

**ANÁLISIS DEL CONCRETO CON CAUCHO COMO ADITIVO PARA
ALIGERAR ELEMENTOS ESTRUCTURALES**

AUXILIARES DE INVESTIGACIÓN

MATEO SOTO LONDOÑO

JUAN PABLO MARÍN RINCÓN.

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
PEREIRA, RISARALDA
FEBRERO DE 2019**

**ANÁLISIS DEL CONCRETO CON CAUCHO COMO ADITIVO PARA
ALIGERAR ELEMENTOS ESTRUCTURALES**

AUXILIARES DE INVESTIGACIÓN

MATEO SOTO LONDOÑO

JUAN PABLO MARÍN RINCÓN.

**PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO PRERREQUISITO PARA
OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIEROCIVIL**

**INVESTIGADOR PRINCIPAL
INGENIERO. ADÁN SILVESTRE GUTIÉRREZ**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
PEREIRA, RISARALDA
FEBRERO DE 2019**

Nota de aceptación

**Director de Investigación
Ing. Daniel Aristizábal**

Jurado

DEDICATORIA

Primero que todo a nuestros padres por su apoyo durante toda la carrera, por su esfuerzo y acompañamiento a lo largo de estos años que fueron vitales en los momentos más difíciles.

A los docentes, gracias a ellos adquirimos los conocimientos necesarios para lograr desarrollar nuestro trabajo de grado.

AGRADECIMIENTOS

A nuestro profesor y tutor, por su seguimiento y apoyo durante el semillero, el Ingeniero Adán Silvestre.

A la Universidad Libre Seccional Pereira y sus docentes por permitir el desarrollo y cumplimiento de una de las metas más representativas en nuestra vida

Al ingeniero Cristian Camilo Amariles, quien nos brindó espacio y orientación en los laboratorios para llevar a cabo los diferentes ensayos en nuestro trabajo de grado

TABLA DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	10
2.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
3.	JUSTIFICACIÓN	14
4.	OBJETIVOS	15
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	15
4.2.	OBJETIVO ESPECIFICO	15
5.	HIPOTESIS.....	15
6.	MARCO REFERENCIAL.....	16
6.1.	MARCO TEORICO.....	16
6.1.1.	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO.....	16
6.1.2.	TEORÍA DE LA ELASTICIDAD.....	17
6.1.3.	MÓDULO DE ELASTICIDAD: CONCRETO.....	21
6.1.4.	AGREGADOS EN EL CONCRETO	23
6.1.5.	INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS EN EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO.....	25
6.1.6.	ADITIVOS COMUNES EN EL CONCRETO	26
6.2.	MARCO CONCEPTUAL	29
6.2.1.	DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO	29
6.2.2.	COMPOSICIÓN DEL NEUMÁTICO	30
6.2.3.	REUTILIZACIÓN Y RECICLADO DE NEUMÁTICOS.....	31
6.3.	MARCO DE LOCALIZACIÓN.....	34
6.4.	MARCO TEMPORAL	35
6.5.	MARCO LEGAL.....	35
7.	MATERIALES	35
8.	METODOLOGIA	35
8.1.	TIPO DE INVESTIGACION:.....	36
8.2.	ETAPAS DE INVESTIGACION:.....	36
8.2.1.	DISEÑO DE EXPERIMENTOS:.....	36
8.3.	DESARROLLO	37
8.3.1.	PROPORCIONES POR CILINDRO.....	55
8.4.	REALIZACION DE LAS MUESTRAS	56
9.	RESULTADOS.....	62
10.	CONCLUSIONES	67
11.	RECOMENDACIONES.....	69
12.	LISTA DE REFERENCIAS	70

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esfuerzo deformación obtenidas en la investigación Propiedades mecánicas del concreto para viviendas de bajo costo llevada a cabo en México.....	17
Figura 2. Curva deformación con respecto al esfuerzo.....	19
Figura 3. Barra cilíndrica de longitud original L_0 , sometida a tracción, compresión y corte	20
Figura 4. Grafica esfuerzo vs deformación.....	22
Figura 5. Agregados pétreos (grava).....	38
Figura 6. Tamizadora eléctrica	39
Figura 7. Máquina de los ángeles	43
Figura 8. Material descargado de máquina de los ángeles.....	43
Figura 9. Preparación de los materiales	58
Figura 10. Peso del caucho	58
Figura 11. Materiales dosificados.....	59
Figura 12. Mezclado en concretadora.....	59
Figura 13. Toma de muestras.....	60
Figura 14. Peso de cilindro	61
Figura 15. Ensayo a la compresión	62

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultado máquina de los ángeles	42
Tabla 2. Datos obtenidos.....	45
Tabla 3. Densidad específica de agregado grueso	45
Tabla 4. Densidad	46
Tabla 5. Datos obtenidos.....	48
Tabla 6. Densidad específica de la arena	48
Tabla 7. Selección de asentamiento	49
Tabla 8. Asentamiento	50
Tabla 9. Agua del mezclado.....	50
Tabla 10. Resistencia F'_{cr}	51
Tabla 11. Relación agua cemento	51
Tabla 12. Especificaciones granulométricas.....	52
Tabla 13. Proporciones	54
Tabla 14. Dimensiones cilindro estándar.....	55
Tabla 15. Peso del concreto por m^3	55
Tabla 16. Cantidad de caucho	56
Tabla 17. Cantidad de agregado.....	56
Tabla 18. Peso de cilindros a los 7 días	62
Tabla 19. Peso de cilindros a los 14 días	63
Tabla 20. Peso de los cilindros a los 28 días.....	64
Tabla 21. Resistencia a la compresión.....	65

INDICE DE GRAFICAS

Grafica 1 Granulometría agregado grueso	40
Grafica 2. Granulometría agregado fino	40
Grafica 3. Porcentaje de agregado fino en la mezcla de dos agregados	53
Grafica 4.. Peso a los 7 días	63
Grafica 5.. Peso a los 14 días	64
Grafica 6. Peso a los 28 días	65
Grafica 7. Resistencia vs tiempo.....	66

RESUMEN

Las obras civiles son un requerimiento para el mejoramiento de un país, pero que traen consigo un impacto ambiental ya que estas obras son depredadoras de recursos naturales y de contaminación por parte de sus desechos, en la actualidad las obras civiles son más amigables con el medio ambiente ya que en estas se ha ido implementando el uso de materiales reciclables como lo son el caucho de los neumáticos, este material ha sido utilizado para el mejoramiento de la carpeta asfáltica en las vías de diferentes países en el mundo y se ha comenzado a realizar estudios para darle una compatibilidad con las mezclas de concreto, de tal manera que sea utilizado como agregado y aligere el peso de la mezcla sin afectar su resistencia o mejorarla. Teniendo en cuenta esto se ha realizado diferentes ensayos con probetas de concreto a las cuales se les ha adicionado caucho triturado en diferentes porcentajes (3% , 5%,7% ,10%) de tal manera que se busca obtener un mejoramiento en la resistencia y aligeramiento de la mezcla, después de ser ensayados las probetas de concreto los valores obtenidos demuestran que el caucho es un material que es compatible con el concreto, que iguala o mejora la resistencia de un concreto sin agregado de caucho y aligerar el peso de esta, dándonos a entender que mediante el uso de este material en construcciones futuras aligerar el peso y la economía de las obras civiles, también contando de que estas se volverán obras amigables con el ambiente por el uso del caucho triturado de neumáticos.

1. INTRODUCCIÓN

La ingeniería civil es conocida como una de las profesiones de mayor impacto ambiental en todo el mundo, de tal manera que se busca implementar materiales reciclables que sean lo más posiblemente homogéneos con los procesos de construcción de infraestructura, cumpliendo con la normatividad vigente de sismo resistencia instaurada en cada país.

Las llantas son un problema ambiental en todo el mundo, de tal manera que encontrar un método de reutilización de la gran cantidad de neumáticos desechados diariamente generaría un impacto positivo, La presente investigación busca dar un uso útil de los neumáticos desechados desde el ámbito de la ingeniería civil y aprovecharse de las propiedades del caucho para mejorar las propiedades de las mezclas de concreto y asfálticas utilizadas en las obras civiles, y así cooperar con el problema ambiental que este genera.

La finalidad de esta investigación busca que al adicionar caucho triturado en diferentes porcentajes en el concreto hidráulico se pueda mejorar las propiedades mecánicas de este, pero con un mayor énfasis en la disminución del peso de las estructuras de concreto simple o reforzado, con este propósito se presenta a lo largo de este documento los resultados de los ensayos realizados.

El uso de caucho utilizado en obras civiles es muy común en la actualidad por sus propiedades físicas, este es utilizado de diferentes formas como son; aisladores sísmicos, como muros de contención (cuando son neumáticos), en mezclas asfálticas y de concreto, según investigaciones el mayor aporte que se ha realizado con el caucho de llantas

reciclables se ve reflejado en las mezclas asfálticas, para construir pavimentos, según Peláez y Velásquez(2017) “Emplear residuos de caucho en este tipo de aplicaciones representa, además de las importantes ventajas ambientales y económicas expuestas previamente, mejoras técnicas en ese tipo de productos, tales como el incremento de la resistencia al impacto y la resistencia a la fatiga, acarreando sin embargo algunas pérdidas en propiedades como el modulo elástico y la resistencia a la compresión”.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los sismos en nuestro entorno, tanto profesional como social, son de las mayores preocupaciones que se tienen por lo que generan, desde pérdidas económicas, pequeños daños en las estructuras, llegando incluso en el peor de los casos a pérdidas humanas.

Pereira está ubicada en una zona de amenaza sísmica alta por lo cual debemos prestar aún más atención al tema, dándole así la importancia necesaria para la seguridad de todos.

Al transcurrir 19 años del último gran sismo en la zona el cual ocurrió el 25 de Enero de 1999 en la ciudad de Armenia, desde ese día han ocurrido 28 mil sismos con origen en dicho departamento (Quindío).

Para el coordinador del Observatorio Sismológico de la Universidad del Quindío, Juan Carlos Zorrilla recomiendan que los habitantes “aprendan a conocer esta condición, saber dónde estamos y acogernos a los códigos de diseño y construcción para que no nos vuelva a pasar lo mismo que hace 19 años (Zorrilla, 2018). Y destaca “Talvez necesitamos un sismo (de gran magnitud) para poder darnos cuenta de cómo estamos hoy en día (Zorrilla, 2018), dijo el coordinador del observatorio.

