rompa en un ensayo de flexión. Se presenta la resistencia de fluencia de la flexión en lugar de la resistencia a la flexión para aquellos materiales que no se rompen en el ensayo de flexión. Sinónimo de módulo de rotura.

**MODULO DE ELASTICIDAD:** El módulo de elasticidad es la medida de la tenacidad y rigidez del material del resorte, o su capacidad elástica. Mientras mayor el valor (módulo), más rígido el material. A la inversa, los materiales con valores bajos son más fáciles de doblar bajo carga.

**RESISTENCIA TENSIL:** es la máxima tensión que un material puede soportar al ser traccionado antes de que se produzca necking, que es cuando la sección transversal del espécimen se comienza a contraer de manera significativa.

**DUREZA:** es la oposición que ofrecen los materiales a alteraciones como la penetración, la abrasión, el rayado, la cortadura, las deformaciones permanentes, entre otras. Por ejemplo: la madera puede rayarse con facilidad, esto significa que no tiene mucha dureza, mientras que el vidrio es mucho más difícil de rayar. En la actualidad la definición más extendida aparte de los minerales y cerámicas sería la resistencia a la deformación plástica localizada.

**DUCTILIDAD:** se conoce como ductilidad a la propiedad de aquellos materiales que, bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse sin llegar a romperse. Estos materiales, como ciertos metales o asfaltos, se conocen como dúctiles. En cambio, los materiales que no poseen esta propiedad se califican como frágiles. Esto quiere decir que los materiales dúctiles pueden experimentar importantes deformaciones antes de romperse, mientras que los frágiles se rompen casi sin deformación.

**DURABILIDAD:** Propiedad de un material o mezcla para resistir desintegración por efectos mecánicos, ambientales o de tráfico. Capacidad que tiene la obra para resistir la acción del clima, el ataque químico, abrasión y otras condiciones, a que está expuesta. Eflorescencia Un depósito de sales blancas, formadas en la superficie de los muros, especialmente en lugares húmedos, cálidos y salitrosos.

**NTC (Las Normas Técnicas Colombianas):** Guías Técnicas Colombianas y las Especificaciones Normativas Disponibles (NTC, GTC, END, respectivamente) son el resultado de un gran esfuerzo realizado por más de 10000 técnicos, quienes, en representación del Gobierno, de los sectores privados de la producción, distribución y consumo y del sector científico, participan en forma activa y decidida en la

elaboración de normas de carácter nacional. Esta tarea se lleva a cabo a través de 180 comités que cubren prácticamente todos los sectores económicos, científicos y tecnológicos del país, para beneficio de productores, comercializadores y consumidores.

**NSR10 Norma Sismo Resistente:** El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) es una norma técnica colombiana encargada de reglamentar las condiciones con las que deben contar las construcciones con el fin de que la respuesta estructural a un sismo sea favorable

**CONCRETO:** El concreto u hormigón es una mezcla de cemento, agua, arena y grava que se endurece o fragua espontáneamente en contacto con el aire o por transformación química interna hasta lograr consistencia pétreo.

**ADITIVOS:** Son componentes de naturaleza orgánica (resinas) o inorgánica, cuya inclusión tiene como objeto modificar las propiedades físicas de los materiales conglomerados en estado fresco. Se suelen presentar en forma de polvo o de líquido, como emulsione.

**CAUCHO RECICLADO:** Material que ha cumplido su ciclo de vida útil y por ende se recicla por medio de máquinas que realizan la función de trituración para darle un nuevo uso.

**CAPACITANCIA:** Propiedad que tienen los cuerpos para mantener una carga eléctrica o almacenamiento de la misma.

**INDUCTANCIA:** Capacidad que tiene un cuerpo para almacenar energía en forma de campo magnético.

**MOLINOS GRANULADORES:** Equipos de molienda, los cuales producen granos de caucho que se retienen entre malla 8 y malla 30.

**RESISTIVIDAD:** Capacidad que tiene un cuerpo para oponerse al paso de un flujo eléctrico a través de él.

**TRITURACIÓN CRIOGÉNICA:** Proceso de trituración a neumáticos que son sometidos a bajas temperaturas, del orden de  $-195.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  que corresponden a Nitrógeno líquido, en forma de espuma criogénica, en un túnel de ciclo cerrado aislado al vacío, para lo cual el caucho se vuelve frágil y quebradizo, obteniéndose la separación de cenizas, acero y fibra textil.

## 1.6 METODOLOGÍA

Inicialmente se informó muy bien sobre el proyecto de investigación hecho por la **Fac. Ing. UCV v.23 n.1 Caracas mar. 2008, dirigido por C. Albano 1,2\*, N. Camacho 1, M. Hernández 3, A. J. Bravo 1, H. Guevara 1<sup>38</sup>**, debido a esta información se decide formular el eje investigativo de trabajo y es en determinar el porcentaje de caucho fino y grueso que formulan ellos en su investigación y que presenta condiciones muy parecidas a las de la concreto tradicional, partiendo de esto se empezó a buscar y seleccionar el material de caucho reciclado obteniéndolo en una planta de Madrid llamada GCR SOLUCIONES la cual ofrece un producto granulado **GCR GRANULADO M10** con una granulometría (tamiz 10 grueso(2 mm) y **GCR PULVERIZADO M30** tamiz 30 fino (0.5mm)) eligiendo esta como el material para realizar las mezclas 5% en peso de la mezcla total del concreto de 3500 psi con 3 porcentajes diferentes y la mezcla tradicional con material de la empresa CONCRESCOL ubicada Carrera 9 No. 72-61 Of. 501 Bogotá- Colombia que ofrece excelentes materiales para diseñar la mezcla, para la elaboración de las mezclas se toma todos los cuidados y pasos respecto a Las Normas establecen las especificaciones y métodos de prueba que se deben cumplir en el Concreto Hidráulico y en su elaboración según (NTC).

Teniendo la mezclas se prosigue a realizar ensayos de laboratorio según (NTC) el cual se fija con unos objetivos a desarrollar, los cuales son: ensayo experimental de compresión según NTC 673 (ASTM C39), ensayo experimental de Tracción Indirecta según NTC 722 (esta norma es equivalente a la norma ASTM C496) Llegado a este punto, se recopiló los resultados de laboratorio y a analizar los datos realizando graficas donde se comparan los resultados de las mezclas en compresión, y tracción indirecta buscando que se exponga de manera más comprensible estos resultados, para así resolver la formulación y generar posibles conclusiones que se presenten en el proyecto.

### 1.6.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS MATERIALES

#### 1.6.1.1 Agregado Grueso

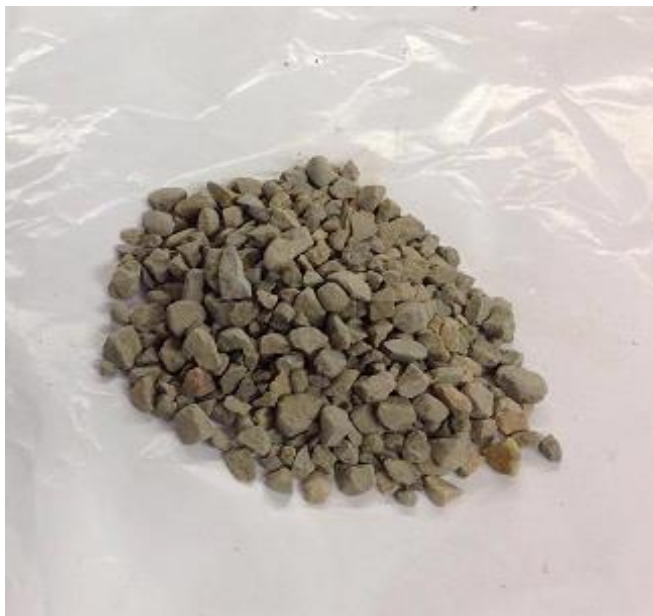
Para la caracterización de agregado grueso se adquirió un producto con la empresa Concrecol quien brinda la ficha técnica con todos los ensayos requeridos para caracterizar el material y obtener sus características óptimas. Ver tabla 9.

---

<sup>38</sup> Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela. Op. cit. P.16.



**Figura 10. Agregado Grueso Utilizado en la Mezcla.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 9. Ensayo de agregados pétreos densidad y absorción de agregado grueso (NORMA INV. E-223 - NTC 176).**

| N° | TIPO DE MUESTRA                                    | TRITURADO<br>3/4 | TRITURADO<br>1/2 | PROMEDIO |
|----|--|------------------|------------------|----------|
| 1  | Masa de material SSS                               | 980              | 1020             |          |
| 2  | Masa de material sumergido en agua                 | 615              | 639              |          |
| 3  | Masa material seco                                 | 970              | 1010             |          |
| 4  | agua absorbida                                     | 10               | 10               |          |
| 5  | volumen muestra saturada                           | 365              | 381              |          |
| 6  | volumen de solidos                                 | 355              | 371              |          |
| 7  | peso específico aparente seca (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.66             | 2.65             | 2.65     |
| 8  | peso específico SSS (g/cm <sup>3</sup> )           | 2.68             | 2.68             | 2.68     |
| 9  | peso específico nominal (g/cm <sup>3</sup> )       | 2.73             | 2.72             | 2.73     |
| 10 | absorción  | 1.03             | 0.99             | 1.01     |

Fuente: ficha técnica Concrecol.

### 1.6.1.2 Agregado Fino

#### 1.6.1.2.1 Caracterización del Cemento

El producto tiene definidas sus características certificadas por qué es adquirido directamente del fabricante, razón por la cual se utiliza esta información.

En la tabla 10. Ficha técnica del cemento gris tipo uso general se muestra las características del cemento empleado en la presente investigación.

El cemento portland Tipo I ARGOS.

- Densidad – NTC 221 (ASTM C188) igual a 2940 kg/m<sup>3</sup>.
- Consistencia normal - NTC 110 (ASTM C187).
- Tiempos de fraguado (NTC 110).
- Finura – NTC 33 (ASTM C204).

**Tabla 10. Ficha técnica de cemento gris tipo uso general**

| PARÁMETROS FÍSICOS                                   |                                    | NORMA DE ENSAYO |       | NTC 121<br>TIPO UG | ESPECIFICACIONES<br>ARGOS |
|--|------------------------------------|-----------------|-------|--------------------|---------------------------|
| Finura   | Blaine, min. (cm <sup>2</sup> /gr) | NTC 33          | –     | –                  | 2800                      |
|  | Retenido tamiz 45-mm (%)           | NTC 294         | –     | –                  | –                         |
| Cambio de Longitud por Autoclave Expansión, Max. (%) |                                    | NTC 107         | 0.80  | 0.80               | 0.80                      |
| Tiempo de fraguado,<br>ensayo de vigas               | No menos de (minutos)              | NTC 118         | 45    | 45                 | 45                        |
|  | No más de (minutos)                | NTC 118         | 420   | 420                | 420                       |
| Contenido de Aire en Volumen de Mortero, Max (%)     |                                    | NTC 224         | 12    | 12                 | 12                        |
| Expansión de Barras de Mortero a 14 días, Max. (%)   |                                    | NTC 4927        | 0.020 | 0.020              | 0.020                     |
| <b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN</b>                   |                                    |                 |       |                    |                           |
| 3 Días, min. Mpa                                     |                                    | NTC 220         | 8.0   | 9.0                | 9.0                       |
| 7 Días, min. Mpa                                     |                                    | NTC 220         | 15.0  | 16.0               | 16.0                      |
| 28 Días, min. Mpa                                    |                                    | NTC 220         | 24.0  | 26.0               | 26.0                      |

Fuente: (argos 2015).

#### 1.6.1.2.2 Caracterización de la Arena

Para la caracterización del agregado fino (arena) se hizo el mismo proceso que para el agregado grueso, las características se toman de la ficha técnica, tabla 11.

