



Muestra de mezcla asfáltica con grano de caucho triturado.

Laura valentina Arias Cuervo

José Anderson Figueroa Quimbayo

Nelson Andres Lozano Candia

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede Girardot (Cundinamarca)

Programa Ingeniería Civil

noviembre de 2022

Muestra de mezcla asfáltica con grano de caucho triturado.

Laura valentina Arias Cuervo

José Anderson Figueroa Quimbayo

Nelson Andres Lozano Candia

Monografía presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor disciplinar

Sandro Iván García Calderón

Ingeniero Civil

Asesor de emprendimiento

María Nela Portillo Hernández

Economista-Administradora Financiera

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede Girardot (Cundinamarca)

Programa Ingeniería Civil

noviembre de 2022

Notas de aceptación

Firma del director del trabajo

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Dedicatoria

Primero y antes que todo, doy gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso, por iluminar mi mente y corazón, igualmente a mi madre Nubia Cuervo que a pesar de la distancia siempre me ayudo en todo momento; a mi padre Jacob Arias que en paz descanse que siempre y hasta su último momento lucho por colaborar para poder lograr con mis objetivos, a mis hermanas Victoria y Verónica Arias que son mi motor para seguir adelante; a mi abuela Graciela Mancilla que con sus palabras de aliento siempre supo cómo enfocarme de nuevo en tiempos de desespero; a mi mascota Hércules que me brindo su compañía en las noches de desvelo y demás personas que aportaron granitos de arena para que esto sea realidad.

Laura Valentina Arias Cuervo

Dedico este proyecto de manera especial a mi madre Elizabeth Quimbayo por ser el apoyo condicional desde el inicio de mi carrera, por ser esa compañía en los momentos donde perdía las ganas de seguir. También agradezco a Dios por brindar salud y vida a ella y a todas las personas que han hecho esto posible.

José Anderson Figueroa Quimbayo

En primer lugar, dedico esta monografía a mi madre Diana Candia por ser parte fundamental y apoyo en cada proyecto de mi vida; también a mi hermana Vanessa Rojas por brindarme su tiempo y ser consejera en los momentos más difíciles; a mis dos sobrinos Sammuel y Juan Sierra, ya que son el motor de mi vida, a mi hermano de vida Miguel Mape por ser mi ejemplo a seguir y finalmente Alejandro Barberi que es parte fundamental en mi vida y sin ayuda no estaría logrando con éxito este proyecto.

Nelson Andres Lozano Candia

Tabla de contenido

1 Resumen	12
1.1 <i>Palabras clave</i>	13
1.2 Abstract	14
1.2.1 <i>Keywords</i>	15
2 Introducción	16
3 Planteamiento del problema	18
4 Justificación	19
5 Objetivos	20
5.1 Objetivo General	20
5.2 Objetivos Específicos	20
6 Marco referencial	21
6.1 Marco conceptual	21
6.2 Marco teórico	24
6.3 Estado del arte (antecedentes)	27
6.3.1 Investigaciones Internacionales	28
6.3.2 Investigaciones Nacionales	29
6.4 Marco legal	30
7 Metodología	36
7.1 Procedimientos y metodologías	36
7.1.1 Etapa 1	36
7.1.2 Etapa 2	37
7.1.3 Etapa 3	37
7.1.4 Etapa 4	38
7.1.5 Etapa 5	45
8 Resultados	46
8.1 Diseño de mezcla convencional MDC-10 (Muestra patrón)	46

8.2 Diseño mezcla mdc-10 modificada porcentualmente con (gcr).....	53
8.2.1 10% GCR.....	53
8.2.2 25% GCR.....	58
8.2.3 50% GCR.....	63
9 Análisis y discusión de resultados.....	67
9.1 Usos del GCR.....	68
9.2 Encuesta realizada	72
9.3 Cuadro comparativo de las empresas	77
10 Conclusiones	80
11 Recomendaciones	82
12 Referencias.....	83
13 Anexos.....	99

Lista de tablas

Tabla 1 Ensayos de agregados finos	33
Tabla 2 Ensayos de agregados gruesos.....	34
Tabla 3 diseño de mezcla convencional.....	47
Tabla 4 briquetas (gr).....	48
Tabla 5 MDC-10 con 0% de GCR	49
Tabla 6 Diseño Marshall MDC-10 relación Fuerza máxima Flujo	49
Tabla 7 Diseño Marshall MDC-10 relación Fuerza máxima Flujo	50
Tabla 8 Densidad.....	51
Tabla 9 Volumen Briquetas.....	51
Tabla 10 Densidad de Bulk.....	52
Tabla11 Porcentaje de vacíos	53
Tabla 12 Mezcla modificada porcentualmente con GCR.....	54
Tabla 13 briquetas (gr).....	55
Tabla 14 MDC-10 con 10% de GCR	55
Tabla 15 Relación Fuerza máxima Flujo.....	56
Tabla 16 MDC-10 convencional con 10% de GCR.....	56
Tabla 17 densidad	57
Tabla 18 Volumen Briquetas.....	57
Tabla 19 Densidad de Bulk.....	57
Tabla 20 Porcentaje de vacíos	58
Tabla 21 Mezcla modificada porcentualmente con GCR.....	59
Tabla 22 briquetas (gr).....	60
Tabla 24 Relación Fuerza máxima Flujo.....	61
Tabla 25 MDC-10 convencional con 25% de GCR.....	62
Tabla 26 Densidad.....	62

Tabla 27 Volumen Briquetas.....	62
Tabla 28 Densidad de Bulk.....	63
Tabla 29 Porcentaje de vacíos	63
Tabla 30 Mezcla modificada porcentualmente con GCR.....	64
Tabla 31 briquetas (gr).....	65
Tabla 32 MDC-10 con 50% de GCR	65
Tabla 33 Relación Fuerza máxima Flujo.....	66
Tabla 34 MDC-10 convencional con 50% de GCR.....	66
Tabla35 Densidad.....	66
Tabla 36 Volumen Briquetas.....	67
Tabla 37 Densidad de Bulk.....	67
Tabla 38 Porcentaje de vacíos	67
Tabla 39 Cuadro comparativo de resultados 1	70
Tabla 40 Cuadro comparativo de resultados 2	70
Tabla 41 Cuadro comparativo de resultados 3	71
Tabla 42 Cuadro comparativo de precios en el mercado	79
Tabla 43 Especificaciones técnicas martillo compactación Marshall	100
Tabla 44 Especificaciones técnicas	100
Tabla 45 Molde para ensayo estabilidad y flujo	101

Lista de Imágenes

<i>Imagen 1 cemento Asfaltico con GCR</i>	31
<i>Imagen 2 cemento Asfaltico con GCR</i>	31
<i>Imagen 3 Flujo de trabajo procedimiento metodológico</i>	36
<i>Imagen 4 1,2 kg de mezcla convencional asfáltica</i>	38
<i>Imagen 5 10% de agregado de GCR</i>	39
<i>Imagen 6 25% de agregado de GCR</i>	39
<i>Imagen 7 50% de agregado de GCR</i>	40
<i>Imagen 8 GCR llevado al horno</i>	40
<i>Imagen 9 comprobación de temperatura del GCR</i>	40
<i>Imagen 10 Punzadas de la mezcla GCR</i>	41
<i>Imagen 11 sujetador sobre el pedestal de compactación</i>	42
<i>Imagen 12 muestra de GCR se deja reposar</i>	43
<i>Imagen 13 muestra de GCR en baño maría</i>	44
<i>Imagen 14 muestra de GCR siendo ajustada en el molde para realizar prueba</i>	45
<i>Imagen 15 muestra de GCR después de la prueba realizada</i>	45
<i>Imagen 16 Formula de gravedad especifica</i>	50
<i>Imagen 17 MDC-10 caucho sobre la capa de rodadura</i>	68
<i>Imagen 18 Criterio de una mezcla asfáltica</i>	99
<i>Imagen 19 rango de asfalto</i>	100
<i>Imagen 20 Maquina semiautomática Digital para ensayos MARSHALL y CBR</i>	101
<i>Imagen 21 Horno eléctrico referencia HE2651</i>	102
<i>Imagen 22 Termómetro bimetalico Modelo 54</i>	102
<i>Imagen 23 Características técnicas MCD - 10</i>	103

Lista de Graficas

<i>Grafica Resultado de 1</i>	70
<i>Grafica Resultado de 2</i>	71
<i>Grafica Resultado de 3</i>	71
<i>Grafica Resultado de la pregunta 1</i>	72
<i>Grafica Resultado de la pregunta 2</i>	73
<i>Grafica Resultado de la pregunta 4</i>	74
<i>Grafica Resultado de la pregunta 4</i>	75
<i>Grafica Resultado de la pregunta 5</i>	76
<i>Grafica Resultado de la pregunta 6</i>	77

1 Resumen

TEMA: “Muestra de mezcla asfáltica con grano de caucho triturado.”

AUTORES:

Laura valentina Arias Cuervo - José Anderson Figueroa Quimbayo - Nelson Andrés Lozano Candía

TUTORES:

Sandro Iván García Calderón

María Nela Portillo Hernández

Ingeniero Civil

Economista-Administradora Financiera

En el presente trabajo encontrarán una alternativa para el uso de grano de caucho reciclado (GCR) como material modificador sobre una mezcla asfáltica. Cabe aclarar que estos desechos es uno de los principales contaminantes en algunas zonas del país, tal como es el caso de Bogotá según lo indica (BOGOTA, 2019). Se busca dar uso a este residuo sólido ya que es un material contaminante pero que, mediante un proceso específico de trituración y molienda controlada, se disminuirá el daño al medio ambiente.

La investigación es manejar el (GCR) para el análisis y elaboración de briquetas originadas a partir de los ensayos de resistencia, donde se tendrían los resultados de dosificación y realizar un comparativo para establecer un diseño de mezcla definido y decidiendo su viabilidad para la implementación de este en construcción de estructuras de pavimento en un futuro.

se realizó la fabricación de 8 muestras; las cuales (2) briquetas de diseño no contienen GCR, (2) con dosificaciones de 10%, 25% y 50% de GCR para un total de (6) briquetas que contiene el material granular, las briquetas se desarrollaron bajo los lineamientos técnicos de ensayos Marshall y Tracción Indirecta por vía seca, para dar respuesta en cuanto a la viabilidad e implantación a futuro utilizando como a agregado GCR, sobre este proceso de constructivo se verifico resistencia, deformación y esfuerzos capaces de soportar.

1.2 Palabras clave: *Asfalto, Caucho, Emprendimiento, Reciclaje, Resistencia*

1.2 Abstract

TOPIC: "Sample of asphalt mixture with crushed rubber grain."

AUTHORS:

Laura valentina Arias Cuervo - José Anderson Figueroa Quimbayo - Nelson Andrés Lozano Candía

TUTORS:

Sandro Iván García Calderón

María Nela Portillo Hernández

Ingeniero Civil

Economista-Administradora Financiera

In the present work you will find an alternative for the use of recycled rubber grain (GCR) as a modified material on an asphalt mixture. It should be clarified that this waste is one of the main pollutants in some areas of the country, as is the case of Bogotá as indicated (BOGOTÁ, 2019). The objective is to take advantage of this solid waste since it is a polluting material but, through a specific process of crushing and controlled grinding, the damage to the environment will be reduced.

The research consists of managing the (GCR) for the analysis and elaboration of briquettes from the resistance tests, where the dosage results will be obtained, and a comparison will be made to establish a defined mix design and decide its viability for the implementation of is under construction of pavement structures in the future.

the manufacture of 8 samples was carried out; which (2) design briquettes do not contain GCR, (2) with dosages of 10%, 25% and 50% of GCR for a total of (6) briquettes that contain the granular

material, the briquettes were developed under the technical guidelines of Marshall Tests and Indirect Traction by dry way, to respond in terms of viability and future establishment using GCR as an aggregate, in this construction process the resistance, deformation and efforts capable of withstanding were verified.

1.2.1 Keywords: *Asphalt, Entrepreneurship, Recycling, Resistance, Rubber.*

2 Introducción

En la actualidad hay serios problemas medioambientales como lo son la eliminación de materiales sólidos cuando cumplen su vida útil, este trabajo de investigación quiere sobre todo enfocarse en un material en específico que son los neumáticos usados los cuales se derivan de la vida útil de las llantas de medio de transporte. Es por ello, que surge el interrogante ¿Cuáles son los métodos de eliminación de neumáticos? La principal dificultad que presenta este material está relacionada con su disposición final, ya que la mayoría de estos desechos son dispuestos en lugares que no cumplen con ningún tipo de normatividad para su aprovechamiento, así mismo, su disposición ocupa mucho espacio y por ser considerados residuos Sólidos, deben ser enterrados, almacenados y en el peor de los casos, destruidos por incineración. La acumulación de neumáticos aumenta la probabilidad de incendio y las posibles emisiones de gases tóxicos. Actualmente, se cuenta con la disposición de empresas, las cuales al ver esta problemática buscaron una posible solución que es la trituración de estos materiales y comercializando un componente de los neumáticos que es el caucho granulado.

El caucho granulado de neumáticos se obtiene por la trituración y separación de componentes compuestos principalmente por acero y fibras, mediante este proceso se obtienen migas de caucho con un determinado tamaño de partícula para diferentes aplicaciones.