Es fundamental tener conciencia de la situación en la que estamos, el riesgo, y que debemos estar preparados para un gran sismo, hace 19 años no hay un movimiento telúrico de gran magnitud en la zona, significa que nos acercamos cada vez más a que ocurra una situación de esta magnitud. Por tanto, la calidad de los materiales es primordial en estos casos ya que un buen comportamiento de estos nos ayudan de gran manera a que ninguna tragedia ocurra.

“Colombia, como muchos otros países del mundo, naufraga en llantas usadas. Cada año se desechan en el país alrededor de 20 a 30 millones. El caucho es uno de los mayores contaminantes ambientales ya que es un material no biodegradable y que mejor manera de ayudar con la contaminación que utilizando este material para fines ingenieriles que beneficiaran a todos.

Con el concreto hidráulico en combinación con el caucho que tiene grandes propiedades (impermeabilizante, elástico, aislante de temperatura, resistente a los ácidos, liviano, etc.) Se genera entonces un bien para el medio ambiente y un posible buen resultado de resistencia del concreto disminuyendo el peso ayudando a todo tipo de estructuras que se realicen con este.

3. JUSTIFICACIÓN

Mediante la utilización del caucho como aligerante para el concreto, sin alterar la resistencia, se hace fundamental en dos principales motivos. El reciclaje, lo que conlleva a una preservación del medio ambiente, y los posibles sismos por venir en la ciudad de Pereira, al ser más ligero el concreto hace la estructura mucho más flexible y que tenga más capacidad de soportar las ondas que transmite el sismo.

La realización de la investigación cumplirá las especificaciones técnicas de la NSR-10 (Norma Sismo Resistente 2010) junto con INVIAS 13 para los ensayos de materiales a utilizar en los laboratorios.

El resultado al comparar cilindros de concreto convencionales con los cilindros con agregado de caucho, si se tienen buenos resultados de resistencia, trabajabilidad, economía, durabilidad, impermeabilidad, etc. Sabiendo las diferentes propiedades que tienen el caucho y el daño que le hace al medio ambiente, prácticamente todos seremos beneficiados de esta combinación, ya que se le quita un gran peso al medio ambiente mientras que ganamos en ingeniería.

Las personas en general serán beneficiadas ya que su seguridad en el evento de un sismo no se va ver afectada, al igual que la vegetación, aire y animales, disminuyendo la contaminación ambiental.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el comportamiento de mezclas de concretos adicionándole caucho triturado de llantas recicladas en diferentes porcentajes, con el fin de aplicarlas en la reducción de las cargas muertas en estructuras y obtener una disminución en los requerimientos estructurales y los costos

4.2. OBJETIVO ESPECIFICO

- Determinar la variación del peso en las mezclas de concreto modificadas con la adición del caucho reciclado en porcentajes de 3 %, 5% ,7% y 10% del peso con respecto a una mezcla normal
- Determinar el cambio de peso vs resistencia en una mezcla de concreto modificada con la adición de caucho reciclado en porcentajes de 3%, 5%, 7% y 10%

5. HIPOTESIS

Adicionando caucho reciclado en mezclas de concreto se obtiene mejoras en las propiedades del concreto como peso, resistencia y módulo de elasticidad ya sea para concreto estructural o no estructural, también un mejoramiento ambiental por la reutilización de los neumáticos usados; controlando la afectación que estos causan al medio ambiente.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1. MARCO TEORICO

6.1.1. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO

Para las diferentes mezclas de concreto que se realizan para edificios, vías, puentes y otras obras o estructuras de ingeniería, es necesario determinar su resistencia a la compresión, de tal manera que compruebe que la mezcla es factible o apropiada para su uso en la obra.

“La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm², MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi)” Osorio (2013). Para determinar la resistencia a la compresión del concreto, se utiliza la norma NTC 673 la cual nos permitirá mediante este ensayo obtener los valores adecuados para graficar el diagrama de esfuerzo–deformación unitaria y conocer el comportamiento del concreto sometido a compresión.

El comportamiento del concreto sometido a compresión se representa dentro de la gráfica de esfuerzo –deformación como una línea recta, demostrando como punto más alto el esfuerzo último para dicho concreto, después de sobrepasar dicho punto el concreto sigue soportando cargas, sin embargo el comportamiento en la gráfica ya no se

observara como una tendencia lineal ; si no que comenzara a presentar variaciones significativas representadas gráficamente como una línea semi-parabólica con una tendencia a permanecer continua (paralelo) a la deformación , de tal manera que no es confiable aplicar cargas por encima de este punto.

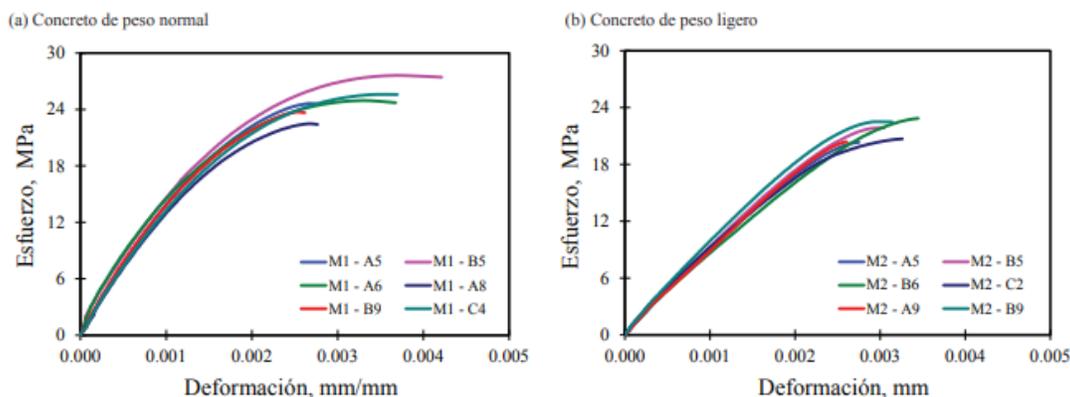


Figura 1. Esfuerzo deformación obtenidas en la investigación Propiedades mecánicas del concreto para viviendas de bajo costo llevada a cabo en México

Fuente: Carrillo, Julián, Alcocer, Sergio M; Aperador, William. (2013) Propiedades mecánicas del concreto para viviendas de bajo costo. Ingeniería .Investigación y Tecnología, Vol., Núm. 2, P.293

6.1.2. TEORÍA DE LA ELASTICIDAD

Si un material es sometido a tracción, es decir ejercer fuerzas en sus extremos en dirección opuesta, su longitud aumenta eventualmente, pero si la fuerza es de gran magnitud puede generarse una fractura del material S. Gil (s.f, P.1).

Si una muestra cilíndrica de material, de sección transversal A , y longitud inicial L_0 es sometida a tracción, mediante una fuerza F que actúa a lo largo de su eje, la misma sufrirá un estiramiento de magnitud ΔL , Si $\Delta L/L_0 \ll 1$, se encuentra experimentalmente

que para un rango limitado de las fuerzas aplicadas, ΔL es proporcional a la fuerza aplicada (F), a su longitud original (L_0) e inversamente proporcional al área de su sección transversal (A) S.Gil(s.f,P.1) es decir:

$$\Delta L = \frac{F \times L_0}{A}$$

Esta relación la noto primero Roberto Hooke (1635-1703).Esta expresión fenomenológica, valida en una gran cantidad de materiales, pero no en todos (como las leyes de Newton o las Ecuaciones de Maxwell), se puede escribir como :

$$E \times \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{F}{A}$$

Donde E es una constante de cada material del cual está constituido el elemento y que se denomina módulo de Young o módulo de elasticidad, al módulo de elasticidad se nombra también con la letra E. En rigor esta relación solo vale en la llamada zona de proporcionalidad o zona elástica (Figura 1,) El cociente F/A se denomina esfuerzo (stress) y se denota con la letra σ , se representa en unidades de esfuerzo (Pa), Al cociente $\Delta L/L_0$ se le denomina deformación unitaria (strain) y se denota con la letra ϵ , esta magnitud es adimensional (no tiene unidades)”” S. Gil (s.f, P.2).

$$\sigma = E \times \epsilon = Y \times \epsilon$$

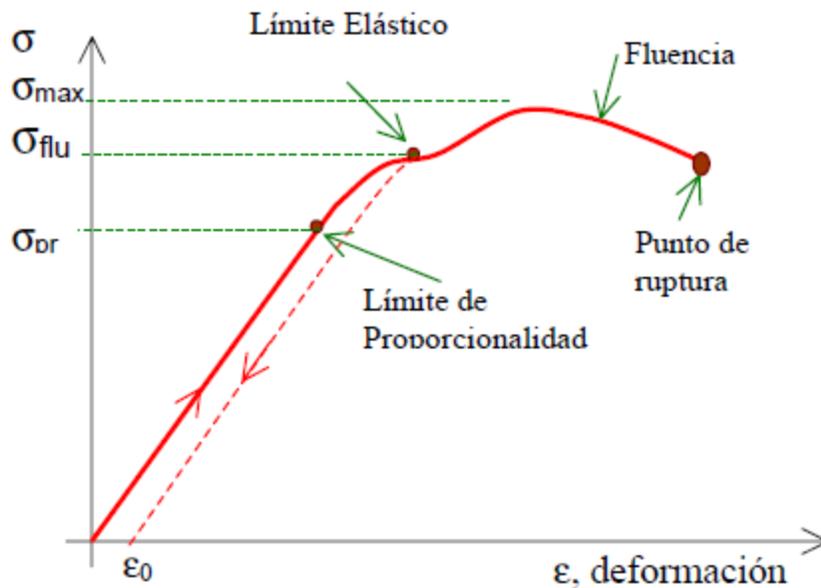


Figura 2. Curva deformación con respecto al esfuerzo

Fuente: Introducción a la Elasticidad –Física 1-UNSAM-S.Gil ; P.2

Según la gráfica se puede observar que las variables de esfuerzo se encuentran en el eje de las “Y” y deformación unitaria en el eje “X” o eje de las abscisas, dando se a conocer su relación con la elasticidad

Relación entre el esfuerzo aplicado σ y la deformación unitaria ϵ . Cuando se sobrepasa el límite elástico, y se suprime el esfuerzo aplicado, el material queda permanentemente deformado, este hecho se indica en la figura 2 mediante el uso de flechas.