**Figura 11. Agregado Fino Arena para utilizada en la mezcla.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 11. Ensayo de agregados pétreos densidad y absorción de agregado fino (NORMA INV. E-222- NTC 237)**

| N° | TIPO DE MUESTRA                                    | TRITURADO<br>3/4 | TRITURADO<br>1/2 | PROMEDIO |
|----|--|------------------|------------------|----------|
| 1  | temperatura del ensayo                             | 21               | 21               |          |
| 2  | Masa de material SSS                               | 500              | 500              |          |
| 3  | masa frasco volumétrico + agua                     | 627.1            | 627.1            |          |
| 4  | masa frasco volumétrico +material +agua            | 936.4            | 937.5            |          |
| 5  | masa material seco                                 | 489              | 491              |          |
| 6  | volumen de solidos                                 | 179.7            | 180.6            |          |
| 7  | volumen muestra saturada                           | 190.7            | 189.6            |          |
| 8  | peso específico aparente seca (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.56             | 2.59             | 2.58     |
| 9  | peso específico SSS (g/cm <sup>3</sup> )           | 2.62             | 2.64             | 2.53     |
| 10 | peso específico nominal (g/cm <sup>3</sup> )       | 2.72             | 2.72             | 2.72     |
| 11 | absorción  | 2.25             | 1.83             | 2.04     |

Fuente: ficha técnica Concescol.

### 1.6.1.3 Caucho.

Para obtener la densidad relativa del caucho, el caucho se adquirió procesado de una planta de GCR llamada GCR SOLUCIONES, una planta procesadora de llantas de caucho que produce el caucho que se utiliza en la combinación de caucho y pavimento asfáltico, ellos por procesar este producto deben realizar todos los ensayos para caracterizar el material y poder distribuirlo, a continuación en la tabla

12. Se muestra algunos datos de los dos materiales y en los anexos encontramos toda la ficha técnica original.

**Tabla 12. Densidad relativa aparente caucho.**

| <b>PRODUCTO</b>           | <b>Caucho Grueso<br/>Malla 30</b> | <b>Caucho Fino<br/>Malla 10</b> |
|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| <b>DENSIDAD RELATIVA</b>  | 0.47                              | 0.47                            |
| <b>HUMEDAD</b>            | 2                                 | 2                               |
| <b>RANGO DE DIMENSIÓN</b> | 1.5mm-3.5mm                       | 0.18mm-0.6mm                    |
| <b>PRESENTACIÓN</b>       | 30 kilos                          | 30 kilos                        |

Fuente: Elaboración Propia

### **1.6.2 DISEÑO DE MEZCLA**

El propósito del diseño de mezcla consiste en seleccionar los ingredientes disponibles (cemento, agregados y agua) y la determinación de sus cantidades relativas para producir, tan económicamente posible, concreto con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiera las propiedades de resistencia, durabilidad, peso unitario, estabilidad del volumen y apariencia adecuados. Estas proporciones dependen de las propiedades y características de los ingredientes usados, las propiedades particulares bajo las cuales el concreto será producido y colocado.

Procedimiento de diseño.

- Selección de asentamiento
- Selección de tamaño máximo del agregado
- Estimación del contenido de aire
- Estimación del contenido de agua
- Determinación de la resistencia de diseño
- Selección de la relación agua cemento
- Calculo del contenido de cemento
- Estimación de las proporciones de los agregados
- Dosificación de la sustitución parcial de agregado fino por caucho
- Dosificación finales por diseño de mezcla

### 1.6.2.1 Selecciones de Asentamiento

La consistencia que se requiere para el diseño de mezcla planteado es de 7.5 cm.

### 1.6.2.2 Selección de Tamaño Máximo.

En el presente trabajo se considera que los concretos de uso no estructural no contienen refuerzos de ningún tipo y no requiere propiedades especiales para ser bombeado, es por eso que no es necesario calcular el tamaño máximo del agregado. Por lo tanto como tamaño máximo el agregado de 1”.

### 1.6.2.3 Estimación de Contenido de Aire

Durante el mezclado de los materiales queda aire naturalmente atrapado en la mezcla y para esto los comités 211 y 318 del A.C.I dan un porcentaje de 2.0 % ver Tabla 13.

**Tabla 13. Requisitos aproximados de agua en la mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado**

| Revenimiento (mm)  | Agua, Kilogramo por metro cubico de concreto, para los tamaños de agregado grueso indicados |      |     |     |      |     |     |     |  |
|--|---|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|--|
|  | 9.5   | 12.5 | 19  | 25  | 37.5 | 50  | 75  | 150 |  |
| <b>Concreto sin aire Incluido</b>  |   |      |     |     |      |     |     |     |  |
| 25      50   | 207   | 199  | 190 | 179 | 166  | 154 | 130 | 113 |  |
| 75      100  | 228   | 216  | 205 | 193 | 181  | 169 | 145 | 124 |  |
| 150     175  | 243   | 228  | 216 | 202 | 190  | 178 | 160 | —   |  |
| <b>Cantidad aproximada aire atrapado en un concreto sin aire incluido (%).</b>         | 3.0   | 2.5  | 2.0 | 1.5 | 1.0  | 0.5 | 0.3 | 0.2 |  |
| <b>Concreto con aire Incluido</b>  |   |      |     |     |      |     |     |     |  |
| 25      50   | 181   | 175  | 168 | 160 | 150  | 142 | 122 | 107 |  |
| 75      100  | 202   | 193  | 84  | 175 | 165  | 157 | 133 | 119 |  |
| 150     175  | 216   | 205  | 197 | 184 | 184  | 166 | 154 | —   |  |
| <b>Porcentaje del cont. De aire total recomendado para el nivel de exposición (%).</b> |   |      |     |     |      |     |     |     |  |
| <b>Exposición leve</b>   | 4.5   | 4.0  | 3.5 | 3.0 | 2.5  | 2.0 | 1.5 | 1.0 |  |
| <b>Exposición moderada</b>   | 6.0   | 5.5  | 5.0 | 4.5 | 4.5  | 4.0 | 3.5 | 3.0 |  |
| <b>Exposición severa</b>   | 7.5   | 7.0  | 6.0 | 6.0 | 5.5  | 5.0 | 4.5 | 4.0 |  |

Fuente: ACI 211.1 Y ACI 318.

**Tabla 14. Cantidad requerida de aire esperado en concreto sin aire incluido para diferentes tamaños máximos de agregados.**

| Tamaño máximo nominal del agregado |        | Naturalmente atrapado |
|------------------------------------|--------|-----------------------|
| mm                                 | pul    |                       |
| 9.51                               | 3/8"   | 3                     |
| 12.7                               | 1/2"   | 2.5                   |
| 19                                 | 3/4"   | 2                     |
| 25.4                               | 1"     | 1.5                   |
| 38.1                               | 1 1/2" | 1                     |
| 50.8                               | 2      | 0.5                   |

Fuente: libro tecnología del concreto. (Guzmán, 2001).

#### 1.6.2.4 Estimación de Contenido de Agua de Mezclado

La Cantidad de agua que requiere el concreto por unidad de volumen para que se hidraten las partículas del cemento y para proporcionar las condiciones de manejabilidad adecuada que permitan la aplicación y el acabado del mismo en el lugar de la colocación en el estado fresco. Se debe tener en cuenta la forma de las partículas, textura y la granulometría respecto al tamaño máximo.

Para esto se toma la tabla presentada en el libro **TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO GUZMÁN**<sup>39</sup>, allí es donde se observa la cantidad de agua de mezclado para la mezcla sin aire incluido, en función del tamaño máximo y asentamiento esperado.

**Tabla 15. Cantidad calculada de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, en concreto con y sin aire incluido.**

| ASENTAMIENTO (cm)   | CONCRETOS SIN AIRE INCLUIDO    |     |     |     |     |     |     |
|---------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                     | TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES (mm) |     |     |     |     |     |     |
|                     | 10                             | 13  | 19  | 25  | 38  | 50  | 75  |
| 0,0 – 2,5           | 185                            | 180 | 165 | 160 | 140 | 135 | 125 |
| 3,0 – 5,0           | 205                            | 200 | 185 | 180 | 160 | 155 | 145 |
| 5,5 – 7,5           | 215                            | 210 | 190 | 185 | 170 | 165 | 155 |
| 8,0 – 10,0          | 225                            | 215 | 200 | 195 | 175 | 170 | 165 |
| 10,5 – 15,0         | 235                            | 225 | 205 | 200 | 180 | 175 | 170 |
| 15,5 – 18,0         | 240                            | 230 | 210 | 205 | 185 | 180 | 175 |
| % CONTENIDO DE AIRE | 3,0                            | 2,5 | 2,0 | 1,5 | 1,0 | 0,5 | 0,3 |

Fuente: norma ACI.

<sup>39</sup> GUZMÁN. Op cit. P-5-27.

**Tabla 16. Cantidad requerida de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, en concreto con y sin aire incluido.**

| Asentamiento |     | Tamaño máximo del agregado (mm)                    |            |      |
|--------------|-----|--|------------|------|
|              |     | 12.7   | 19.0       | 25.4 |
| mm           | pul | Agua de mezclado en kg/m <sup>3</sup> de concreto. |            |      |
| 0            | 0   | 176  | 166        | 152  |
| 25           | 1   | 183  | 174        | 158  |
| 50           | 2   | 189  | 179        | 164  |
| 75           | 3   | 193  | <b>183</b> | 169  |
| 100          | 4   | 196  | 186        | 172  |
| 125          | 5   | 200  | 190        | 176  |
| 150          | 6   | 205  | 194        | 180  |
| 175          | 7   | 210  | 199        | 185  |
| 200          | 8   | 215  | 204        | 190  |

Fuente: libro tecnología del concreto. (Guzmán, 2001).

#### 1.6.2.5 Determinación de la Resistencia de Diseño.

De acuerdo a normas colombianas y diseño de construcción sismo resistente NSR-10, el concreto debe diseñarse y producirse para asegurar una resistencia a la compresión promedio de  $f''_{cr}$  lo suficientemente alta para minimizar la frecuencia por debajo del valor de la resistencia a la compresión especificada del concreto  $f'_c$  la resistencia a la compresión es calculada con la siguiente expresión.

$$f''_{cr} = f'_c + t\sigma$$

Donde:

$f''_{cr}$  = promedio requerido de resistencia

$f'_c$  = resistencia requerida

$t$  = constante que depende de la proporción de pruebas que puede caer por debajo de valor  $f'_c$

$\sigma$  = valor estimado reestimado de la desviación estándar.

Guzmán<sup>40</sup>, propone que Esto es para cuando se tiene al menos 30 pruebas anteriores, pero en este caso no se cuenta con dicha información.

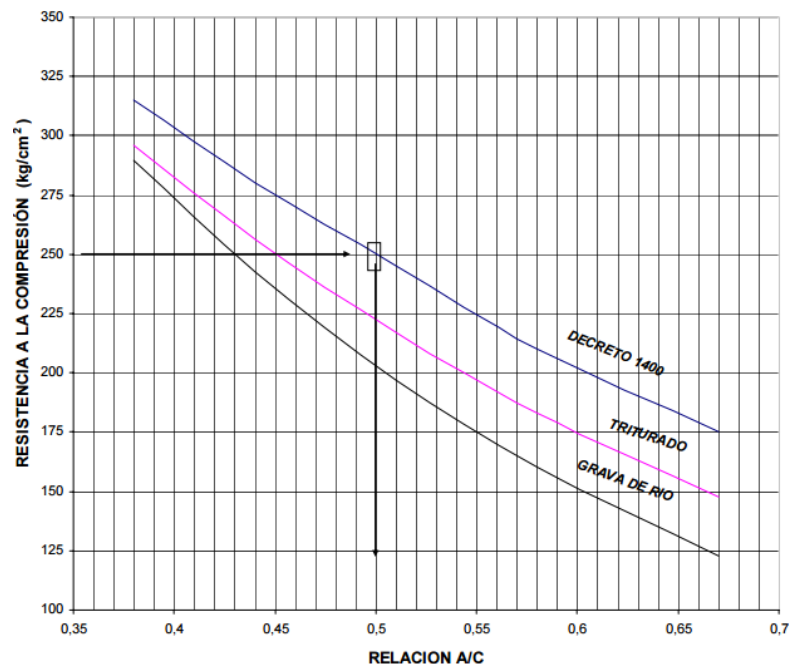
El uso del concreto a diseñar será no estructural y no está expuesto a ningún tipo de condición severa como lo son la exposición a soluciones que contengan sulfatos, por lo cual la resistencia es 250 kg/cm<sup>2</sup> o 25 Mpa.