A la hora de realizar el diseño de mezclas de asfálticas para pavimentos se ha evidenciado que se pueden incorporar una porción significativa del caucho contenido en las llantas de desecho, y agregar las partículas de las llantas recicladas a las mezclas de asfalto es una forma de reutilizar este desecho y así mismo mejorar el desempeño del pavimento. Las mezclas asfálticas modificadas con

caucho pueden hacer que los pavimentos respondan mejor a los cambios térmicos y aumenten la resistencia a la fatiga por envejecimiento, aumentando la vida útil del pavimento y reduciendo los costos de mantenimiento.

El trabajo actual, parte de una investigación emprendedora que proyecta desarrollar un diseño de mezcla asfáltica para pavimentos, a través de los efectos de incorporar partículas de caucho de llantas de desecho en mezclas asfálticas calientes, con las correspondientes pruebas de laboratorio se comprobará los diseños convencionales o tradicionales determinando su ventaja en el nivel real de reducción del espesor de la capa y por lo tanto su estructura de la vía correspondiente.

3 Planteamiento del problema

Se ha demostrado según el trabajo de investigación de (Brito, 2017) el alto índice de accidentabilidad por el deterioro de las vías ha dejado un total de 306 accidentes debido a los huecos que se encuentran en las vías del municipio de Girardot dentro de estas deterioradas, lo cual está generando daños no solo materiales sino también en la comunidad y así mismo colocando en riesgo la vida de los ciudadanos que transitan por las mismas, este trabajo propiamente dicho busca desarrollar una posible muestra de diseño asfáltico utilizando una problemática global que es la contaminación ambiental donde la combustión de los cauchos, generan problemas para la salud como el monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NO), dióxido de carbono (NO₂), óxidos de zinc (ZnO), benceno (C₆H₆), fenoles (C₆H₆O), óxidos de plomo (PbO) o tolueno (C₇H₈), que se dispersan en el aire (portafolio, 2022). En tal sentido, se espera implementar este material a la hora de realizar las modificaciones a la mezcla asfáltica convencional dado que sus componentes aportan un agregado de mayor resistencia para las vías y así poder lograr el objetivo principal. ¿Es realmente una solución la utilización de granulo de caucho triturado como nuevo agregado a la mezcla de pavimentos para la construcción de vías?

4 Justificación

Uno de los problemas que se vive actualmente en el mundo es lo que hacen con los residuos sólidos, algunos de ellos pueden variar al momento de su descomposición que va desde días, meses, años o incluso siglos, un ejemplo muy claro son las llantas de los vehículos, puesto que el caucho puede durar en su descomposición alrededor de unos 50 a 150 años; en Colombia no es considerado un peligro, Según Téllez (2020), la Contraloría General de Colombia hace seguimiento a los rellenos sanitarios que existen actualmente, evidenciando fallas en los términos técnicos, ambientales y sin una planeación o contingencia por alta demanda de los desechos.

Un artículo publicado por la revista Semana en el año 2020 informan que según INVIAS casi el 60% de las vías nacionales pavimentadas se encuentran en mal o regular estado y para aquellas que aún no están pavimentadas el 90% están en mal o regular estado, lo que ocasiona muchas pérdidas no solo materiales, sino que también humanas, generando demandas al gobierno como consecuencia al estado que se encuentran, estas demandas son pagadas con los impuestos que los mismos ciudadanos contribuyen donde la cifra oscila alrededor de unos 2 billones de pesos Colombianos.

Para contra restar todos los problemas se selecciona el grano de caucho reciclado lo cual genera una contribución al medio ambiente, dadas a las características o componentes del caucho al ser mezclado con agregados u otros componentes resiste más a los fenómenos de fatiga, ahuellamiento, sino que duplica su vida útil a los materiales a la actualidad.

5 Objetivos

5.1 Objetivo General

- Evaluar una muestra de mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado y triturado en el laboratorio, para conocer la calidad de la mezcla, para ser implementado en el municipio de Girardot.

5.2 Objetivos Específicos

- Obtener el polímero elástico para la muestra del asfalto verificando sus características propias teniendo en cuenta la normatividad vigente.
- Realizar diseño de mezcla, con ensayos de Marshall para conocer su densidad, volumen, densidad de Bulk, % de vacíos y gravedad específica de Bulk por vía seca.
- Comparar mediante los resultados de laboratorio la muestra modificada con la muestra sin modificar MDC 10 y conocer si puede ser aplicada como solución al daño existente.
- Comprobar costos de empresas que se dediquen a la comercialización y/o producción de diferentes mezclas asfáltica en la región.
- Analizar el promedio de caucho que puede producir un sector de los habitantes del municipio de Girardot – Cundinamarca.

6 Marco referencial:

Este aparte del documento presenta algunos de los estudios realizados para diseñar u obtener una mezcla asfáltica, que tenga las características relacionadas o que promete: un bajo costo de producción, eficiencia en el uso y la proyección como producto viable para la reducción y reutilización de materiales que generan impacto ambiental. Es por ello, que esta alternativa ofertada al mercado y que utiliza como materia prima el grano de caucho triturado al ser aplicada como agregado consigue una resistencia y adherencia, aprobatoria teniendo en cuenta la normatividad vigente para la permeabilidad en la vía.

6.1 Marco conceptual

6.1.1 Agregados

Aquellos compuestos extraídos de la tierra como la piedra, la arena y la grava, son utilizados en las formas de construcción. Estos se pueden aprovechar en su naturalidad o también triturarse convirtiéndose en material de tamaños más pequeños (CEMEX, 2020).

6.1.2 Base granular

Material con triturados arena y material fino se conoce como base granular (ABCgeotecnia,2022).

6.1.3 Carpeta Asfáltica

La aplicación de la carpeta asfálticas es una de las más importantes ya que garantiza que la superficie sea cómoda y presente un rodamiento seguro para los vehículos (multinsa, 2019).

6.1.4 Caucho

En la actualidad el caucho presenta mayor demanda en el mercado debido a que este es utilizado para la fabricación de productos como empaquetaduras, llantas, artículos impermeables, aisladores, entre otros (GRC, 2019).

6.1.5 CBR

El CBR se emplea para evaluar la capacidad portante de terrenos compactados donde las siglas CBR significas Californian Bearing Ratio Proveniente del ensayo que fue desarrollado en el lugar (geotecnia, 2020).

6.1.6 Contaminación

La contaminación atmosférica daño presente que existe en el aire de pequeñas partículas, lo cual es una molestia para las personas, plantas y animales que se encuentran expuestas a dicho ambiente (IDEAM, GOV.COM, 2022).

6.1.7 Dosificación

Proporción de material adecuada para su uso como el concreto que cuenta con las características esenciales (SINKA, 2020).

6.1.8 Emulsión Asfáltica

Combinación de asfalto en agua con fluidificantes se le conoce como emulsión asfáltica la cual se mantiene estable por la presencia de agentes tenso activos especiales, llamados emulsificantes (ISSA, 2020).

6.1.9 Llanta

Pieza circular donde su tamaño varía debido al tipo de vehículo, está situada en el centro de la rueda con un neumático unida al eje del vehículo (autos, 2020).

6.1.10 Materiales pétreos

Agregados de partículas minerales muy grandes y sin forma determinada que se encuentran en la naturaleza. Estos son materiales muy apreciados en la construcción, por ser muy resistentes a las condiciones medioambientales, pero presentan el inconveniente de tener un costo alto (xunta, 2020).

6.1.11 Polímero Elástico

Se caracteriza por ser un material visco elástico, lo que significa que tiene tanto elasticidad como viscosidad, además, poseen una alta tensión fallo/rendimiento (consulting, 2021).

6.1.12 Residuos Sólidos

Los residuos pueden ser líquidos, gaseosos o sólidos. Se usa el término residuo sólido urbano para referirse a aquellos que se producen específicamente dentro de los núcleos urbanos y sus zonas de influencia (verde, 2021).

6.1.13 Subbase granular

Es un material granular grueso compuesto por triturados, arena y material grueso. Usos y aplicaciones: se emplea como capa en la instalación de pavimentos asfálticos y de concreto (CEMEX, 2020).

6.1.14 Terreno natural

En una sección o línea que diferencia al terreno natural de la capa vegetal (construccion, 2020).

6.1.15 Terraplén

Tierra que se emplea para construir un camino o una estructura defensiva, o que se utiliza con el objetivo de rellenar algún espacio. se llama terraplén a uno de los tipos de obras de tierra realizadas por pueblos de la antigüedad (PORTO, 2016).

6.2 Marco teórico

6.2.1 Capas de rodadura asfálticas

La capa de rodadura es la parte superior de la pavimentación asfáltica de una calzada. Por eso debe ser suficientemente hermética y resistente a las fuerzas deformantes. La superficie debe conservar a largo plazo su planeidad y agarre a pesar de las cargas del tráfico, También debe ser resistente al deterioro y al efecto de los agentes meteorológicos (MAQUINTER, 2022).

6.2.2 MDC-10

Mezcla asfáltica densa en caliente de gradación continua, con agregado de tamaño máximo 10 mm. La MDC-10 tipo Invías se usa generalmente para construir capas de rodadura en vías con tráfico bajo, ciclo-rutas y canchas deportivas. Dependiendo del espesor de la capa, la MDC-10 también se puede usar para construir capas de rodadura de alta especificación en vías con tráfico medio y alto (CTU, 2022).

6.2.3 Baño maría

El baño de María es un equipo que se utiliza en el laboratorio para realizar pruebas serológicas y procedimientos de incubación, aglutinación, inactivación, biomédicos, farmacéuticos y hasta industriales. Por lo general, se utilizan con agua, pero también permiten trabajar con aceite (Equipos y laboratorio de colombia, 2022).

6.2.4 Máquina para pruebas de estabilidad Marshall

La máquina para pruebas de estabilidad Marshall TBTMWD-2 es un equipo que cuenta con una pantalla digital que se utiliza en procesos de ensayos de estabilidad de mezclas de asfalto y así poder evaluar de forma precisa el punto de ruptura de la mezcla de asfalto, como así mismo ayuda en el cálculo de proporción de diseño en la mezcla de asfalto y el control de calidad del asfalto. Además, ofrece transductores de carga y desplazamiento de alta precisión (TBT, 2022).

6.2.5 Ensayo Marshall

Permite conocer el contenido óptimo de ligante (betún) en las mezclas bituminosas en caliente (MBC). Se rompen cuatro probetas cilíndricas por cada serie de igual contenido en betún, de mezcla asfáltica compactada con 75 golpes dados con maza, por cada cara, introduciendo las probetas en un baño de agua a una temperatura de 60 °C, durante media hora, y a una velocidad de deformación de 50,8 mm/minuto. Se obtienen cinco gráficas que representan la variación de: la densidad relativa, contenido de huecos en los áridos y en la mezcla, la estabilidad y la deformación, en función del contenido de betún (DICCIONARIO DE LA CONSTRUCCION, 2022).

6.2.6 Gravedad específica Bulk

Es la relación entre la masa (peso en el aire) de un volumen dado de material a una determinada temperatura, generalmente a 25°C para mezclas asfálticas, y la masa de un volumen igual de agua destilada, libre de gas, a la misma temperatura (Docplayer, 2022).

6.3 Estado del arte (antecedentes)

Un primer artículo correspondiente a la universidad EAN (2017), que nos habla acerca de “las llantas usadas como materia prima para pavimentos, su proceso de reciclaje y recuperación de la misma a la hora de triturarlas”, dicho lo anterior se evidencia casos anteriores del uso de ese material como alternativa de agregado para mejorar los pavimentos dado que sus componentes brindan una mayor viabilidad y así mismo aportar al medio ambiente desechando este material de tan alto tiempo de descomposición, como otro argumento se menciona a la Universidad Nacional de Colombia (2017), que mediante ensayos de resistencia a la compresión, tracción, flexión, entre otros.

Según la facultad de ingeniería civil U. Cooperativa de Colombia, Santa Marta. (Gómez, 2019) Mencionan que debido “A la corrupción y malas licitaciones, no se ha permitido que el caucho sea implementado como uso para agregado en el concreto asfáltico”. Con lo anterior expuesto se observa que se ha intentado implementar este material para poder darle una reutilización y de este modo contribuir con el medio ambiente y otros aspectos que están afectando el entorno. Se ha presenciado varios modelos en Colombia para poder utilizar el caucho o llanta como agregado al asfalto, donde algunos años atrás se viene profundizando en modificar la mezcla asfáltica y como agregado el caucho de llanta. (Lesmes, 2018).

Importante agregar un tercer artículo de la Facultad de Ingeniería Programa Académico de Ingeniería Civil (OLIVARES, 2017) que hace referencia “las consideraciones básicas que se debe tener en cuentas al momento de diseñar un refuerzo, como son: evaluación del pavimento, reparaciones previas, preparación de la superficie, etc.” resumiendo lo planteado este artículo habla acerca de que estudios son los necesarios el cuál no solamente trata el uso de sobre capas asfálticas como alternativa de rehabilitación, sino también el uso de sobre capas de refuerzo de concreto de cemento portland que, según sea el caso, pueden ser adheridas y no adheridas al pavimento por rehabilitar.

6.3.1 Investigaciones Internacionales

Según investigaciones anteriores de Costa Rica como la de (Muñoz Pérez, 2021) que nos habla acerca de; " el uso del caucho granulado en mezclas asfálticas" demostrando su objetivo principal el cual es identificar los porcentajes óptimos y la mejora que esté agregado proporciona a las mezclas de pavimentos. Así mismo distinguir los diferentes beneficios de la mezcla tales como lo son la resistencia, la tracción indirecta, la susceptibilidad, la humedad, la formación de surcos, la permeabilidad y al envejecimiento. Brindando así una mayor resistencia de los mismos sin mencionar también el mejoramiento de su vida útil disminuyendo problemáticas como la humedad, la fatiga y las bajas temperaturas, en suma, se puede observar resistencia frente a distintos factores que afectan o reducen las complicaciones de los pavimentos y que el agregado más que brindar una estabilidad con el medio ambiente debido a que genera una mayor resistencia frente a distintas dificultades de los pavimentos.