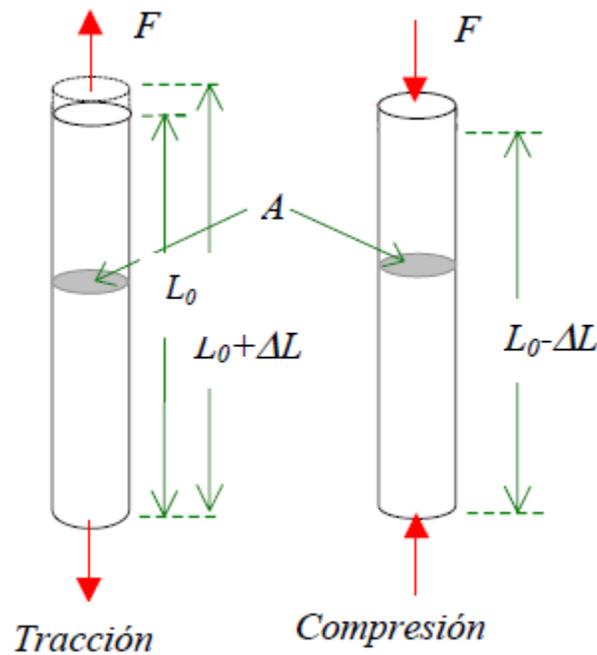


Figura 3. Barra cilíndrica de longitud original L_0 , sometida a tracción, compresión y corte

Fuente: Introducción a la Elasticidad –Física 1-UNSAM-S.Gil; P.2

Tras someter a estiramiento un material desde el inicio, la deformación es proporcional al esfuerzo, aplicando válidamente la ley de Hooke. Esto sucede hasta que el esfuerzo aplicado alcanza el valor llamado “límite de proporcionalidad” (σ_{pr}). El material regresa a su estado inicial sin presentar deformaciones permanentes siempre y cuando no se sobre pase el valor del límite de proporcionalidad, de no ser así la gráfica presenta una discontinuidad de la línea recta y no generaría una relación directa entre σ y ϵ . Sin embargo, hasta el límite elástico, si la fuerza a la que es sometido el material es

retirada, este volverá a su longitud inicial sin producir deformaciones permanentes (caracterizada por el valor de deformación residual ϵ_0) en el elemento. Más cuantitativamente, por lo general se requiere que hasta el límite elástico $\epsilon_0 < 10^{-4}$, la zona desde el origen hasta el límite elástico se llama zona elástica. Si el material es sometido a una fuerza mayor sobre pasando el límite elástico, este entra en la región plástica o zona plástica y no regresara a su longitud inicial al retirar la fuerza aplicada, por lo contrario quedara deformado permanentemente, de tal manera que el elemento presenta efectos de histéresis. Si la fuerza aumentada a la soportada en el límite plástico, el elemento sufrirá una ruptura, entre el límite elástico y el punto de ruptura existe una zona de fluencia, donde el material se deforma fácilmente, sin necesidad de aumentar el esfuerzo (Región plana de la curva Figura 3).

6.1.3. MÓDULO DE ELASTICIDAD: CONCRETO

El concreto no es un material con una composición elástica, esto se evidencia cuando una muestra es sometida a esfuerzos de compresión que aumentan hasta alcanzar el punto de falla o fractura del concreto Silvestre (2016a), el módulo de elasticidad del concreto representa la rigidez de este material ante una carga impuesta sobre sí mismo, teniendo en cuenta que para cada esfuerzo existe una deformación unitaria Osorio (2011). Se logra graficar una curva con las referencias dadas anterior mente, deformación unitaria y esfuerzo, la figura 4 muestra la curva esfuerzo deformación

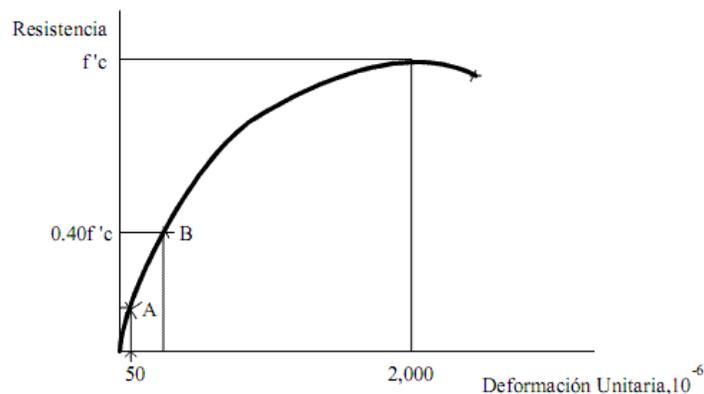


Figura 4. Grafica esfuerzo vs deformación

Fuente: Análisis del concreto con caucho como aditivo para aligerar elementos estructurales 2016 (p.14).

De la figura 4, se observa la relación de esfuerzo – deformación, donde se evidencia que la parte recta representa el termino de módulo de elasticidad, la siguiente parte de la gráfica, el punto donde comienza a curvarse la línea se debe al incremento de la deformación unitaria, que es ligada a la carga impuesta durante el ensayo, este comportamiento se debe en parte a la fluencia del concreto y tanto a la elasticidad, de tal manera que se determina que el concreto no es un material completamente elástico

Para la determinar el módulo de elasticidad estático del concreto se debe realizar un ensayo medido por la Norma Técnica Colombiana 4025 que tiene como antecedentes la Norma ASTM C 469, La primera fase que se encuentra en el concreto es la zona elástica, donde el esfuerzo y la deformación unitaria pueden extenderse aproximadamente entre el 0% al 40% y 45% de la resistencia a la compresión del concreto, la segunda fase, se

representa con una curva como consecuencia de una fisura o fractura que se produce en el concreto al recibir una carga , estas fisuras se ubican en la interface agregado-pasta y está comprendida entre el 45% y 98% de la resistencia del concreto Osorio(2011).

6.1.4. AGREGADOS EN EL CONCRETO

Los agregados también llamados áridos, son un conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser modificados o elaborados con las dimensiones que están comprendidas entre los límites estipulados en la Norma Técnica Colombiana NTC-174.

Según Silvestre (2016a) los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen del concreto (70% a 85% en peso), e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclados y endurecidos, en las proporciones de la mezcla y la economía (p. 16)

Los agregados para el concreto se clasifican en:

Agregado Fino

El agregado fino debe estar compuesto de arena natural , arena triturada o una mezcla de esta , que pasa por el tamiz N° 4 (4.75mm) y queda retenido en el tamiz N° 200 que cumple con los límites establecidos en la NTC 174.

Los agregados finos deben estar compuestos de partículas limpias de perfil angular duras , libres de materia orgánica y sustancias dañinas ;esto es determinado mediante los ensayos estipulados en la norma ASTM C40 , así mismo debe estar graduado dentro de los limites dados en la norma NTC 174.

Agregados Grueso

El agregado grueso está compuesto por grava, grava triturada, roca triturada, o escoria de alto horno enfriada al aire, también se puede utilizar una combinación de ellos, este material es retenido en el tamiz 4.75 mm (N 4), conforme a los requisitos de la NTC 174. El material debe estar conformado por partículas limpias , con un perfil preferiblemente angular , dura, compacta, resistente y con una textura preferiblemente rugosa ,debe ser un material químicamente estable y libre de escamas , tierra , polvo , limo y materia orgánica , además de otras sustancias dañinas.

Agua

El agua es un componente esencial en las mezclas de concreto, dado a que esta permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante .La NTC 3459 habla sobre la calidad del agua en el concreto

Silvestre (2016b) afirma que para cada cuantía de cemento existe una cantidad de agua del total de la agregada que se requiere para la hidratación del cemento , dando a conocer que con cierta cantidad de agua en la mezcla del concreto esta reaccionara con el cemento y se generara una pasta , la cantidad de agua sobrante cumple con la función de aumentar la fluidez de la pasta de concreto y cumpla con cubrir o lubricar los agregados de la mezcla ,además de otorgar una manejabilidad adecuada para las mezclas frescas (p.

14)

6.1.5. INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS EN EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

Según Silva (2015) la forma y textura superficial de las partículas individuales de cualquier tipo de agregado tienen una influencia importante en la manejabilidad del concreto en su estado fresco y en otras características físicas de su estado sólido.

El uso de diferentes tipos de agregados finos puede generar variaciones en el asentamiento de la mezcla de concreto, un ejemplo de ellos, son las arenas angulares que tendrán un menor asentamiento en la mezcla a una diseñada con agregados finos redondeados y lisos. Generando la necesidad de hacer un cambio en la relación agua / cemento.

Los agregados gruesos también influyen en dicha relación según su forma y textura, estos afectaran a mayor medida la resistencia a través de la relación de adherencia agregado /cemento.

Existe un límite en el contenido de agregados gruesos dado por la trabajabilidad del concreto. Si la cantidad de agregados gruesos es excesiva, ocurrirá el fenómeno de segregación Silva (2015). De la manera que los agregados finos deben tener una dosificación que permita una buena trabajabilidad y otorgue una cohesión a la mezcla, siempre y cuando no sea excesiva para no perjudicar la manejabilidad y la resistencia del concreto.

6.1.6. ADITIVOS COMUNES EN EL CONCRETO

Según Rivera (s.f) Los aditivos son una sustancia química , generalmente dosificada por debajo del 5% de la masa del cemento , distinta del agua , los agregados , el cemento y los refuerzos de fibra , que se emplea como ingrediente de la pasta, del mortero o del concreto ,y se agrega al conjunto antes o durante el proceso de mezclado , con el fin de modificar alguna o algunas de sus propiedades físicas , de tal manera que el material se adapte de una mejor forma a las características de la obra o las necesidades del constructor

Estela (como se cito en Silvestre 2016b) en la actualidad, mucho de estos productos existen en el mercado, y los hay en estado líquido, solido, en polvo y pasta. Aunque sus efectos están descritos por los fabricantes, cada uno de ellos deberá verificarse cuidadosamente antes de usar el producto, pues sus cualidades están aún por definirse (p.12).