### 1.6.2.6 Selección de Agua Cemento

El agua en el concreto es fundamental porque al relacionarla con la cantidad de cemento contenido en la mezcla (relación agua/cemento), es la que determina la resistencia del mismo y en condiciones normales su durabilidad. Concretos con altos contenidos de agua (relaciones agua/cemento por encima de 0,5) pueden proporcionar resistencias bajas y ser susceptibles de ser atacados fácilmente por los agentes externos. Por el contrario, relaciones agua/cemento bajas (menores de 0,45) contribuyen de forma significativa a la resistencia de los elementos, tanto a la compresión y mejor desempeño de la estructura.

En la figura 12. Se supone que el comportamiento de los materiales, es similar, a los valores de resistencia a la compresión vs A/C, recomendados en el código colombiano de construcciones (D1400); para un valor de resistencia a la compresión de 250 kg/ cm<sup>2</sup> **se obtiene un valor de relación A/C= 0.50.**

**Figura 12. Resistencia a la Compresión vs A/C**



Fuente: código colombiano (D1400).

<sup>40</sup> ibid., P.45.



En un estudio realizado por Guzmán<sup>41</sup>, se obtuvieron valores de la resistencia de 28 días de edad del concreto y la relación agua cemento para los cementos colombianos portland tipo I, en concretos con aire incluido. Este estudio consistió en comparar los diferentes cementos tipo I de Colombia en concretos diseñado bajo las mismas condiciones con los mismos materiales, curado a temperatura y humedad normales. Este estudio dio como resultado dos límites de relación de agua cemento para diferentes tipos de resistencia.

La relación agua cemento corresponde a la resistencia de 250 kg/ cm<sup>2</sup> o 25 Mpa es 0.485 ≈ 0.49, conforme se observa en la tabla N 17.

**Tabla 17. Relación agua cemento para los cementos colombianos, portland tipo I, para la resistencia a la compresión a los 28 días de edad en concretos sin aire incluido.**

| Resistencia a la compresión kg/cm <sup>2</sup> | Relación agua cemento en peso |             |                 |
|--|-------------------------------|-------------|-----------------|
|  | Límite superior               | Línea media | Límite inferior |
| 140  | -                             | 0.72        | 0.65            |
| 175  | -                             | 0.65        | 0.58            |
| 210  | 0.70                          | 0.58        | <b>0.53</b>     |
| 245  | 0.64                          | 0.53        | <b>0.49</b>     |
| 280  | 0.59                          | 0.48        | 0.45            |
| 315  | 0.54                          | 0.44        | 0.42            |
| 350  | 0.49                          | 0.4         | 0.38            |

Fuente: (Guzmán 2000).

### 1.6.2.7 Cálculo de Contenido de Cemento.

El contenido de cemento por metro cubico de concreto es fácilmente establecido, Dividir el contenido de agua de mezclado entre la relación agua cemento.

$$C = \frac{A}{A/c}$$

<sup>41</sup> ibid., P.46.

Donde:

C=contenido de cemento, en kg/ m<sup>3</sup>

A= Contenido De Agua De Mezclado En Kg/M<sup>3</sup>

A/c= relación agua-cemento, por peso

Es decir que el contenido de cemento es igual a:

$$C = \frac{183}{0.49} = 374 \text{ kg/m}^3$$

$$\approx 375 \text{ kg/m}^3$$

#### 1.6.2.8 Estimación de las Proporciones de los Agregados

Del respectivo ajuste granulométrico tratando de reproducir una gradación ideal (fuller o weymouth) o ajustando a uno de los rangos granulométricos (según TM) recomendados por ASOCRETOS se obtuvo:

- Agregado Fino = 45%
- Agregado Grueso = 55%

**Vol.abs.agregados.+vol.abs.agua+vol.abs.cemento=1000 dm<sup>3</sup>**

$$\text{Vol.abs.agregados} = 1000 - \left( \frac{183}{1} \right) - \left( \frac{375}{2.9} \right) = 687.68 \text{ dm}^3$$

$$\frac{GAG + GAF}{GAG * N + GAF * M}$$

Dónde:

Gaf, Gag= peso específico aparente de los agregados fino y grueso respectivamente en g/cm<sup>3</sup>

N= proporción de agregado fino en la mezcla de agregados expresados en tanto por uno

M= proporción de agregado grueso en la mezcla de agregados expresado en tanto por uno.

$$GA = \frac{2.59 + 2.66}{2.66 * 0.45 + 2.59 * 0.55} = 2.94 \text{ kg/dm}^3$$

$$GA = \frac{100}{\frac{45}{2.59} + \frac{55}{2.66}} = 2.94 \text{ kg/dm}^3$$

**Masa de los agregados** = 687.68 \* 2.94 = 2021,78 kg/m<sup>3</sup> de concreto

**Masa de los agregados finos** = 2021,78 \* 0.45 = 909.80 kg/m<sup>3</sup> de concreto

**Masa de los agregados grueso** = 2021,78 \* 0.55 = 1111.98 kg/m<sup>3</sup> de concreto

**Vol. absoluto material** = masa/densidad

**Tabla 18. Proporción De Cada Ingrediente De Mezcla De Concreto Patrón**

|   | AGUA | CEMENTO | AG.FINO | AG.GRUESO |         |
|---|------|---------|---------|-----------|---------|
| Masa mat.<br>(kg/m <sup>3</sup> ccto)                                     | 183  | 375     | 909.8   | 1111.98   | 2579.78 |
| vol.abs<br>materiales<br>(dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> de<br>concreto) | 183  | 129.31  | 351.27  | 418.03    | 1081.61 |
| peso<br>específico<br>g/cm <sup>2</sup>                                   | 1    | 2.9     | 2.59    | 2.66      | —       |

Fuente: elaboración propia

### 1.6.2.9 Dosificación De La Sustitución Parcial De Agregado Fino Y Grueso Por Caucho.

El agregado fino y grueso para la mezcla de concreto inicialmente se dosificara con base en su volumen y posteriormente en peso, esto debido a la diferencia de densidades entre la arena y el caucho granulado y la grava con el caucho granulado, el resto de los componentes se dosificaran en peso, evitando errores al no tenerse en cuenta el grado de abultamiento, compactación de las partículas, grado de saturación o humedad de los agregados.

Para realizar la dosificación del caucho se debe calcular el volumen absoluto que ocupa la arena dentro de la mezcla de concreto para así conocer el valor del volumen a remplazar por el caucho. Además se tendrá en consideración que el porcentaje de absorción de caucho es muy bajo por, lo cual se tomara como referencia el peso seco de la arena.

Se tiene que el volumen absoluto de la arena es:

$$V_{af} = \frac{P_{af}}{G_{af}}$$

Donde  $P_{af}$  y  $G_{af}$  son el peso seco del agregado y peso específico aparente respectivamente.

$$VAF = \frac{909.8}{2.59} = 351.27L/M^3$$

Ahora se procede a calcular los porcentajes de volumen a remplazar por caucho.

Porcentaje de caucho en 5%

$$351.27 \text{ l/m}^3 * 5\% = 17.56$$

Y se calcula el peso del caucho =

**Volumen absoluto \* porcentaje del agregado / densidad relativa del caucho**

$$17.56/128.3 = 0.1368 \text{ kg/m}^3$$

Pero como las diferencias de densidades entre el caucho y la arena son diferentes es mejor dosificarlo en peso directamente a la mezcla patrón.

#### **1.6.2.10 Diseño Mezcla Patrón (Concreto Convencional De 3500 Psi) Para El Volumen De Un Cilindro.**

Primero se determinó el volumen de un molde metálico para la elaboración de cilindros de concreto con dimensiones de 10 cm de diámetro y 20cm de alto.

$$V = \pi R^2 * h$$

$$V = 3.1416 (5\text{cm})^2 * 20\text{cm}$$

$$V = 1570.8 \text{ cm}^3$$

En calcular cuánto material se va para este cilindro según los datos ya calculados en la tabla 15. Para un metro cubico de concreto.

**Cemento = 375 kg/m<sup>3</sup>**

$$\frac{375 * 1570.8}{1000} = 589.05$$

**589.05\*10%desperdicio= 647.955 gr**

**Agua =183 m<sup>3</sup> de (H2O)**

$$\frac{183 * 1570.8}{1000} = 287.45$$

**287.45 \* 20% ajuste por humedad= 344.94 gr/mlt**

**Grava = 1111.98kg/m<sup>3</sup>**

$$\frac{1111.98 * 1570.8}{1000} = 1746.69$$

**1746.69 gr \*10% desperdicio=1921.36gr**

**Arena = 909.8kg/m<sup>3</sup>**

$$\frac{909.8 * 1570.8}{1000} = 1429.11$$

**1429.11gr \*10% desperdicio=1572.02gr**

**Total mezcla = 4486 gr**

**Tabla 19. Dosificación Para Mezcla Concreto Tradicional De 3500psi**

| INGREDIENTES           | Peso Seco gr/ml |
|------------------------|-----------------|
| <b>Cemento</b>         | 647.955         |
| <b>Agua</b>            | 344.94          |
| <b>Aire</b>            | —               |
| <b>Agregado Grueso</b> | 1921.36         |
| <b>Agregado Fino</b>   | 1572.02         |
| <b>Total</b>           | 4486.275        |

Fuente: elaboración propia.

Segunda forma de calcular la mezcla patrón mediante la fórmula **1:2:3**

Es un método experimental que funciona muy bien, Lo que quiere decir es que, por cada cubo de cemento (1) hay que añadir (2) cubos de arena y (3) de grava, es decir 1:2:3.

Tengo el cemento calculado según el volumen que necesito seguimos:

$$\text{Arena} = 647.955 \text{ gr} * 2$$

$$1295.91 \text{ gr} * 10\% \text{ desperdicio} = 1425.501 \text{ gr}$$

$$\text{Grava} = 647.955 \text{ gr} * 3$$

$$1943.865 \text{ gr} * 1.10\% = 2138.25 \text{ gr}$$

$$\text{Total mezcla} = 4555 \text{ gr}$$

Solo es una manera fácil de calcular en obra esta mezcla y funciona muy bien.

#### **1.6.2.11 Diseño Mezclas De Concreto Con 5% En Peso Y Sus Respectivos Porcentajes De Caucho Fino Y Grueso.**

Ya obteniendo el peso de la muestra patrón del concreto tradicional es decir las proporciones fijadas y la cantidad de material necesario para preparar un cilindro de concreto desarrollaremos las 3 respectivas mezclas con un 5% en peso general. En los siguientes cálculos están establecidos los porcentajes de caucho fino y grueso que se van a utilizar en la mezclas.

Primero fijo mis proporciones:

- **50%GRUESO; 50%FINO. (C50/50).**
- **70%GRUESO; 30%FINO. (C70/30).**
- **30%GRUESO; 70%FINO. (C30/70).**

Con estas proporciones calculo el 5% en peso de toda la mezcla y reparto su proporción a cada material según el porcentaje, es decir:

$$4486.275 \text{ gr} * 5\% = 224.31 \text{ gr}$$

$$\frac{224.31 \text{ gr}}{2} = 112.156 \text{ gr}$$

$$113.875 \text{ gr Agregado Grueso; } 113.875 \text{ gr Agregado Fino}$$

De esta forma continúo calculando los porcentajes y definiendo mis materiales para las 3 mezclas. En las siguientes tablas están resumidos todos los cálculos y la cantidad de material a utilizar.