Por otro lado, también se encuentra el punto de vista desde la universidad de Ecuador (Merizalde Aguirre, 2019) que hace mención sobre " la mezcla asfáltica modificada con el polvo de

caucho reciclado " en tal sentido se busca que con la incorporación de caucho se pretenda mejorar el rendimiento de la capa de rodadura de un pavimento, comprobando las propiedades físicas y biológicas de una mezcla modificada y una mezcla convencional, de este modo por medio de diferentes ensayos a realizar se pretende realzar los beneficios que este agregado conlleva sobre las mezclas asfálticas modificadas mejorando su vida útil del pavimento en comparación a una mezcla convencional y posiblemente lograr demostrar que pueden llegar a ser más viables económicamente a largo plazo ya que esta reducirá periódicamente el mantenimiento de los pavimentos.

6.3.2 Investigaciones Nacionales

El uso del caucho de las llantas desechadas tiene como objetivo, darles una reutilización como agregado asfáltico y de esta manera darle finalidad a su vida útil (CLAROS, 2017). La llanta es unos de los materiales que más se utiliza y se desechan a su vez, por eso es de gran importancia buscar la manera de acabar con su ciclo de vida sin que genere ningún daño al medio ambiente. Para nadie es un secreto que la malla vial de la ciudad de Bogotá presenta un gran deterioro de daño, debido a su baja capacidad de carga y materiales de baja calidad. Para esto se busca implementar los pavimentos con GCR (grano de caucho reciclado) donde se ha encontrado que además de mitigar problemas ambientales, también mejora las propiedades mecánicas, aumentando la vida útil de la malla vial, disminuyendo el costo y el tiempo de mantenimiento de estas.

En el mundo las llantas son parte primordial de la economía, debido a su demanda, hoy en día el ser humano utiliza como medio de transporte diario, moto, carro, buseta, bicicletas, entre otras. La llanta es un material no biodegradable lo cual su descomposición toma demasiado tiempo, lo cual

genera un almacenamiento masivo y produce contaminación al medio ambiente por intentar terminar con su vida útil con métodos no efectivos. Por esta razón se busca someter a un proceso de separación donde solo quede el GCR para poder utilizar como agregado al pavimento y de esta manera buscar mejorar las propiedades, la calidad y la elasticidad y flexibilidad para evitar la fisura miento y desprendimientos (RAMIREZ, 2018).

6.4 Marco legal

Es muy importante tener en cuenta la normativa para poder desarrollar todo proyecto, en el caso de cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado se tiene en cuenta la normatividad de INVIAS que establece en el artículo 413-13 todas las características que se debe tener en cuenta al momento de realizar una mezclar como lo indica en la imagen 1 y resalta la importancia que “se usará únicamente en aquellas mezclas en las cuales los documentos técnicos del proyecto especifiquen su uso”. INVIAS (2012), adicionalmente para tener en cuenta las propiedades de esta mezcla asfáltica debe cumplir con las características que establecen el Artículo 410 en donde se indica en la imagen 2; las recomendaciones del proceso constructivo, seguimiento y verificación de esta mezcla asfáltica la detallan en la norma.

CARACTERÍSTICA	REQUISITO
Humedad	- Máximo 0.75 % de la masa total de la mezcla. - El GCR debe fluir libremente
Gravedad específica	1.15 ± 0.05
Contenido de metales no ferrosos	No debe haber presencia visible
Contenido de metales ferrosos, en masa	Máximo 0.01%
Contenido de fibra en masa, en masa: - Para mezclas en caliente - Para riegos	Máximo 0.5% Máximo 0.1%
Contenido de polvo mineral (como talco): se suele usar para prevenir que los granos se peguen	Máximo 4.0%
Contenido total de otros elementos extraños, en masa; incluye: - Vidrio - Arena - Madera, etc	Máximo 0.25%

Imagen 1 cemento Asfáltico con GCR

Fuente: *Capítulo 4 - pavimentos asfáltico, Artículo 413 - 13 Suministro de cemento Asfáltico con grano de caucho reciclado tabla 413-1, INVIAS 2012*

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)					
	2.38 No. 8	2.00 No. 10	1.19 No. 16	0.59 No. 30	0.30 No. 50	0.075 No. 200
% PASA						
Tipo A	100	95 - 100	0 - 10	-	-	-
Tipo B	-	100	65 - 100	20 - 100	0 - 45	0 - 5

Imagen 2 Imagen 2 cemento Asfáltico con GCR

Fuente: *Capítulo 4 Capítulo 4 - pavimentos asfáltico, Artículo 413 - 13 Suministro de cemento Asfáltico con grano de caucho reciclado tabla 413-2, INVIAS 2012*

Para la monografía se llevará a cabo una serie de ensayos y procesos que permitirá conocer las propiedades y demás características para poder realizar la muestra con el caucho de llanta triturada, por lo cual se llevará a cabo una serie de ensayos regidos por unas normas utilizadas a nivel nacional.

6.4.1 Normas INVIAS

Para el material granular se realizará un diseño Marshall este método según la Norma INVIAS 2013 (I.N.V.E - 748 – 13), el cual describe el paso a paso que se debe realizar para determinar la resistencia a la deformación plástica de especímenes cilíndricos de mezclas asfálticas para pavimentación (Library, 2022).

6.4.2 Agregados finos y Gruesos

Para poder clasificar los materiales y obtener una dosificación se realizará unos ensayos de las muestras de los agregados finos y gruesos.

Estos ensayos ilustrados en las tablas N°2 y N°3

Ensayo	N° INVIAS	Descripción
Método Densidad Bulk (Peso unitario) y Porcentaje de Vacíos de los Agregados Compactos o Suelos.	I.N.V. E – 217 - 13	El propósito de esta norma es especificar el método de densidad aparente (unidad de peso) y el porcentaje de

		vacíos en los agregados, ya sea fino, grueso o una mezcla de ambos.
--	--	---

Tabla 1 Ensayos de agregados finos.

Nota: Tomado normatividad de INVIAS

Ensayo	N° INVIAS	Descripción
Método para Determinar Porcentaje de Caras Fracturadas en los Agregados.	I.N.V. E – 227 – 13	Esta norma describe un método para determinar el porcentaje en peso o número de una muestra de agregado grueso que consiste en partículas trituradas que cumplen requisitos específicos.
Método para análisis Granulométrico De Agregados Gruesos y Finos	I.N.V. E – 213 – 13	Determine cuantitativamente la distribución del tamaño de partícula de los agregados gruesos y finos del material usando tamices cuadrados

		progresivamente más pequeños.
Método para determinar la Gravedad y Absorción de Agregados Gruesos.	I.N.V. E – 223 – 13	Esta norma describe el procedimiento para determinar el tamaño, la masa saturada y la superficie seca y la gravedad específica aparente y la absorción para agregados de ,75 mm o más grandes (tamiz No. 4).

Tabla 2 Ensayos de agregados gruesos

Nota: Tomado normatividad INVIAS

6.4.2 EXTRACCIÓN DE TESTIGOS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS (INV E – 758 – 13)

Esta norma describe un procedimiento para extraer muestras de capas asfálticas (de base, intermedia y rodadura), destinadas a medir espesores y a la realización de ensayos de laboratorio.

(repository ucatolica, 2022)

Esta norma reemplaza la norma INV E-758-07.

6.4.3 MUESTREO

Los sitios para la toma de testigos se deben escoger de manera aleatoria, conforme se indica en la norma INV E-730. Se recomienda tomar un mínimo de tres testigos por lote, cada uno de los cuales se someterá a los ensayos previstos, promediando sus valores para determinar la aceptabilidad (repository ucatolica, 2022).

7 Metodología

7.1 procedimientos y metodologías

7.1.1 Etapa 1



Principalmente, se inició con la recopilación de información sobre los temas seleccionados que se dio seguimiento en los meses posteriores a la entrega y aprobación de la propuesta como opción de grado para el segundo semestre del año en curso 2022 a través de fuentes como artículos, documentos bibliográficos y revistas, lo que brindo una perspectiva enfocada sobre el tema a tratar en este dicho trabajo de grado.

7.1.2 Etapa 2

Para dar continuidad, teniendo en cuenta las investigaciones relacionadas sobre los implementos a utilizar como los equipos que son; martillo de compactación Marshall, pedestal para Marshall, prensa manual CBR-Marshall marca pinzuar modelo P-25M, molde para ensayo de estabilidad y flujo, horno eléctrico referencia HE2651, termómetro biometalítico para asfaltos, balanzas electrónicas digitales, pie de rey analógico, estufa eléctrica marca HACEB, termómetro de vidrio, recipiente metálico, espátula y palustre, siguiendo con los materiales a utilizar mezcla asfáltica MDC-10 para capa de rodadura y grano de caucho reciclado de llantas (GCR) para pavimentos.

7.1.3 Etapa 3

Durante las siguientes semanas de esta este proyecto investigativo se obtuvieron los implementos a utilizar sobre el mismo, la mezcla asfáltica MDC-10 convencional, el material para los ensayos que se ejecutaron teniendo en cuenta características técnicas como lo es la estabilidad y resistencia que debe contener generalmente las mezclas asfálticas a la hora de su uso; esta actividad se realizó en el siguiente mes y se identificaron mediante el estudio, verificando así el rendimiento de cualidades físicas y estructurales. Continuando con los resultados fueron conocidas las características de los materiales y sus aplicaciones en nuestro proyecto.

7.1.4 Etapa 4

Iniciando con el ensayo método Marshall se hace bajo la norma INV-E 748/13. que describe la medición de la resistencia a la deformación plástica de probetas cilíndricas de mezclas asfálticas, dando lugar así a empezar a pesar y separar cantidades específicamente de la siguiente manera dos (2) recipientes metálicos con una cantidad de 1,2 kg de mezcla convencional asfáltica MDC-10,



Imagen 4 1,2 kg de mezcla convencional asfáltica
Fuente: Autores

Dos (2) recipientes metálicos con una cantidad de 1,080 kg de MDC-10 y un porcentaje del 10% de agregado de GCR para un total de 1,2 kg de mezcla,



Imagen 5 10% de agregado de GCR
Fuente: Autores

Dos (2) recipientes metálicos con una cantidad de 0,9 kg de MDC-10 y un porcentaje del 25% de agregado de GCR para un total de 1,2 kg de mezcla,



Imagen 6 25% de agregado de GCR
Fuente: Autores

Dos (2) recipientes metálicos con una cantidad de 0,6 kg de MDC-10 y un porcentaje del 50% de agregado de GCR para un total de 1,2 kg de mezcla,

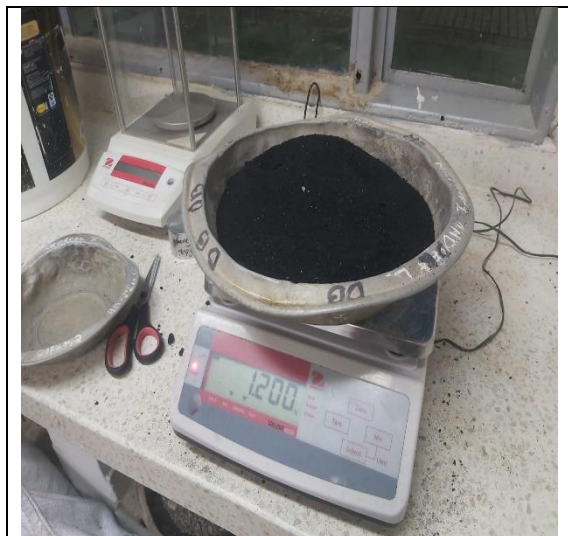


Imagen 7 50% de agregado de GCR
Fuente: *Autores*

Iniciamos calentando el asfalto a una temperatura constante de 120 °C para así añadir el agregado que en nuestro caso es el GCR,



Imagen 8 GCR llevado al horno
Fuente: *Autores*



Imagen 9 comprobación de temperatura del GCR
Fuente: *Autores*

Incorporándolo sin perder el nivel de temperatura se agrega con anterioridad un filtro en el molde antes de verter la mezcla y luego se introduce la mezcla dentro de la briqueta realizando continuamente 25 punzadas, 15 veces alrededor del perímetro y 10 sobre el interior;



Imagen 10 *Punzadas de la mezcla GCR*

Fuente: *Autores*

Después de haber introducido toda la mezcla se continúa agregando en la parte superior del molde nuevamente un filtro del mismo diámetro. La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación deberá hallarse dentro de los límites de temperatura de compactación establecidos, a continuación, Se acomoda en el sujetador sobre el pedestal predestinado para esta actividad de compactación y se aplica el número de golpes especificado que en este caso fueron (75),



Imagen 11 sujetador
sobre el pedestal de
compactación
Fuente: *Autores*

Utilizando para la siguiente actividad el martillo de compactación. A continuación, se ubica la placa de base y el collar en sentido de que se logre extraer el molde de la briqueta; continuamente se coloca el molde en sentido contrario para lograr la extracción de la briqueta brindándole unos golpes sobre la cara contraria. Después de la compactación, se desprende el collar y la placa de base dejando así enfriar la muestra al aire hasta que su temperatura sea tal, que no se produzca ningún daño en ella al extraerla del molde.