Clasificación de los aditivos que pueden ser utilizados para el concreto en Colombia Rivera (s.f) menciona que en Colombia, la norma NTC 1299 estable los requisitos que deben cumplir los aditivos químicos que pueden agregarse al concreto, y los clasifica en (p.234):

TIPO A - PLASTIFICANTE: Es el aditivo que permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener una determinada consistencia del hormigón

TIPO B - RETARDADOR: Es aquel que demora el fraguado del hormigón

TIPO C - ACELERANTE: Es aquel que acelera tanto el fraguado como la ganancia de resistencia a temprana edad del concreto

TIPO D - PLASTIFICANTE RETARDADOR: Es aquel que permite disminuir la cantidad de agua (acción primaria) necesaria para obtener un hormigón de una determinada consistencia y retardar su fraguado (acción secundaria)

TIPO E – PLASTIFICANTE ACELERANTE: Es aquel que permite disminuir la cantidad de agua (acción primaria) necesaria para obtener un hormigón de determinada consistencia y acelerar tanto el fraguado como la resistencia del hormigón a temprana edad (acción secundaria)

TIPO F – SUPERPLASTIFICANTE: Es el aditivo que permite la reducción del agua de mezcla en más de un 12% para obtener una determinada consistencia del hormigón

TIPO G - SUPERPLASTIFICANTE RETARDADOR: Es el aditivo que permite la reducción del agua de mezcla, en más de un 12% para obtener una determinada consistencia del hormigón (acción primaria) y además retarda el fraguado (acción secundaria)

TIPO H – SUPERPLASTIFICANTE ACELERANTE: Es el aditivo que permite la reducción del agua de mezcla , en más de un 12%, para obtener una determinada consistencia del hormigón (acción primaria) y además acelera tanto el fraguado como la resistencia del hormigón a temprana edad (acción secundaria).

6.1.7. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO

Según Sánchez de Guzmán (como se cita en Silvestre 2015) La resistencia a compresión del concreto varía según los siguientes parámetros

- La relación agua –cemento (a/c): Tiene influencia sobre la resistencia, la durabilidad, así como los coeficientes de retracción y de fluencia. También determina la estructura interna de la pasta de cemento endurecida. La relación agua /cemento crece cuando aumenta la cantidad de agua y decrece cuando aumenta el contenido de cemento. En todos los casos, cuanto más baja es la relación agua / cemento más favorables son las propiedades de la pasta de cemento endurecida
- Tamaño máximo del agregado: El tamaño del agregado a elegir para el diseño de una mezcla de concreto se basará en el tamaño y forma del elemento de concreto
- Condiciones de humedad durante el curado: El curado es el mantenimiento de un adecuado contenido de humedad y temperatura en el concreto a edades tempranas, de manera que este pueda desarrollar las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla. El curado comienza inmediatamente después del vaciado y el acabado, de manera que el concreto pueda desarrollar la resistencia y la durabilidad deseada. Sin un adecuado suministro de humedad, los materiales cementantes en el concreto, no pueden reaccionar para formar un producto de calidad

- Edad del concreto: El tiempo de curado del concreto es fundamental para garantizar que se eviten problemas en la resistencia proyectada del concreto, el tiempo óptimo está considerado en 28 días
- Cantidad aditivo: El porcentaje de aditivo a agregar a la mezcla será relativo

Un ensayo de resistencia debe ser el resultado del promedio de resistencia de 2 cilindros tomados de una misma mezcla y ensayados a los 28 días, el nivel de resistencia para cada clase de concreto se considera satisfactorio si cumple simultáneamente los siguientes requisitos:

- a) Que los promedios aritméticos de todo el conjunto de tres resultados consecutivos de ensayos de resistencia a la compresión, iguallen o excedan el valor especificado para F'_c (esfuerzo de diseño).
- b) Que ningún resultado individual de las pruebas de resistencia a la compresión (promedio de al menos dos cilindros), sea inferior a F'_c en más de 3,5 MPa (p.21,22)

6.2. MARCO CONCEPTUAL

6.2.1. DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

Para Rivera (s.f) Dosificar una mezcla de concreto es determinar la combinación más práctica y económica de los agregados disponibles, cemento, agua y en ciertos casos aditivos, con el fin de producir una mezcla con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiera las características de resistencia y durabilidad necesarias para el tipo de construcción en que habrá de utilizarse (p.169).

Rivera (s.f) Para que para encontrar las proporciones más apropiadas, es necesario preparar varias mezclas de prueba las cuales se calculan con base en las propiedades de los materiales y la aplicación de leyes o principios básicos preestablecidos (p.169).

Los datos básicos para la dosificación son los siguientes: Características de los materiales disponibles (partiendo que son de buena calidad, cumplen especificaciones de normas NTC o INV), basados en ensayos de laboratorio (Normas NTC o INV):

Cemento: Densidad, Masa unitaria suelta

Agua: Densidad

Agregados: Análisis granulométrico de los agregados incluyendo el cálculo del módulo de finura o del tamaño máximo nominal, según el árido, densidad aparente seca y porcentaje de absorción de los agregados ,porcentaje de humedad de los agregados inmediatamente antes de hacer las mezclas ,masas unitarias sueltas

Aditivos: Densidad

6.2.2. COMPOSICIÓN DEL NEUMÁTICO

Castro (2008) dice, un neumático es básicamente un elemento que permite a un vehículo desplazarse en forma suave a tras de superficies lisas .Consiste en una cubierta principalmente de caucho que contiene aire el cual soporta al vehículo y su carga. (p.2)

En la actualidad la mayoría de neumáticos son radiales , de tal manera que están compuestos de una banda de rodamiento elástica, una cintura prácticamente inextensible y una estructura de arcos orientada en forma radial ,conectados sobre una membrana inflada y aros que también son inextensibles que sirven como enganche a la llanta.

La complejidad de la forma y de las funciones que cada parte del neumático tiene que cumplir, es traducida en su complejidad de los materiales que lo componen. La principal materia que compone un neumático es el caucho (este puede ser natural o sintético): este material comprende casi la mitad del peso del neumático. También son conocidos como elastómeros un material polimérico característico por su propiedad de variar sus dimensiones según el tipo de esfuerzo al que son sometido y volver a su forma cuando el esfuerzo se retira Castro (2008) (p. 2)

Castro (2008) manifiesta que el caucho natural se extrae a partir del árbol *Hevea Brasiliensis* que es un látex con partículas de caucho en suspensión. Después de un proceso de secado y de ahumado se utilizan diferentes productos. Hoy en día alcanza el 30% del mercado de los cauchos, el resto lo ocupan los cauchos sintéticos, todos basados en hidrocarburos. (p.2)

Según lo anterior para realizar los neumáticos se utiliza el caucho natural y sintético, Según Castro (2008) la combinación se realiza de modo que los cauchos naturales proporcionen elasticidad y los sintéticos, estabilidad térmica. Esta combinación de efectos favorece la durabilidad y la capacidad de adaptarse a las nuevas exigencias del tránsito. La estructura de los cauchos naturales está formada por cis-1,4 polisopreno mezclado con pequeñas cantidades de proteínas, lípidos y sales inorgánicas, entre otros.

6.2.3. REUTILIZACIÓN Y RECICLADO DE NEUMÁTICOS

Castro (2007) manifiesta sobre la masiva fabricación de neumáticos y las dificultades para hacerlos desaparecer una vez usados, constituye uno de los más graves problemas medioambientales de los últimos años en todo el mundo. Un neumático necesita grandes

cantidades de energía para ser fabricado (medio barril de petróleo crudo para fabricar un neumático de camión) y también provoca, si no es convenientemente reciclado, contaminación ambiental al formar parte, generalmente, de vertederos incontrolados. (p.2)

Para eliminar los neumáticos o residuos de neumáticos triturados se usa con frecuencia la quema directa, provocando problemas ambientales por emisiones de gases que contienen partículas nocivas para el entorno. El almacenamiento de los neumáticos desechados también es una problemática ya que estos forman arrecifes donde la proliferación de roedores, insectos y otros animales, ayudan en la formación de diferentes problemas de salud al punto de ser epidémicos Castro (2007).

Con todos estos problemas que generan los neumáticos desechados se encuentran diferentes soluciones de reutilización como lo expone Castro(2007) múltiples son los ejemplos en los cuales pueden utilizarse, bien los neumáticos totalmente enteros o sus flancos y banda de rodamiento : parque infantiles, defensa de muelles o embarcaciones, rompe olas, etc., o más directamente relacionado con los neumáticos, barreras anti-ruídos , taludes de carretera, estabilización de zonas anegadas, pistas de carreras, o utilidades agrícolas para retener el agua , controla la erosión, etc.

Además de ser reutilizados estos también pueden ser reciclados mediante diferentes procesos como:

Regeneración: este proceso se basa en romper las cadenas que forman el material para obtener una materia prima que, aunque dista mucho de la original, se podría volver a vulcanizarse y fabricar de nuevo el caucho

Termólisis: Es un sistema en el que somete los materiales de residuos de neumáticos a un calentamiento en un medio en el que no existe oxígeno. Las altas temperaturas y la ausencia de oxígeno tienen el efecto de destruir los enlaces químicos. De tal manera que se recupera la totalidad de los componentes del neumático y de estos se obtienen metales, carbones e hidrocarburos gaseosos, que pueden volver a las cadenas industriales, ya sea de producción de neumáticos u a otras actividades

Pirolisis: Este procedimiento (fabrica piloto) está operativo en Taiwán desde 2022 con cuatro líneas de pirolisis que permiten reciclar 9000 toneladas/año. En la actualidad el procedimiento ha sido mejorado y es capaz de tratar 28.000 toneladas de neumáticos usados/año, a través de una sola línea. Los productos obtenidos después del proceso de pirolisis son principalmente:

- GAZ, similar al propano que se puede emplear para uso industrial
- Aceite industrial líquido que se puede refinar en Diésel
- Coke y acero

Trituración criogénica: 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, la dificultad material y económica para purificar y separar el caucho y el metal entre sí y de los materiales textiles que forman el neumático, provoca que este sistema sea poco recomendable

Trituración mecánica: Es un proceso puramente mecánico y por tanto los productos resultantes son de alta calidad limpios de todo tipo de impurezas, lo que facilita la utilización de estos materiales en nuevos procesos y aplicaciones. La trituración con sistemas mecánicos es en casi siempre el paso previo en los diferentes métodos de recuperación y rentabilización de los residuos de neumáticos.

Este concepto incluye la fragmentación del neumático en gránulos (GTR, Caucho de Ruedas Granulada) y separación de componentes (acero y fibras) y desvulcanización o no.

Neumáticos convertidos en energía eléctrica: Los residuos se introducen en una caldera donde se realiza su combustión. El calor liberado provoca que el agua existente en la caldera se convierta en vapor de alta temperatura y alta presión que se conduce hasta una turbina. Al expandirse mueve la turbina y el generador acoplado a ella produce la electricidad, que tendrá que ser transformada posteriormente para su uso directo Castro (2007). (p.3, 4)

6.3. MARCO DE LOCALIZACIÓN

Esta investigación se desarrolla en las instalaciones de la Universidad libre, en la ciudad de Pereira del departamento de Risaralda, debido al alto riesgo sísmico de la ciudad.