**Tabla 20. Dosificación Para Mezcla De 5% En Peso 50%Grueso; 50%Fino.**

| <b>50%caucho grueso ; 50% caucho fino</b> |                        |
|---|------------------------|
| <b>INGREDIENTES</b>                       | <b>peso seco gr/m3</b> |
| <b>Cemento</b>                            | 647.955                |
| <b>Agua</b>                               | 344.94                 |
| <b>Aire</b>                               | —                      |
| <b>Agregado Grueso</b>                    | 1809.20                |
| <b>Agregado Fino</b>                      | 1459.86                |
| <b>Caucho Grueso</b>                      | 112.16                 |
| <b>Caucho Fino</b>                        | 112.16                 |
| <b>Total</b>                              | 4486.275               |

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 21. Dosificación Para Mezcla De 5% En Peso 70%Grueso; 30%Fino.**

| <b>70%caucho grueso ; 30% caucho fino</b> |                        |
|---|------------------------|
| <b>INGREDIENTES</b>                       | <b>peso seco gr/m3</b> |
| <b>Cemento</b>                            | 647.955                |
| <b>Agua</b>                               | 344.94                 |
| <b>Aire</b>                               | —                      |
| <b>Agregado Grueso</b>                    | 1764.34                |
| <b>Agregado Fino</b>                      | 1504.73                |
| <b>Caucho Grueso</b>                      | 157.02                 |
| <b>Caucho Fino</b>                        | 67.29                  |
| <b>Total</b>                              | 4486.275               |

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 22. Dosificación Para Mezcla De 5% En Peso 30%Grueso; 70%Fino.**

| <b>30%caucho grueso ; 70% caucho fino</b> |                        |
|---|------------------------|
| <b>INGREDIENTES</b>                       | <b>peso seco gr/m3</b> |
| <b>Cemento</b>                            | 647.955                |
| <b>Agua</b>                               | 344.94                 |
| <b>Aire</b>                               | —                      |
| <b>Agregado Grueso</b>                    | 1854.07                |
| <b>Agregado Fino</b>                      | 1415.00                |
| <b>Caucho Grueso</b>                      | 67.29                  |
| <b>Caucho Fino</b>                        | 157.02                 |
| <b>Total</b>                              | 4486.275               |

Fuente: Elaboración Propia.

### **1.6.3 IDENTIFICACIÓN DE MEZCLAS**

Para facilitar la identificación de los diseños de mezcla se les asignara una determinada nomenclatura: el diseño patrón será clasificado como **CC**, a las mezclas con sustitución de caucho fino y grueso en 5% peso se clasificara como **C50/50, C70/30, C30/70**, concreto y su porcentaje de material de caucho grueso y fino.

### **1.6.4 ELABORACIÓN Y ENSAYO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO**

Para Guzmán<sup>42</sup>Hasta el momento no se ha encontrado una ley general que sea válida para describir el comportamiento del concreto bajo todo los estados de esfuerzo al que es sometido en una estructura, sin embargo como la resistencia a la compresión es una de las características más importantes a partir de ella se estudian otras propiedades como su resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y resistencia al corte, entre otras.

### **1.6.5 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

Las propiedades del concreto en estado endurecido dependen de gran manera de sus características en estado fresco ya que en este estado se maneja el tipo de mezclado, la compactación, colocación y terminado. Convirtiéndose en uno de los factores determinantes de las propiedades en el estado endurecido.

#### **1.6.5.1 Medida de Manejabilidad.**

Según el comité 211 de la ACI<sup>43</sup>, la manejabilidad, llamada también como la trabajabilidad, es considerada como la propiedad del concreto mediante la cual se observa la capacidad de ser manipulado, colocado y consolidado exitosamente para ser terminado sin segregación dañina alguna. Para medir esta propiedad existe el ensayo de asentamiento del cono de Abrams el cual es el más usado dada su simplicidad y rapidez.

---

<sup>42</sup> ibid., P.36.

<sup>43</sup> ACI. Instituto americano del concreto, 2017.P.15-20.



### **1.6.5.1.1 Método De Ensayo Para Determinar El Asentamiento Del Concreto NTC 396.**

El ensayo de asentamiento permite establecer la oposición que presenta el concreto a experimentar deformaciones, este ensayo debe considerarse como un medio para determinar si está bien proporcionada la cantidad de agua y los otros materiales empleados en la mezcla. Es por esto que el ensayo sirve como indicativo de lo que puede pasar con la mezcla durante su producción.

**Figura 13. Cono de Abrams.**



Fuente: Elaboración Propia.

Para hacer esta medición se utiliza un molde hecho de lámina en forma de tronco de cono, el cual tiene las dimensiones de radio mayor de 20 cm, radio menor de 10 cm.

### **1.6.5.1.2 Elaboración De Especímenes De Concreto Y Curado - NTC 550.**

La norma trata de la elaboración y el óptimo curado de los especímenes o cilindros de concreto tomando las muestras en estado fresco del concreto, el molde utilizado es de forma cilíndrica y de metal rígido. Para este caso utilizamos un molde de 10 cm de diámetro y 20 cm de alto.

Antes de llenar los moldes de concreto se aceito el molde por dentro para evitar que el concreto se adhiera a las paredes del molde.

Cuando la mezcla ya se encuentre lista se vierte en el molde concreto en 3 capas iguales con una cuchara metálica y cada capa se apisona con una varilla lisa dándole golpes con uno de sus bordes, esta se hinca 25 veces por cada capa en zonas diferentes de la superficie del concreto dando vueltas observando que la varilla solo pase la capa que se está compactando de igual forma con un chipote se golpea 20 veces alrededor del molde para compactar la mezcla y que su partículas

se repartan bien. En la última capa del procedimiento de compactación se completa el llenado con más mezcla y se enraza la superficie con ayuda de un palustre.

**Figura 14. Molde metálico para la elaboración de especímenes dimensiones 10 cm de diámetro y 20cm de largo**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 15. Realizando los Especímenes de Concreto Universidad Católica de Colombia.**



Fuente: (Elaboración propia).

Los cilindros una vez elaborados deben quedar en reposo, en sitios cubiertos y protegidos de cualquier golpe o vibración, al día siguiente se desencofran cuidadosamente.

En el momento que se desencofran las muestras se debe sumergir en un tanque de curado en un cuarto a una temperatura de 23°C a 25°C con el fin de evitar la evaporación del agua.

**Figura 16. Curado Y Acabado De Los Especímenes De Concreto**



Fuente: Elaboración Propia.

### **1.6.6 ENSAYOS DEL CONCRETO ENDURECIDO**

Cuando los testigos de concreto se encuentren bajo curado controlado es posible evaluar el comportamiento del espécimen con diferentes métodos como lo son el ensayo de compresión, ensayo de tracción indirecta, módulo de elasticidad estático y relación de Poisson del concreto en compresión y muchos más, claro está que los que se desarrollaron en este estudio fueron: el ensayo de compresión y el ensayo de tracción indirecta. Estas propiedades se miden en una maquina universal con ayuda de los equipos de laboratorio de la Universidad Católica de Colombia Bogotá. En la tabla 23. Se presentan los especímenes a ensayar.

**Tabla 23. Tipos Y Números De Ensayos Realizados Durante La Investigación.**

| TIPO DE MEZCLA | ENSAYO DE COMPRESIÓN (NTC 673) |         |         |         | ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA (NTC 722) |         |         | TOTALES POR MEZCLA |
|----------------|--------------------------------|---------|---------|---------|--|---------|---------|--------------------|
|                | 7 días                         | 14 días | 21 días | 28 días | 7 días                                 | 14 días | 28 días |                    |
| CC             | 1                              | 1       | 1       | 1       | 1                                      | 1       | 1       | 7                  |
| C50/50         | 1                              | 1       | 1       | 1       | 1                                      | 1       | 1       | 7                  |
| C70/30         | 1                              | 1       | 1       | 1       | 1                                      | 1       | 1       | 7                  |
| C30/70         | 1                              | 1       | 1       | 1       | 1                                      | 1       | 1       | 7                  |
| <b>TOTALES</b> | 4                              | 4       | 4       | 4       | 4                                      | 4       | 4       | 28                 |

Fuente: elaboración propia.

#### **1.6.6.1 Método De Ensayo Para Determinar La Resistencia A La Compresión De Especímenes De Cilindro De Concreto – NTC 673.**

La resistencia a la compresión simple es la principal característica mecánica del concreto. La forma de expresarla es en kg/cm<sup>2</sup>. La mejor forma de evaluar el concreto es mediante pruebas mecánicas para la cual se utilizará la norma NTC 673.

La resistencia a la compresión se mide con una maquina universal o prensa universal que dispone la Universidad Católica De Colombia, la cual aplica carga sobre la superficie superior o diametral del cilindro, dicha carga se mide en KN con una rata 1.03 mm/min.

Para obtener la resistencia se debe dividir la carga aplicada al cilindro sobre el área de un cilindro o sobre la cara en que se aplicó la fuerza.

$$f'c = \frac{F}{A}$$

Donde:

**f'c** = Resistencia a La Compresión

F= fuerza con la que se llega a la rotura del cilindro kg

A= área transversal del cilindro expresado en cm<sup>2</sup>.

**Figura 17. Ensayo A Compresión En Prensa Universal Universidad Católica de Colombia**



Fuente: Elaboración propia.

#### 1.6.6.1.1 Cálculos Y Análisis De Falla.

Las tablas y los respectivos cálculos que se presentan como la resistencia a compresión es en PSI directamente y en porcentajes para observar que porcentaje alcanzo cada mezcla en su respectivo tiempo de curado.

$$f^c = \frac{F}{A}$$

**Mezcla Convencional a 7 Días**

$$A = \frac{\pi (d^2)}{4}$$

$$A = \frac{\pi (10.04)^2}{4} = 79.16 \text{ cm}^2$$

$$f^c = \frac{18.000 \text{ KG}}{79.16 \text{ CM}^2} = 227.36 \text{ KG/CM}^2$$

$$\frac{1 \text{ PSI}}{X} \times \frac{0,074 \text{ kg/cm}^2}{227.36 \text{ kg/cm}^2} = 3072.43 \text{ PSI}$$

$$\frac{100\%}{X} \times \frac{3500 \text{ PSI}}{3072.43 \text{ PSI}} = 87.78 \% \text{ ok}$$

- Cumple los requerimientos de diseño para compresión

**Tabla 24. Resultados y Datos De Ensayo a Compresión  $f'c$  Para 7 Días De Fraguado.**

| DATOS ENSAYO A COMPRESION (NTC 673) |               |      |      |       | 7 DIAS (60% 3500 RESISTENCIA) |      |      |       |                     |      |      |       | EQUIPO PRENSA UNIVERSAL (09 DE MARZO 2017) |      |      |       |
|-------------------------------------|---------------|------|------|-------|-------------------------------|------|------|-------|---------------------|------|------|-------|--|------|------|-------|
| CARACTERISTICAS                     | CONVENCIONAL  |      |      |       | 50% GRUESO 50% FINO           |      |      |       | 70% GRUESO 30% FINO |      |      |       | 30% GURESO 70% FINO                        |      |      |       |
|                                     |               |      |      | PROM. |                               |      |      | PROM. |                     |      |      | PROM. |  |      |      | PROM. |
| DIAMETRO (cm)                       | 10            | 9.8  | 10.2 | 10.0  | 9.5                           | 9.9  | 10.2 | 9.9   | 9.6                 | 10   | 10.1 | 9.9   | 10.2                                       | 9.9  | 10   | 10.0  |
| ALTURA (cm)                         | 20            | 20.2 | 20.3 | 20.2  | 20.1                          | 20.2 | 20   | 20.1  | 20.3                | 20.3 | 20.4 | 20.3  | 20   | 19.9 | 20.1 | 20    |
| PESO DE LA MUESTRA (KG)             | 3.88          |      |      |       | 3.58                          |      |      |       | 3.58                |      |      |       | 3.56                                       |      |      |       |
| TIPO DE FALLA                       | C             |      |      |       | C                             |      |      |       | A                   |      |      |       | D  |      |      |       |
| CARGA MAXIMA (kgf)                  | 18000         |      |      |       | 8500                          |      |      |       | 10000               |      |      |       | 8000                                       |      |      |       |
| OBSERVACIONES                       | cumple diseño |      |      |       | no cumple (diseño)            |      |      |       | no cumple (diseño)  |      |      |       | no cumple (diseño)                         |      |      |       |

