



**Evaluación de las Propiedades Físico-Mecánicas de Morteros con la
Adición de Caucho Molido**

Deisy Carolina Valderrama Buitrago

Código 10481817199

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2022

2

Evaluación de las Propiedades Físico-Mecánicas de Morteros con la

Adición de Caucho Molido

Deisy Carolina Valderrama Buitrago

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título

de: **Ingeniero Civil**

Director (a):

Ph.D: Edison Osorio Bustamante

Codirector (a):

M.Sc. I.C. Harol Leon Zambrano Urbano

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2022

3

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado _____, Cumple
con los requisitos para
optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

4

Tabla de contenido

Agradecimientos.....	10
Resumen	11
Abstract.....	1
2	
Introducción.....	1
3 1. Objetivo.....	15
1.1 Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos.....	15
Conceptual.....	16
2. Marco	2.1

Componente Técnico	17	2.1.1
Mortero.....	17	2.2
Componente ambiental	28	2.2.1
Llantas Usadas en Bogotá	28	2.2.2
Impactos Ambientales	33	2.3 Economía
Circular.....	33	2.4 Normativa
.....	34	3. Estado del
Arte.....	36	4.
Metodología.....	42	4.1
Ejecución de ensayos de laboratorios a materiales.....	42	4.1.1
Cemento.....	43	4.1.2
Arena.....	45	4.1.3 Caucho
Molido.	48	4.2 Determinación de
Diseño	49	4.2.1 Determinación de la
Fluidez.	50	4.2.2 Elaboración de las muestras
de Mortero.....	51	4.3 Ejecución de Ensayos Considerados no
Destructivos.....	52	4.3.1 Ensayo índice de rebote con esclerómetro
.....	53	4.3.2 Ensayo espectral de ondas (Velocidad de onda)
.....	54	4.4 Ensayo de resistencia a la compresión
.....	54	5. Resultados y
Discusión.....	55	5.1
Materiales.....	55	5.2
Comportamiento Físico.....	57	
Conclusiones.....	65	
		5
Recomendaciones.....	6	
6		
Referencias.....	6	
7		
		6

Lista de Figuras

Figura 1	16
-----------------------	----

Figura 2	20
Figura 3	27
Figura 4	27
Figura 5	28
Figura 6	29
Figura 7	30
Figura 8	31
Figura 9	32
Figura 10	36
Figura 11	37
Figura 12	37
Figura 13	42
Figura 14	44
Figura 15	44
Figura 16	45
Figura 17	46
Figura 18	47
Figura 19	48
Figura 20	50
Figura 21	50
Figura 22	51
	7
Figura 23	52
Figura 24	52
Figura 25	53
Figura 26	54

Figura 27	54
Figura 28	56
Figura 29	57
Figura 31	58
Figura 32	59
Figura 33	60
Figura 34	61
Figura 35	61
Figura 36	62
Figura 37	63
Figura 38	64
Figura 39	64

8

Lista de tablas

Tabla 1	17
Tabla 2	19
Tabla 3	19
Tabla 4	20
Tabla 5	21
Tabla 6	21
Tabla 7	22
Tabla 8	23
Tabla 9	24
Tabla 10	25

Tabla 11	26
Tabla 12	30
Tabla 13	34
Tabla 14	36
Tabla 15	43
Tabla 16	45
Tabla 17	46
Tabla 18	49
Tabla 19	53
Tabla 20	55
Tabla 21	56
	9
Tabla 22	57
Tabla 23	58
Tabla 24	62
	10

Agradecimientos

Agradezco a Dios en primera instancia por permitirme culminar este proceso en mis estudios de pregrado, a mi hija, mis padres y mis hermanos por la colaboración y el constante apoyo durante todo el proceso a pesar de las adversidades, a mis asesor Ing. Edison Osorio, por su constante apoyo e interés que presento durante la investigación. A la Universidad la Gran Colombia por permitir realizar los ensayos en sus laboratorios.

Resumen

Dentro de los objetivos de desarrollo sostenible se establece acciones por el medio ambiente(Naciones Unidas, 2022) , esto dado la problemática que vive el mundo en la actualidad, de la que la industria de la construcción es una de las más contaminantes, toda vez que genera grandes cantidades de consumo de agua y aporta a los gases efecto invernadero.

Por otro lado, dentro del sector automotriz el consumo indiscriminado de llantas de caucho ha generado grandes zonas de botadero, siendo esto un problema a nivel mundial, este documento establece una forma de poder utilizar el caucho como sustituto del agregado fino, toda vez que es uno de los materiales que se está acabando en la actualidad; es pertinente mencionar que en la actualidad se utiliza para el mejoramiento de la capa asfáltica.

A su vez, en mezclas de concreto y mortero se estudia el mejoramiento de sus propiedades y así optimizar sus usos. Teniendo en cuenta esto se realizaron diferentes pruebas de laboratorios sustituyendo caucho molido por arena, en porcentajes del 2%, 4%, 6%, 8% y 10% donde se evalúa las propiedades físicas con estas adiciones. Los resultados dieron como resultado óptimo el 2% y para el ensayo espectral en ondas la muestra que tuvo un mejor comportamiento fue con el 10% de caucho molido. Sin embargo, se recomienda más estudios con sustituciones entre el 0% y 10%, con condiciones de temperatura controlada y con procesos de curado y sin curado.

12

Abstract

Within the objectives of sustainable development, actions for the environment are established (Naciones Unidas, 2022), this given the problems that the world is currently experiencing, of which the construction industry is one of the most polluting, since generates large amounts of water consumption and contributes to greenhouse gases.

On the other hand, within the automotive sector, the indiscriminate consumption of

rubber tires has generated large areas of dump, this being a problem worldwide, this document establishes a way to use rubber as a substitute for fine aggregate, since it is one of the materials that is currently running out; It is pertinent to mention that it is currently used for the improvement of the asphalt layer.

In turn, in concrete and mortar mixtures, the improvement of their properties is studied and thus their uses are optimized. Taking this into account, different laboratory tests were carried out substituting ground rubber for sand, in percentages of 2%, 4%, 6%, 8% and 10% where the physical properties with these additions are evaluated. The results obtained in compressive strength tests gave the optimum result of 2% and for the wave spectral test the sample that had the best behavior was with 10% of ground rubber. However, further studies with substitutions between 0% and 10%, with controlled temperature conditions and with curing and non-curing processes are recommended.

13

Introducción

La evolución del consumo a nivel mundial ha hecho que las industrias produzcan en grandes masas materiales y elementos de un solo uso como por ejemplo el presentado por la industria automotriz con el consumo de llantas donde se estima que alrededor de 17 mil millones de llantas se desellan cada año, por eso la necesidad de alternativas de usos para la reutilización ya que las llantas contienen grandes cantidades de materias primas como lo son el acero, los textiles y caucho. (Cjscanecas, 2021). Esto conlleva a un uso excesivo de materias primas y una acumulación de desechos que alteran las condiciones ambientales del planeta.

Una de las industrias que más utiliza materiales es la de la construcción, está tratando de solucionar el impacto de desechos, principalmente reutilizando materiales de otras industrias.

Una de las formas de solucionar el uso de los materiales de un único uso es proponiendo alternativas de mejoramiento de materiales comunes como el mortero en la construcción, a los

cuales se le puede generar una adaptación. De modo que al sustituir este material triturado por agregado proporcione un mejoramiento en las propiedades del mortero. (Construmatica, 2018). Esto es de gran importancia en la ingeniería ya que disminuye el impacto ambiental al utilizar un material desechado y funciona como un elemento no estructural como por ejemplo barreras de sonido, disminución de la masa por unidad de área, como aislante térmico entre otras. Es necesario la implementación de materiales en donde se presente una variación en las propiedades del mortero adicionando caucho molido de llantas desechadas con el propósito de mejorar las características del este material.

A través de la reutilización de materiales de único usos, precisamente neumáticos y pruebas de laboratorio, este trabajo se espera obtener una variación en las propiedades Físico Mecánicas del mortero con la sustitución de este material por agregado. Para esto se elaboran

14

ensayos de laboratorio a una muestra de referencia y 5 muestras con sustituciones de caucho en porcentajes del 2%, 4%, 6%, 8%, y 10%. Se realizaron ensayos a compresión en edades de 7, 14 y 28 días, se obtienen valores para determinar el mejoramiento del material. Adicional se realizaron ensayo de velocidad de onda, donde se determina que a mayor cantidad de caucho presenta un mejoramiento. Esto da como resultado que el porcentaje óptimo para resistencia a la compresión es del 2% de sustitución el agregado fino y un mejor comportamiento de deformación y velocidad de onda en porcentajes del 10%.

Para cumplir el objetivo este trabajo se divide en las siguientes partes:

Capítulo 1: Marco Conceptual, donde se colocarán los conceptos relacionados con resistencia y reutilización de neumáticos.

Capítulo 2: Estado del arte, donde se ve el alcance investigativo y avance en la utilización de materiales de un solo uso.

Capítulo 3: Metodología, donde se describe los equipos y ensayos necesarios para el alcance del objetivo.

Capítulo 4: Análisis de resultados y las conclusiones.

15

1. Objetivo

1.1 Objetivo General

Determinar de manera experimental, la variación de los comportamientos mecánicos del mortero, adicionando caucho molido en reemplazo del agregado fino en diferentes proporciones.

1.2 Objetivos Específicos

- Elaborar un estado de conocimiento de la adición de cauchos en los morteros. ·

Evaluar las propiedades mecánicas del mortero modificado en cinco dosificaciones.

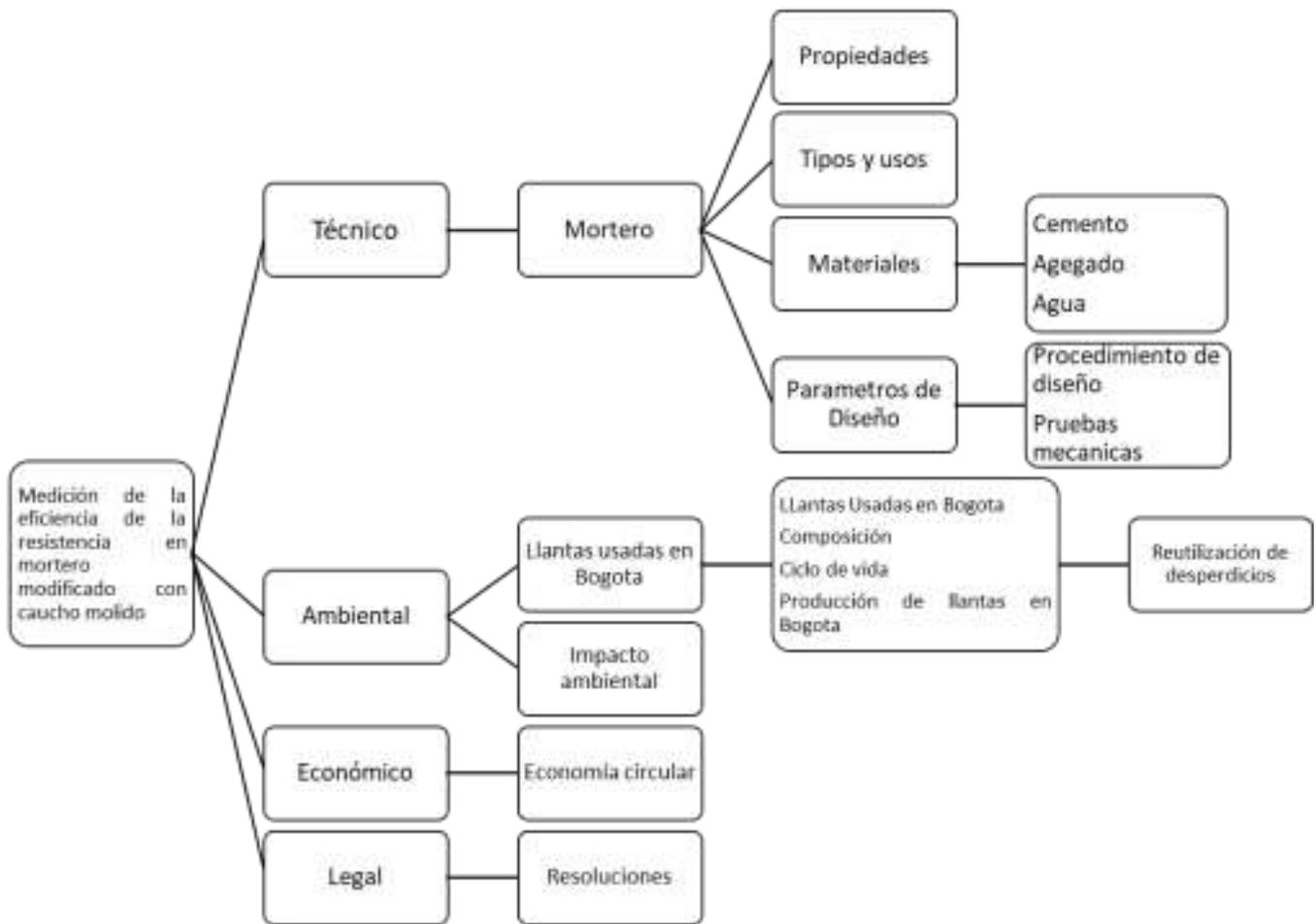
16

2. Marco Conceptual

A continuación, en la Figura 1 se exponen los conceptos involucrados en el desarrollo de este trabajo.