Imagen 12 muestra de GCR se deja reposar
Fuente: *Autores*

Después de las 24 Horas que se debe dejar reposar las briquetas para no dañar su forma y estén a una temperatura ideal, se determina la gravedad específica Bulk de cada una tomándoles sus pesos debidos mediante alguno de los procedimientos descritos en las normas INV E-733, INV E-734 o INV E-802. Siguiendo con el ensayo de Estabilidad y Flujo se deberá realizar dentro de las 24 horas siguientes a la compactación de las briquetas como se menciona anteriormente. Se colocan las probetas en un baño maría aproximadamente en un tiempo entre el rango de 35 – 45 minutos revisando constantemente que la temperatura no pase de la establecida y se mantenga constante.



Imagen 13 muestra de GCR en baño maría
Fuente: Autores

El siguiente paso que seguir es cuando las briquetas lleguen al tiempo estimado en el baño maría retirarlas y secarlas muy bien para así luego pasarlas al molde se coloca la mordaza superior con el medidor de deformación y el conjunto se sitúa centrado en la prensa. Continuamente ajustamos el medidor de flujo en su lugar indicado, se coloca a cero, y manteniendo su vástago frente la mordaza superior y así mismo se genera la carga de ensayo sobre la briqueta con la prensa para buscar una deformación manejando una velocidad constante de 50 ± 5 mm/min (2.00 ± 0.15 "/min) constante hasta que ocurra la falla sobre las briquetas tanto de mezcla convencional como las modificadas porcientalmente con el GCR o cuando la máquina del ensayo advierte que se logró la carga máxima y así mismo comienza a decrecer.



Imagen 14 muestra una muestra de GCR siendo ajustada en el molde para realizar la prueba.
Fuente: Autores



Imagen 15 muestra la muestra de GCR después de la prueba realizada.
Fuente: Autores

7.1.5 Etapa 5

Para finalizar con las etapas resaltadas del procedimiento de ensayos que se ejecutó durante el tiempo estimado para la terminación de dicho proyecto, se lograron obtener todos los datos y resultados; así mismo esto permitió alcanzar los objetivos deseados sobre este documento final de Trabajo de Grado.

8 Resultados

Algo para tener en cuenta son las propiedades de una mezcla asfáltica (ver anexo 1), como también conocer el rango en el cual este material cumple con todas las propiedades (ver anexo 2), ya que esto permite hacer un comparativo entre los diferentes tipos de mezclas con y sin agregado, es por esto que se decide hacer unos ensayos de laboratorios que no arroja la siguiente información.

8.1 Diseño de mezcla convencional MDC-10 (capa de rodadura)

Dando inicio a nuestro proyecto se ejecutó la caracterización de los materiales y los parámetros iniciales de diseño; con esta actividad se comenzó a la elaboración de las dos (2) briquetas de la muestra patrón con la mezcla asfáltica para capa de rodadura MDC-10, con una temperatura constantemente revisada por el termómetro de asfalto en un rango de 110°C - 120°C y con 75 golpes por cada una de las caras utilizando el martillo de compactación Marshall con sus filtros por ambos lados de la briqueta. En la tabla 4 que se logra apreciar a continuación, se evidencia la información de las dos (2) briquetas con MDC-10. Las briquetas se fallaron por medio del ensayo (Marshall vía seca) para poder obtener el diseño óptimo de cemento asfáltico.

ENSAYO MARSHALL	
TEMPERATURA DE MEZCLA	120°C
TEMPERATURA DE COMPACTACION	120°C - 110°C
N° DE GOLPES POR CAPA	75

TIPO DE CEMENTO ASFALTICO	MDC-10	
CANTIDAD DE ASFALTO	1,2 kg	
CANTIDAD DE GCR	0 kg	
BRIQUETA N°	1	2
TIPO DE MEZCLA	MDC-10	MDC-10
% DE ASFALTO	100%	100%
% DE GCR	0%	0%
ALTURA BRIQUETA (cm)	7	7
DIAMETRO BRIQUETA (cm)	9,8	9,8

Tabla 3 diseño de mezcla convencional

Fuente: ***Autores***

Los resultados obtenidos de las dos (2) briquetas de la mezcla convencional para la capa de rodadura MDC-10 se pueden apreciar en la tabla 5, donde se ilustra el peso de la muestra en aire seca, peso de la muestra en aire superficialmente seco y peso de briqueta en agua es decir sumergida.

N° DE BRIQUETAS	1	2
------------------------	----------	----------

% DE ASFALTO	100%	100%
% DE GCR	0%	0%
PESO EN AIRE SECA SSS (gr)	1.20 gr	1.205 gr
PESO EN AIRE SECA (gr)	1.198 gr	1.201 gr
PESO BRIQUETA EN AGUA	748 gr	756.3 gr

Tabla 4 briquetas (gr)”

Fuente: **Autores**

Ensayo Estabilidad y Flujo de Mezclas Asfálticas en Caliente Empleando el Aparato de Marshall INV E- 748-13. Por medio del ensayo Marshall se logró determinar el comportamiento de las muestras y/o briquetas que en este caso fueron dos (2) de mezcla convencional sin ningún porcentaje de agregado GCR y que luego estas fueron sometidas a 30 minutos en baño a una temperatura controlada de $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, como lo describe y sugiere la norma INV E- 748-13. Consecutivamente se sometieron a esfuerzos para determinar los resultados de estabilidad y de flujo los cuales serán tenidos en cuenta para hallar el diseño óptimo.

Como se logra observas en la tabla 6, se plasman los resultados del ensayo Marshall de mezcla convencional MDC-10 para capa de rodadura.

MDC-10 convencional con 0% de GCR

N° BRIQUETAS	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	FUERZA MAX (KN)	Est. CORREC (KN)	FLUJO MAX (mm)	CORRECCI ÓN
1	9,8	8	8,47	7,39	5,51	0,87239
2	9,8	8,2	8,49	7,5	5,6	0,87239
PROMEDIO	9,8	8,1	8,48	7,445	5,555	0,87239

Tabla 5 MDC-10 con 0% de GCR

Fuente: *Autores*

Para finalizar y según los resultados del diseño Marshall convencional para MDC-10 se tiene un promedio de lectura de Fuerza máxima de 8,48 kN, un promedio de Flujo de 5,55 mm y una Relación fuerza máxima flujo (FM/F) de 1.526 kN/mm como se logra observar en la tabla 7.

<i>MDC-10 convencional con 0% de GCR</i>			
N° BRIQUETAS	FUERZA MAX (KN)	FLUJO MAX (mm)	FM/F (KN/mm)
1	8,47	5,51	1,537205082
2	8,49	5,6	1,516071429
PROMEDIO	8,48	5,555	1,526638255

Tabla 6 Diseño Marshall MDC-10 relación Fuerza máxima Flujo

Fuente: *Autores*

8.1.1 Gravedad específica

Siguiendo con los alineamientos, para hallar el cálculo de la densidad Bulk se debe tener en cuenta la masa en aire, masa de briqueta sumergida en agua y la masa superficial seca en gramos (gr), para así mismo poder dar solución a la siguiente ecuación:

$$\text{Gravedad específica: } \frac{\text{masa en aire seca (gr)}}{\text{masa superficial seca (gr)} - \text{masa sumergida en agua (gr)}}$$

Imagen 16 Formula de gravedad especifica

Fuente: I.N.V.E-217-13

Teniendo en cuenta el cálculo de la gravedad específica para cada uno de los porcentajes de la mezcla asfáltica; sobre todas las muestras la cual nos permitirá determinar la selección de proporción de la mezcla. En la tabla [8] se ilustran los resultados obtenidos al realizar el pesaje de las muestras en aire, en agua y PSS, resultado de la gravedad específica, para MDC-10.

MDC-10 convencional con 0% de GCR							
BRIQUE	DIAMETRO	ALTURA	% MEZCLA	MASA EN	MASA EN	PSS	Gravedad
TAS	(cm)	(cm)	ASFALTICA	AIRE (gr)	AGUA (gr)	(gr)	especifica
1	9,8	8	100	1198	748	1200	2,66667
2	9,8	8,2	100	1201	756,3	1205	2,70969
PROME						1202	
DIO	9,8	8,1	100	1199,5	752,15	,5	2,68805

Tabla 7 MDC-10 convencional con 0% de GCR

Fuente: **Autores**

Densidad

$$\text{Densidad} = \text{Gravedad Especifica} * 0,997$$

Fuente: I.N.V.E-217-13

MDC-10 convencional con 0% de GCR		
BRIQUETAS	Gravedad especifica	Densidad
1	2,66667	2,65866999
2	2,70969	2,70156093
PROMEDIO	2,68818	2,68011546

Tabla8 Densidad

Fuente: Autores

Volumen Briquetas

$$\text{volumen cilindros} = \pi * r^2 * h$$

MDC-10 convencional con 0% de GCR			
BRIQUETAS	Altura (cm)	Radio (cm)	volumen (cm ³)
1	8	4,9	603,438528
2	8,2	4,9	618,5244912
PROMEDIO	8,1	4,9	610,9815096

Tabla 9 Volumen Briquetas

Fuente: Autores

Densidad de Bulk

$$\text{Densidad de bulk} = \frac{\text{Peso en el aire}}{\text{Volumen}}$$

Fuente: I.N.V.E-217-13

MDC-10 convencional con 0% de GCR			
BRIQUETAS	PSS (gr)	volumen (cm³)	densidad de Bulk (gr/cm³)
1	1200	603,438528	1,988603552
2	1205	618,5244912	1,94818478
PROMEDIO	1202,5	610,9815096	1,968394166

Tabla 10 Densidad de Bulk

Fuente: Autores

Porcentaje de vacíos

$$\% \text{ vacios} = \frac{(\text{gravedad especifica} * \text{densidad del agua}) - \text{densidad de bulk}}{\text{gravedad especifica} * \text{densidad del agua}}$$

Fuente: I.N.V.E-217-13

MDC-10 convencional con 0% de GCR				
BRIQUETAS	Gravedad especifica	Densidad	densidad de bulk (gr/cm³)	%VACIOS
1	2,66667	2,65866999	1,988603552	1,914116821

2	2,70969	2,70156093	1,94818478	1,983860183
PROMEDIO	2,68818	2,68011546	1,968394166	1,948988502

Tabla11 Porcentaje de vacíos

Fuente: Autores

8.2 Diseño mezcla mdc-10 modificada porcentualmente con (GCR).

A modo de comparación, se realizaron pruebas de Marshall en una mezcla modificada con GCR, MDC-10, en la que se reemplazaron 6 briquetas por el mismo material, y se realizaron dosis porcentuales de 10 %, 25 % y 50 % de GCR utilizando la ruta seca para evaluar su anti-adherencia y su distribución de mezcla asfáltica y altura de briquetas se resumen a continuación Tabla 9.

8.2.1 10% GCR

ENSAYO MARSHALL	
TEMPERATURA DE MEZCLA	120°C
TEMPERATURA DE COMPACTACION	120°C - 110°C
N° DE GOLPES POR CAPA	75
TIPO DE CEMENTO ASFALTICO	MDC-10
CANTIDAD DE ASFALTO	1,080 kg

CANTIDAD DE GCR	0,120 kg	
BRIQUETA N°	1	2
TIPO DE MEZCLA	MDC-10	MDC-10
% DE ASFALTO	90%	90%
% DE GCR	10%	10%
ALTURA BRIQUETA (cm)	6,7	7,3
DIAMETRO BRIQUETA (cm)	9,8	9,8

Tabla 12 Mezcla modificada porcentualmente con GCR

Fuente: *Autores*

N° DE BRIQUETAS	1	2
% DE ASFALTO	90%	90%
% DE GCR	10%	10%
PESO EN AIRE SECA SSS (gr)	1.112	1.142
PESO EN AIRE SECA (gr)	1120	1156
PESO BRIQUETA EN AGUA	594	589

Tabla 13 briquetas (gr)

Fuente: *Autores*

Como se logra observar en la tabla [10], se plasman los resultados del ensayo Marshall de mezcla convencional MDC-10 para capa de rodadura.

<i>MDC-10 convencional con 10% de GCR</i>						
N°	DIAMETRO	ALTURA	FUERZA MAX	Est. CORREC	FLUJO MAX	
BRIQUETAS	(cm)	(cm)	(KN)	(KN)	(mm)	CORRECCIÓN
1	9,8	7,4	5,26	4,59	7,68	0,87239
2	9,8	8,2	3,71	3,24	11,26	0,87239
PROMEDIO	9,8	7,8	4,485	3,915	9,47	0,87239

Tabla 14 MDC-10 con 10% de GCR

Fuente: *Autores*

Para finalizar y según los resultados del diseño Marshall convencional para MDC-10 con 10% de GCR se tiene un promedio de lectura de Fuerza máxima de 4,485 kN, un promedio de Flujo de 9,47 mm y una Relación Fuerza máxima Flujo (FM/F) de 1.526 kN/mm como se logra observar en la tabla 12.