Fuente: elaboración propia

**Tabla 25. Resultados y Datos De Ensayo a Compresión  $f'c$  Para 14 Días De Fraguado.**

| DATOS ENSAYO A COMPRESION (NTC 673) |               |      |      |       | 14 DIAS (80% 3500 RESISTENCIA) |      |      |       |                     |      |      |       | EQUIPO PRENSA UNIVERSAL (16 DE MARZO 2017) |      |      |       |
|-------------------------------------|---------------|------|------|-------|--------------------------------|------|------|-------|---------------------|------|------|-------|--|------|------|-------|
| CARACTERISTICAS                     | CONVENCIONAL  |      |      |       | 50% GRUESO 50% FINO            |      |      |       | 70% GRUESO 30% FINO |      |      |       | 30% GURESO 70% FINO                        |      |      |       |
|                                     |               |      |      | PROM. |                                |      |      | PROM. |                     |      |      | PROM. |  |      |      | PROM. |
| DIAMETRO (cm)                       | 10.3          | 10.2 | 10.2 | 10.2  | 10.2                           | 10.2 | 10.2 | 10.2  | 10.1                | 10.2 | 10.2 | 10.17 | 10.1                                       | 10.1 | 10.1 | 10.1  |
| ALTURA (cm)                         | 20.3          | 20.3 | 20.3 | 20.3  | 20.3                           | 20.1 | 20.1 | 20.2  | 20.5                | 20.4 | 20.4 | 20.4  | 20.6                                       | 20.6 | 20.5 | 20.55 |
| PESO DE LA MUESTRA (KG)             | 3.88          |      |      |       | 3.50                           |      |      |       | 3.56                |      |      |       | 3.6  |      |      |       |
| TIPO DE FALLA                       | A             |      |      |       | A                              |      |      |       | D                   |      |      |       | D  |      |      |       |
| CARGA MAXIMA (kgf)                  | 20500         |      |      |       | 10000                          |      |      |       | 11000               |      |      |       | 11000                                      |      |      |       |
| OBSERVACIONES                       | cumple diseño |      |      |       | no cumple (diseño)             |      |      |       | no cumple (diseño)  |      |      |       | no cumple (diseño)                         |      |      |       |

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 26. Resultados y Datos De Ensayo a Compresión  $f' C$  Para 21 Días De Fraguado.**

| DATOS ENSAYO A COMPRESION (NTC 673) |               |      |      | 21 DIAS (90% 3500 RESISTENCIA) |                     |      |      |       |                     |      |      | EQUIPO PRENSA UNIVERSAL (16 DE MARZO 2017) |                     |      |      |        |
|-------------------------------------|---------------|------|------|--------------------------------|---------------------|------|------|-------|---------------------|------|------|--|---------------------|------|------|--------|
| CARACTERISTICAS                     | CONVENCIONAL  |      |      |                                | 50% GRUESO 50% FINO |      |      |       | 70% GRUESO 30% FINO |      |      |  | 30% GURESO 70% FINO |      |      |        |
|                                     |               |      |      | PROM.                          |                     |      |      | PROM. |                     |      |      | PROM.                                      |                     |      |      | PROM.  |
| DIAMETRO (cm)                       | 10.3          | 10.2 | 10.1 | 10.19                          | 10.2                | 10.2 | 10.2 | 10.2  | 10.1                | 10.1 | 10.0 | 10.06                                      | 10.2                | 10.1 | 10.1 | 10.1   |
| ALTURA (cm)                         | 20.4          | 20.3 | 20.2 | 20.3                           | 20.4                | 20.4 | 20.3 | 20.4  | 20.3                | 20.3 | 20.4 | 20.3                                       | 20.3                | 20.3 | 20.3 | 20.303 |
| PESO DE LA MUESTRA (KG)             | 3.78          |      |      |                                | 3.62                |      |      |       | 3.54                |      |      |  | 3.56                |      |      |        |
| TIPO DE FALLA                       | A             |      |      |                                | C                   |      |      |       | C                   |      |      |  | A                   |      |      |        |
| CARGA MAXIMA (kgf)                  | 22000         |      |      |                                | 11000               |      |      |       | 11500               |      |      |  | 13500               |      |      |        |
| OBSERVACIONES                       | cumple diseño |      |      |                                | no cumple (diseño)  |      |      |       | no cumple (diseño)  |      |      |  | no cumple (diseño)  |      |      |        |

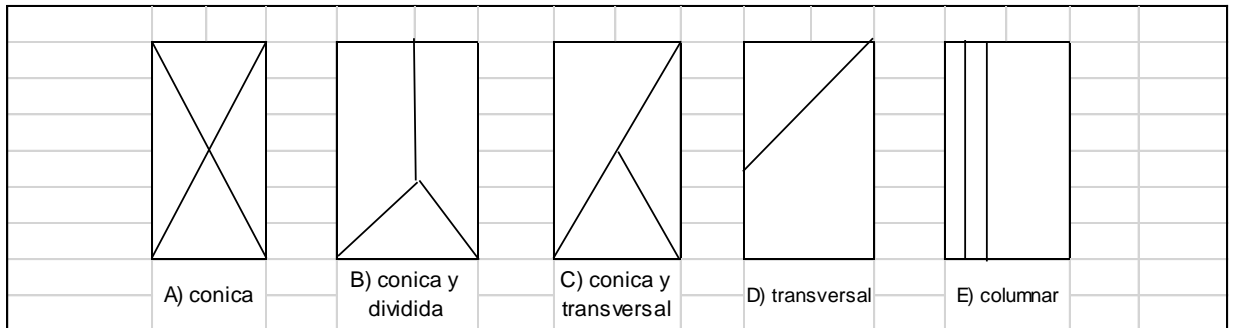
Fuente: elaboración propia

**Tabla 27. Resultados y Datos De Ensayo a Compresión  $f' C$  Para 28 Días De Fraguado.**

| DATOS ENSAYO A COMPRESION (NTC 673) |               |      |      | 28 DIAS (100% 3500 RESISTENCIA) |                     |      |      |       |                     |      |      | EQUIPO PRENSA UNIVERSAL (16 DE MARZO 2017) |                     |      |      |        |
|-------------------------------------|---------------|------|------|---------------------------------|---------------------|------|------|-------|---------------------|------|------|--|---------------------|------|------|--------|
| CARACTERISTICAS                     | CONVENCIONAL  |      |      |                                 | 50% GRUESO 50% FINO |      |      |       | 70% GRUESO 30% FINO |      |      |  | 30% GURESO 70% FINO |      |      |        |
|                                     |               |      |      | PROM.                           |                     |      |      | PROM. |                     |      |      | PROM.                                      |                     |      |      | PROM.  |
| DIAMETRO (cm)                       | 10.2          | 10.0 | 10.2 | 10.13                           | 10.2                | 10.2 | 10.2 | 10.2  | 10.1                | 10.1 | 10.2 | 10.12                                      | 10.2                | 10.2 | 10.2 | 10.2   |
| ALTURA (cm)                         | 20.3          | 20.5 | 20.3 | 20.4                            | 20.1                | 20.3 | 20.3 | 20.2  | 20.3                | 20.1 | 20.3 | 20.2                                       | 20.4                | 20.3 | 20.3 | 20.337 |
| PESO DE LA MUESTRA (KG)             | 3.86          |      |      |                                 | 3.56                |      |      |       | 3.52                |      |      |  | 3.6                 |      |      |        |
| TIPO DE FALLA                       | B             |      |      |                                 | A                   |      |      |       | D                   |      |      |  | B                   |      |      |        |
| CARGA MAXIMA (kgf)                  | 22000         |      |      |                                 | 12000               |      |      |       | 11500               |      |      |  | 13500               |      |      |        |
| OBSERVACIONES                       | cumple diseño |      |      |                                 | no cumple (diseño)  |      |      |       | no cumple (diseño)  |      |      |  | no cumple (diseño)  |      |      |        |

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 18. Tipos De Falla A Compresión**



Fuente: elaboración propia.

- **Cónica**

Se presenta cuando se logra una carga de compresión bien aplicada sobre un espécimen de prueba bien preparado.

- **Cónica y Dividida**

Se presenta en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga convexa y deficiencias del material de Refrentado o rugosidades del plato de refrentado.

- **Cónica y Transversal**

Se presenta cuando las caras de aplicación de carga del espécimen están ligeramente fuera de las tolerancias de paralelismo establecidas o por ligeras desviaciones en el centrado del espécimen con respecto al eje de carga de la máquina.

- **Transversal**

Se presenta comúnmente cuando las caras de aplicación de carga se encuentran en el límite situación (perpendicularidad) tolerada especificada  $0.5^\circ$

- **Columnar**

Se presentan en especímenes que presentan una superficie de carga convexa y deficiencia del material de refrentado; también por concavidad del plato de cabeceo o convexidad en una de las placas de carga.



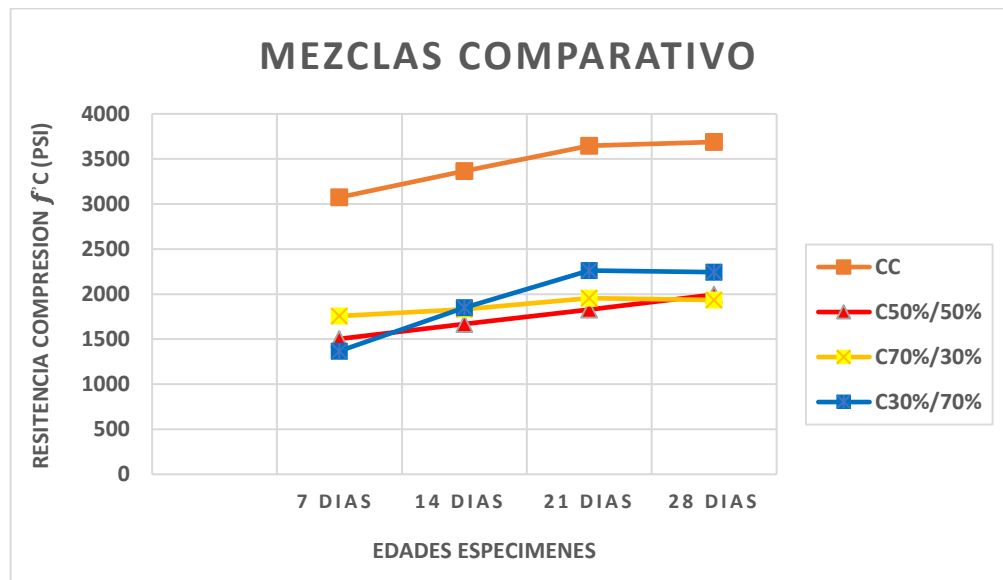
### 1.6.6.1.2 Comparativo Mezcla Patrón Y Mezcla Con Caucho Reciclado Para Ensayo de Compresión

Tabla 28. Resultados De Resistencia Promedio Del Ensayo A Compresión En (Psi)

| MEZCLA   | 7 DÍAS | 14 DÍAS | 21 DÍAS | 28 DÍAS | % VARIACIÓN RESPECTO CC |
|----------|--------|---------|---------|---------|-------------------------|
| CC       | 3074   | 3366    | 3645    | 3688    | –                       |
| C50%/50% | 1503   | 1667    | 1828    | 1995    | 45.92                   |
| C70%/30% | 1756   | 1832    | 1955    | 1933    | 47.59                   |
| C30%/70% | 1368   | 1850    | 2262    | 2244    | 39.16                   |

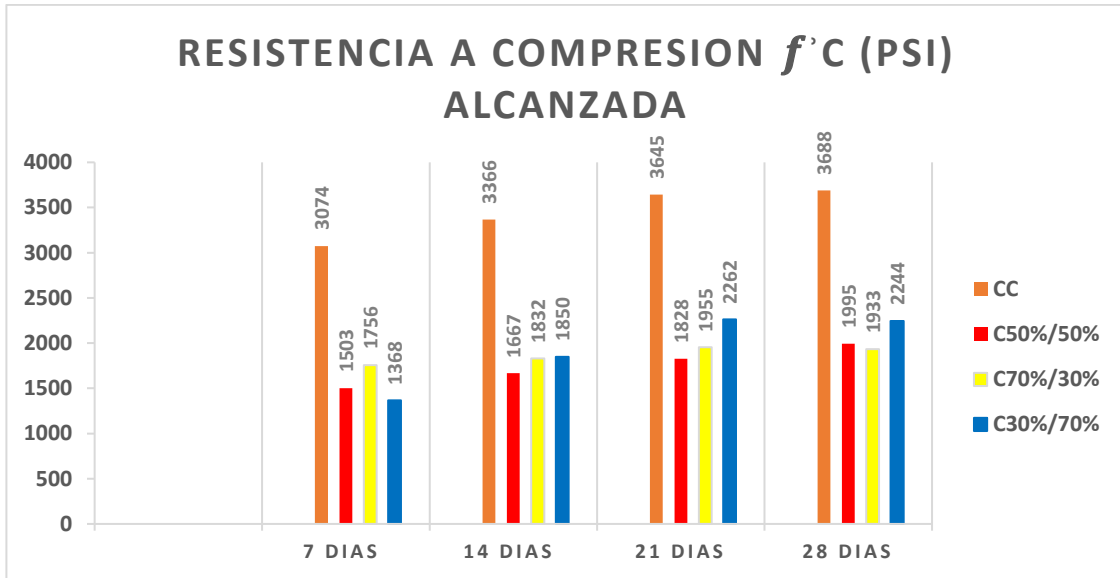
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Resultado De Ensayos De Resistencia A Compresión Comparando Valores De Muestra Patrón Y Concreto Con Caucho En (PSI).