Cemento: El material utilizado es cemento ARGOS adquirido en el almacén Homecenter en la ciudad de Pereira, Risaralda

Agregados: El material utilizado es de la empresa AGREGADOS EL CAIRO ubicada en el kilómetro 16 de la vía Cerritos-Viterbo, unos metros después de la vía de acceso al municipio de Benalcázar

6.4. MARCO TEMPORAL

La investigación fue iniciada en agosto de 2018 con el acompañamiento del docente Adán Silvestre Gutiérrez.

6.5. MARCO LEGAL

La presente investigación se apoya en las siguientes normas colombianas:

- NTC1522- Suelos ensayo para determinar la granulometría por tamizado.
- INVE-223-07 Determinación de la densidad específica de los agregados gruesos
- INVE-222-07 Determinación de la densidad específica de los agregados finos
- INVE-219-07 Determinación de la resistencia al desgaste de los agregados gruesos por medio de la máquina de los ángeles
- NTC N° 550 Proceso para la elaboración de cilindros de concreto
- NTC N° 673 Elaboración de ensayo para determinar la resistencia a compresión de cilindros de concreto

7. MATERIALES

Caucho

Cemento

Agregados (grueso y fino).

8. METODOLOGIA:

8.1. TIPO DE INVESTIGACION:

Este proyecto se define como una investigación experimental, ya que mediante un conjunto de conocimientos se realizan pruebas experimentales para llegar a una determinada conclusión, en este caso una combinación de diferentes tipos de materiales para llegar a una comparación de resultados.

8.2. ETAPAS DE INVESTIGACION:**8.2.1. DISEÑO DE EXPERIMENTOS:**

Se realizan los ensayos al concreto en la máquina de compresión de cilindros, ensayando 15 cilindros en total con diferentes porcentajes de caucho, un tamaño máximo nominal de $\frac{1}{2}$ para el agregado y relación a/c de 0.49.

PORCENTAJES DE CAUCHO**7 DIAS**

- 0% de porcentaje de caucho
- 3% de porcentaje de caucho
- 5 % de porcentaje de caucho
- 7% de porcentaje de caucho
- 10% de porcentaje de caucho

14 DIAS

- 0% de porcentaje de caucho
- 3% de porcentaje de caucho
- 5 % de porcentaje de caucho
- 7% de porcentaje de caucho

- 10% de porcentaje de caucho

28 DIAS

- 0% de porcentaje de caucho
- 3% de porcentaje de caucho
- 5 % de porcentaje de caucho
- 7% de porcentaje de caucho
- 10% de porcentaje de caucho

DETERMINACION DEL CAMBIO DE PESO:

Cada probeta es pesada antes de ser ensayada, teniendo como base la probeta de 0 % para un punto de comparación en peso y resistencia.

8.3. DESARROLLO

El concreto es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión, puede ser mayor el esfuerzo a soportar mediante la dosificación de agregados, agregado grueso, fino y cemento.

Para una buena dosificación es necesario seguir una serie de pasos y caracterización de los materiales, ya que no todos los materiales son aptos y de características adecuadas para una buena trabajabilidad y resistencia del concreto.

GRANULOMETRIA:

Es el procedimiento mediante el cual se busca separar las partículas según su tamaño, la granulometría se le puede realizar tanto al agregado grueso como al agregado fino, conociendo el tamaño de las partículas del material se tiene una base importante para la realización de la mezcla

Equipos Requeridos:

Para la realización de un ensayo granulométrico se requiere el uso de los siguientes equipos:

- Balanza.
- Tamices con tamaños requeridos para cada agregado.
- Tamizadora mecánica.
- Brocha
- Bascula

Los agregados fueron tomados de agregados el Cairo, se fue al sitio y se tomaron las muestras necesarias de la grava y arena.



Figura 5. Agregados pétreos (grava)

Fuente: Los Autores

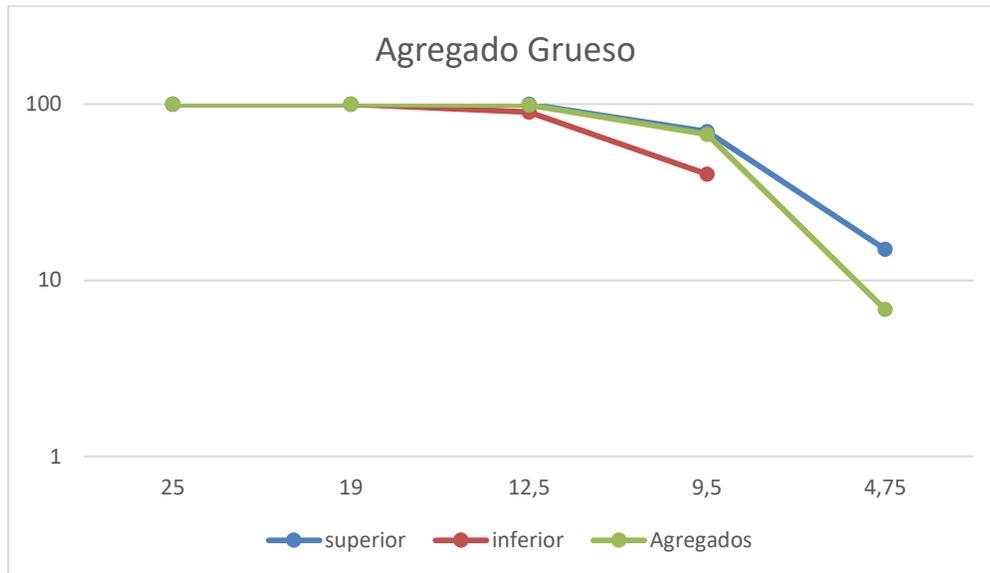


Figura 6. Tamizadora eléctrica

Fuente: Los autores

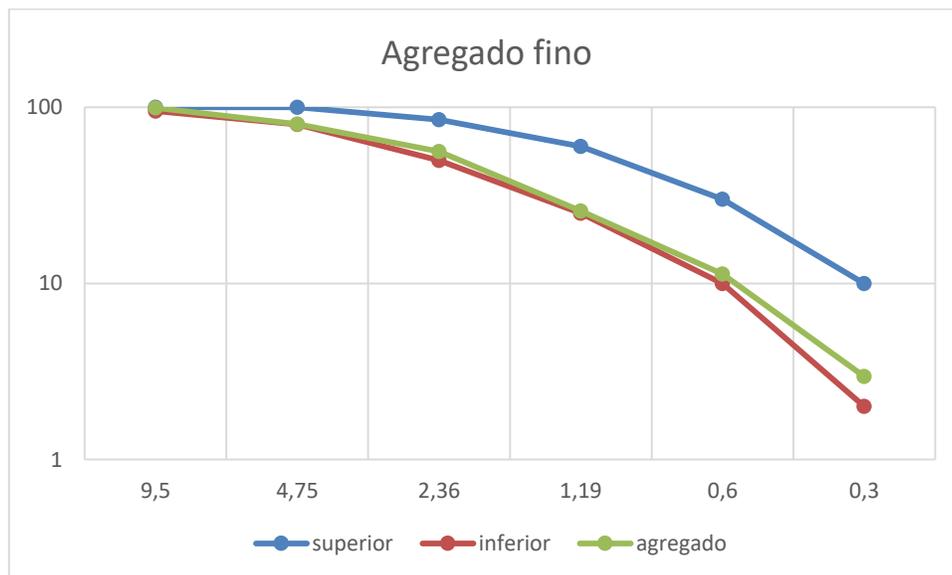
Los resultados de un análisis granulométrico, deben ser presentados en escala logarítmica, que permite la visualización de los datos correspondientes a cada tamaño de manera más eficaz a la escala natural o convencional.

A continuación se muestran las curvas granulométricas correspondientes a los agregados utilizados en la presente investigación en comparación con los límites establecidos en la NTC 174 del 2000.



Grafica 1. Granulometría agregado grueso

Fuente: Los autores



Grafica 2. Granulometría agregado fino

Fuente: Los autores

RESISTENCIA AL DESGASTE, MAQUINA DE LOS ANGELES:

La norma INV-E218 es la norma con la cual se realiza el procedimiento para calcular la resistencia al desgaste utilizando la máquina de los ángeles, esta se aplica para agregados gruesos de tamaño menor a 1 ½ “. El ensayo consiste en pasar el agregado por una maquina con unas esferas metálicas y ponerlos a girar 500 veces y así determinar el valor (porcentual) de desgaste del material

Equipo:

- Balanza, que permitE la determinación de la masa con una precisión de 0.1%
- Horno, que pueda mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^{\circ} \text{C}$
- Tamices
- Máquina de los ángeles, establecida en la norma INV-E218
- Carga abrasiva, esferas de acero de un diámetro aproximado de 46.8mm y una masa comprendida entre 390 g y 445 g

Procedimiento:

- Determinar la cantidad de muestra requerida , según la granulometría presentada y aplicando la tabla 218-2 norma INV-E218
- Se introduce la muestra y las esferas metálicas en la máquina de los ángeles, se cierra y se asegura con los pernos ,se inicia el proceso de girar el cilindro a una velocidad entre 30 y 33 r.p.m hasta completar las 500 revoluciones según lo estipula la norma

- Al terminar el proceso de las 500 revoluciones , se retira el material y se pasa a separarse por tamices ,de tal manera que se toma el valor más significativo de la muestra
- Se realiza el lavado y secado al horno del material tamizado
- Se realiza el pesaje de la masa final , para proceder a realizar la diferencia de las masas inicial y final y hallar el porcentaje de desgaste que presento la muestra de agregado

Resultados:**Tabla 1. Resultado máquina de los ángeles**

	VALOR	UNIDAD
Masa Inicial	5000	g
Masa Final	3900	g
Diferencia	1100	g

% Desgaste	22%
------------	-----

Fuente: Los autores



Figura 7. Máquina de los ángeles

Fuente: Los autores



Figura 8. Material descargado de máquina de los ángeles

Fuente: Los autores

DENSIDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO.

La NTC 176 es la norma que rige este ensayo en el cual podemos calcular la densidad del agregado grueso en diferentes estados, seca al horno, saturada superficialmente seca y relativa aparente.

Para determinar la densidad es cuestión de tomar una serie de pesos, secos y saturados, para que así mediante la fórmula encontrar el resultado.

Equipo:

- Balanza.
- Canasta de malla, definida por el tamaño máximo nominal del agregado.
- Tanque de agua.
- Tamiz N°4.
- Horno.

Procedimiento:

- La muestra de agregado, debe ser cuarteada o separada, de manera que se obtengan diferentes tamaños del mismo y no solo un tipo de muestra.
- La muestra cuarteada debe ser tamizada por el N°4, lo que garantiza que no se contienen arenas, solo agregado grueso
- Para la obtención del peso seco en horno, se debe llevar el agregado al horno, para que seque completamente.
- Se debe pesar el material retirado del horno.
- La misma muestra seca al horno debe ser sumergida en agua por un periodo de 24 horas, este para determinar el peso del agregado saturado y superficialmente seco.