Figura 1

Mapa Mental de los Conceptos Alrededor de la Adición del Grano de Caucho en los Morteros



Nota: En el mapa mental se representa los componentes alrededor de la ejecución de los morteros, el componente ambiental alrededor del uso de las llantas y su reutilización, la legislación que rige los componentes ambientales.

2.1 Componente Técnico

2.1.1 Mortero

El mortero es un conjunto de materiales donde uno de ellos es el cemento Portland, el cual funciona como un material para proporcionar adherencia con la arena y agua, eventualmente se utilizan aditivos. Con la mezcla de estos materiales se obtienen propiedades mecánicas, físicas y químicas, (Osorio, 2020). Las características de las propiedades del mortero se presentan el

estado fresco y en estado endurecido como se observa en la *Tabla 1*.

Tabla 1

Propiedades del mortero

Propiedades del mortero

Estado Fresco Estado endurecido

<p>Consistencia Depende de la viscosidad, presenta tres tipos de consistencia: consistencia normal, consistencia seca y consistencia fluida.</p>	<p>de adherencia y durabilidad. Hay variables que afectan esta propiedad como el contenido de aire, cohesividad, tiempo de fraguado, por tal razón se requiere la realización de ensayos, para obtener un aproximado de los resultados de obra (Osorio, 2020).</p>
<p>Adherencia Es de las propiedades más importantes del mortero, tiene tres fases: resistencia, grado</p>	<p>observar la capacidad de soportar esfuerzos que tiene el mortero (Osorio, 2020). composición, así como el contenido de aire (Construmatica, 2018).</p>
<p>Tiempos de fraguado Depende del tipo de conglomerante comienza con una consistencia muy fluida y termina en un estado de rigidez. (Universidad de</p>	<p>Alcalá, n.d.) Resistencia a la compresión Es la medida para</p>
<p>Retracción Depende de la cantidad de agua de amasado, el tamaño de los productos y las Durabilidad Es la habilidad que tiene el material, para mantener un desempeño</p>	<p>adecuado durante su vida útil, teniendo en cuenta la exposición al ambiente. (Lopera Agudelo, 2020).</p>
<p>condiciones de curado (Universidad de Alcalá, n.d.).</p>	<p>Porosidad Es uno de los factores principales que influyen en la resistencia y durabilidad del concreto, entre más poroso menor resistencia por la cantidad de vacíos y mayor vulnerabilidad ante el medio ambiente (Solís Cacaño & Moreno, 2006).</p>
<p>Densidad La densidad del mortero está directamente relacionada con los materiales de su</p>	

Tipos y usos del mortero. El mortero tiene dos clasificaciones: los aéreos y los hidráulicos. Los primeros por proceso de carbonización endurecen por perder agua por secado al

aire y presentan un fraguado lento y los hidráulico endurecen en el agua. (Sánchez de Guzmán, 2001)

Usos del mortero. Los morteros se clasifican dependiendo del uso en dos tipos, mortero de pega y mortero de relleno.

El mortero de pega es utilizado para mampostería en construcción y debe cumplir los parámetros de la a norma NTC 3329. Los morteros de pega deben tener una buena plasticidad, consistencia y retener el agua mínima para la hidratación del cemento y adherencia con las unidades de mampostería para desarrollar la acción cementante. (AIS, 2010)

Según la Norma NSR-10 Titulo D, los morteros presentan la siguiente clasificación en H, M, S, y N, como se muestra en la Tabla 2. Estos de acuerdo con los componentes y a la resistencia a la compresión medida a los 28 días, debe cumplir una condición mínima de flujo y retención del 75% de agua.(AIS, 2010)

19

Tabla 2

Clasificación del Mortero de Pega Por Propiedad o por Proporción

Especificaciones de los Morteros

Tipo mortero	Compresión f_c MPa	Retención Mínima de Flujo (%)	por Propiedad			Especificaciones de los Morteros por Proporción		
			Agua	Cal hidratada	Cemento Portland	Cemento para Mampostería	Arena	Min Max

H 22.5 115-125 75% 1 0.25 No aplica 2.00 2.5 **M** 17.5 115-125 75% 1 0.25 No aplica 2.25 3.0
1 No aplica 1 2.25 2.5

S 12.5 110-120 75% 1 0.25 a 0.5 No aplica 2.5 3.5 0.5 No aplica 1 2.5 3.0

N 7.5 105-115 75% 1 0.5 a 1.25 No aplica 3.0 4.5 0 No aplica 1 3.0 4.0

Nota. Fue tomada de la NSR 2010 Titulo D <https://cutt.ly/hHknWUN>

Los morteros de relleno son utilizados en mampostería de construcción deben cumplir la norma NTC 4048. Se consideran de consistencia alta y un alto % de fluidez para traspasar las celdas de inyección sin segregación. Se deben tener en cuenta las pruebas de laboratorio para la dosificación de la mezcla. Se clasifica en fino y grueso como se muestra en Tabla 3, y su resistencia de mide a los 28 días.(Mateus Ramírez & Gelves Peña, 2020)

Tabla 3

Clasificación y Dosificación por Volumen de los Morteros de Relleno

Tipo de Mortero	Cemento	Agregados/Cemento				
		Fino		Grueso		
		Portland	Min.	Max.	Min.	Max.
	Fino	1	2.25	3.5	-	-
	Grueso	1	2.25	3.0	1.0	2.0

Nota. Fue tomada de la NSR 2010 Titulo D <https://cutt.ly/hHknWUN>

Materiales. Los materiales utilizados para la mezcla de mortero se encuentran relacionando en la **Figura 2**.

Figura 2

Materiales para la mezcla de mortero



Relación de ensayos a materiales. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y

Tabla 5 se presenta la relación de ensayos para caracterización del cemento y agregado fino y conociendo sus características, utilizar los materiales para la mezcla de mortero.

Tabla 4

Caracterización del Cemento

	Ensayo Norma
Ensayo para determinar la finura del cemento en el Aparato Blaine.	NTC 33
Densidad del cemento hidráulico	NTC 221
Ensayo de tiempos de fraguado inicial y final	NTC 118
Mezcla mecánica para pruebas de consistencia normal y mezclas de mortero	NTC 112

Ensayo consistencia normal de la pasta NTC 110

Nota. Ensayos realizados en los laboratorios de la Universidad La Gran Colombia.

21

Tabla 5

Caracterización del Agregado Fino

<u>Ensayo Norma</u>	
Ensayo de humedad natural	I.N.V.-E 122-13
Granulometría para agregado grueso y fino	NTC 77
Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua	unitaria y NTC 237

los vacíos entre partículas y agregados NTC 92

Diseño de mezcla. En la **Tabla 6**, se presenta la comparación de diseños tomada de (Sánchez de Guzmán, 2001) por volumen y peso, donde se demuestra que el diseño por peso es más conveniente para una dosificación más precisa.

2. Determinar de la relación agua-cemento
3. Selección de la consistencia: Seleccionar la consistencia de acuerdo con los valores de la

Tabla 8

Tabla 8

Diferentes consistencias del mortero

Consistencia % de Flujo

Seca 90%

Plástica 110%

Fluida 130%

Nota. información reproducida del libro “Tecnología del concreto y el mortero”. Ingeniero Diego Guzmán.

4. Determinar factores que influyan en el contenido de agua
5. Determinar las proporciones
6. Calcular el contenido de cemento ver Ecuación 1

Ecuación 1

Cantidad de cemento

$$\begin{array}{r}
 \text{??} = 1000 \\
 1 \\
 \text{????} + \text{??} \\
 + \\
 \text{????} \text{??}
 \end{array}$$

$$\text{??} = \text{????} \left(\frac{\text{??}}{\text{??}} \right) - \frac{\text{????} (\text{??})}{\text{??}}$$

Nota. información reproducida del libro “Tecnología del concreto y el mortero”. Ingeniero Diego Guzmán

K= Relación agua cemento

7. Calcular contenido de agua ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Ecuación 2

Contenido de agua

$$w = \left(\frac{w_a}{w_c} \right) \cdot w_c$$

24

Nota. información reproducida del libro “Tecnología del concreto y el mortero”. Ingeniero Diego Guzmán

8. Determinar cantidad de arena ver Ecuación 3

Ecuación 3

Contenido de arena

$$A = \frac{W}{W_c}$$

Nota. información reproducida del libro “Tecnología del concreto y el mortero”. Ingeniero Diego Guzmán.

9. Ajustes por humedad

10. Ajustes a las mezclas de prueba

El factor b es una variable que relaciona el módulo de finura y la consistencia requerida. En la

Tabla 9 se relacionan los valores para determinar la variable b.

Tabla 9

Valores de b para Distintas Consistencias y Módulos de Finura

Consistencia	Módulo de finura	Arena de granos <u>redondos y rugosa</u> 0.3215							
		y lisos 0.3293							
Seca (90%)	1.7	Arena de granos <u>angulares</u>							
				0.3110	0.2772	0.2494	0.3238		
		0.2394	0.3242	0.2947	0.2879				
Plástica (110%)	Fluida (130%)	0.3033	0.2734	0.2477	0.3216				
	2.2	2.7	3.2	1.7	2.2	0.2368	0.3172	0.3003	0.2949
	2.7	3.2	1.7	2.2	2.7	0.2927	0.2687	<u>0.2629</u>	
	<u>3.2</u>			<u>0.2340</u>					
				0.3028	0.2930				

25

Nota. información reproducida del libro “Tecnología del concreto y el mortero”.

Ingeniero Diego Guzmán.

Muestras de mortero para pruebas mecánicas. Los materiales se deben mezclar a un mismo tiempo para obtener 6 o 9 cubos, en la **Tabla 10** se relacionan las cantidades de muestra para realizar 6 o 9 cubos.

Tabla 10

Cantidad Requerida de Materiales para 6 o 9 Cubos

	Material 6 cubos	9 cubos
	Cemento gr	500 740
	Arena gr	1375 2035
	Agua ml	
-Portland (0.485)	incorporado	359 340
	242 230	
-Portland con aire		

Nota. Para la ejecución de este proyecto se tomaron los valores de 6 cubos. Reproducido de (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 1997).

Pruebas mecánicas. La fluidez del mortero se clasifica en tres tipos dura, media y fluida. Cada una es utilizada para diferentes estructuras como se muestra en la Tabla 11.