Fuente: elaboración propia.

**Figura 20. Resultado De Ensayos De Resistencia A Compresión Comparando Valores De Muestra Patrón Y Concreto Con Caucho En (PSI).**



Fuente: elaboración propia.

### 1.6.6.2 Método de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Tensión Indirecta de Especímenes Cilíndricos de Concreto – NTC 722.

La medición de la resistencia a la tracción es muy difícil de llevar a cabo debido a las incertidumbres de las tensiones secundarias que se producen al momento de realizar el ensayo. Es por este motivo que se opta por utilizar métodos alternativos que permiten aproximarse a su valor. Por esto se utiliza el método desarrollado por L. CARNEIRO y A. Bercellos<sup>44</sup> en Brasil llamado **tensión indirecta o ensayo brasileño** bautizado en honor a ellos.

Este método consiste en cargar un cilindro a compresión a lo largo de dos líneas diametralmente opuestas (acostado) sometándolo a un estado tensional, el cual produce una rotura por tracción cuando las tensiones que aparecen en el plano de aplicación, alcanza el valor de la resistencia a la tracción del material.

<sup>44</sup> L. CARNEIRO y A. Bercellos. Creadores del método tensión indirecta ensayo brasileño. Tecnología del concreto y del mortero, Bogotá quinta edición Bhandar Editores Ltda. 2001. P.142.

**Figura 21. Espécimen de Hormigón Sometido a Ensayo de Tracción Indirecta.**



Fuente: elaboración propia.

Para realizar el ensayo de resistencia a tracción se utiliza probetas cilíndricas con diámetro 10 cm y altura de 20 cm de cada tipo de mezcla. Todos los cilindros fueron ensayados. A los 7, 14 y 28 días de edad.

A diferencia del ensayo a compresión, el cilindro se pone horizontalmente sobre la prensa y cuidando que quede sobre el eje de esta.

A continuación se aplica una carga constante con una velocidad de 1.03 mm/min hasta que la probeta falle.

Se registra la carga máxima a la cual se produce la rotura del cilindro, se procede a calcular la resistencia a la tracción indirecta mediante la siguiente fórmula:

$$T = \frac{2 F}{\pi L d}$$

Donde:

F= resistencia a la tensión indirecta (KN)

T= Resistencia a la tracción indirecta (KPa).

L= Longitud de contacto de la probeta (m)

D= dimensión de la sección transversal de la probeta (m).

Las constantes en esta fórmula son el diámetro de la sección y la longitud de

contacto

Para cada edad se deben ensayar como mínimo 2 cilindros y trabajar con valores promedio. La resistencia a la tensión puede tomarse aproximadamente como el 10% de la resistencia a la compresión.

**Figura 22. Falla Cilindro de hormigón sometido a tracción indirecta NTC 722.**



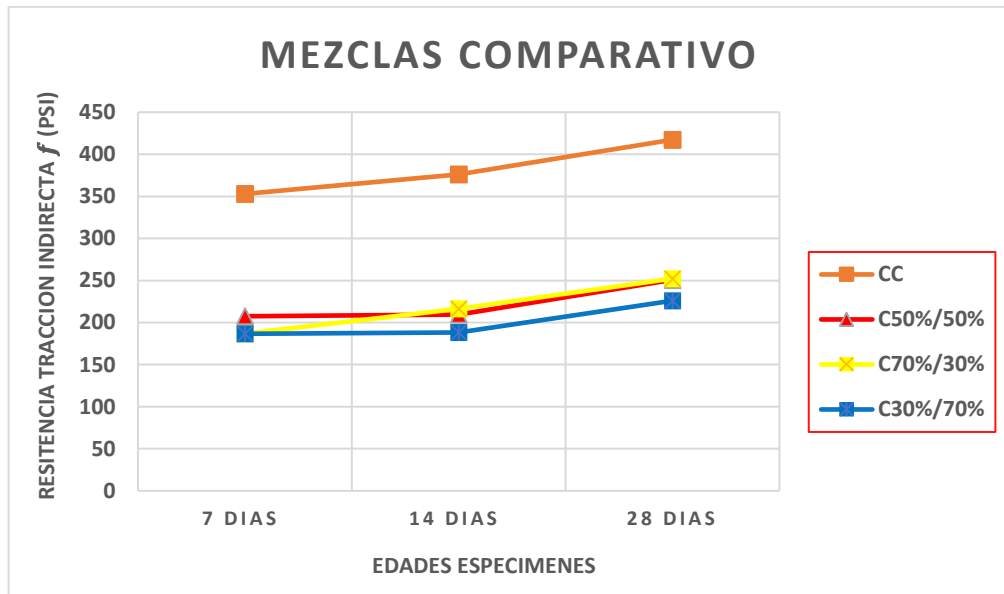
Fuente: elaboración propia.

**Tabla 29. Resultados de Resistencia Promedio Ensayo A Tracción Indirecta (Psi)**

| MEZCLA   | 7 DÍAS | 14 DÍAS | 28 DÍAS | % VARIACIÓN<br>RESPECTO CC 28<br>DÍAS | EN PSI |
|----------|--------|---------|---------|---------------------------------------|--------|
| CC       | 353    | 376     | 417     | -                                     | -      |
| C50%/50% | 207    | 209     | 251     | 39.90                                 | 167    |
| C70%/30% | 187    | 216     | 252     | 39.55                                 | 165    |
| C30%/70% | 187    | 188     | 226     | 45.85                                 | 191    |

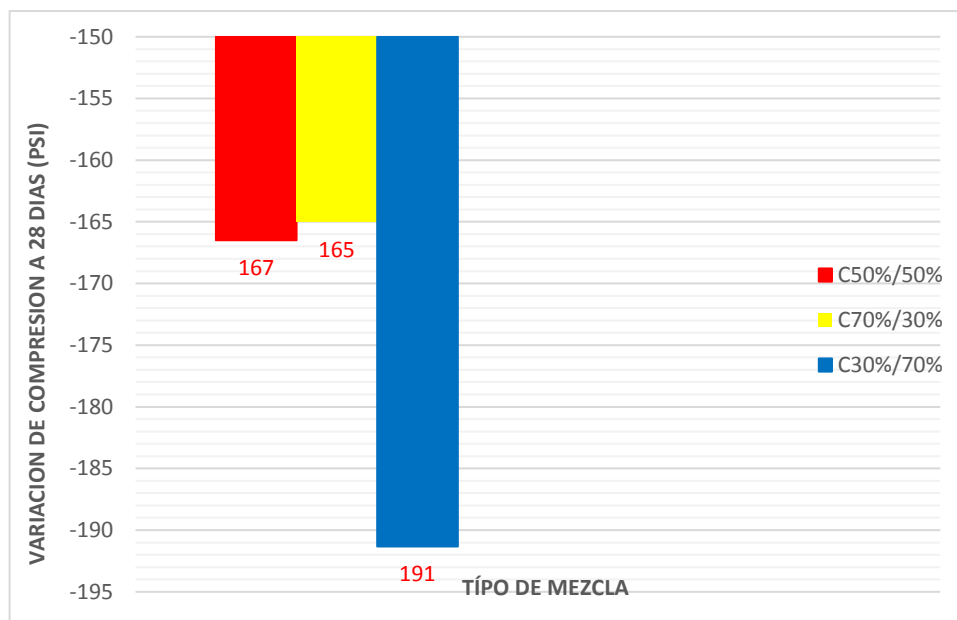
Fuente: elaboración propia.

**Figura 23. Resultado De Ensayos De Resistencia A tracción indirecta Comparando Valores De Muestra Patrón Y Concreto Con Caucho En (Psi).**



Fuente: elaboración propia.

**Figura 24. Variación de tracción indirecta de mezclas con caucho de 28 días. (Psi).**

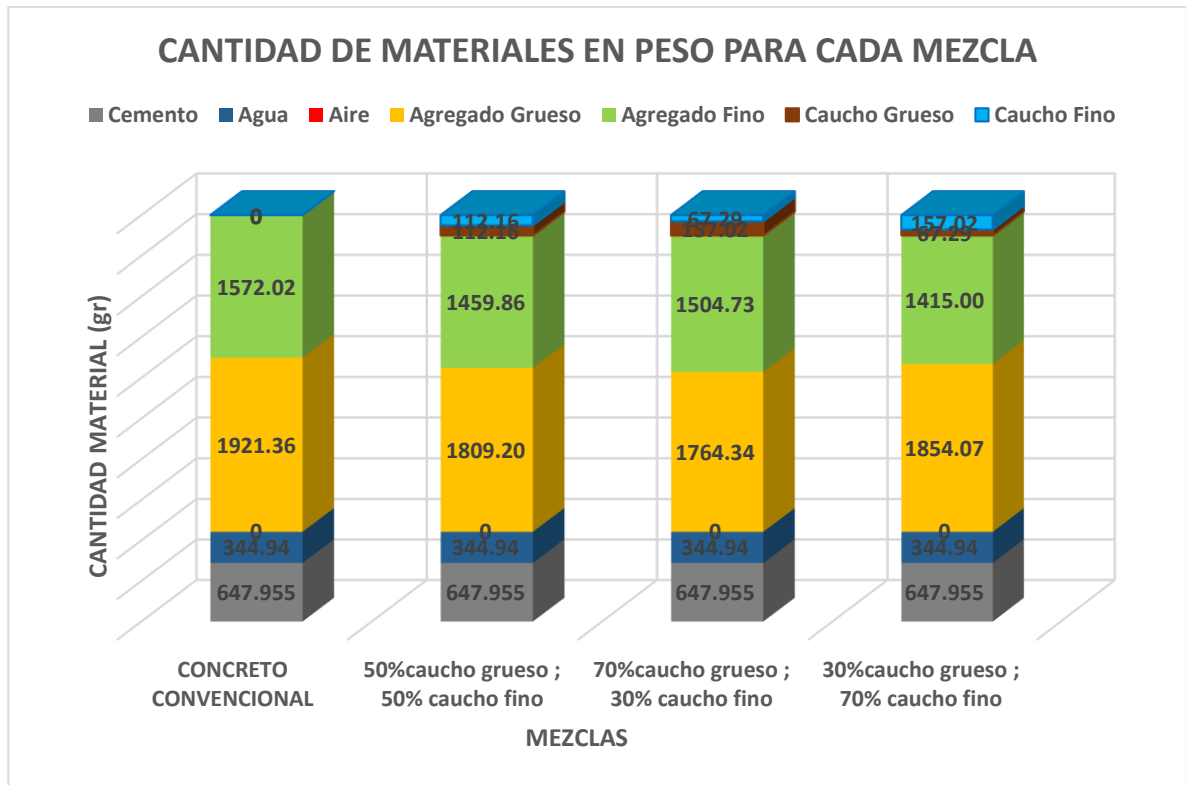


Fuente: elaboración propia.

## 1.7 ANÁLISIS DE RESULTADO

### 1.7.1 Proporciones de los Materiales en la Mezcla de Concreto.

Figura 25. Concretos con su Cantidad de Materiales para 1 Espécimen de Prueba.