- Pasadas las 24 horas se debe secar cada partícula del agregado con un paño y se pesa.
- Utilizando la canasta de malla adecuada, se vierte el agregado en ella y se introducen en el tanque con agua.
- Con el material sumergido y despreciando el peso de la canastilla debe hallarse el peso del agregado.
- Para finalizar el agregado debe llevarse de nuevo al horno y cuando esté totalmente seco se procede a tomar el peso.

Resultados:

Tabla 2. Datos obtenidos

A: Masa al aire de la muestra seca al horno (g).			3920
B: Masa al aire de la muestra saturada y superficialmente seca (g).			4013.2
C: Masa aparente de la muestra saturada en agua (g).			2171

Fuente: Los autores

Tabla 3. Densidad específica de agregado grueso

Densidad específica de agregado grueso			
SECA AL HORNO			2.13
SATURADA Y SUPERFICIALMENTE SECA			2.18
RELATIVA APARENTE			2.24

Fuente: Los autores

Tabla 4. Densidad

Densidad.				
SECA AL HORNO			2123	Kg/m ³
SATURADA Y SUPERFICIALMENTE SECA			2173	Kg/m ³
RELATIVA APARENTE			2236	Kg/m ³

Fuente: Los autores

DENSIDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO:

La NTC 237 es la norma técnica colombiana que rige este ensayo de laboratorio, igualmente tener en cuenta la NTC 92 y la INV 222-07.

Lo mismo que pasa en la densidad específica del agregado grueso se busca pasar por los diferentes estados y determinar su densidad.

Equipo:

- Balanza, precisión de 0,1%.
- Picnómetro, definido según la NTC 237.
- Molde, forma de tronco cónico.
- Pisón, de masa 340g y diámetro 25mm.

Procedimiento:

- Se debe saturar el material durante 24 horas, una muestra considerable.
- Pasadas las 24 horas se seca el material con un paño o periódico hasta lograr el estado superficialmente seco.
- Con el agregado superficialmente seco se procede a utilizar el molde cónico.

- El agregado se introduce en el molde cónico hasta que rebose, se debe enrasar y con ayuda del pisón se aplican 25 golpes, que serán aplicados a una altura no mayor a 5mm sobre la superficie del agregado.
- Se debe retirar el molde cónico cuidadosamente y si este sufre una deformación hasta más o menos $1/3$ de la altura del molde, significa que se ha alcanzado la condición requerida, es decir que no se presenta humedad libre, si este estado no se cumple es necesario seguir secando, teniendo en cuenta que no pase de secado porque se daña la muestra.
- Se debe realizar el pesaje de los picnómetros vacíos a utilizar.
- Los picnómetros deben ser llenados parcialmente con agua y se realiza el pesaje nuevamente.
- El picnómetro debe ser llenado inicialmente con agua hasta una marca ubicada en el cuello del mismo (0ml-1ml), Se registra la temperatura del frasco y el contenido ($23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$).
- Se debe introducir 100g de agregado fino en el picnómetro, el cual es tapado y se coloca en posición inclinada girándolo suavemente, de manera que salgan burbujas que indican la eliminación del aire atrapado. Se termina este proceso hasta que no se presenten más burbujas. Se toma y registra la lectura final del frasco.
- Se toman los siguientes pesos: Peso seco de la probeta, peso de la probeta llena de agua, peso del agua + arena, peso de arena seca.

Resultados:**Tabla 5. Datos obtenidos**

Masa de la muestra seca al horno		100 g
Masa picnometro		95.61 g
Masa picnometro lleno de agua		344.19 g
Masa picnometro lleno de agua + arena		402.11 g
Peso arena seca		96.3 g

Fuente: Autores

Densidad especifica:

Tabla 6. Densidad especifica de la arena

Seca al horno	2.61
Superficialmente seca	2.51

Fuente: Los autores

Densidad

2599.0 Kg/m²**DOSIFICACION DE AGREGADOS PARA REALIZACION DE LA MEZCLA.**

El diseño de mezcla será realizado para una resistencia de 21 MPa, a continuación se muestra el procedimiento realizado para alcanzar la resistencia adecuada mediante el método de peso normal.

Selección de asentamiento:

Tabla 7. Selección de asentamiento

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO mm.	EJEMPLO DE TIPO DE CONSTRUCCIÓN	SISTEMA DE COLOCACIÓN	SISTEMA DE COMPACTACIÓN
MUY SECA	0,0 – 20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantalla de cimentación.	Con vibradores de formaleta, concretos de proyección neumática (lanzados).	Secciones sujetas a vibración externa, puede requerirse presión.
SECA	20-35	Pavimentos.	Pavimentos con máquina terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
SEMISECA	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple, losas poco reforzadas.	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
MEDIA (PLÁSTICA)	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones.	Colocación manual.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
HUMEDA	100-150	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo.	Secciones bastante reforzadas con vibración.
MUY HÚMEDA	150-200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos "in situ".	Tubo-embudo-tremie.	Secciones altamente reforzadas con vibración.
SUPER FLUIDA	más de 200	Elementos muy esbeltos.	Autonivelante, autocompactante.	Secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuados para vibrarse.

Fuente: ASOCRETOS

Tabla 8. Asentamiento

1. ASENTAMIENTO		
Consistencia	Media	5 a 10 cm
Trabajabilidad	Media	

Fuente: Autores

Tamaño máximo nominal:

El tamaño máximo nominal del agregado a utilizar es de 1/2"(12.7mm)

Tabla 9. Agua del mezclado

3. AGUA DEL MEZCLADO							
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

Fuente: Ing Julian Diaz Gutierrez

210 Kg/m³

RESISTENCIA f'_{cr} .

Se tomó 21 MPa como base, ya que dicha resistencia es una de las más utilizadas en la construcción.

Tabla 10. Resistencia f'_{cr}

4. RESISTENCIA f'_{cr} .	
Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$

Fuente: tabla C.53.2.2. – NSR 10

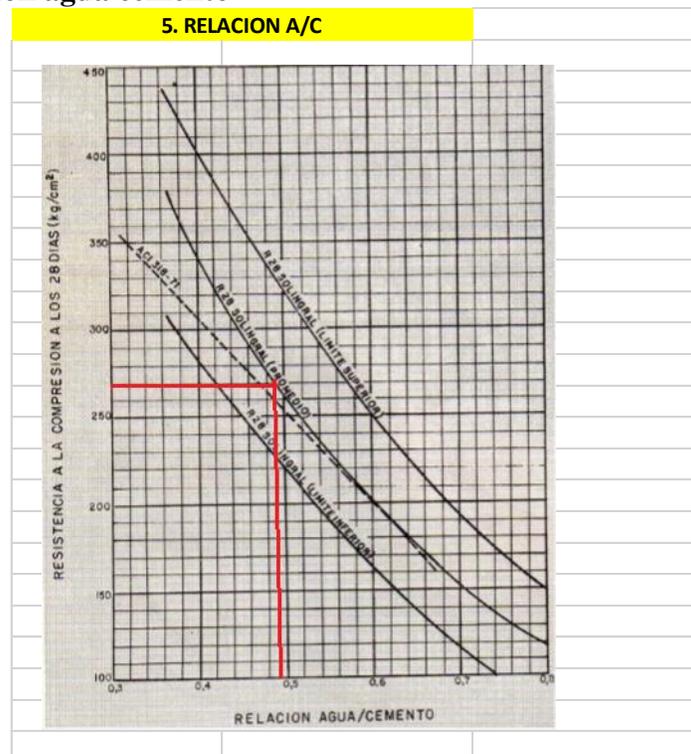
$$f'_{cr} = f'_c + 7.0$$

$$f'_{cr} = 20 + 7.0$$

$$f'_{cr} = 27$$

Relación Agua-Cemento:

Tabla 11. Relación agua cemento



Fuente: Ing. Carlos Arturo García (2010).

$$A/C = 0.49$$

Cantidad de cemento:

$$C = A / (A/C)$$

$$C = 210 / 0.49$$

$$C = 428.57 \text{ Kg/m}^3$$

C = contenido de cemento

A = Cantidad de agua

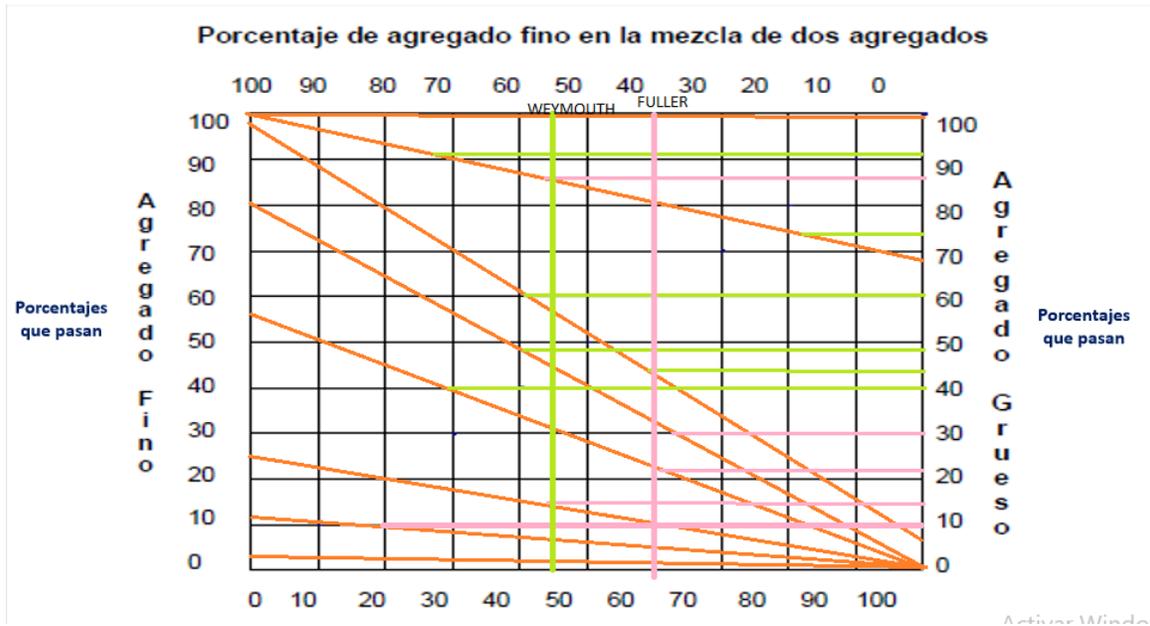
A/C = Relación de agua cemento.

ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS

Tabla 12. Especificaciones granulométricas

TAMIZ		FULLER	WEYMOUTH	BOLOMEY
"/#	mm	$P_i = 100 * (d_i/D)^{0,5}$	$P = 100 * (d/D)^n$	$P = f + (100-f) * (d/D)^{0,5}$
1/2"	12.7	100.00	100.00	100.00
3/8"	9.52	86.58	91.72	88.19
4	4.76	61.22	74.50	65.87
8	2.36	43.11	60.36	49.93
16	1.17	30.35	48.90	38.71
30	0.63	22.27	40.61	31.60
50	0.315	15.75	32.99	25.86
100	0.149	10.83	26.35	21.53
200	0.074	7.63	21.36	18.72

Fuente: Los autores



Gráfica 3. Porcentaje de agregado fino en la mezcla de dos agregados

Fuente: Los autores

Teniendo en cuenta la gráfica anterior, donde se observa los pasantes del material y los ideales se establecen los porcentajes de agregados definidos por la gráfica de Fuller:

- % de agregado fino: 40.
- % de agregado grueso: 60.

Contenido de agregados:

$$1\text{m}^3 = \text{Vol, Agregados} + \text{Vol, Agua} + \text{Vol, Cemento}$$

$$\text{Vol, Agregados} = 1\text{m}^3 - \left(\frac{\text{Cant Agua}}{\text{Densidad Agua}} \right) - \left(\frac{\text{Cant Cemento}}{\text{Densidad Cemento}} \right)$$

$$\text{Vol, Agregados} = 1\text{m}^3 - \left(\frac{210 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} \right) - \left(\frac{428.57 \text{ kg/m}^3}{3000 \text{ kg/m}^3} \right)$$

$$\text{Vol, Agregados} = 0,65 \text{ m}^3$$

Gravedad promedio:

$$,Prom: \frac{100\%}{\frac{\%Gruesos}{P, Especifico Aparente} - \frac{\%Finos}{P, Especifico Aparente}}$$

$$G, Prom: \frac{100\%}{\frac{60}{2123.37 \frac{kg}{m^3}} - \frac{40}{2599.13kg \frac{kg}{m^3}}} = 2291 \text{ kg/m}^3$$

Cantidad de agregados:

$$Cantidad \text{ de gregados} = G_{promedio} * Vol, Agregado$$

$$Cantidad \text{ de gregados} = 2291 \frac{kg}{m^3} * 0,65m^3 = 1482 \text{ kg}$$

Cantidad de agregado grueso:

$$A, Grueso = \%grava * Cant, Agregado$$

$$A, Grueso = 60\% * 1482kg = 889.7 \text{ kg}$$

Cantidad de agregado fino:

$$A, Fino = \%Fino * Cant, Agregado$$

$$A, Fino = 40\% * 1482kg = 593.1 \text{ kg}$$

PROPORCIONES:

A continuación se determina que cantidad de cada material será utilizado para la resistencia necesitada.

Tabla 13. Proporciones

8- PROPORCIONES				
MATERIAL	PESO(Kg)	DENSIDAD(Kg/m3)	VOLUMEN(m3)	PROPORCION
Agua	210	1000	0.21	0.49
Aire	0	0	0	0
Cemento	428.571	3000	0.143	1
Ag. Grueso	889.6100108	2123.37	0.419	2.08
Ag. Fino	593.0733406	2599.13	0.228	1.38
		Volumen Total	1	

Fuente: Los autores

Proporción: 1:1.4:2

8.3.1. PROPORCIONES POR CILINDRO.

Tabla 14. Dimensiones cilindro estándar.

CILINDRO	
Diámetro (m)	0,15
Altura (m)	0,3
Volumen (m3)	0,0053

Fuente: Los Autores.

Peso de la probeta:

Tabla 15. Peso del concreto por m3

MATERIAL	PESO(Kg)
Agua	210
Aire	0
Cemento	428.571
Ag. Grueso	889.6100108
Ag. Fino	593.0733406
Peso concreto por m3	2121.25478

Fuente: Los autores

$2121.25 \times 0.0053 =$ Peso de la probeta

11.2 = Peso de la probeta.

Cantidad de caucho:

La cantidad de caucho se determina mediante la multiplicación entre el peso de la probeta y el porcentaje a utilizar.

Tabla 16. Cantidad de caucho

CANTIDAD DE CAUCHO		
% Caucho en cilindro	Cantidad de caucho(kg)	Caucho por ensayo(kg)
0%	0.0	0.0
3%	0.3374	1.0
5%	0.562	1.7
7%	0.7872	2.4
10%	1.1246	3.4
		8.4 Kg

Fuente: Los autores

Tabla 17. Cantidad de agregado

CANTIDAD DE AGREGADOS POR PROBETA (Kg)	Total 15 probetas	
CEMENTO	2.3	34.08
FINOS	3.1	47.16
GRUESO	4.7	70.74
Agua	1.1	16.70

Fuente: Los autores

8.4. REALIZACION DE LAS MUESTRAS

Se realizan 15 muestras en probetas de 15 cm de diámetro por 30 cm de alto, una relación 2 a 1 cumpliendo la norma NTC, a continuación se describen los materiales y herramientas utilizadas para la elaboración de las muestras.

- Agregado Fino (Arena de río limpia de Agregados el Cairo)
- Agregado Grueso (triturado de ½ de río limpio de Agregado el Cairo)
- Agua potable
- Cemento Argos Tipo 1
- Caucho triturado (con un tamaño máximo nominal de 3/4")
- ACPM

- Concretadora
- Balanza
- Cucharon metálico
- Varilla de penetración
- Taras
- Carretilla
- Martillo de goma

Ya teniendo los pesos mediante el diseño y la cantidad de caucho que se necesita se proceden a tomar los pesos necesarios para la realización de cada muestra.

Mediante una regla de tres sencilla sacamos las cantidades necesarias para cada mezcla, teniendo en cuenta como punto de comparación el 0% de agregado de caucho.

Primero se realiza la muestra de 0 % seguido del 3%,5%,7% y 10% de caucho como agregado.



Figura 9. Preparación de los materiales

Fuente: propia

Se realizan los pesajes de los materiales.



Figura 10. Peso del caucho

Fuente: propia

Así con todos los materiales (Grava, cemento, arena, agua y caucho)



Figura 11. Materiales dosificados.

Fuente: Propia

Primero se mezclan los agregados fino y grueso, luego se adiciona el cemento, después el caucho (pudiendo ser ripio o triturado), y por último el agua, todo en la concretadora.



Figura 12. Mezclado en concretadora

Fuente: Propia

Luego se agrega la mezcla a los moldes o probetas según lo especifica la Norma NTC 454, en donde indica que se debe adicional 3 capas de concreto, hasta llenar la probeta, dando 25 golpes por cada capa con una varilla lisa de 5/8", de punta redonda, para así mermar los vacíos que se ocasionan dentro de la muestra. Luego se dan unos golpes por el exterior del molde con un martillo de goma para una buena distribución del concreto y que no queden vacíos ni aire acumulado.



Figura 13. Toma de muestras

Fuente: Propia.

Luego de tomadas las muestras deben de dejarse durante el fraguado mínimo 24 horas para retirarse del molde e inmediatamente meterlos en un tanque con agua que los cubra completamente para un curado adecuado.

Después del curado, antes de ensayar el cilindro en la máquina de compresión se debe registrar su peso y posterior a eso aplicarle la fuerza y registrar su resistencia.

Los ensayos de los 7 y 14 días se realizaron con la máquina de compresión de la universidad libre, mientras que por un daño mecánico de la misma los ensayos realizados para los 28 días fueron realizados en el laboratorio del Ing Alvaro Millan.



Figura 14. Peso de cilindro

Fuente: Autores.



Figura 15. Ensayo a la compresión

Fuente: Propia.

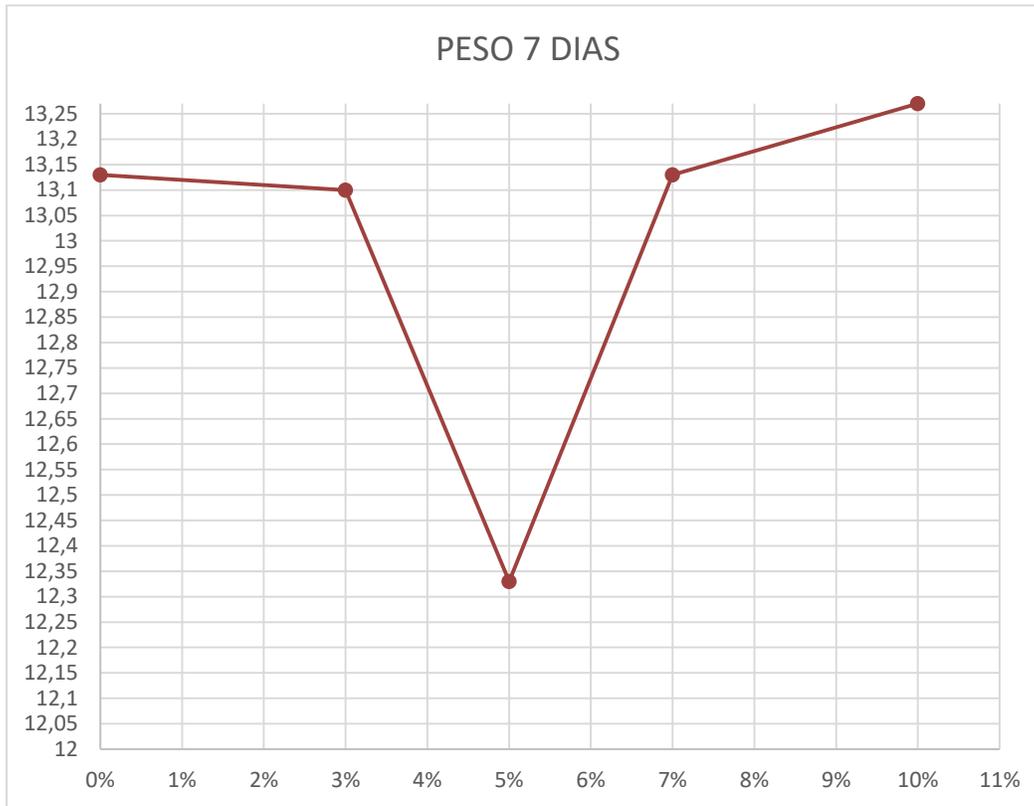
9. RESULTADOS

Se tomaron los datos de los pesos antes de cada ensayo teniendo como punto de comparación las muestras de 0 %.