26

Tabla 11

Consistencia del Mortero por Porcentaje de Fluidez

(Mesa de flujoConsistencia Tipo de estructuraCondiciones de
% Fluidez

80-100 Dura (Seca)	túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos. colocación	secciones sujetas a vibración Sistema de colocación	Proyección neumática, con vibradores de formaleta
Reparaciones, recubrimiento de			
100-120 Media (Plástica)	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos Rellenos de mampostería		palas y palustres Manual,
120-150 Fluida		Sin vibración morteros autonivelantes	Manual con para pisos inyección. Sin vibración bombeo,
(húmeda) estructural			

Nota. Reproducida de (Rivera, 2006)

Resistencia a la compresión. Los cubos se deben desmoldar uno a uno pasadas 24 horas desde la fundición, se sumergen en agua a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta el día del ensayo.

En el momento de la falla de debe secar y limpiar la superficie de los cubos para el contacto con la máquina de ensayo Figura 3, la cara de falla se debe comprobar con una regla que sea completamente plana de lo contrario la muestra se debe desechar (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 1997).

Figura 3

Prensa Multifuncional Humboldt

Ensayo espectral de ondas (velocidad de ondas). Determina la uniformidad del concreto, la detección de grietas y la existencia de vacíos. (Asocreto, 2019).

Figura 4

Equipo de Ultrasonido



Ensayo índice de rebote (Esclerómetro Schmidt). El ensayo ofrece una estimación de la resistencia a la compresión. Esta es una prueba no destructiva (Universidad de Alcalá, 2009).

28

Figura 5

Esclerómetro Schmidt



2.2 Componente ambiental

2.2.1 Llantas Usadas en Bogotá

Se estima que en Colombia cada año se desechan alrededor 5'300.000 millones de llantas usadas que equivalen a unas 100.000 toneladas (Gómez E, 2006), de las cuales 2,5 millones de

llantas se generan en Bogotá, de estas el 30 por ciento (750 mil) terminan en las calles, avenidas, otras son quemadas a cielo abierto. El decreto 442 de 2015(secretaria Distrital, n.d.) prohíbe tirarlas en espacios públicos, según la Unión Internacional para la conservación de la Naturaleza (IUCN) aproximadamente el 28% de los residuos plásticos que contaminan los océanos corresponden a escombros producidos por llantas. (Revista Semana, 2021). Según cifras de la DIAN en el año 2020 terminaron 958.500 unidades en calles y rellenos sanitario en Colombia y se reencaucho solo el 29%. En la Figura 6 presenta el aprovechamiento y el impacto ambiental que produce la reutilización de las llantas.

Figura 6

Aprovechamiento de las Llantas Usadas.



Nota. ¿Cómo disponer adecuadamente de las llantas? (CANECAS, 2021)

Proceso de trituración de las llantas. Para este proceso se debe saber la composición de las llantas (en la Tabla 12 se relacionan los componentes y tipos de llantas). Para el proceso de trituración de los neumáticos se utilizan diferentes equipos, uno para la de separación del acero, otro para moler el caucho y un sistema de tamizado para separar por tamaño de partículas.

30

Tabla 12

Componentes y Tipos de Llantas

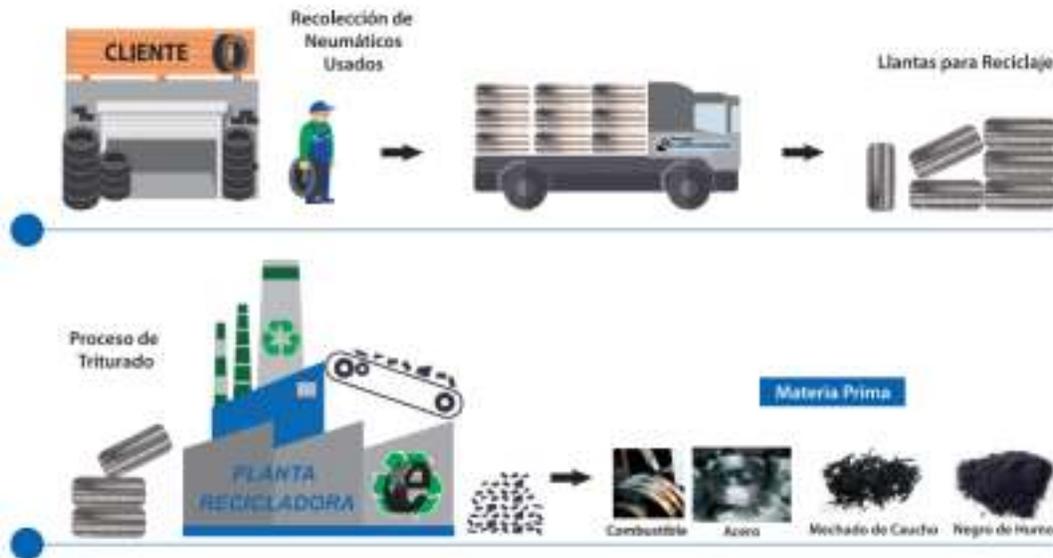
Material	Composición (%)	
	Automóviles	Camiones
Caucho Natural	14 27	28 28
Caucho sintético	27 14	
Acero	14 15	
Antioxidantes y rellenos	17 16	

Nota. Información reproducida de
(*Guía Para El Manejo de Llantas Usadas*, n.d.)

Se observa en la Figura 7 el proceso para el reciclaje de las llantas para la extracción de las materias primas, para su reutilización.

Figura 7

Tratamiento para Reciclaje de Llantas



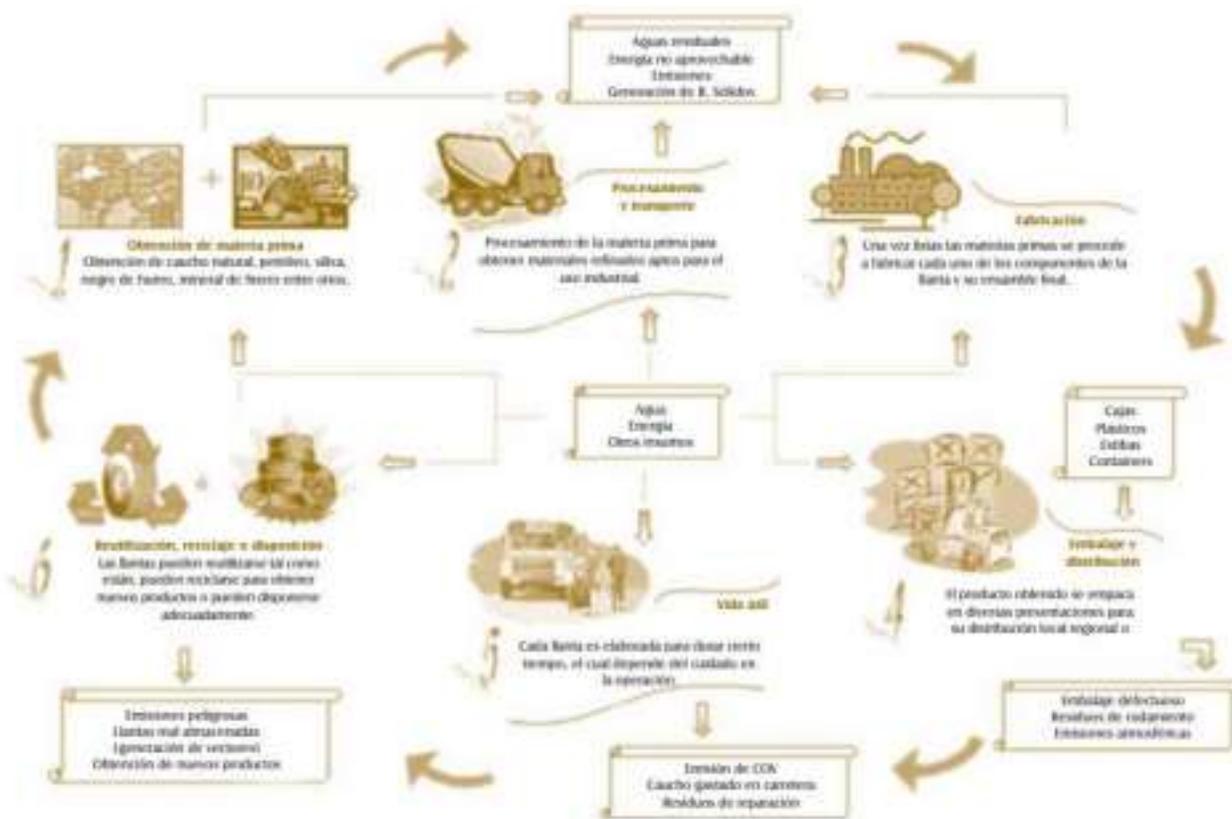
31

Nota. Información reproducida de (Destapando, 2022)

Para ciclo de vida de los neumáticos se debe tener en cuenta los procesos del sistema de la producción, entre los cuales se encuentran; el procesamiento y el transporte, la fabricación, el embalaje y la distribución, la vida útil, reutilización, reciclaje o disposición, y por último la obtención de la materia prima como se ve en la Figura 8 (Guía para el manejo de llantas usadas, 2006).

Figura 8

Ciclo de Vida de las Llantas



Nota. Información reproducida de (Guía para el manejo de llantas usadas, 2006)

Reutilización. Con el procesamiento de reutilización de los neumáticos se encuentran diferentes métodos entre esos el coprocesamiento, consiste en utilizar hornos para la producción de energía y para

32

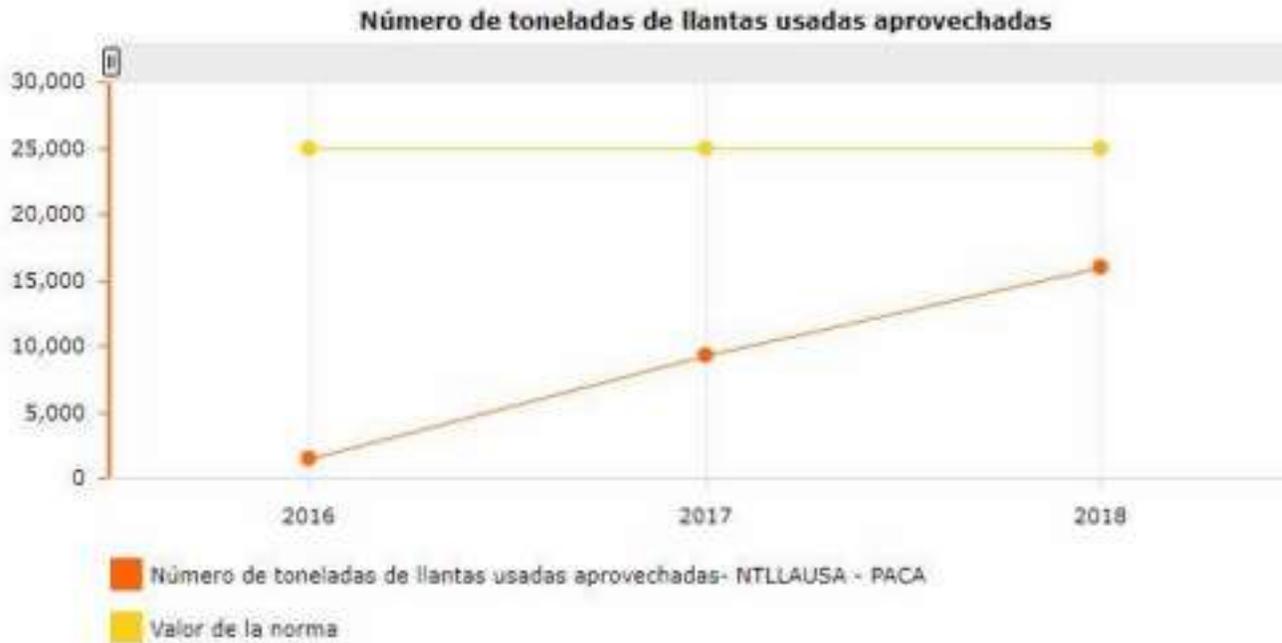
incorporar el acero en el Clinker, también está la trituración, en esta hay dos métodos. Método mecánico y por criogénica. En el mecánico se utilizan cuchillas para desmenuzar las llantas, en este tipo de trituraciones se realizan paulatinamente hasta alcanzar tamaños mínimos. Por criogénica consiste en congelar las llantas con nitrógeno líquido, luego se golpean para tener como resultado caucho en polvo, con liberación del nitrógeno en forma de gas.