MDC-10 convencional con 10% de GCR			
N° BRIQUETAS	FUERZA MAX (KN)	FLUJO MAX (mm)	FM/F (KN/mm)
1	5,26	7,68	0,684895833
2	3,71	11,26	0,329484902
PROMEDIO	4,485	9,47	0,507190368

Tabla 15 Relación Fuerza máxima Flujo

Fuente: *Autores*

8.2.1.1 Gravedad específica

MDC-10 convencional con 10% de GCR							
BRIQUE	DIAMETRO	ALTURA	% MEZCLA	MASA EN	MASA EN	PSS	Gravedad
TAS	(cm)	(cm)	ASFALTICA	AIRE (gr)	AGUA (gr)	(gr)	especifica
1	9,8	7,4	90%	1120	594	1112	2,114068
2	9,8	8,2	90%	1156	589	1142	2,014109
PROME							
DIO	9,8	7,8	0,9	1138	591,5	1127	2,062214

Tabla 16 MDC-10 convencional con 10% de GCR

Fuente: *Autores*

Densidad

MDC-10 convencional con 10% de GCR

BRIQUETAS	Gravedad especifica	Densidad
1	2,114068	2,107725796
2	2,014109	2,008066673
PROMEDIO	2,0640885	2,057896235

Tabla 17 densidad

Fuente: Autores

Volumen Briquetas

MDC-10 convencional con 10% de GCR			
BRIQUETAS	Altura (cm)	Radio (cm)	volumen (cm ³)
1	7,4	4,9	558,1806384
2	8,2	4,9	618,5244912
PROMEDIO	7,8	4,9	588,3525648

Tabla 18 Volumen Briquetas

Fuente: Autores

Densidad de Bulk

MDC-10 convencional con 10% de GCR			
BRIQUETAS	PSS (gr)	volumen (cm ³)	densidad de bulk (gr/cm ³)
1	1112	558,1806384	1,992186621
2	1142	618,5244912	1,846329476
PROMEDIO	1127	588,3525648	1,919258049

Tabla 19 Densidad de Bulk

Fuente: Autores

Porcentaje de vacíos

MDC-10 convencional con 10% de GCR				
BRIQUETAS	Gravedad especifica	Densidad	densidad de bulk (gr/cm ³)	%VACIOS
1	2,114068	2,107725796	1,992186621	1,165603927
2	2,014109	2,008066673	1,846329476	1,091545819
PROMEDIO	2,0640885	2,057896235	1,919258049	1,128574873

Tabla 20 Porcentaje de vacíos

Fuente: Autores

8.2.2 25% GCR

ENSAYO MARSHALL	
TEMPERATURA DE MEZCLA	120°C
TEMPERATURA DE COMPACTACION	120°C - 110°C
N° DE GOLPES POR CAPA	75
TIPO DE CEMENTO ASFALTICO	MDC-10
CANTIDAD DE ASFALTO	0,9 kg
CANTIDAD DE GCR	0,3 kg

BRIQUETA N°	1	2
TIPO DE MEZCLA	MDC-10	MDC-10
% DE ASFALTO	75%	75%
% DE GCR	25%	25%
ALTURA BRIQUETA (cm)	7,6	8,1
DIAMETRO BRIQUETA (cm)	9,8	9,8

Tabla 21 Mezcla modificada porcentualmente con GCR

Fuente: **Autores**

N° DE BRIQUETAS	1	2
% DE ASFALTO	75%	75%
% DE GCR	25%	25%

PESO EN AIRE SECA SSS (gr)	1.075	1.185
PESO EN AIRE SECA (gr)	1054	1160
PESO BRIQUETA EN AGUA	680	645

Tabla 22 briquetas (gr)

Fuente: **Autores**

Como se logra observar en la tabla 16, se plasman los resultados del ensayo Marshall de mezcla convencional MDC-10 para capa de rodadura.

MDC-10 convencional con 25% de GCR						
N°	DIAMETRO	ALTURA	FUERZA MAX	Est. CORREC	FLUJO MAX	CORRECCI
BRIQUETAS	(cm)	(cm)	(KN)	(KN)	(mm)	ÓN
1	9,8	9,7	3,714	3,2	18,59	0,87239
2	9,8	9,6	4,8	3,52	15,62	0,87239
PROMEDIO	9,8	9,65	4,257	3,36	17,105	0,87239

Tabla 19 MDC-10 con 25% de GCR

Fuente: *Autores*

Para finalizar y según los resultados del diseño Marshall convencional para MDC-10 con 25% de GCR se tiene un promedio de lectura de Fuerza máxima de 4,257 kN, un promedio de Flujo de 17,105 mm y una Relación Fuerza máxima Flujo (FM/F) de 0.253 kN/mm como se logra observar en la tabla 17.

<i>MDC-10 convencional con 25% de GCR</i>			
N° BRIQUETAS	FUERZA MAX (KN)	FLUJO MAX (mm)	FM/F (KN/mm)
1	3,714	18,59	0,199784831
2	4,8	15,62	0,307298335
PROMEDIO	4,257	17,105	0,253541583

Tabla 24 Relación Fuerza máxima Flujo

Fuente: *Autores*

8.2.2.1 Gravedad específica.

<i>MDC-10 convencional con 25% de GCR</i>							
BRIQUE	DIAMETRO	ALTURA	% MEZCLA	MASA EN	MASA EN	PSS	Gravedad
TAS	(cm)	(cm)	ASFALTICA	AIRE (gr)	AGUA (gr)	(gr)	especifica
1	9,8	9,7	75%	1054	680	1075	2,87433
2	9,8	9,6	75%	1160	645	1185	2,30097

PROMEDIO							
DIO	9,8	9,65	0,75	1107	662,5	1130	2,54218

Tabla 25 MDC-10 convencional con 25% de GCR

Fuente: *Autores***Densidad**

MDC-10 convencional con 25% de GCR		
BRIQUETAS	Gravedad especifica	Densidad
1	2,87433	2,86570701
2	2,30097	2,29406709
PROMEDIO	2,58765	2,57988705

Tabla 26 Densidad

Fuente: *Autores***Volumen Briquetas**

MDC-10 convencional con 25% de GCR			
BRIQUETAS	Altura (cm)	Radio (cm)	volumen (cm³)
1	9,7	4,9	731,6692152
2	9,6	4,9	724,1262336
PROMEDIO	9,65	4,9	727,8977244

Tabla 27 Volumen Briquetas

Fuente: *Autores***Densidad de Bulk**

MDC-10 convencional con 25% de GCR

BRIQUETAS	PSS (gr)	volumen (cm ³)	densidad de bulk (gr/cm ³)
1	1075	731,6692152	1,469243174
2	1185	724,1262336	1,636455006
PROMEDIO	1130	727,8977244	1,55284909

Tabla 28 Densidad de Bulk

Fuente: Autores

Porcentaje de vacíos

MDC-10 convencional con 25% de GCR				
BRIQUETAS	Gravedad especifica	Densidad	densidad de bulk (gr/cm ³)	%VACIOS
1	2,87433	2,86570701	1,469243174	2,356396744
2	2,30097	2,29406709	1,636455006	1,58374057
PROMEDIO	2,58765	2,57988705	1,55284909	1,970068657

Tabla 29 Porcentaje de vacíos

Fuente: Autores

8.2.3 50% GCR

ENSAYO MARSHALL	
TEMPERATURA DE MEZCLA	120°C
TEMPERATURA DE COMPACTACION	120°C - 110°C
N° DE GOLPES POR CAPA	75
TIPO DE CEMENTO ASFALTICO	MDC-10
CANTIDAD DE ASFALTO	0,6 kg

CANTIDAD DE GCR	0,6 kg	
BRIQUETA N°	1	2
TIPO DE MEZCLA	MDC-10	MDC-10
% DE ASFALTO	50%	50%
% DE GCR	50%	50%
ALTURA BRIQUETA (cm)	7,4	7,5
DIAMETRO BRIQUETA (cm)	9,8	9,8

Tabla 30 Mezcla modificada porcentualmente con GCR

Fuente: **Autores**

N° DE BRIQUETAS	1	2
% DE MEZCLA ASFALTICA	50%	50%
% DE GCR (INVIAS, INVIAS, 2013)	50%	50%
PESO EN AIRE SECA SSS (gr)	1.120	1.160
PESO EN AIRE SECA (gr)	1096	1106
PESO BRIQUETA EN AGUA	740	680

Tabla 31 briquetas (gr)

Fuente: **Autores**

Como se logra observar en la tabla 21, se plasman los resultados del ensayo Marshall de mezcla convencional MDC-10 para capa de rodadura.

MDC-10 convencional con 50% de GCR						
N° BRIQUETAS	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	FUERZA MAX (KN)	Est. CORREC (KN)	FLUJO MAX (mm)	CORRECCI ÓN
1	9,8	9	2,219	3,25	19,01	0,87239
2	9,8	8,4	8,64	3,46	18,55	0,87239
PROMEDIO	9,8	8,7	5,4295	3,355	18,78	0,87239

Tabla 32 MDC-10 con 50% de GCR

Fuente: **Autores**

Para finalizar y según los resultados del diseño Marshall convencional para MDC-10 con 50% de GCR se tiene un promedio de lectura de Fuerza máxima de 5,43 kN, un promedio de Flujo de 18.78 mm y una Relación Fuerza máxima Flujo (FM/F) de 0,291 kN/mm como se logra observar en la tabla 22.

MDC-10 convencional con 50% de GCR			
N° BRIQUETAS	FUERZA MAX (KN)	FLUJO MAX (mm)	FM/F (KN/mm)
1	2,219	19,01	0,116728038
2	8,64	18,55	0,465768194
PROMEDIO	5,4295	18,78	0,291248116

Tabla 33 Relación Fuerza máxima Flujo

Fuente: *Autores*

8.2.3.1 Gravedad específica

<i>MDC-10 convencional con 50% de GCR</i>							
BRIQUE TAS	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	% MEZCLA ASFALTICA	MASA EN AIRE (gr)	MASA EN AGUA (gr)	PSS (gr)	Gravedad especifica
1	9,8	9	50%	1096	740	1120	3,1460674
2	9,8	8,4	50%	1106	680	1160	2,7230047
PROME DIO	9,8	8,7	0,5	1101	710	1140	2,9156010

Tabla 34 MDC-10 convencional con 50% de GCR

Fuente: *Autores*

Densidad

MDC-10 convencional con 50% de GCR		
BRIQUETAS	Gravedad específica	Densidad
1	3,1460674	3,136629198
2	2,7230047	2,714835686
PROMEDIO	2,93453605	2,925732442

Tabla35 Densidad

Fuente: *Autores*

Volumen Briquetas

MDC-10 convencional con 50% de GCR			
BRIQUETAS	Altura (cm)	Radio (cm)	volumen (cm³)
1	9	4,9	678,868344
2	8,4	4,9	633,6104544
PROMEDIO	8,7	4,9	656,2393992

Tabla 36 Volumen Briquetas

Fuente: Autores

Densidad de Bulk

MDC-10 convencional con 50% de GCR			
BRIQUETAS	PSS (gr)	volumen (cm³)	densidad de bulk (gr/cm³)
1	1120	678,868344	1,649804428
2	1160	633,6104544	1,830777873
PROMEDIO	1140	656,2393992	1,740291151

Tabla 37 Densidad de Bulk

Fuente: Autores

Porcentaje de vacíos

MDC-10 convencional con 50% de GCR				
BRIQUETAS	Gravedad especifica	Densidad	densidad de bulk (gr/cm³)	%VACIOS
1	3,1460674	3,136629198	1,649804428	2,614322235
2	2,7230047	2,714835686	1,830777873	2,043873931
PROMEDIO	2,93453605	2,925732442	1,740291151	2,329098083

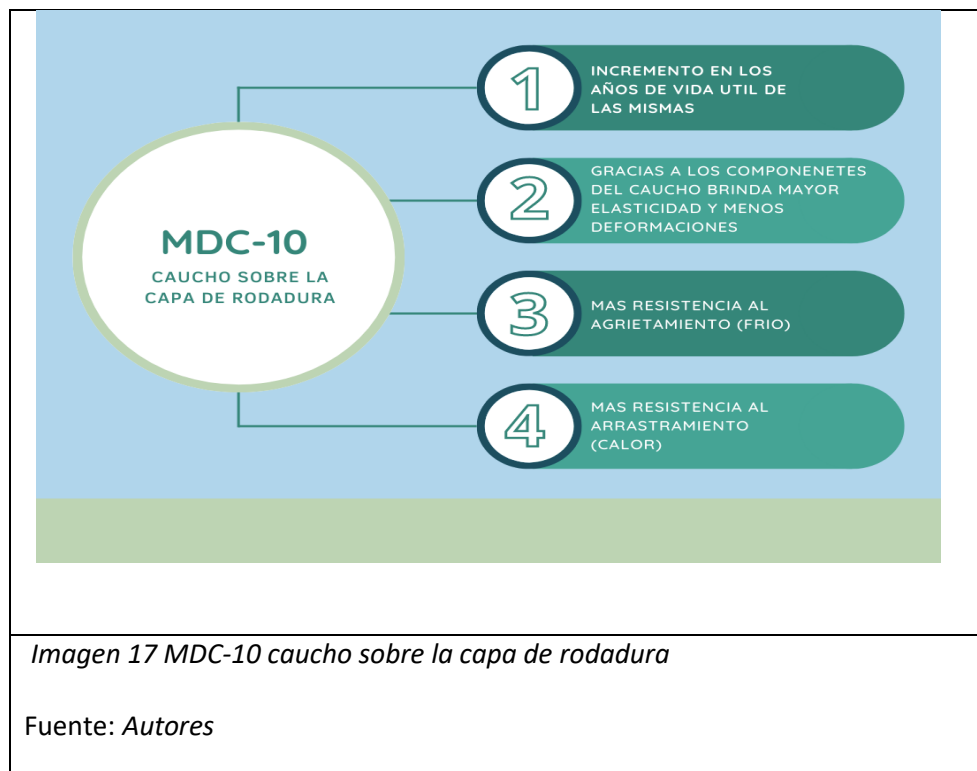
Tabla 38 Porcentaje de vacíos

Fuente: Autores

9 Análisis y discusión de resultados

9.1 Usos del GCR

Gracias a la gran demanda que se encuentra hoy en día a escalas de gran magnitud sobre la incógnita de qué hacer con los desechos de los neumáticos o llantas que ya cumplieron su vida útil, se han venido incorporando a la industria aplicaciones realmente interesantes para combatir con esta problemática. El caucho granulado reciclado mediante diferentes estudios se llegó a la conclusión que puede ser aplicado y utilizado, pero en este caso se está enfocando en uno en especial que es la aplicación en carreteras gracias a que sus componentes brindan múltiples beneficios sobre las capas asfálticas que se usan para la construcción de las vías, con esto se logra disminuir la extracción de áridos en canteras. Las carreteras que usan estos asfaltos son mejores y más seguras.