Fuente: elaboración propia.

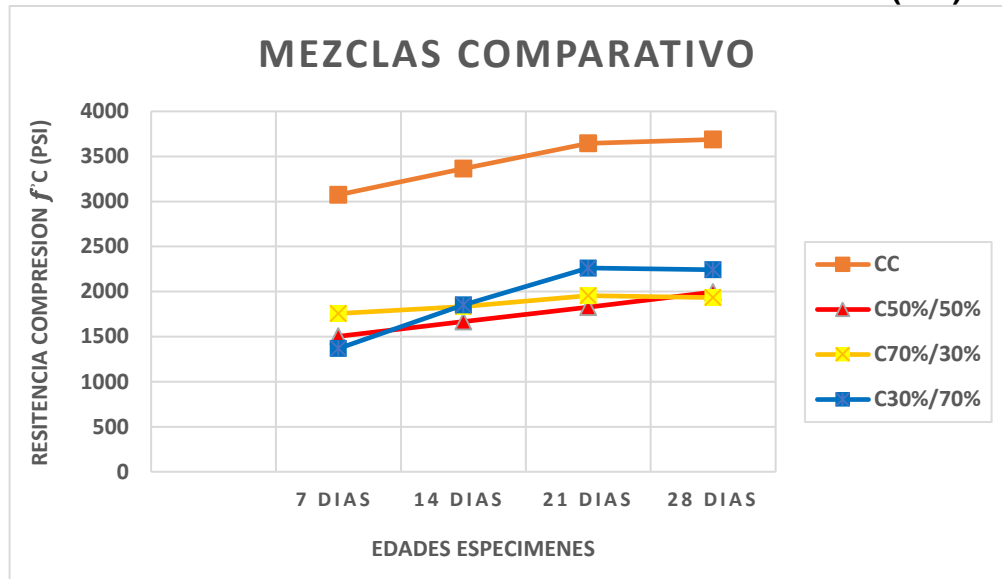
Se observa que en el desarrollo de los especímenes de concreto a evaluar, se utilizó la misma cantidad de cemento y agua, pero en las probetas con caucho se sustituyó parte de los agregados finos y agregados gruesos según su porcentaje. Esta figura 25 muestra el valor en peso (gr) 5 % que se adicionó de caucho a cada muestra variando su porcentaje según establecido en cada mezcla.

Habría que decir también que para el análisis del comportamiento mecánico la proporción de caucho estaría ligado a su cantidad directamente a la variación de este en la mezcla, cabe señalar que la primicia del estudio es el comportamiento de cada espécimen según su variación a la aplicación de cada ensayo.

## 1.7.2 Mezcla de Concreto en Estado Endurecido.

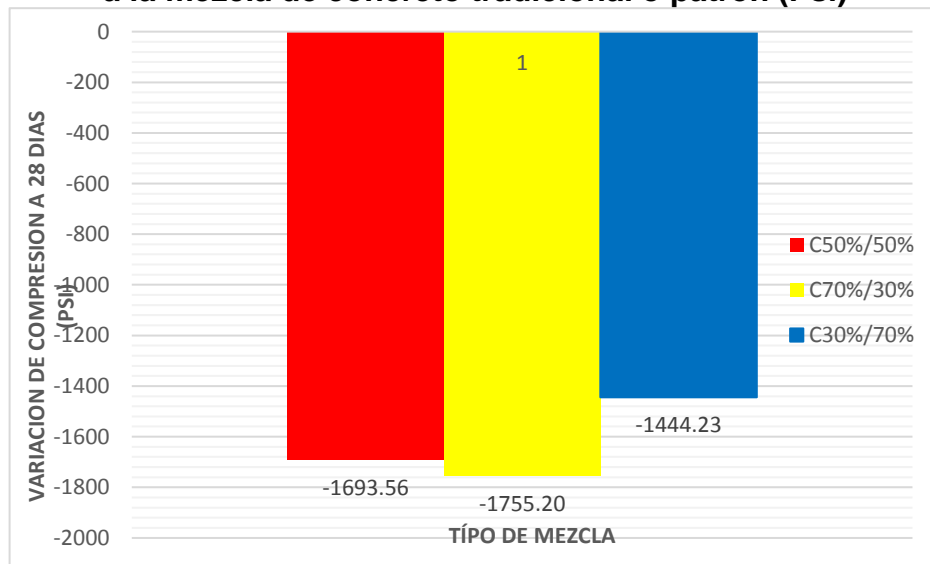
### 1.7.2.1 Resistencia a la Compresión.

Figura 26. Resultado De Ensayos De Resistencia A Compresión Comparando Valores De Muestra Patrón Y Concreto Con Caucho En (PSI).



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días respecto a la mezcla de concreto tradicional o patrón (Psi)



Fuente: elaboración propia.

Se evidencia una reducción apreciable de la resistencia a compresión a medida que se incorpora caucho en 5% en peso en las mezclas, pero es considerable la reducción más aun en donde la mezcla contiene un 70% de caucho grueso que fue sustituido por el agregado grueso en la mezcla, como se ve en la figura 26 y 27

Este resultado del espécimen (C70%/30%). se debe principalmente a la discrepancia es decir (enlaces interfaciales débiles) de comportamientos mecánicos entre el caucho y la pasta de cemento, así mismo otro efecto adverso es la porosidad que genera el caucho grueso al ser grande y su baja adherencia genera unos espacios de aire que es ahí donde se genera puntos de falla o en el caso debilitamiento del concreto.

La mezcla que presenta mejor comportamiento desarrollado a los 28 días fue (C30%/70%), por lo que se refiere a esta mezcla la que posee un 30% de caucho grueso y un 70% de caucho fino en 5% en peso, presenta mejor resultado que las otras, esto indica que la sustitución de agregado fino por caucho fino se comporta mejor por el poco espacio, es decir por la poca porosidad que se presenta con un material más fino generando menores puntos de falla.

En la realización de los ensayos a compresión se logró identificar el desarrollo nítido de la fractura o fractura súbita figura 28., esto es una falla comúnmente esperada para las características de la muestra patrón concreto convencional de 3500 Psi (falla cónica (a)). Mientras que aquellos especímenes de concreto modificado con grano de caucho tardaron más en fracturarse, presentando fracturas débiles y poca disgregación de materiales. Este comportamiento se le atribuye a la mayor capacidad de absorción de energía que presentan los concretos modificados con caucho, todo esto parece confirmar que la capacidad elástica del caucho proporciona este beneficio a estos concretos.



**Figura 28. Fracturas presentadas en especímenes de concreto convencional y modificados con grano de caucho reciclado.**

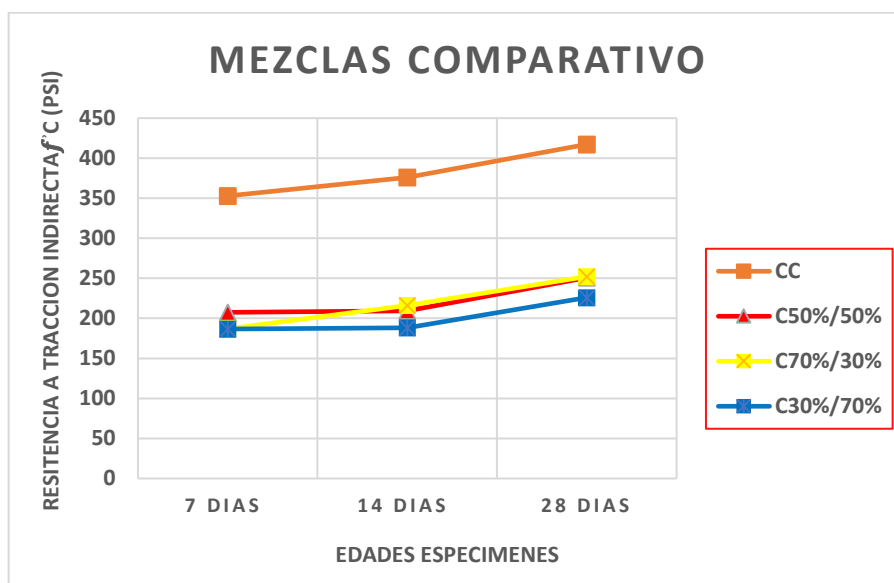


Fuente: elaboración propia.

### **1.7.2.2 Resistencia a la tracción indirecta.**

Posteriormente se evidencia al igual que la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción indirecta disminuyó, aunque no muy considerablemente como a compresión, en este caso presento un comportamiento menos crítico a los 28 días de edad, es factible esperar que en transcurso del tiempo aumentara su resistencia frente a la muestra patrón como se observa en la figura 29.

**Figura 29. Resultado De Ensayos De Resistencia A tracción indirecta Comparando Valores De Muestra Patrón Y Concreto Con Caucho En (PSI).**

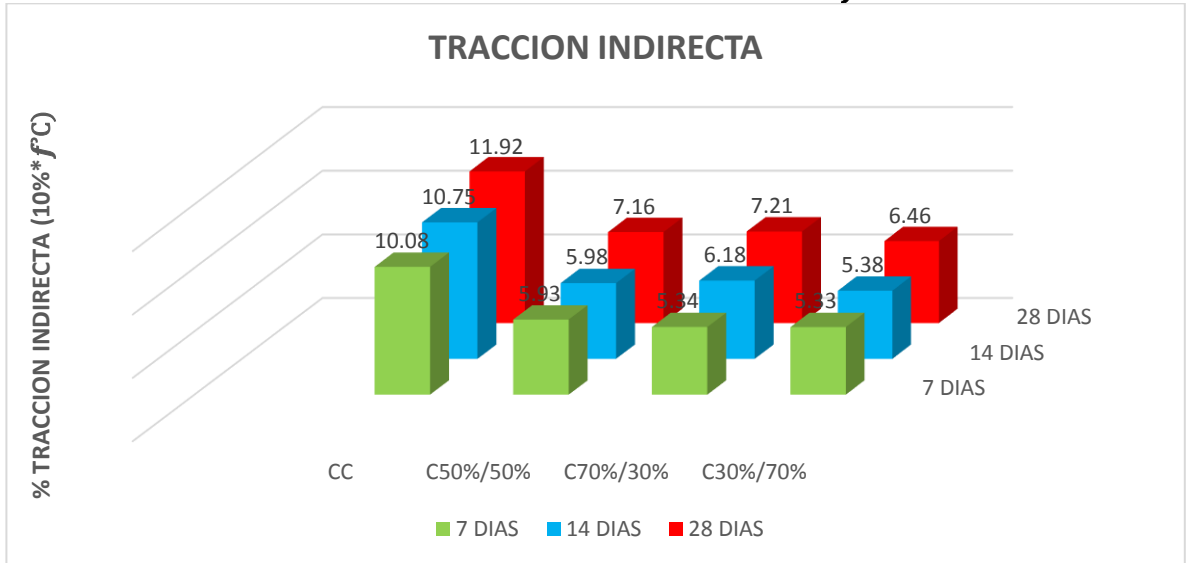


Fuente: elaboración propia.

En el ensayo de resistencia a la compresión como resistencia a tracción indirecta o método brasileiro al momento de presentarse la rotura, cómo expresa Albano et al<sup>45</sup> en su investigación, el resultado fue diferente para cada mezcla, ya que cuando las probetas no contenían caucho producían un ruido estruendoso, lo que no sucedía con las muestras con caucho (evaluación auditiva). Esto se debe a que los especímenes con caucho mostraban una alta capacidad para absorber energía plástica. Dichas probetas ensayadas soportaron cargas post-fractura y manifestaron desplazamientos significativos, los cuales son parcialmente recuperables. Así la masa de concreto es capaz de soportar cargas aunque este fracturada. Esto debido a que el caucho tiene la habilidad de experimentar grandes deformaciones elásticas antes de la falla, tal como lo reporta.