En la **Figura 9** se muestra el aprovechamiento de las llantas usadas en el año 2016 con un total 1.390 toneladas, para el año 2017 se aprovecharon 9301 toneles y para el año 2018 una cantidad de 15880 toneladas, es notorio el crecimiento del aprovechamiento de los neumáticos,

esto gracias a la divulgación de jornadas de recolección selectiva.

Figura 9

Llantas aprovechadas en Bogotá del año 2016 al 2018



Nota. Imagen reproducida de (Catorce6, 2019)

33

2.2.2 Impactos Ambientales

En Bogotá se generan más de 18000 toneladas de llantas usadas al año, de este alrededor de 2.750.000 son botadas. En algunos casos su disposición final son las emisiones al aire por las quemas a cielos abierto, esto se convierte en un problema de salud pública ya que con esta quema se emiten gases entre ellos encontramos oxido de ni trígeno, óxido de carbono, y compuestos orgánicos volátiles. Adicional con la quema se emiten contaminantes con alto grado de peligrosidad como bifenilos policlorados, hidrocarburos policíclicos aromáticos dioxinas, cloruro de hidrógeno, furanos, benceno, (Guía para el manejo de llantas usadas, 2006).

Según (Quintero, 2016) las enfermedades causadas por estos tipos de

contaminantes son: bronquitis, infección aguda por vías respiratorias, Laringotraqueitis, asma. No solo tiene esta problemática si no también son focos de infección en acopio de insectos, contaminación visual.

2.3 Economía Circular

En Colombia actualmente se encuentra vigente el programa pos consumo expuesto por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, el cual obliga a que empresas generadoras de ciertos productos, en el caso de los neumáticos las empresas tienen la responsabilidad de manejar su disposición final, cuando finaliza la vida útil esto siguiendo canales de recolección apropiada. (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2022). La materia prima de los neumáticos (caucho), es reutilizado como en cemento asfáltico como material modificado para la capa de rodadura, también en canchas sintéticas, aislantes térmicos y acústicos (Restrepo Cárdenas, 2019)

34

2.4 Normativa

A continuación, se relaciona la **Tabla 13** donde se referencia el marco legislativo en Colombia, con la normativa vigente a nivel nacional con respecto al manejo adecuado de los residuo de llantas usadas y la protección del recurso hídrico.

Tabla 13

Marco Legislativo

Constitución Nacional

Por la cual se establecen los Sistemas de

Resolución 1457 de 2010
Recolección Selectiva y Gestión
Ambiental de Llantas Usadas y se
adoptan otras

disposiciones.

Resolución 1326 de 2017 Reutilización de Llantas Por medio del cual se crea el

Programa de

Decreto 442 de 2015 llantas usadas en el Distrito Capital y se
aprovechamiento y/o valorización de adoptan otras disposiciones

Decreto 265 de 2016 Por medio del cual se modifica el Decreto
Distrital 442 de 2015 y se adoptan otras
disposiciones”

Por el cual se modifica y adiciona parcialmente
el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único
Reglamentario de Sector Ambiente y

Decreto 1210 de 2020
Desarrollo Sostenible en relación con el
Registro de Usuarios del Recurso
Hídrico, se reglamenta parcialmente el artículo 279 de la
Ley 1955 de 2019 y se dictan otras
disposiciones

Para le componente Hídrico el Viceministerio de Ambiente estable el documento “Política
Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico el cual fue publicado en al año

35

2010 se establecen las estrategias y líneas de acción para el manejo y el bienestar del recurso
hídrico (Territorial, 2010).

36

3. Estado del Arte

Se realiza una búsqueda en Scopus el cual proporcionado por la biblioteca de la
Universidad Antonio Nariño. Las palabras claves de presentan en la **¡Error! No se encuentra el
o rigen de la referencia..**

Tabla 14

Palabras Claves para la Búsqueda

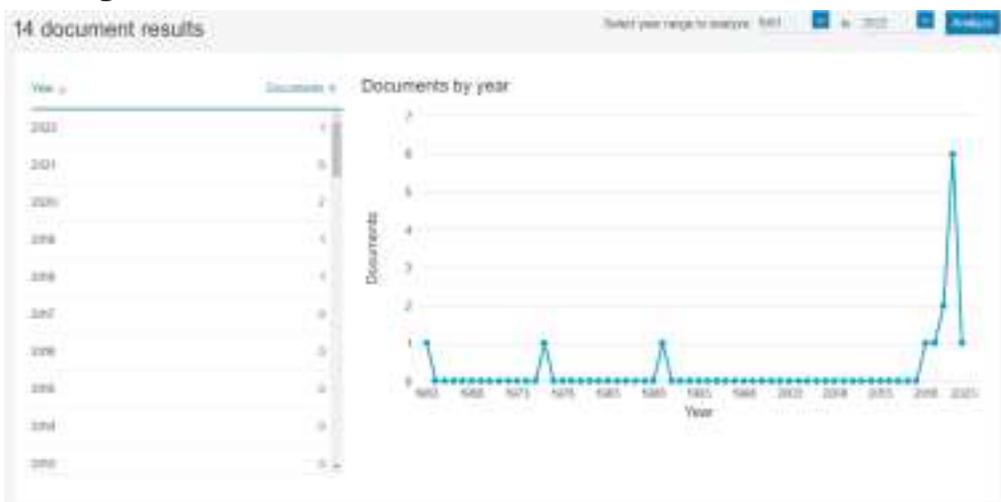
Palabras claves Años de búsqueda
Mortar with ground rubber
Physical properties of rubber

mortarDe1963 a 2022

Nota. La búsqueda se encuentra desde 1963 con una investigación

En la **Figura 10** se puede evidenciar la trayectoria de documentos publicados en años donde se observa que en el año 2021 tiene un alza en investigaciones con 6, así mismo en la **Figura 11** la gráfica muestra los documentos publicados por país siendo Italia pioneros en investigaciones con 5 publicaciones. También se puede evidenciar en la **Figura 12** que la Universidad Sapienza de Roma es pionera en publicaciones.

Figura 10



Grafica con la cantidad de artículos publicados

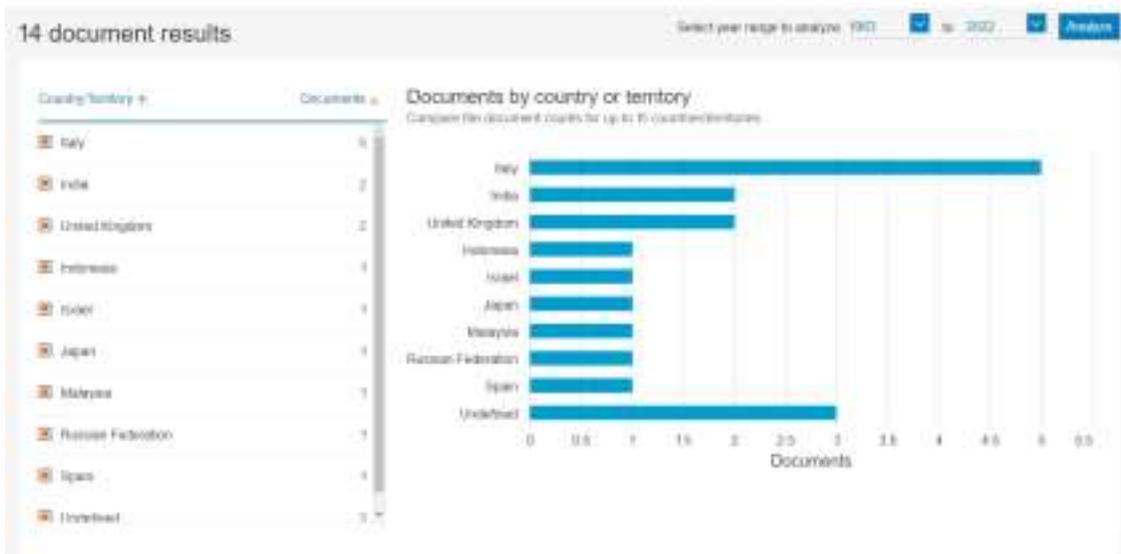
37

Nota.

Grafica con

la cantidad de publicaciones por año. Reproducida de (Scopus, 2022) **Figura 11**

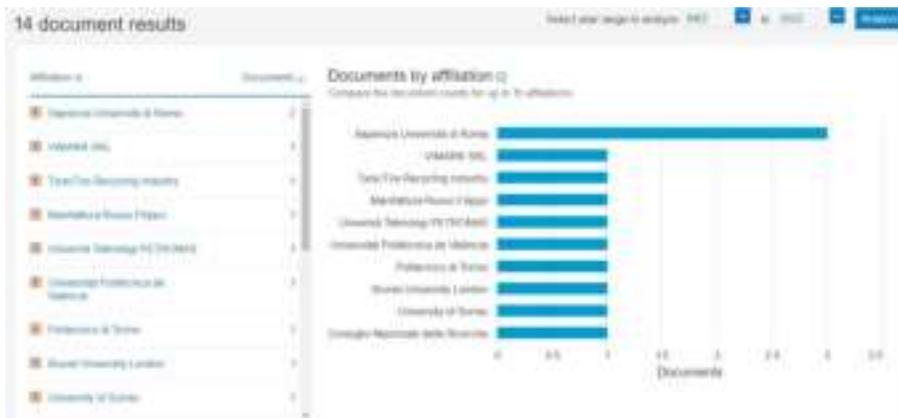
Gráfica de Documentos Publicados por País



Nota. Grafica con la cantidad de publicaciones realizadas por territorios. Reproducida de (Scopus, 2022).

Figura 12

Gráfica de Documento Publicados por Institución



38

Nota. Grafica con la cantidad de publicaciones realizadas por Institución. Reproducida de (Scopus, 2022).

(Valente et al., 2022) realiza un estudio experimental donde compara materiales activos con álcali y la incorporación de caucho a una matriz cementosa, Realizo mezclas reemplazando arena-caucho en proporciones del 0% en volumen, 50% en volumen y 100% en volumen. Los

resultados arrojando una buena compatibilidad con la activación alcalina y el caucho de neumáticos, lo que conlleva a una reducción de porosidad y un mejor comportamiento en la flexión y tenacidad del material.

Para (Sambucci & Valente, 2021) diseñar y desarrollar adoquines livianos es de suma importancia para usos peatonal o de tránsito liviano, para ello realizaron mezclas con de mortero engomado utilizando caucho de 0-1mm en polvo y de 1-3 mm granulado, para un reemplazo total del agregado. Los resultados dieron favorables para convertir muestras de laboratorio en elementos prefabricados.

Por otro lado, en Suiza realizaron una investigación a base de escoria de alto horno granulada y molida, cenizas, microsílíce y metasilicato de sodio anhidro. Con estos componentes evaluaron términos de trabajabilidad, propiedades mecánicas y carbono incorporado. Adicional a esto una mezcla de mortero con caucho con un reemplazo de material mineral del 30% en volumen. Como resultado arrojó un buen comportamiento en la trabajabilidad con la incorporación de carbono, en las muestras de mortero con caucho, pero la resistencia se redujo por las partículas de caucho. En la evaluación de los otros materiales su comportamiento con respecto a la resistencia fue óptimo en uno de los casos con una proporción de escoria de alto horno y ceniza volante en cantidades del 75/25, su resistencia superó 50 MPa. Información tomada de (Abdelmonim & Bompa, 2021).