Tabla 18. Peso de cilindros a los 7 días

% DE CAUCHO	PESOS DE CILINDROS (7 DIAS)
0%	13.13
3%	13.1
5%	12.33
7%	13.13
10%	13.27

Fuente: Los autores



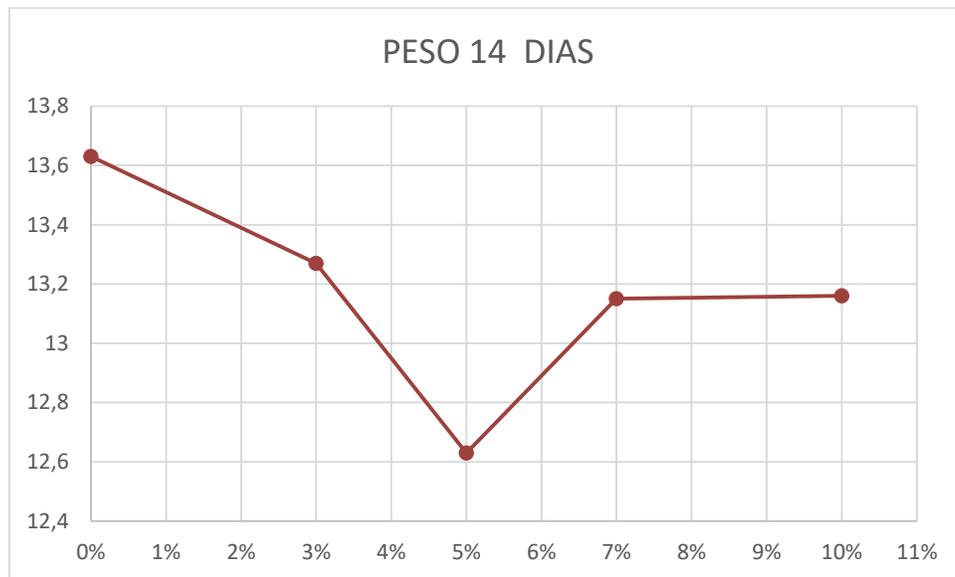
Grafica 4. Peso a los 7 días

Fuente: propia

Tabla 19. Peso de cilindros a los 14 días

% DE CAUCHO	PESOS DE CILINDROS (14 DIAS)
0%	13.63
3%	13.27
5%	12.63
7%	13.15
10%	13.16

Fuente: Los autores



Grafica 5. Peso a los 14 días

Fuente: Propia

Tabla 20. Peso de los cilindros a los 28 días

% DE CAUCHO	PESOS DE CILINDROS (28 DIAS)
0%	13.6
3%	13.24
5%	12.74
7%	13.13
10%	13.27

Fuente: Los autores



Grafica 6. Peso a los 28 días

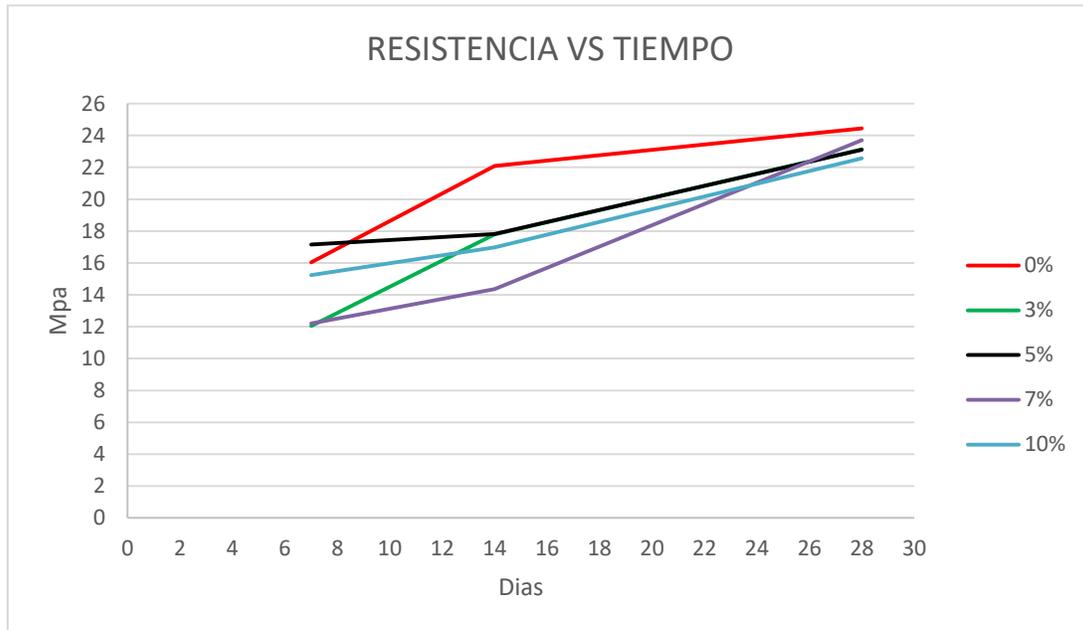
Fuente: Propia

En cuanto a las resistencias de cada muestra los resultados fueron:

Tabla 21. Resistencia a la compresión

	RESISTENCIA (Mpa)		
	EDAD		
	7	14	28
%			
0%	16.03	22.09	24.45
3%	12.04	17.8	23.12
5%	17.16	17.81	23.1
7%	12.2	14.36	23.7
10%	15.24	16.97	22.56

Fuente: Los autores



Grafica 7. Resistencia vs tiempo

Fuente: Propia

10. CONCLUSIONES

- Como se puede observar en las gráficas, el peso de los cilindros con relación al 0 % de agregado de caucho es inferior en diferentes proporciones, logrando uno de los principales objetivos a evaluar en el presente trabajo.
- En las tablas (18, 19,20) se observa claramente como los pesos para un 5% de agregado de caucho disminuye significativamente el peso. La reducción a los 7 días de curado es de un 6.1%, a los 14 días del curado igualmente la reducción más clara es la del 5% de agregado de caucho con un 7.4% más liviano, en sus 28 días se redujo un 6.32% el peso con respecto al cilindro base sin agregado de caucho.
- Los cilindros bases (0% de agregado de caucho) pesaron 13.13 Kg, 13.63 Kg y 13.6 Kg. Mientras que los cilindros con 5 % de agregado de caucho pesaron 12.33 Kg, 12.63 Kg, y 12,74 Kg. Los pesos fueron tomados a los 7, 14 y 28 días de curado. Teniendo un resultado positivo en la mayoría de los porcentajes de agregado de caucho pero siendo 5 % el mejor en cuanto a reducción de peso, con un promedio del 6.6% de peso reducido.
- Con respecto a la resistencia a la compresión no se vio disminución alguna en base al cilindro base (0%) todos superaron la resistencia esperada de 21 MPa, siendo un resultado muy positivo para la investigación ya que es el factor más importante dentro del diseño del concreto.
- En la tabla (Tabla 21) se puede observar como el cilindro con 5% alcanza una resistencia de 23.1 MPa notándose que no afecto en la resistencia el hecho de

haber mezclado el caucho triturado, se menciona el valor de 5 % ya que fue el que mejor resultado dio en cuanto a la reducción de peso.

11. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar más probetas de ensayo para futuras investigaciones , de tal manera que permitan obtener gran variedad de datos y estos puedan ser aplicados en una desviación estándar y así obtener unos datos con mayor precisión y calidad
- Se recomienda la implementación de aditivos para la mezcla de concreto con agregado de caucho y así conocer si la mezcla reaccionara de forma positiva o negativa por la adición de estos aditivos que son utilizados en todas las construcciones civiles
- Para futuras investigaciones , lo mejor es continuar con este método establecido de adicionar el caucho en diferentes porcentajes sin retirar ninguna cantidad de los agregados y así no alterar la resistencia calculada según el diseño de mezcla , además incluir diferentes tipos de tamaños nominales del caucho a la mezcla de concreto
- Se sugiere continuar con los mismos porcentajes de caucho en la mezcla , ya que estos según los ensayos realizados muestran unos resultados positivos en resistencia y reducción de peso en las probetas , que es lo que se buscaban en la investigación
- Se recomienda realizar laboratorios al caucho que se utilizara en la mezcla de concreto para conocer su peso específico y diferentes características de este , de tal manera que los valores sean más precisos y proporcionen mayor seguridad al momento de ensayar las probetas

12. LISTA DE REFERENCIAS

Castro .G, (2008).Materiales y compuestos para la industria del neumático .Departamento de ingeniería mecánica F.I.U.B.A.

Castro .G, (2007). Reutilización, reciclado y disposición final de neumáticos. Departamento de ingeniería mecánica F.I.U.B.A.

Durán, M. A. (2015). Llantas, de enemigo a aliado ambiental. *EL ESPECTADOR*.

Gil. S, (s.f) Introducción a la Teoría de la Elasticidad – Fisica 1-UNSAM
https://www.fisicarecreativa.com/papers_sg/papers_sgil/Docencia/elasticidad1.pdf

Osorio. Jesús D, (2013). Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión. Resistencia a la compresión del concreto.
Recuperado<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/buenas-practicas/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion>

Osorio. J.D, (2011). ¿Qué es el módulo de elasticidad en el concreto?
<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/category/concreto/elasticidad-del-concreto>

Peláez. G., Velásquez, S., Giraldo, D, (2017). Aplicaciones de caucho reciclado: una revisión de la literatura, Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol.27, Num2, Universidad Militar Nueva Granada.
<https://www.redalyc.org/jatsRepo/911/91150559002/html/index.html>

Silva. O.J, (2015). Tipos de agregados y su influencia en el diseño de mezcla del concreto.<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto>

- Silvestre. A, (2016a). Análisis del concreto con caucho como aditivo para aligerar elementos estructurales
- Silvestre. A, (2016b).Evaluación de la resistencia del concreto hidráulico con diferentes aditivos
- Silvestre. A, (2015).Análisis del concreto con poliestireno expandido como aditivo para aligerar elementos estructurales
- Rivera. G.A, (s.f.) Tecnología del concreto y mortero, Cap. 11, Aditivos para morteros o concreto <https://civilgeeks.com/2013/08/28/libro-de-tecnologia-del-concreto-y-mortero-ing-gerardo-a-rivera-l>
- Zorilla. J. C,(2018) Tras 19 años del terremoto, Armenia no tiene microzonificación sísmica. Colombia: *El tiempo*