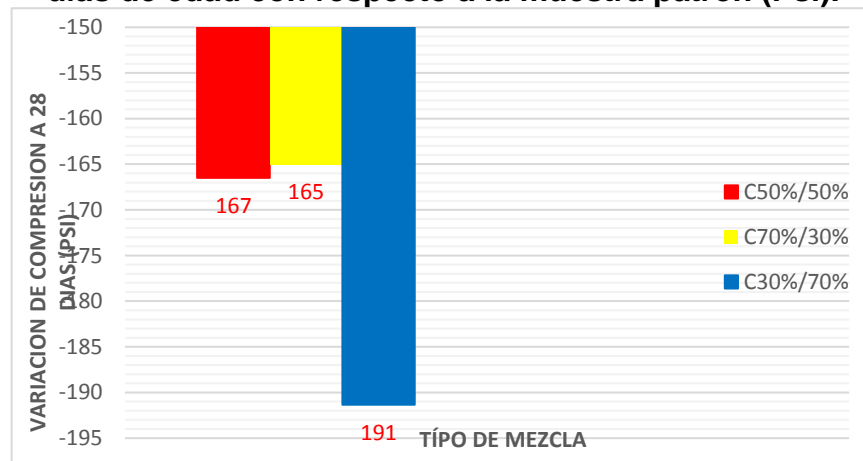
<sup>45</sup> Albano et al. Revista de la facultad de ingeniería universidad central de Venezuela. estudio de concreto elaborado con caucho reciclado, Rev. Fac. En g. UCV v.23 n.1 Caracas mar. 2008.

**Figura 30. Resultados ensayo tracción indirecta en sus correspondiente edades de curado evaluado en 10%  $f'c$ .**



Fuente: elaboración propia.

**Figura 31. Variación de tracción indirecta de especímenes de concreto a 28 días de edad con respecto a la muestra patrón (Psi).**



Fuente: elaboración propia.

Podemos ver en la figura 31. Que la variación con respecto a la muestra patrón considerablemente mayor fue en la mezcla de Concreto 30% grueso 70% fino, en cambio en la mezcla de concreto 70% grueso 30% fino presento mejores resultados, esto se debe a el tamaño de las partículas de caucho son más grandes por consiguiente permite mejorar la capacidad elástica del espécimen, soportando

un poco más de carga y recobrar su forma, además durante la realización del ensayo se observó que los especímenes de concreto modificado con caucho aunque fallaran no se desintegraban como se ve en la figura 32.

**Figura 32. Falla a tracción indirecta espécimen de concreto modificado con grano de caucho.**



Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para los fines de la investigación culminando y estudiado los resultados obtenidos en los diferentes laboratorios realizados, evaluando la influencia mecánica que existe en la incorporación de grano de caucho reciclado por agregado grueso y fino en una mezcla de concreto tradicional, se concluye y se recomienda o siguiente:

- Con el ensayo de la resistencia a compresión la disminución fue considerable respecto al concreto tradicional, esto debido a la porosidad que se origina en la muestras con adicción de caucho reciclado, además a la baja adherencia que existe entre la pasta de concreto y el caucho este último a su baja absorción de agua no se entrelaza lo suficiente a la mezcla en estado fresco, es necesario recalcar que el caucho tiene la habilidad de experimentar grandes deformaciones elásticas antes de la falla, es decir se deforma mucho más que la pasta de concreto que lo envuelve.
- la resistencia a la tracción indirecta se vio de la misma forma afectada por la sustitución de caucho reciclado, pero a los 28 días de edad fue recuperando su resistencia a la tracción, es posible que el espécimen desarrolle mucho más su resistencia con edades de curado posteriores a estos, hay que mencionar además que la mezcla con un porcentaje de caucho grueso mayor proporciona mejores características al concreto e incluso mejora la adherencia entre la pasta y el caucho, este comportamiento se presentó en el momento que sucedió las fracturas al aplicar carga a los especímenes estos no se separaron gracias a las propiedades de ductilidad del caucho y su capacidad de absorción de energía.
- La mezcla que presento mejor resultado con respecto a la resistencia a compresión fue C30%/70% la cual posee más reemplazo de caucho fino por agregado fino, con un valor de 2244 Psi un 39% menos que la mezcla tradicional a sus 28 días de edad, así mismo el compuesto concreto-caucho presenta una diversidad de sus agregados, no se presentó segregación del agregado y el caucho se distribuyó casi uniformemente en todos los compuestos analizados.
- La sustitución de caucho reciclado elimina la falla catastrófica del concreto hidráulico. Esto se debe a como se observó en el concreto convencional la primera grieta se propago inmediatamente provocando una fractura instantánea como se ha de esperar en un espécimen tradicional, en cambio a los compuestos con caucho reciclado, este último conserva ambos lados de la grieta unidos permitiendo que el material flexible absorba parte de la carga a mayores deformaciones localizadas, lo cual fue un parámetro

observado en varios estudios que evidencia el tipo de grieta que se genera en cada caso. Este comportamiento es positivo e importante para algunas aplicaciones en la infraestructura vial como concreto para pavimentos rígido y flexible, defensas de concreto para autopistas, y también en la parte estructural, en recubrimientos pobres de zapatas o vigas, en el caso que el hormigón se encuentre expuesto al suelo etc. Por su baja absorción del agua.

- El concreto con adicción de caucho tanto fino como grueso analizado, además de presentar buenas características a las deformaciones le otorga un peso menor a la mezcla comparado con especímenes de concreto tradicional, según los datos recolectados un espécimen de mezcla tradicional seco peso alrededor de 3.90 kg, mientras que un cilindro con caucho reciclado pesa 3.50 kg, volviendo más liviano el concreto para posibles usos en cimentaciones e estructuras y al mismo tiempo ayuda a disminuir los efectos negativos que generan los desechos de caucho en el medio ambiente.
- En futuros estudios con este material se recomienda utilizar otras proporciones de caucho variando el tamaño en las mezclas, ajustar la cantidad de agua para generar una pasta más densa minimizando asentamientos, o utilizar un aditivo reductor de agua para que en la mezcla baje la porosidad y aumente la compacidad, de esta forma lograr mayores resistencias a compresión y tracción.
- Además se recomienda realizar estudios en la incorporación del caucho en pavimento rígido dado que el comportamiento del caucho a recuperar su estado a grandes deformación podría reducir la fatiga que sufre este por la acción mecánica de los carros.
- Adicional se recomienda realizar ensayos de laboratorio a más de 28 días de curado para observar si se desarrolla mejor los esfuerzos con el transcurso del tiempo.

## BIBLIOGRAFÍA

### Libros y Ponencias

ASOCIACIÓN DE INGENIERÍA SÍSMICA. Reglamento de Construcción Sismo Resistente. Bogotá D.C, NSR-10 2010, Ley 400 de 1997. P.5-50

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE CONCRETO ASOCRETO. Tecnología y Propiedades Colección básica del concreto Vol.1 Bogotá D.C. 2000, P. 20

ALBANO, C.,CAMACHO, N., REYES, J., FELIU, J.L., HERNANDEZ, M.Influence of scrap rubber addition to Portland I concrete composites: Destructive and non-destructive testing, Composite Structures, (2005).P. 71, 439-446

GUZMÁN, D. Z. Tecnología del concreto y del mortero”, Edición quinta, Bogotá D.C. Bhandar Editores Ltda. 2001.349 P. Pontificia Universidad Javeriana.

INSTITUTO DE CONCRETO, “tecnologías y propiedades,” colección básica del concreto, 12-15, 2000

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIONES. Presentación de trabajos escritos. 2 ed. Bogotá: ICONTEC, 1996. p 42 (NTC 1486)

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (IVIC), revista Facultad de ingeniería de la universidad central de Venezuela, volumen 3, 2007. Isa, C. A.,& Salem, G. utilization of recycled crumb rubber as fine aggregates in concrete mix design, construction and building materials, 48-52, 2013.

JOSÉ CONCRETOS. Manual de consejos prácticos sobre el concreto. Bogotá: Edición: lunes por, de 2007 Reimpresión 2003, Asociación Colombiana de Productores de Concreto, ASOCRETO. 146 p.

Entrevistado LLERAS G.V, Ministro de Transporte ¿para qué sirven las llantas que son desechadas?, (noticia caracol,), Bogotá junio 2015.

Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. Resolución numero 0325 sistema de recolección selectiva y gestión ambiental del residuo de llantas usadas y se adoptan otras determinaciones, Bogotá D.C (2012), P 15.

MUÑOZ OJEDA, R.F. Características de resistencia del hormigón con ceniza, Valdivia chile, universidad austral de chile, (2011), P.20.

PELISSER, F., ZAVARIZE, N., LONGO, T.A., & BERNARDIN, A. M: Concrete made with recycled tire rubber, effect of alkaline activation and silica fume addition, En: journal of cleaner production, Brazil (2011). P 75-76

SALGADO BARRA, B., & MOMM, L. evaluación de las características físicas y químicas de los rellenos minerales de piedra caliza y polvo de piedra en la formulación de los morteros asfálticos, Santa Catarina, (2009). P 125.

TOUTANJI H.A. El uso de caucho de neumáticos partículas en concreto a Reemplazar Mineral Agregados, Journal of Cemento y Composites de hormigón, EE.UU. (1996), vol. 18, No. 2.

### **Páginas de Internet**

ARGOS COLOMBIA. Ficha técnica de cemento gris tipo uso general, [En línea] <<file:///c:/users/nramos/downloads/cemento%20gris%20de%20uso%general.pdf>> (citado en 08 de noviembre 2016)

ASOCEM. Neumáticos de Asociación de productos de cemento, [En línea]. <[http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wpcontent/uploads/2011/12/2006\\_caucho-de-cubiertas-en-mezclas-asfalticas\\_4%c2%baprocqma.pdf](http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wpcontent/uploads/2011/12/2006_caucho-de-cubiertas-en-mezclas-asfalticas_4%c2%baprocqma.pdf)> (citado en 2013).

CEMEX COLOMBIA. Normas técnicas colombianas del concreto y aditivos.[en línea].<<http://www.cemexcolombia.com/SolucionesConstructor/NormatividadConcreto.aspx>>( citado en 2017)

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Bases del plan nacional de desarrollo 2014-2018. Colombia, 2014. [En línea]. Recuperado el 15 de noviembre 2014,<<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/prensa/bases%20plan%20nacional%20de%20desarrollo%202014-2018.pdf>> (citado en 2014)

DAGMA. El caucho y su impacto. [En línea]. <<http://www.dagma.gov.co>> (citado noviembre, 2014)

Engenharia civil universidade de sao pablo. [En línea]. <<http://www.prg.usp.br/index.php/pt-br/faca-pos-na-usp/programas-de-pos-graduacao/121-engenharia-civil>> (citado en 2017.)



ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO. trabajo de grado Magister en Ingeniería Civil con énfasis en estructuras Valoración De Propiedades Mecánicas Y De Durabilidad De Concreto Adicionado Con Residuos De Llantas De Caucho.[EnLínea].<<file:///C:/Users/CARLOS/Downloads/TESIS%20%20CONCRETO%20ADICIONADO%20CON%20RESIDUOS%20DE%20LLANTAS%20DE%20CAUCHO%202077802.pdf>> (Citado Bogotá-Colombia, 2014)

HOLCIM. El concreto. Recuperado En: junio de 2013 Holcim México. [En línea]. <<http://www.holcim.com.mx/productos-y-servicios/concreto.html>> (citado en 2013)

OSORIO, J.D. diseños de mezclas de concreto: conceptos básicos, blog 360° [en línea].<<http://blog.360gradosenconcreto.com/diseño-de-mezclas-de-concreto-conceptos-basicos/>>(citado en junio, 2015.)

REV. FAC. ING. UCV. Análisis concreto con caucho en un 5% en peso v.23 n.1 [en línea].<[http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652008000100005](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652008000100005)> (citado 2008.)

UNIVERSIDAD PONTIFICIA UNIVERSIDAD. Javeriana Proyecto Grado Ingeniero Civil Estudio Del Comportamiento Mecánico Del Concreto Sustituyendo Parcialmente El Agregado Fino Por Caucho Por Caucho Molido Recubierto Con PolvoCalcáreo.[EnLínea].<[http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3431/Estudio\\_comportamiento\\_mecanico.pdf?sequence=1](http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3431/Estudio_comportamiento_mecanico.pdf?sequence=1)> ( citado en 2015)