39

Se realizan mezclas experimentales con diferentes variaciones y dosificaciones que dan como resultado, una pendiente post-pico de la curva esfuerzo deformación, mostrando una mejor durabilidad (Fernández-Ruiz et al., 2018) Así mismo se realizan pruebas para el mejoramiento de la flexión del hormigón utilizando un aditivo verde y se ejecutan diferentes ensayos de agua cemento y seco caucho, se utilizan técnicas de análisis microscopía eléctrica de barrido para examinar el desarrollo del hormigón. Los resultados indicaron que la resistencia a la compresión

de NRL-hormigón disminuyó al aumentar la relación r/c . En todas las relaciones a/c y tiempos de curado, mientras que las resistencias a la flexión más altas (Yaowarat et al., 2021). Sudáfrica al tener una alta producción de caucho se realizan diversas investigaciones para utilizar los residuos de plásticos, caucho y vidrio en el hormigón, estos estudios determinaron que se puede realizar un reemplazo de estos materiales por agregado fino en proporciones del 15% y 30%. Los resultados demuestran la mejor manejabilidad con el caucho y con el vidrio un aumento de vacíos. También demuestra que el vidrio mejora las propiedades mecánicas y de durabilidad del hormigón y que el bajo contenido de plástico tiene propiedades mecánicas prometedoras, pero tiene una durabilidad deficiente, el caucho tiene un impacto bueno en las propiedades mecánicas pero un impacto negativo en la durabilidad (Steyn et al., 2021). En el Cairo (Egipto), determinan que al realizar diferentes dosificaciones de caucho molido sustituyendo agregado grueso y agregado fino en proporciones del 0, 10, 20, y 30% sobre las propiedades de endurecimiento como resistencia a la compresión, tracción y flexión. En este estudio observan una buena resistencia a la compresión, durabilidad y resistencia al impacto para ser utilizada en elementos estructurales sometidos a impacto y carga dinámica (Aly et al., 2019).

Se fabrican morteros con diferentes dosificaciones de caucho para realizar pruebas de compresión uniaxial y pruebas de carga y descarga cíclica. Las compresiones se realizan a

40

muestra con curado húmedo del 95% y 50% de curado seco, las cargas y las descargar con muestras en curado húmedo. Esto da como resultado que las muestras ensayadas a compresión uniaxial en seco tienen mayor pérdida de tensión, la deformación máxima disminuye con el aumento de caucho y la deformación máxima aumenta con la disminución del curado en húmedo. Con respecto a la falla de compresión cíclica los resultados residuales del mortero no tienen variación del mortero normal en cada nivel con cada uno de los ciclos son básicamente los mismos, pero el tipo de falla es diferente. Adicional se toman muestras para realizar un estudio

mesoestructura con un microscopio de barrido en estas muestran que, el daño inicial es mayor, presentando un mejoramiento al reducir la humedad de curado.(Yang et al., 2021).

(Shahrul et al., 2021) utilizaron como reemplazo parcial el caucho desmenuzado por el agregado fino para la pasta de mortero. Con esto proporcionaron mejoras en las propiedades como la ductilidad, la tenacidad y la resistencia al impacto. Aunque con la sustitución de caucho disminuye la resistencia y el módulo de elasticidad. Por tanto, se genera una mezcla de mortero con caucho molido y nano sílice en proporciones del 7.5% y 15% de caucho y el 0%, 2.5% y 5% de nano sílice. Esto da como resultado mejoras significativas en las propiedades mecánicas.

En el Instituto Americano de concreto determinaron por medio de pruebas que el mortero con adiciones de caucho molido en proporciones del 5%, 10% y adiciones de ceniza volantes en proporciones del 10% y 20% presenta un aumento a la compresión del 18% a los 28 días en comparación de la muestra de mortero de referencia, con esto es fácil asegurar que presenta una mejor durabilidad frente a los ataques de sulfatos. (Pczieczek et al., 2020).

El presente año se trabajó sobre unas sustituciones en la mezcla de mortero con plástico caucho (PRM), morteros con fibras de acero de los neumáticos reciclados (RSF) y caucho plástico reforzado (PRSRM) en el cual se tomaron porcentajes de PR del 2%, 5% 7.5% y 10%, la

41

fibra de acero en un 0,2%. Como resultado de arrojo que presenta un mejoramiento entre el 14 y 27% con respecta a la resistencia y las muestras de PRM presentan un mejoramiento en la flexión al aumentar la energía de fractura (Su et al., 2022).

Como es bien sabido el mejoramiento de las propiedades del mortero adicionando caucho molido se realizó una investigación donde adicional incluyeron un agente expansivo unido (UEA). Para mejorar la resistencia mecánica, la contracción y las características micro estructurales. Con esto se encontró que el caucho con UEA tienen mejoras en la reducción de

agrietamientos, adicional la adición de caucho disminuyo las reacción y redujo la contracción (Shao et al., 2021).

En el 2018 se realizó una investigación con modificaciones del 15% y 25% de caucho molido con NaOH, sobre el volumen del agregado fino. En el cual se estudiaron las propiedades de resistencia a la tracción y compresión, adicionales ensayos no destructivos como velocidad de onda. Con estos estudios determinaron que presenta un mejoramiento en la durabilidad del hormigón y un módulo dinámico reducido (Xue & Cao, 2017).

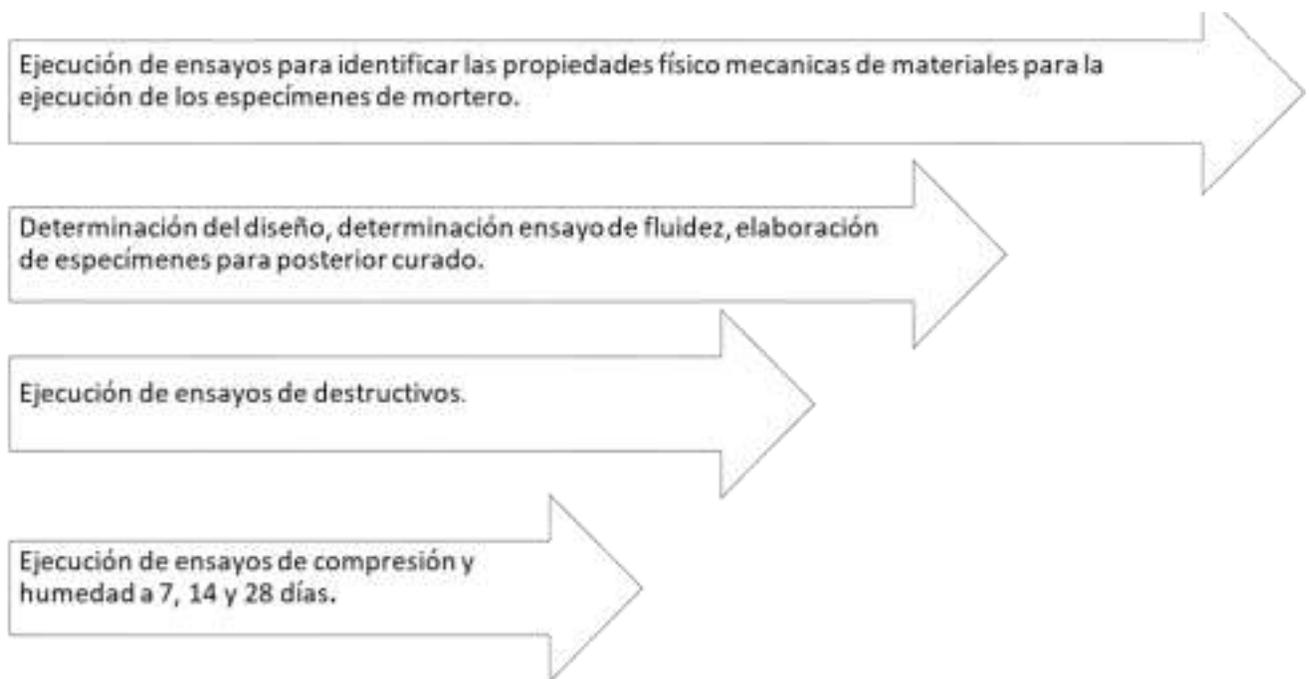
42

4. Metodología

A continuación, en la Figura 13 se describe el procedimiento que se utilizó para realizar la investigación con ensayos para morteros con 5 porcentajes diferentes de caucho molido.

Figura 13

Actividades Elaboradas para Llevar a Cabo la Investigación



Nota. Las actividades se realizaron en los laboratorios de la Universidad la Gran Colombia

4.1 Ejecución de ensayos de laboratorios a materiales

Los ensayos de laboratorios se llevaron a cabo en los laboratorios de la Universidad La Gran Colombia Facultad de Ingenieras dentro del convenio REPIC. A continuación, se detalla los ensayos que se realizaron:

43

4.1.1 Cemento

Para la elaboración de los ensayos y la mezcla de mortero, se utilizó cemento gris tipo UG de la empresa Argos. La caracterización del cemento se describe en la Tabla 15 relacionada a continuación.

Tabla 15

Relación de Ensayos para Caracterización del Cemento

Relación de Ensayos	
Ensayo	Objetivo
NTC 110 “Consistencia normal de la pasta”	para la pasta de cemento.
NTC 118 “Tiempos de fraguado inicial(min)”	Determinar el tiempo que tarda la pasta de cemento en llegar a punto de rigidez, el tiempo de fraguado inicial se determina
NTC 118 “Tiempos de fraguado final (min)”	cuando la aguja llega a una penetración de 25mm y el tiempo final de fraguado cuando llega a una penetración de 1mm
NTC 221 “Densidad del cemento (g/cm ³)”	Identificar la densidad del cemento
NTC 33 “Finura del	hidráulico, con el frasco de Chatelier.
Determinar la cantidad de agua requerida	
cemento (m ² /Kg)”	Determinar la velocidad de hidratación.

Consistencia normal de la pasta y tiempos de fraguado. Se determina la Consistencia normal de la pasta, con el método del Aparato de Vicat, procedimiento descrito en la Norma

NTC 110, con dicho resultado se evalúa los tiempos de fraguado de la pasta con el Aparato de Vicat, procedimiento en la Norma NTC 118. Estos ensayos se realizaron en el equipo y con la muestra que se observa en la **Figura 14**

44

Figura 14

Pasta para ensayo de consistencia de la pasta en Aparato de Vicat.



Densidad del cemento y finura del cemento. Se determina la densidad del cemento con el frasco de Chatelier, el cual se observa en la **Figura 15**, método descrito en el procedimiento de la norma NTC 221 y la finura del cemento con el Aparato de Blaine, equipos que se observa en la **Figura 16** método descrito en la norma NTC 33.

Figura 15

Frasco de Chatelier

45

Figura 16

Aparato de Blaine

4.1.2 Arena

Se utilizó arena de río, para la elaboración de los ensayos y la mezcla de mortero.

La caracterización para la arena de río se describe en la **Tabla 16**.

Tabla 16

Ensayos al Agregado Fino

Ensayo	Objetivo
NTC 33 “Análisis Granulométrico”	distribución de tamaños de las partículas.
NTC 237 “Densidad de agregado fino”	Determinar la gravedad específica Bulk y aparente del material.
NTC 92 “Masas unitarias”	Determinar las masas unitarias máximas y mínimas
Determinar cuantitativa, mente la	

46

Análisis granulométrico. El ensayo de granulometría y módulo de finura se realizaron bajo el bajo los parámetros establecidos en la norma NTC 77. A continuación, en la **Tabla 17** se relaciona la serie de tamices que se utilizó para dicha granulometría y en la **Figura 17** se observa

la variaciones tamaños en cada uno de los tamices.

Tabla 17

Serie de Tamices

TAMIZ DIÁMETRO (mm)
3/8" 9,525
N4 4,760
N8 2,360
N16 1,180
N30 0,600
N50 0,300
N100 0,150
N200 0,074
Fondo

Figura 17

Análisis granulométrico

Masas unitarias. Se realizó ensayos de masas unitarias sueltas y compactadas bajo el procedimiento descrito en la norma NTC 92, donde se defiende parámetros y pasos para el realizar dicho ensayo.