9.1.1 Aplicación

La incorporación del GCR sobre la capa de rodadura se puede ejecutar de dos maneras diferentes, pero en este trabajo de grado utilizaremos el método de vía seca que consiste de la siguiente manera:

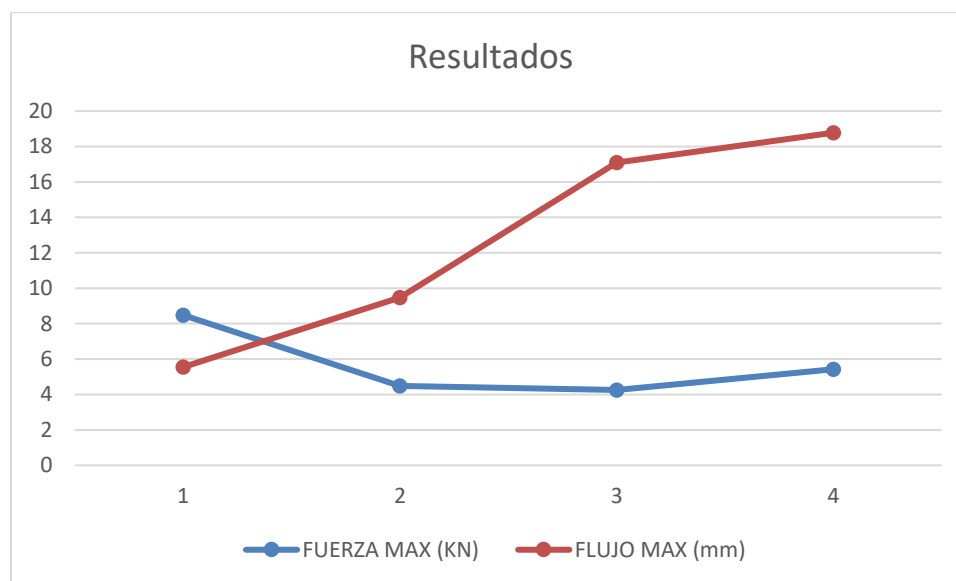
9.1.1.1 Vía seca

Según (ZURITA, 2016) El proceso seco es cualquier método donde el caucho reciclado de llantas es adicionado directamente a la mezcla asfáltica caliente, siendo usualmente mezclado con los agregados antes de adicionar el cemento asfáltico. Este proceso se lleva a cabo cuando se quiere usar el caucho reciclado de llantas como un agregado en la mezcla asfáltica, por lo general, como un sustituto de una pequeña parte del agregado fino.

Teniendo en cuenta los resultados de los ensayos realizados, se hace un comparativo de los datos obtenidos, en donde se logra evidenciar que entre más alto porcentaje de GCR es complejo determinar la fuerza dado a los equipos de laboratorios tocaba detener la medición dado a que estos seguían incrementando como fue en el caso de 50% GCR, los siguientes datos corresponde al promedio de cada una de las briquetas,

Muestras	FUERZA MAX (KN)	FLUJO MAX (mm)	FM/F (KN/mm)
MDC - 10	8.48	5.55	1.5266
10% GCR	4.485	9.47	0.5071
25% GCR	4.257	17.105	0.2535
50% GCR	5.429	18.78	0.2912

Tabla 39 Cuadro comparativo de resultados 1

Fuente: **Autores**

Grafica Resultado de 1

Fuente: **Autores**

Muestras	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	% MEZCLA ASFALTICA	MASA EN AIRE (gr)	MASA EN AGUA (gr)	PSS (gr)	Gravedad especifica
MDC - 10	9,8	8,1	100	1199,5	752,15	1202,5	2,68805
10% GCR	9,8	7,8	0,9	1138	591,5	1127	2,06221
25% GCR	9,8	9,65	0,75	1107	662,5	1130	2,54218
50% GCR	9,8	8,7	0,5	1101	710	1140	2,91560

Tabla 40 Cuadro comparativo de resultados 2

Fuente: **Autores**



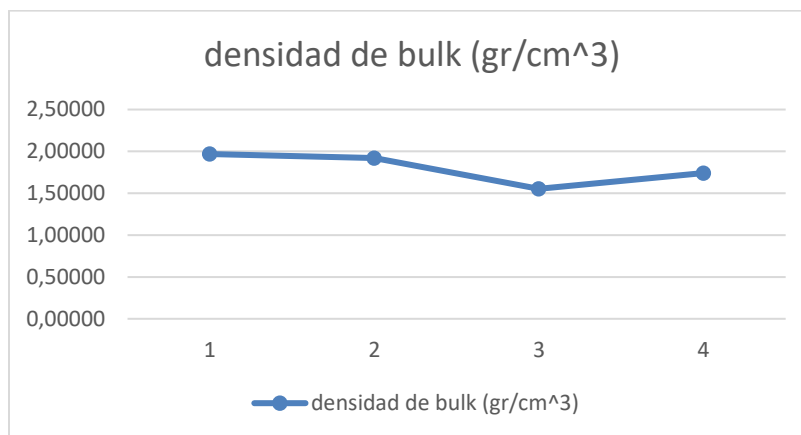
Grafica Resultado de 2

Fuente: Autores

Muestras	PSS (gr)	volumen	densidad de bulk (gr/cm ³)
MDC - 10	1202,5	610,9815096	1,968394166
10% GCR	1127	588,3525648	1,919258049
25% GCR	1130	727,8977244	1,55284909
50% GCR	1140	656,2393992	1,740291151

Tabla 41 Cuadro comparativo de resultados 3

Fuente: Autores



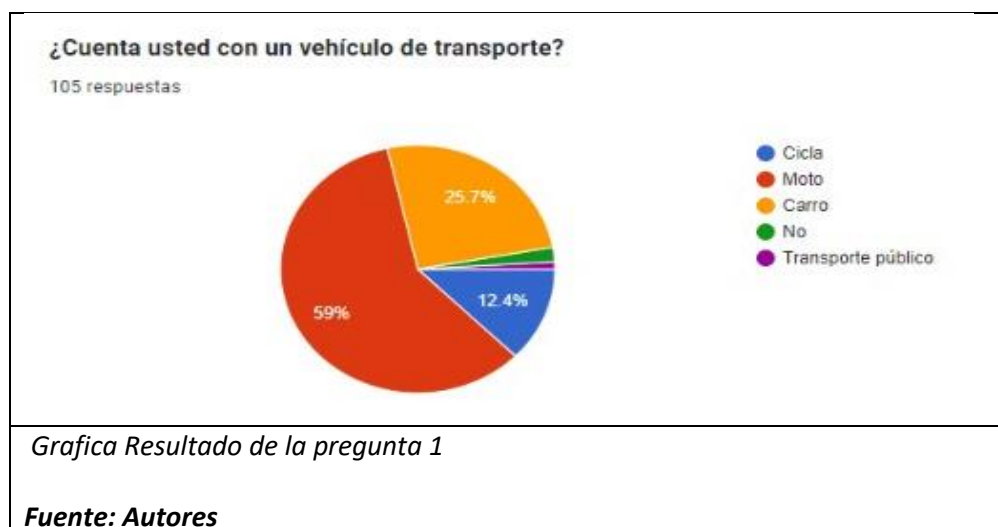
Grafica Resultado de 3

Fuente: Autores

9.2 Encuesta realizada

Para determinar la cantidad de caucho que es utilizado en el municipio de Girardot y si estas son recicladas o donarían el material para ser uso del mismo; en el último censo realizado por el DANE en el 2018, el municipio cuenta con un total de 101.018 habitantes (DANE, 2018), en donde se realizó una encuesta a la población teniendo en cuenta la cantidad de habitantes, donde el tamaño de la muestra nos arroja un total de 105 personas encuestadas, se tiene en cuenta un nivel de confianza de un 95% y con un margen de error del 9.6% en donde los resultados son los siguientes:

9.2.1 Primera pregunta



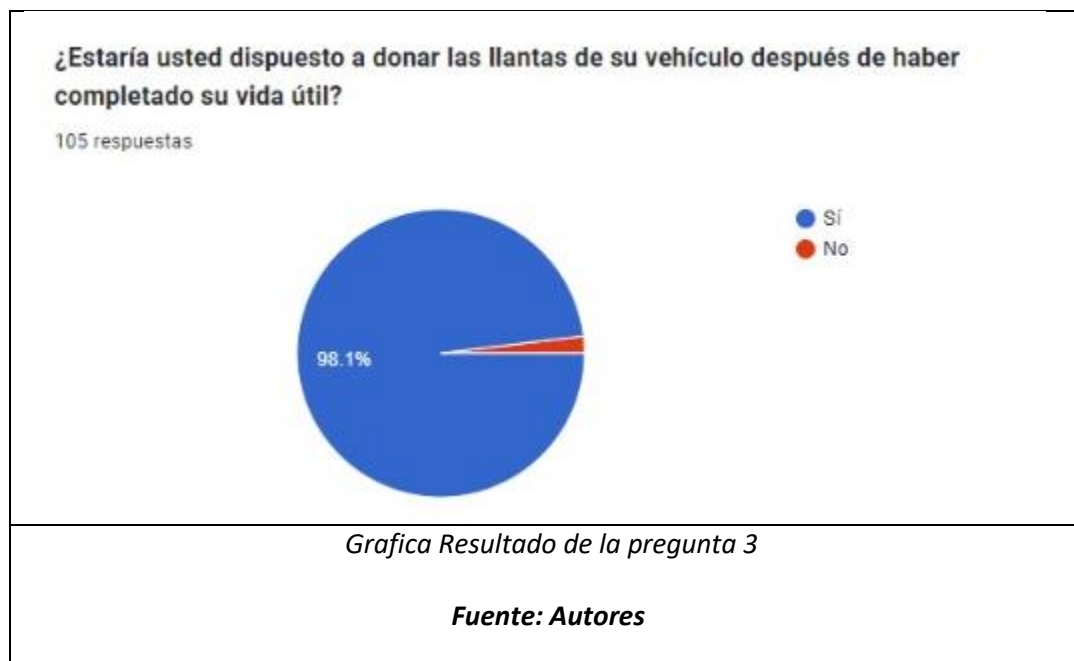
Como se logra evidenciar en la anterior grafica hoy en día ya la mayoría de la población cuenta con un vehículo de transporte ya sea cicla, moto o carro y siendo así esto genera un consumo de llantas más excesivo para el municipio.

9.2.2 Segunda pregunta



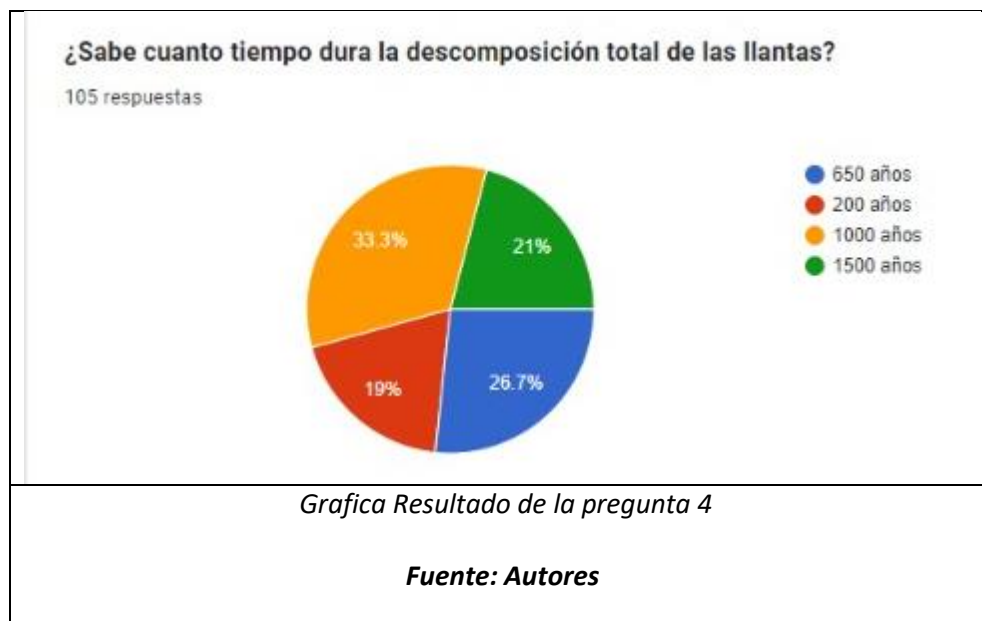
Siguiendo, se evidencia que el consumo de llantas a año es muy significativo y la disposición de estas después de su vida útil no es de las mejores maneras logrando así aumentar a la contaminación ambiental, cabe resaltar que muchos de los encuestados que tienen vehículo nos comentaban que para cambiar las llantas es muy relativo, debido a que este podría ser de 2 a 3 años en el caso de los carros para el cambio, siendo así muy difícil determinar la cantidad de llantas que genera el municipio.