Densidad de agregado fino. Se determina la densidad y absorción de la arena bajo los parámetros descritos en la norma NTC 237, en la **Figura 18** se describe el procedimiento para la realización de dichas pruebas.

Figura 18

Procedimiento para Ensayo de Densidad en Agregado Fino

b
a

c

d

48

Nota. En la figura se encuentra el procedimiento para densidad en agregado fino donde a) es el Material en condición saturada, b) Material en condición SSS, c) Peso del balón volumétrico y d) Toma de temperatura. Fuente Propia del Autor.

4.1.3 Caucho Molido.

La ficha técnica con las características del material fue suministrada por “RENECAL Reciclado de Neumáticos de Castilla y León, S.L.” A continuación, en la **Figura 19** se relacionan dicha ficha.

Figura 19

Ficha Técnica del Caucho Molido

Nota. Información reproducida de RENECA Reciclado de Neumáticos de Castilla y León, S.L.

49

Con el fin de obtener una caracterización completa del material con el que se modificó la mezcla de mortero se realiza análisis granulométrico con la serie de tamices que se presentan en la **Tabla 17**, bajo los parámetros de la Norma NTC 77.

4.2 Determinación de Diseño

Para el desarrollo del proyecto se desarrollaron 6 mezclas con diferentes proporcionales de caucho molido y una muestra patrón como factor de referencia. A cada una de las mezclas se le adiciono un porcentaje diferente de caucho, con fin de mejorar sus propiedades.

Mezcla No 1: Mezcla patrón (Arena de rio, cemento portland gris Tipo 1, agua). **Mezcla No 2:** 2% de caucho molido.

Mezcla No 3: 4% de caucho molido

Mezcla No 4: 6% de caucho molido

Mezcla No 5: 8% de caucho molido

Mezcla No 6: 10% de caucho molido

En la **Tabla 18** se muestra las dosificaciones que se utilizaron para una cantidad de 12 morteros por cada una de las mezclas relacionadas

Tabla 18

Dosificaciones del Diseño de Mezcla

							Mezclas					
Material No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6	Cemento	500 gr	500 gr	500 gr	500 gr	500 gr	500 gr
gr Arena	1375 gr	1347 gr	1320 gr	1292.5 gr	1265 gr	1237.7 gr	Agua	375 ml	375 ml	375 ml	375 ml	375 ml
	375 ml	375 ml	375 ml	Caucho -	27.5 gr	55 gr	82.5 gr	110 gr	137.5 gr			

50

4.2.1 Determinación de la Fluidez.

Se determina la fluidez del mortero bajo los parámetros descritos en la norma NTC 111, donde se establece el procedimiento del ensayo. Los resultados de dicho ensayo se evalúan bajo los parámetros descritos en la Tabla 11. En las **Figura 20** y **Figura 21** se observa el equipo y los materiales utilizados en el ensayo de fluidez.

Figura 20

Equipo para Fluidez del Mortero

Figura 21

Muestras Empleadas

Nota. Materiales utilizados para mezcla de mortero a) cemento, b) agregado fino, c) agua y d) caucho molido.

Una vez realiza la mezcla de mortero se procede a realizar el ensayo de fluidez en la Figura 22 se presenta la ejecución del ensayo.

Figura 22

Ensayo de Fluidez

4.2.2 Elaboración de las muestras de Mortero

Para la elaboración de las muestras se cumplieron varias fases, inicialmente la caracterización de las materias primas, para posteriormente la elaboración del diseño con las diferentes dosificaciones de cada una de las mezclas. Se realizaron una muestra patrón y una muestra con el 2% de adición de caucho molido empleado método manual y posterior las mezclas; patrón, 2%, 4%, 6%, 8% y 10% bajo el método mecánico.

Figura 23

Elaboración de Especímenes Método Manual

Figura 24

Elaboración de Especímenes Método Mecánico

4.3 Ejecución de Ensayos Considerados no Destructivos

Se realizaron ensayos no destructivos para la determinación de propiedades físicas del hormigón en la Tabla 19 se relacionan los ensayos que se realizaron.

Tabla 19

Relación de Ensayos no Destructivos

Relación de ensayos

Ensayo	Objetivo
Ensayo índice de rebote con esclerómetro	Medir la resistencia a la compresión del hormigón endurecido.
Ensayo espectral de ondas (velocidad de onda)	Identificar la presencia de posibles discontinuidades en el concreto.

4.3.1 Ensayo índice de rebote con esclerómetro

Se determina el valor aproximado de la resistencia a la compresión en un espécimen de 5x5, bajo los parámetros descritos en la Norma NTC 3692. En la Figura 25 se observa la ejecución del ensayo de forma controlada.

Figura 25

Ejecución Ensayo de Esclerómetro

54

4.3.2 Ensayo espectral de ondas (Velocidad de onda)

Se determina los valores de velocidad de onda a los especímenes de mortero de 5x5, como se observa en la Figura 26 bajo los parámetros descritos en la Norma NTC 4325.

Figura 26

4.4 Ensayo de resistencia a la compresión

Para la determinación de las propiedades físico-mecánicas de las muestras de mortero, se realizaron pruebas de resistencia como se observa en la Figura 27 en edades de 7, 14 y 28 días de acuerdo a los parámetros descritos en Norma NTC 220. **Figura 27**

Falla de especímenes

5. Resultados y Discusión

En este capítulo se registran los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta investigación. Se encuentra resultados de caracterización de agregados, caracterización de cementos, granulometría del caucho, ensayo no destructivo (patologías), ensayos de resistencia en edades de 7, 14, y 28 días.

5.1 Materiales

Se presentan las caracterizaciones elaboradas a los materiales que conforman el mortero. En la **Tabla 20** se relaciona los resultados de la caracterización de cemento gris tipo UG, los cuales se encuentran dentro de los rangos establecidos por el distribuidor ARGOS. En la **Figura 28** se muestra la gráfica del ensayo de tiempo de fraguado inicial y final teniendo en cuenta que se establece fraguado inicial cuando la aguja penetra en 25mm y un fraguado final cuando la aguja penetra en 1 mm.

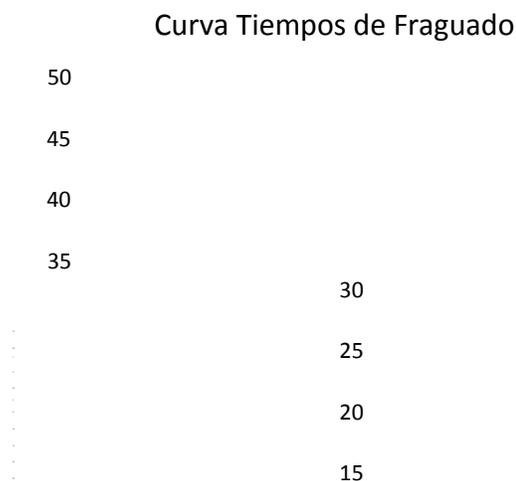
Tabla 20

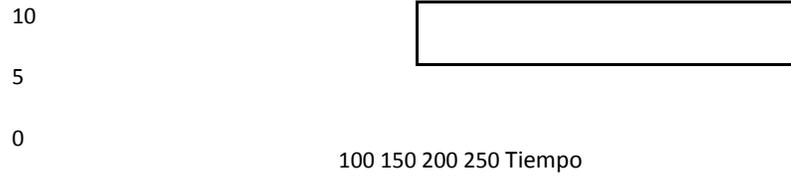
Resultados caracterización del cemento

	Ensayo Resultados de laboratorio
NTC 110	
“Consistencia normal de la pasta”	final (min)”
NTC 118 “Tiempos de fraguado inicial(min)”	NTC 221 “Densidad (A/C) 32 (min) 165 (min) 205
NTC 118 “Tiempos de fraguado del cemento (g/cm ³)”(g/cm ³) 3,02	NTC 33 “Finura del cemento (m ² /Kg)”(m ² /Kg) 402,10

Figura 28

Curva tiempo de fraguado





Los resultados de la caracterización del agregado fino se representan en la Tabla 21 y en la Figura 29 se presenta la gráfica del análisis granulométrico, con el fin de conocer la distribución de las partículas.

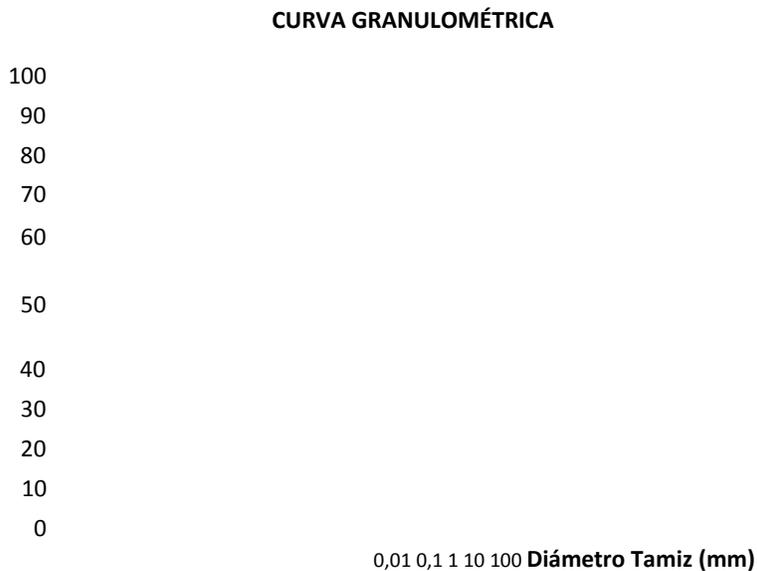
Tabla 21

Resultados Caracterización del Agregado Fino

	Ensayo Resultado
Densidad de agregado fino (gr/cm ³)	2.56 Masas Unitarias sueltas (Kg/m ³)
1468,10 Masas Unitarias compactadas (Kg/m ³)	1595,87 Contenido de vacíos %
35.17	

Figura 29

Curva Granulométrica Agregado Fino.



La caracterización del caucho molido se presenta en la Figura 19 y adicional se presenta en la

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. la curva granulométrica del caucho.

5.2 Comportamiento Físico

En la Tabla 22 se presentan los ensayos de fluidez de la pasta de mortero para cada una de las dosificaciones se encontró que el caucho molido reduce la fluidez con respecto a la muestra patrón. El comportamiento de mezcla en las dosificaciones del 2%, 4% y 6% presentan un comportamiento plástico según (Sánchez de Guzmán, 2001) y las dosificaciones del 8% y 10% presenta un porcentaje menor del 50%. Según (Sánchez de Guzmán, 2001) considera comportamiento duro después del 80% de fluidez. En las mezclas realizadas de manera manual, la fluidez es menor a las realizadas de manera mecánica como se representa en la **Tabla 22** y la **Tabla 23**. En **Figura 30** se representa la disminución de fluidez al incremento del caucho.

Tabla 22

58

Fluidez del Mortero (Mezcla Mecánica)

Muestra	% Fluidez	Comportamiento
P 120	Media	(plástica)
2%	116,190476	Media (plástica)
4%	114,285714	Media (plástica)
6%	109,285714	Media (plástica)
8%	60,4761905	
10%	38,8095238	

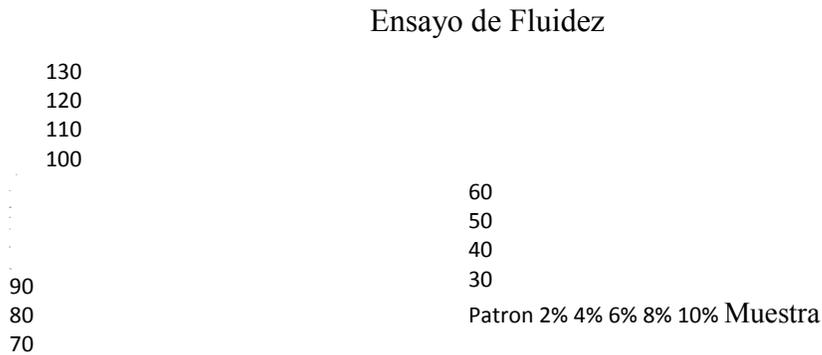
Tabla 23

Fluidez del Mortero (mezcla manual)

Muestra	%Fluidez
P- M	106,428571
2% M	85,7142857

Figura 30

Curva de Fluidez del Mortero

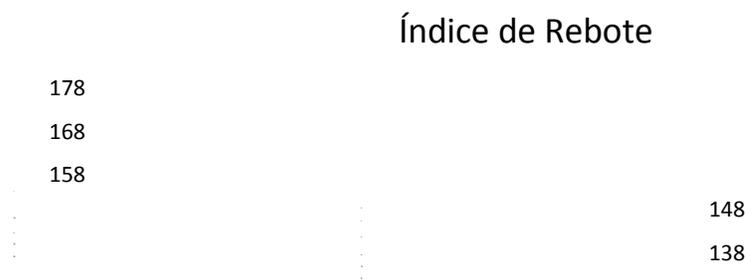


59

Ensayo índice de rebote con esclerómetro. Se realizó el ensayo de índice de rebote, teniendo en cuenta que la norma establece los siguientes parámetros: El área de ensayo es de 300x300mm aproximadamente y la muestra ensayada es de 50x50mm. Además, se requiere que el elemento a ensayar cuente con un espesor mínimo de 10cm y la muestra ensayada cuenta con un espesor de 5cm, también estable que el elemento se encuentre fijado a una estructura, y la muestra se ensaya en los moldes de mortero para evitar desplazamiento. En la **Figura 31** se observa el comportamiento de las muestras ensayadas donde se presenta aumento de las resistencia a los días de falla, pero los resultados no se correlacionan con respecto a los resultados de resistencia a la compresión.

Figura 31

Resistencia Medida por Esclerómetro



128

98

Muestra

118

88

Patron 2% 4% 6% 8% 10%

108

7 Dias 14 Dias 28 Fias

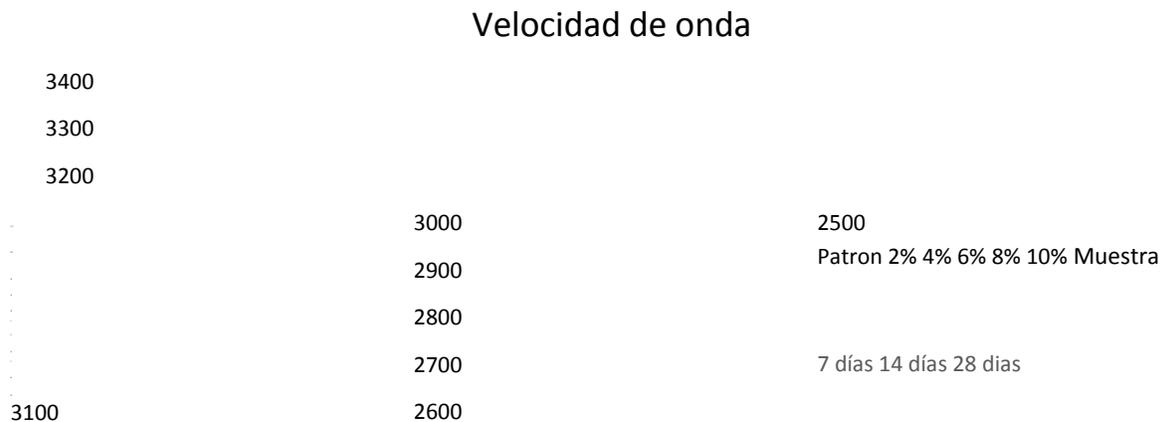
Ensayo espectral de ondas (Velocidad de onda). Los resultados encontrados, determinaron que a mayor cantidad de caucho la velocidad de onda pasa más lento por las muestras ensayadas, considerando una diferencia del 84% a los 28 días de edad en la

60

muestra con sustitución del 10%, con respecto a la muestra patrón, en la **Figura 32** se observa el comportamiento de los especímenes evaluados con el ensayo.

Figura 32

Comportamiento de velocidad de onda.

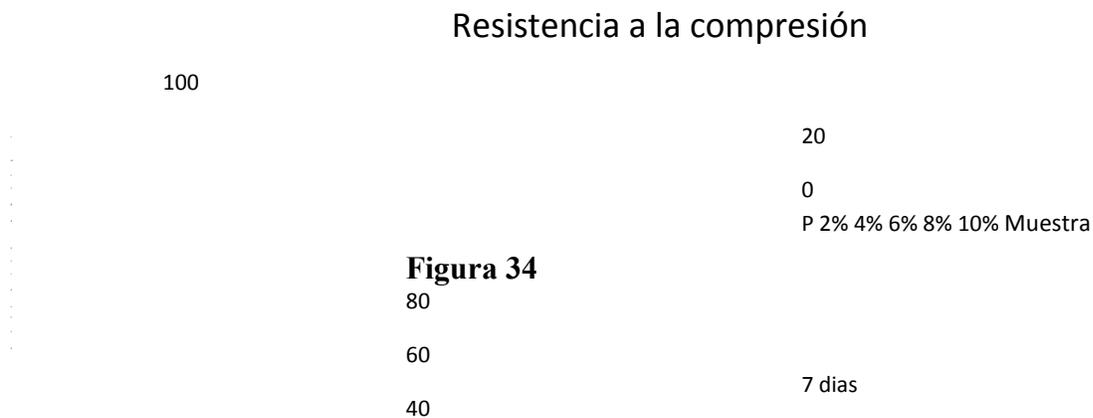


Resistencia a la compresión. Se realizó el ensayo de resistencia a la compresión de los

especímenes de mortero bajo los parámetros de la norma. En la Figura 33 se presentan los resultados del ensayo a los 7 días, en la **Figura 34** la resistencia a la compresión a los 14 días y en **Figura 35** la resistencia a los 28 días. Se evidencia disminución de la resistencia a la compresión en las muestras con mayor cantidad de caucho, con respecto a la muestra patrón.

Figura 33

Resistencia a la compresión (7 días)



Resistencia a la compresión a los 14 días

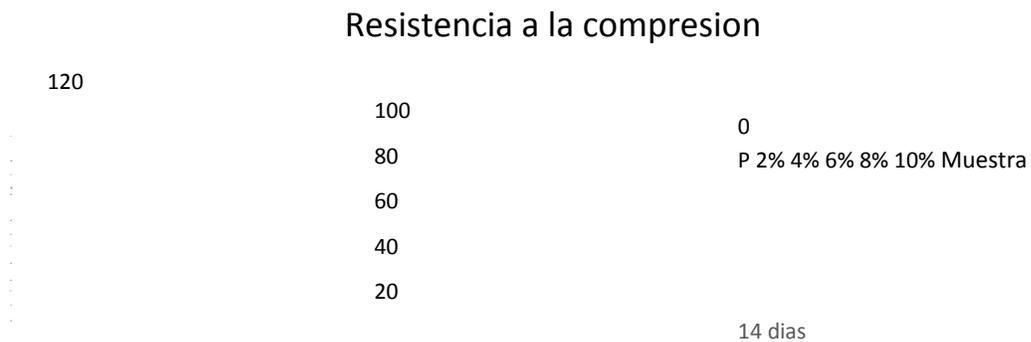
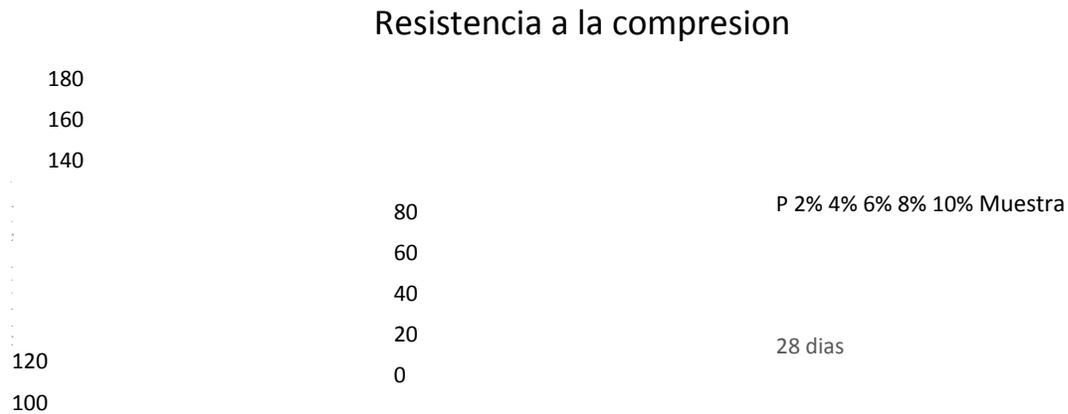


Figura 35

Resistencia a la compresión a los 28 días



En la **Tabla 24** y la **Figura 36** se representan los valores obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión, en los cuales se observan que el esfuerzo en los especímenes de evaluación aumentan con el paso de los días, sin embargo las muestras patrón y con sustitución del 2% tienen mejor comportamiento que las otras muestras ensayadas.

Tabla 24

Resistencia a la compresión en morteros con caucho

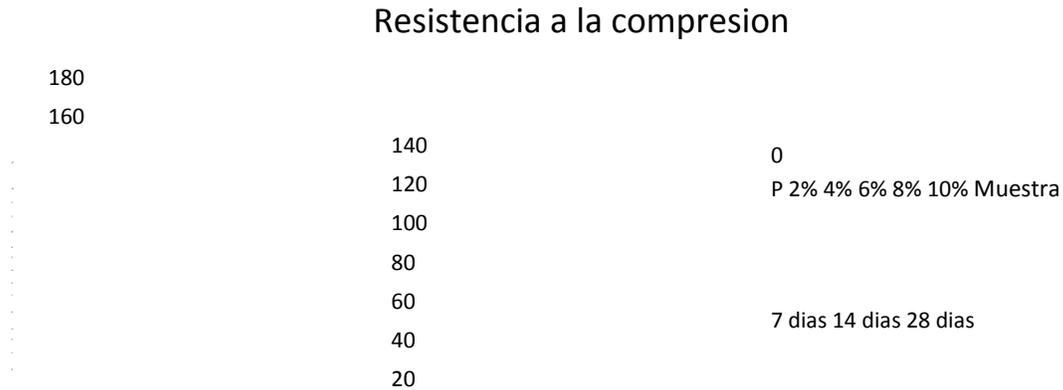
Esfuerzo (kg/cm²)

Muestra 7 días 14 días 28 días

P	81,711762	109,780286	159,831627
2%	78,6741206	110,837188	160,789333
4%	56,5725167	75,2656799	91,1030738
6%	52,8011168	66,8795583	81,0708694
8%	49,3574797	68,5971468	75,600457
10%	41,6977695	62,3766276	73,4374073

Figura 36

Resistencia a la compresión



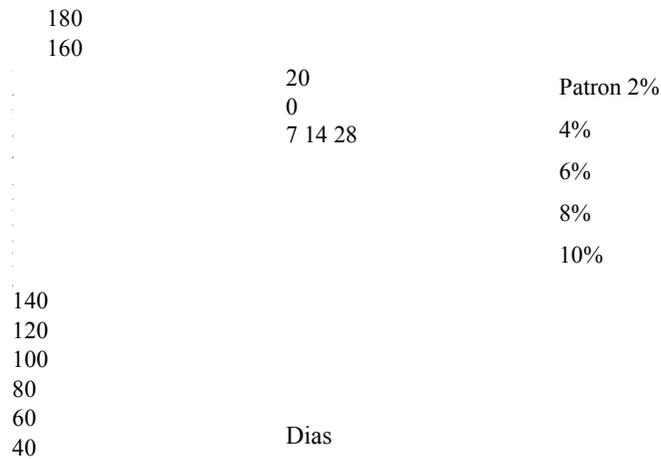
Se esperaba que la sustitución del caucho molido por agregado fino mejorara la resistencia de las muestras de mortero, sin embargo, con la obtención de los resultados se observa una disminución considerable en la resistencia, al aumentar la incorporación del caucho. Por tanto, el reemplazo de caucho por agregado fino no aporta resistencia a las muestras de mortero. La diferencia de resistencia entre la muestra patrón y la muestra con el 10% de caucho molido presenta una diferencia del 45.94%.