9.2.3 Tercera pregunta



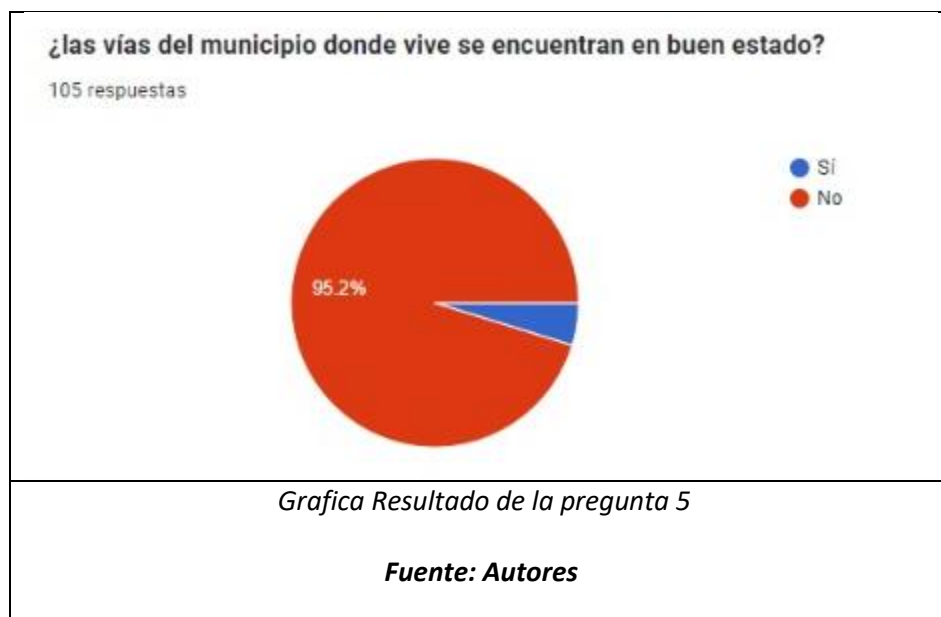
Se logra determinar que gran parte de los encuestados estarían dispuestos a donar la llanta para que este tenga un segundo uso, mitigando así el impacto ambiental que es preocupante debido a la falta de seguimiento a estos residuos por partes de las entidades gubernamentales del medio ambiente.

9.2.4 Cuarta pregunta



Solo el 33.3% de los encuestados sabe del tiempo de vida útil del caucho y como este afecta el medio ambiente debido a que su descomposición es aproximadamente de 1000 años, lo cual es un índice alto correspondiente a la desinformación con el medio ambiente, lo cual sería muy importante unas capacitaciones la comunidad de conciencia ambiental y el aprovechamiento de los residuos.

9.2.5 Quinta pregunta



El 95.2% de los encuestados manifiesta que la mayoría de las vías del municipio donde viven no cuenta con las condiciones óptimas para su tránsito u otros manifiestan que está están pasando vehículos de carga pesada, debido al cierre del puente Mariano Ospina que comunica a los municipios Girardot-Flandes siendo esta una vía comercial debido a ubicación para el transporte, las vías en mal estado están generando más accidentes y demás problemas hacia la población.

9.2.6 Sexta pregunta



Con este proyecto se busca demostrar que el GCR de las llantas sin uso puede lograr ser una gran alternativa para la construcción de las mismas vías ya que este material les brinda una mayor resistencia en cuanto al tráfico que manejan y así mismo combatir contra el mal proceso de desecho de las mismas llantas.

9.3 Cuadro comparativo de las empresas

Se observa que el grano de caucho reciclado GCR se ha convertido en un producto de alta demanda en el mercado debido a que su materia prima es muy fácil de obtener y se deja reutilizar brindando muchos beneficios en su implementación.

Descripción	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 4	Fabricante 5
Localización	Huella Urbana Ambiental. Autop Bogotá-Medellín km 11,5 La Punta (Tenjo)	Grupo Renova S A. CARRERA 2 48 79 en la ciudad de SOACHA, CUNDINAMAR CA.	Caucho los comuneros SAS Av (Cl) 6 34-32 Bogotá, D.C. - Distrito Capital.	Ecotiregre en Oficinas Cra. 132 N° 22 A 57 Bodega 103, Fontibón HB - Bogotá D.C., Colombia	DH Materiales Y Soluciones SAS Calle 6 sur # 11f-14 bodega ducales.
Producto	Grano de caucho SBR de doble pigmentación	GCR	Grano de caucho SBR, neopreno y natural.	Mallas 6 (3,35mm) – 8 (2,36mm)	GCR
Especificaciones	Unidad de medida: 25 kg. Tamaño del grano: 2.0 – 3.5 mm. Variedad de colores.	Material triturado pulverizado para canchas sintéticas, avenidas y andenes deportivos.	Empaquetaduras industriales, perfiles sólidos y espumosos; Laminas, fabricaciones especiales, neopreno y natural, SBR, EPDM, silicona, Nitrilo y Vitón.	GCR útil para superficie de acabado de baldosas, adoquines, piso aplicado in-situ para pistas atléticas, ciclorutas, vías peatonales y parques infantiles, agregado de asfalto modificado	Instalación de grama sintética y natural, canchas de alto rendimiento o instalamos pisos en caucho para parques y gimnasios.

Precios	Bulto de 25kg \$288.575 Se vende por bulto de 25 Kg, siendo cada bulto una unidad de venta.	Bulto de 50kg \$550.000.	Bulto de 40 kilos \$48.000	Se ofrece la venta del material por kilo a: \$ 11.000.	Bulto de 30 kg: \$42.000 Kg: \$1.400
Quiénes son	Un emprendimiento familiar colombiano que nació en el 2010 con la determinación de aportar al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible del mundo y al desarrollo de nuestro país gracias a nuestras soluciones innovadoras y sostenibles.	La actividad principal de Grupo Renova S A S es Recuperación de materiales. Cuenta con un patrimonio neto de 62.315.551 COP y en el ejercicio del año 2012 generó un rango de ventas 'Menor de 1.000.000.000 COP' obteniendo un resultado del ejercicio "	Es una empresa colombiana fundada en 1979, que nació como un pequeño comercializador de artículos de caucho, al poco tiempo y por la proactividad de sus fundadores	Somos una empresa dedicada al reciclaje de llantas fuera de uso (NFU's) y producción de GCR (Gránulo de Caucho Reciclado) en la ciudad de Bogotá.	Somos especialistas en construcción de escenarios deportivos y obras civiles, realizamos el diseño, ingeniería e instalación de grama sintética y natural, canchas de alto rendimiento o instalamos pisos en caucho para parques y gimnasios

Tabla 41 Cuadro comparativo de precios en el mercado

Fuente: **Autores**

10 Conclusiones

- Por medio de los ensayos realizados sobre los diseños de mezcla asfáltica modificada con el GCR tomando como punto de referencia las características del asfalto convencional para capa de rodadura MDC-10, podemos darnos cuenta que según los datos arrojados en laboratorio, la briqueta número 2 con el agregado presenta mayor impermeabilidad, ya que las probetas 1 y 3 presentan mayores absorciones significativas de agua, lo cual traduce inestabilidad al intentar su calentamiento. comparándola con la tabla que muestra la normatividad Invias para la MDC 10.
- Según los datos obtenidos a través de las pruebas realizadas por medio de los ensayos Marshall y laboratorios se logra apreciar la diferencia de la estabilidad frente a la falla y la resistencia con respecto al cambio y/o deformación de ambos diseños de mezclas asfálticas, presentadas como punto de referencia en el documento a lo cual se evidencia de que, al realizar la incorporación del grano de caucho de llantas recicladas GCR sobre las mezclas asfálticas o más específicamente en nuestro caso MDC-10 para capa de rodadura, se demuestra que reduce a una gran escala la contaminación ambiental que éstas originan debido a su largo plazo de degradación (1000 años) o a sus distintos métodos de desecho y eliminación.
- Al realizar los ensayos con la mezcla asfáltica convencional y proporcionando el agregado de GCR, se evidencia que no es necesario trabajar con granulometrías especiales ya que al agregar el mismo a la mezcla convencional por porciones del 10%, 25% y 50% se mejora notoriamente su estabilidad, en el ensayo Marshall se disminuyó y a su vez el flujo y ligante aumentaron. También se puede decir que la densidad Bulk de las mezclas asfálticas modificadas con el caucho

son levemente inferiores a las del asfalto patrón o mezcla convencional. Esto se debe a que a mayores volúmenes de vacíos en el asfalto modificado y mayor permeabilidad en la mezcla modificada.

- Observamos en los cinco fabricantes nombrados anteriormente, que los precios de los materiales que estas empresas suministran son asequibles pero no se encuentran ubicados en todas las regiones como por ejemplo a la hora de realizar este proyecto pudimos notar de que fuera del material a comprar se debe costear también su transporte desde la empresa hasta el sitio a utilizar y llegamos a determinar que el precio de GCR es un poco alto debido al proceso al que este se somete, pero en cuanto a resultados brinda un mejor comportamiento junto con el asfalto debido a que mejora la vida útil de estos ayudando con el mejoramiento de sus características técnicas y a disminuir los vacíos en el aire de las mezclas asfálticas.
- Cuando se fabrican pavimentos ecológicos se relaciona costo-beneficio y el punto de reutilizar las llantas usadas contribuye significativamente al cuidado medioambiental, ya que existen millones de éstas que no son desechadas de las mejores maneras como lo son el almacenamiento de las mismas en zonas que no están predisuestas para ese uso y otro claro ejemplo es la incineración que lo único que hace es contribuir a la contaminación de maneras notorias gracias a los gases tóxicos que expulsan las mismas al realizar dicha actividad, entre otras palabras no están siendo destinadas correctamente.
- La calidad sea más baja, puede ser aplicada para un volumen de tránsito bajo agregándole el porcentaje de GRC Y de esta manera mitigando la contaminación ambiental reutilizando este

material que es muy producido y presenta una demanda muy alta a nivel mundial y que a su vez su descomposición con lleva muchos años.

11 Recomendaciones

- Es muy complicado calcular la cantidad de llantas que ya cumplieron su uso en la región, es una gran alternativa utilizar el caucho para ser convertido en grano y poder ser utilizado en la fabricación de asfalto mitigando el impacto ambiental.
- Es necesario realizar varios ensayos con diferentes diámetros de GCR y porcentajes de este con la mezcla asfáltica, para así poder determinar el óptimo cumpliendo con la normatividad vigente para ser implementado.
- Una gran oportunidad de negocio para la fabricación de GCR en el municipio de Girardot, debido que para conseguir este material se debe hacer desde otra parte del país y asumir el costo de envío.
- Realizar ensayos en tramos de una vía, para hacer seguimiento, control y verificando que los resultados obtenidos en los laboratorios son los correctos.

12 Referencias

- ABCgeotecnia. (2022). Obtenido de <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/glosario/base-o-base-granular/>
- ASECA. (2020). Obtenido de <https://aseca.com/como-se-forman-los-baches/>
- autos, h. (2020). *glosario*. Obtenido de <https://helloauto.com/glosario/llanta>
- BOGOTA, S. D. (septiembre de 2019). *Diagnostico ambiental sobre el manejo actual de llantas y neumaticos usados generalmente por el parque automotor de Bogota*. . Obtenido de <https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10157/0/Llantas.pdf>
- CALDAS, F. J. (2019). *UNIVERSIDAD DISTRITAL*. Obtenido de ESPECIFICACIONES TECNICAS DE DESCAPOTE : <https://sites.google.com/a/correo.udistrital.edu.co/manualviviendas/2-especificaciones-tecnicas-de-construccion/Preliminares/Descapote-y-limpieza>
- Cardoso Mendoza, A. &. (2017). *Disposición final de material no biodegradable a través del diseño de bloques prefabricados no estructurales en concreto*. Colombia: Doctoral dissertation.
- Carran. (2020). *Maquinaria Carran*. Obtenido de <https://www.maquinariacarran.cl/la-importancia-de-la-compactacion-de-suelos-en-obra-2/>
- CEMEX. (2020). Obtenido de <https://www.cemex.com/es/productos-servicios/productos/agregados>
- CESAR ALFONSO DEFRANCISCO LARRANAGA, S. P. (2020). ESTABILIZACIÓN DE RECEBO COMÚN CON NEUMÁTICO TRITURADO. Colombia: IF + Ingeniería y tecnología.
- challenger*. (31 de Octubre de 2022). Obtenido de challenger: https://challengerco.vteximg.com.br/arquivos/ficha_tecnica_HE2651.pdf
- CLAROS, C. M. (2017). IMPLEMENTACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR).
- conasfaltos*. (31 de Octubre de 2022). Obtenido de conasfaltos: <https://conasfaltos.com.co/wp-content/uploads/2022/08/FT-MDC10-Bello.pdf>

construccion, f. l. (2020). *DICCIONARIO DE LA CONSTRUCCION*. Obtenido de

<https://www.diccionariodelaconstruccion.com/procesos-productivos-obra-civil/firmes-y-pavimentos/linea-de-terreno-natural>

consulting, i. (2021). *infitia*. Obtenido de <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/elastomeros-que-son-tipos-y->

[aplicaciones/#:~:text=Los%20elast%C3%B3meros%20son%20pol%C3%ADmeros%20muy,original%20despu%C3%A9s%20de%20ser%20estirados.](https://www.infinitiaresearch.com/noticias/elastomeros-que-son-tipos-y-aplicaciones/#:~:text=Los%20elast%C3%B3meros%20son%20pol%C3%ADmeros%20muy,original%20despu%C3%A9s%20de%20ser%20estirados.)