En la figura 60, se presentan los resultados comparativos de las mezclas de mortero, los valores de resistencia disminuyen considerablemente al incremento de caucho. El porcentaje óptimo de caucho a utilizar para obtener una resistencia mayor con respecto a la muestra patrón, corresponde al 2%, ya que se evidencia que a los 28 días se presenta un aumento en el parámetro del 0.59% con respecto a la mezcla patrón.

Figura 37

Grafica resistencia a la compresión por días

Resistencia a la compresión

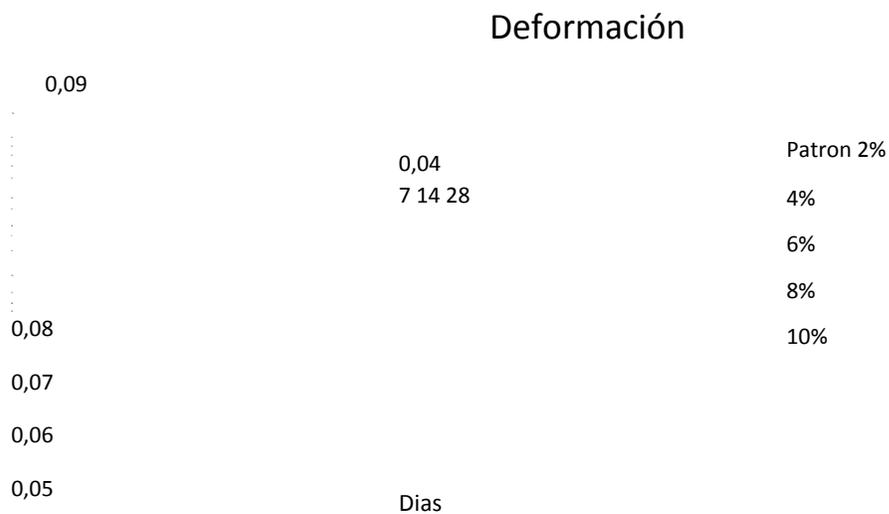


Adicionalmente, se obtienen los valores de carga máxima y deformación unitaria , en la

Figura 38 se puede observar que con un incremento del caucho molido del 6%, la deformación unitaria presenta un incremento. Teniendo en cuenta que el concreto y el mortero son elementos frágiles, que presentan deformaciones muy bajas o casi nulas, la incorporación del caucho influye de manera positiva en este parámetro.

Figura 38

Grafica deformación unitaria %



Conclusiones

Según los resultados obtenidos en esta investigación y de acuerdo con los objetivos establecidos se concluye:

- La sustitución de caucho molido en porcentajes del 2%, 4%, 6%, 8% y 10% por volumen de la arena, presento una disminución en la propiedad de resistencia a la compresión por lo tanto el mortero con caucho molido se limita a funciones no estructurales.

- Sin embargo, en porcentajes entre el 0% y 2% la resistencia a la compresión tiene una mejoría en un 0.59% a la muestra patrón y adicional presenta aumento a la deformación.

En la incorporación entre el 8% y 10% de caucho, la fluidez baja considerablemente y se encuentra en un rango inferior al de la referencia, presentando un porcentaje menor al 50% de fluidez considerándose así una muestra de consistencia dura.

- Cabe destacar que en porcentajes entre 8% y 10%, el paso de la onda sonora es más lento como se refleja en los resultados del ensayo espectral de ondas, es decir que el uso de este mortero es para elementos no estructurales como barreras de sonido.

66

Recomendaciones

Para el uso de los morteros con caucho molido se recomienda realizar más ensayos en porcentajes del 1 al 10% y evaluar propiedades como la flexión. Con deformaciones controladas.

Para realizar futuros estudios es recomendado realizar un análisis más detallado de las propiedades físico mecánicas de los materiales que componen la mezcla de mortero y evaluarlo a

diferentes temperaturas con procesos de curado y sin proceso de curado.

Por último, se recomienda realizar ensayos de retracción y durabilidad del mortero con condiciones de temperatura controlada.

67

Referencias

- Abdelmonim, A., & Bompa, D. V. (2021). Mechanical and fresh properties of multi-binder geopolymer mortars incorporating recycled rubber particles. *Infrastructures*, 6(10).
<https://doi.org/10.3390/infrastructures6100146>
- AIS, A. colombiana de ingeniería sísmica-. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. *Scielo*.
- Aly, A. M., El-Feky, M. S., Kohail, M., & Nasr, E.-S. A. R. (2019). Performance of geopolymer concrete containing recycled rubber. *Construction and Building Materials*, 207, 136–144.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.121>
- Asocreto. (2019). *Que ensayos utilizar para evaluar patologías en estructuras de concreto*.
<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/evaluar-patologias-en-estructuras-de-concreto>
- Chinchon Yepes, S. (2022). *Características de morteros*. <https://personal.ua.es/es/servando-chinchon/documentos/-gestadm/material-docente/19-caracteristicas-de-morteros.pdf>
- Cjscanecas. (2021, September 10). *¿Cómo Disponer Adecuadamente las Llantas Usadas?*
- Construmatica. (2018). *Características del mortero*.
https://www.construmatica.com/construpedia/Características_de_los_Mortero

s Destapando. (2022). *Reciclaje de llantas en Bogotá Colombia*.

Fernández-Ruiz, M. A., Gil-Martín, L. M., Carbonell-Márquez, J. F., & Hernández-Montes, E. (2018). Epoxy resin and ground tyre rubber replacement for cement in concrete:

68

Compressive behaviour and durability properties. *Construction and Building Materials*, 173, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.004>

Gomez E, L. (2006). *Comienza era de vías que se harán con llantas usadas*.

<https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16483926#:~:text=Vargas expusó que en el equivalen a unas 100.000 toneladas.>

Guía para el manejo de llantas usadas. (n.d.).

Guía para el manejo de llantas usadas. (2006). *Guía para el manejo de llantas usadas*. Editorial *Kimpres Ltda*, 56.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (1997). *Norma Técnica Colombiana NTC 220:*

Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50mm ó 50,8mm de lado. 11.

Lopera Agudelo, L. C. (2020). *Más allá de la resistencia a la compresión: calidad y propiedades del concreto en estado endurecido*. Cementos Alion.

Mateus Ramírez, C. A., & Gelves Peña, D. A. (2020). Mecánica a Compresión En Morteros

Evaluación De Resistencia En Morteros De Cemento Con Agregado Rcd Carlos. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 153.

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2022). *Programas Pos-consumos*.

Naciones Unidas. (2022, May). *Objetivos del Desarrollo Sostenible*. Garantizar Modalidades de

- Osorio, J. D. (2020). *¿Cómo Se Evalúa La Calidad De Un Mortero?* (p. Argos, 360 en Concreto). <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/como-se-evalua-la-calidad-de-un-mortero#:~:text=El mortero o cemento del comportamiento de la mampostería>
- Pczieczek, A., Effting, C., Schackow, A., Ribeiro Gomes, I., & Ferronato Da Silva, D. V. (2020). Mortar with fly ash and rubber waste and crack propagation analysis. *ACI Materials Journal*, 117(3), 87–98. <https://doi.org/10.14359/51724594>
- Quintero, C. B. (2016). *Ciencia Unisalle Reutilización y transformación de llantas usadas como alternativa de mitigación del problema de contaminación ambiental en Bogotá.*
- Restrepo Cárdenas, L. (2019). *Economía circular para neumáticos usados.*
- Revista Semana. (2021, April 16). En Colombia, cada año 950.000 llantas usadas van a parar a la basura. *Economía*. <https://www.semana.com/economia/inversionistas/articulo/en-colombia-cada-ano-950000-llantas-usadas-van-a-parar-a-la-basura/202129/>
- Rivera, G. A. (2006). *Capítulo 9- Dosificación de Morteros*. 19.
- Sambucci, M., & Valente, M. (2021). Ground waste tire rubber as a total replacement of natural aggregates in concrete mixes: Application for lightweight paving blocks. *Materials*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/ma14247493>
- Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. BHANDAR EDITORES LTDA. (p. 334). <https://bit.ly/3g6oC91>
- Scopus. (2022). *Analyze search results.*
- Secretaria Distrital. (n.d.). *Decreto_Distrital_442_de_2015.*

Shahrul, S., Mohammed, B. S., Wahab, M. M. A., & Liew, M. S. (2021). Mechanical properties of crumb rubber mortar containing nano-silica using response surface methodology. *Materials*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/ma14195496>

Shao, J., Zhu, H., Xue, G., Yu, Y., Mirgan Borito, S., & Jiang, W. (2021). Mechanical and restrained shrinkage behaviors of cement mortar incorporating waste tire rubber particles and expansive agent. *Construction and Building Materials*, 296. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123742>

Solis Cacaño, R., & Moreno, E. (2006). *Análisis de la porosidad del concreto con agregado calizo*. 21. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652006000300004#:~:text=La porosidad es uno de,Mehta y Monteiro%2C 1998

Steyn, Z. C., Babafemi, A. J., Fataar, H., & Combrinck, R. (2021). Concrete containing waste recycled glass, plastic and rubber as sand replacement. *Construction and Building Materials*, 269. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121242>

Su, P., Dai, Q., Li, M., Ma, Y., & Wang, J. (2022). Investigation of the mechanical and shrinkage properties of plastic-rubber compound modified cement mortar with recycled tire steel fiber. *Construction and Building Materials*, 334. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127391>

Universidad de Alcalá. (n.d.). *Morteros*. Mortero.

https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_profesores/prof121896/docencia/T4_MORTEROS.pdf

Universidad de Alcalá. (2009). *HORMIGÓN: ENSAYOS DE INFORMACIÓN*

COMPLEMENTARIA. 15, 1–9. <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10998/34/Práctica>

Valente, M., Sambucci, M., Chougan, M., & Ghaffar, S. H. (2022). Reducing the emission of climate-altering substances in cementitious materials: A comparison between alkali activated materials and Portland cement-based composites incorporating recycled tire rubber. *Journal of Cleaner Production*, 333. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130013>

Xue, G., & Cao, M.-L. (2017). Effect of modified rubber particles mixing amount on properties of cement mortar. *Advances in Civil Engineering*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/8643839>

Yang, R.-Z., Xu, Y., Chen, P.-Y., & Gong, J. (2021). Static compressive properties and damage constitutive model of rubber cement mortar with dry- and wet-curing conditions | 干、湿养

护条件下橡胶水泥砂浆的静态压缩性能及损伤本构模型. *Journal of Central South University*, 28(7), 2158–2178. <https://doi.org/10.1007/s11771-021-4763-1>

Yaowarat, T., Suddepong, A., Hoy, M., Horpibulsuk, S., Takaikaew, T., Vichitcholchai, N., Arulrajah, A., & Chinkulkijniwat, A. (2021). Improvement of flexural strength of concrete pavements using natural rubber latex. *Construction and Building Materials*, 282. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122704>

CANECAS, C. (10 de 09 de 2021). ¿CÓMO DISPONER ADECUADAMENTE LAS LLANTAS USADAS? Obtenido de <https://www.canecas.com.co/manejo-de-llantas-usadas>

Catorce6. (Julio de 04 de 2019). *Se disparó la cantidad de llantas aprovechadas en Bogotá en los últimos dos años*. Obtenido de <https://www.catorce6.com/actualidad-ambiental/17288-se-disparo-la-cantidad-de-llantas-aprovechadas-en-bogota-en-los-ultimos-dos-anos>

Territorial, M. d. (Marzo de 2010). *Politica Nacional para la Gestion Integral del Recurso Hidrico* . Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Politica-nacional-Gestion-integral-de-recurso-Hidrico-web.pdf>