CTU. (30 de Octubre de 2022). Obtenido de CTU : <https://ctu.com.co/mezcla-asfaltica-mdc-10/>

da-Lab. (05 de Octubre de 2022). Obtenido de da-Lab: <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-730-13.pdf>

DANE. (2018). *Censo 2018*. Obtenido de

https://sitios.dane.gov.co/cnpv/app/views/informacion/perfiles/25307_infografia.pdf

Díaz, M. Á. (2015). Análisis de curvas para el diseño de mezclas de concreto con material triturado del río Magdalena en el sector de Girardot, Cundinamarca. In *Crescendo*.

DICCIONARIO DE LA CONSTRUCCION. (30 de Octubre de 2022). Obtenido de *DICCIONARIO DE LA*

CONSTRUCCION: <https://www.diccionariodelaconstruccion.com/procesos-productivos-obra-civil/firmes-y-pavimentos/ensayo-marshall>

Docplayer. (30 de Octubre de 2022). Obtenido de Docplayer : [https://docplayer.es/34029668-Gravedad-](https://docplayer.es/34029668-Gravedad-especifica-bulk-y-densidad-de-mezclas-asfalticas-compactadas-empleando-especimenes-parafinados-i-n-v-e.html)

[especifica-bulk-y-densidad-de-mezclas-asfalticas-compactadas-empleando-especimenes-parafinados-i-n-v-e.html](https://docplayer.es/34029668-Gravedad-especifica-bulk-y-densidad-de-mezclas-asfalticas-compactadas-empleando-especimenes-parafinados-i-n-v-e.html)

Equipos y laboratorio de colombia. (30 de Octubre de 2022). Obtenido de Equipos y laboratorio de

colombia: <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/baNo->

- ISSA. (2020). *MPI*. Obtenido de <http://www.mpi.net.co/Emulsiones-asfalticas#:~:text=La%20emulsi%C3%B3n%20asf%C3%A1lticas%20es%20una,especiales%2C%20lamados%20%E2%80%9Cemulsificantes%E2%80%9D>
- ISSUU. (31 de Octubre de 2022). Obtenido de ISSUU: https://issuu.com/pinzuar/docs/cat__logo_2017_-_agosto_-_pinzuar.c/87
- ISSUU. (31 de Octubre de 2022). Obtenido de ISSUU: https://issuu.com/pinzuar/docs/web_ref_ps-25_m_quina_semiautom_tica_digital_para_
- Jiménez Gómez, N. (2015). *Determinar una ecuación que permita correlacionar el modulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto hidráulico con materiales procedentes del Rio Cucuana*. Colombia: Doctoral dissertation.
- Library. (05 de Octubre de 2022). Obtenido de Library : <https://1library.co/article/norma-invias-e-m%C3%A9todo-de-dise%C3%B1o-marshall.zpn106oy>
- Liévano, L. (2017). Analisis , Estudio y concepción en la aplicación de concreto con agregados de llantas neumaticas recicladas en elementos arquitectonicos. *Univerisad Nacional Colombiana*, 1 - 111.
- Lubo, O., & RoimanMartinez. (2019). Asfaltos modificados con cauchos en vias primarias en las ciudades Santa Marta, Barranquilla y Bogota como alternativa de mejoramiento de la capa de rodadura de los pavimentos flexibles entre los años 2012-2019. *Facultad de Ingeniera Civil. Universidad de Colombia, Santa Marta*, 1 - 10.
- madrinas. (2019). Obtenido de Los hundimientos de la superficie terrestre pueden ser generados por diversos procesos, naturales u antrópicos. No obstante, la sobreexplotación de las aguas subterráneas crece exponencialmente en todos los continentes y en especial en donde escasean las

MAQUINTER. (30 de Octubre de 2022). Obtenido de MAQUINTER : <https://maquinter.es/capas-de-rodadura-clases-de-mezcla-espesores/>

Meneses Martínez, J. A. (2017). *Utilización de materiales procedentes de la quebrada la lucha en el municipio de coello, estabilizados con emulsión asfáltica para pavimentos de la red terciaria.*

Colombia: Doctoral dissertation.

Merizalde Aguirre, J. E. (2019). Estudio del pavimento flexible con polvo de caucho frente al efecto de fatiga. *Titulación - Ingeniería Civil*, 168. Obtenido de

<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20270>

metodologia. (2020). Obtenido de

[https://www.metrodebogota.gov.co/sites/default/files/Anexo%204%20-](https://www.metrodebogota.gov.co/sites/default/files/Anexo%204%20-%20Metodolog%C3%ADa%20para%20elaboraci%C3%B3n%20estudios%20de%20tr%C3%A1nsito.pdf)

[%20Metodolog%C3%ADa%20para%20elaboraci%C3%B3n%20estudios%20de%20tr%C3%A1nsito.pdf](https://www.metrodebogota.gov.co/sites/default/files/Anexo%204%20-%20Metodolog%C3%ADa%20para%20elaboraci%C3%B3n%20estudios%20de%20tr%C3%A1nsito.pdf)

MIGUEL ANGEL AVILA DIAZ, S. P. (2017). La ecología industrial en la fabricación de asfaltos modificados con material reciclado y naturales. *Revista de Ingeniería*, págs. p.76 - 86 v.1.

multinsa. (2019). *multinsa.com*. Obtenido de <https://www.multinsa.com/que-es-la-carpeta-asfaltica/>

Muñoz Perez, S. H. (17 de febrero de 2021). Portal de revistas académicas. *infraestructura vial*, 14.

Obtenido de *infraestructura vial*: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/44410>

OLIVARES, J. P. (2017).

[https://pirhua.udel.edu.pe/bitstream/handle/11042/1343/ICI_129.pdf?sequence=1&isAllowed=](https://pirhua.udel.edu.pe/bitstream/handle/11042/1343/ICI_129.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[y.](https://pirhua.udel.edu.pe/bitstream/handle/11042/1343/ICI_129.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ortiz, M. I. (29 de junio de 2020). *EL TIEMPO*. Obtenido de

<https://www.eltiempo.com/amp/Justicia/cortes/demandas-contrala-nacion-por-accidente-de-transito-por-vias-en-mal-estado-512438>

- Patiño, M. V., & Ramos, M. A. (5). Llantas usadas: Materia prima para pavimentos y multiples ecoaplicaciones. *Revista Ontare*, 73 - 114.
- Peña Quinchia, J. D. (2016). *Concreto hidráulico modificado con poliestireno expandido (icopor)*. Colombia: Doctoral dissertation.
- Pinzón Galvis, S. (2013). Análisis de la resistencia a compresión y flexión del concreto modificado con fibra de fique. Colombia: Ingenierías.
- Pinzón Galvis, S. (2016). *Estrategias de gestión urbana para la reducción de la vulnerabilidad por inundaciones en el municipio de Girardot-Cundinamarca*. Colombia: Master's thesis, Universidad Piloto de Colombia.
- PINZUAR . (31 de Octubre de 2022). Obtenido de PINZUAR :
<https://www.pinzuar.com.co/product/237><https://www.pinzuar.com.co/product/237>
- PORTO. (2016). Obtenido de
<https://definicion.de/terraplen/#:~:text=En%20el%20terreno%20de%20la,superficie%20terrestre%20con%20alg%C3%BAn%20fin.>
- QUIMICA.ES. (2021). Obtenido de
<https://www.quimica.es/enciclopedia/Gas.html#:~:text=Un%20gas%20est%C3%A1%20constituido%20por,el%20volumen%20total%20del%20recipiente.>
- RAE. (2001). *RAE.ES*. Obtenido de <https://www.rae.es/drae2001/%C3%BAtil>
- RAMIREZ, O. (2018). IMPLEMENTACIÓN DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA .
[https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/20506/CorreaLesmesCamiloAndres2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y.](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/20506/CorreaLesmesCamiloAndres2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- repository ucatolica*. (05 de Octubre de 2022). Obtenido de repository ucatolica: <https://www.dalab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-758-13.pdf>

ROINGTEC. (31 de Octubre de 2022). Obtenido de ROINGTEC: <https://rcingtec.com/product/martillo-compactacion-marshall/>

RSU. (2020). *manual de gestion ambiental*. Obtenido de https://www.cempre.org.uy/docs/manual_girsu/parte_4_incineracion.pdf

SANDRA PINZON GALVIS. (2013). *INCIDENCIA DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ EN EL ASFALTO PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2*. Colombia, Girardot Y El Alto Magdalena: Super-Nova.

Semana. (13 de octubre de 2020). *Basuras en Colombia: un problema al que no se le puede echar tierra*. Obtenido de <https://www.semana.com/impacto/articulo/basuras-en-colombia-un-problema-al-que-no-se-le-puede-echar-tierra---noticias/56387/>

sensagent. (2021). *diccionario civil virtual*. Obtenido de <http://diccionario.sensagent.com/Capacidad%20portante/es-es/>

SINKA. (2020). *CEMENTO SINKA*. Obtenido de <https://www.cementosinka.com.pe/blog/que-es-la-dosificacion-de-concreto/>

studylib.es. (31 de Octubre de 2022). Obtenido de studylib.es: <https://studylib.es/doc/5825755/term%C3%B3metro-bimet%C3%A1lico-modelo-54--versi%C3%B3n-robusta>

SURVEY. (01 de 01 de 2022). *PROPIEDADES DEL SUELO*. Obtenido de FAO.ORG: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/#:~:text=Densidad%20del%20Suelo&text=Se%20refiere%20al%20peso%20por,est%C3%A1%20alrededor%20de%202%2C65.>

TBT. (Octubre de 30 de 2022). Obtenido de TBT: <http://tbtek.com.ar/1-18-marshall-stability-tester.html#:~:text=La%20m%C3%A1quina%20para%20pruebas%20de,el%20c%C3%A1lculo%20de%20proporci%C3%B3n%20de>

tiempo, e. (2019). Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-375889>

unisalle, c. (2018). Obtenido de

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1086&context=ing_civil

Uricoechea Sandoval, J. P. (2020). *Evaluación de deterioros de la capa superficial del pavimento flexible de un (1) km de vía comprendida desde la calle 16 con carrera 12 con calle 15 y calle 14 hasta calle 11 con calle 12 del municipio de Girardot Cundinamarca*. Colombia: Doctoral dissertation.

verde, e. (2021). Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/que-son-los-residuos-solidos-y-como-se-clasifican-1537.html>

word reference. (2020). Obtenido de <https://www.significados.com/aforo/>

xunta, e. (2020). Obtenido de

https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contido/61_materiales_ptreos.html

ZURITA, D. S. (2016). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE ASFALTO*. Obtenido de [file:///C:/Users/Laura%20Arias/Downloads/Tesis%201113%20-%20Vega%20Zurita%20Danilo%20Sebasti%C3%A1n%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Laura%20Arias/Downloads/Tesis%201113%20-%20Vega%20Zurita%20Danilo%20Sebasti%C3%A1n%20(1).pdf)

ABCgeotecnia. (2022). Obtenido de <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/glosario/base-o-base-granular/>

ASECA. (2020). Obtenido de <https://aseca.com/como-se-forman-los-baches/>

autos, h. (2020). *glosario*. Obtenido de <https://helloauto.com/glosario/llanta>

BOGOTA, S. D. (septiembre de 2019). *Diagnostico ambiental sobre el manejo actual de llantas y neumaticos usados generalmente por el parque automotor de Bogota*. . Obtenido de <https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10157/0/Llantas.pdf>

- CALDAS, F. J. (2019). *UNIVERSIDAD DISTRITAL* . Obtenido de ESPECIFICACIONES TECNICAS DE DESCAPOTE : <https://sites.google.com/a/correo.udistrital.edu.co/manualviviendas/2-especificaciones-tecnicas-de-construccion/Preliminares/Descapote-y-limpieza>
- Cardoso Mendoza, A. &. (2017). *Disposición final de material no biodegradable a través del diseño de bloques prefabricados no estructurales en concreto*. Colombia: Doctoral dissertation.
- Carran. (2020). *Maquinaria Carran*. Obtenido de <https://www.maquinariacarran.cl/la-importancia-de-la-compactacion-de-suelos-en-obra-2/>
- CEMEX. (2020). Obtenido de <https://www.cemex.com/es/productos-servicios/productos/agregados>
- CESAR ALFONSO DEFRANCISCO LARRANAGA, S. P. (2020). ESTABILIZACIÓN DE RECEBO COMÚN CON NEUMÁTICO TRITURADO. Colombia: IF + Ingeniería y tecnología.
- challenger*. (31 de Octubre de 2022). Obtenido de challenger: https://challengerco.vteximg.com.br/arquivos/ficha_tecnica_HE2651.pdf
- CLAROS, C. M. (2017). IMPLEMENTACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR).
- conasfaltos*. (31 de Octubre de 2022). Obtenido de conasfaltos: <https://conasfaltos.com.co/wp-content/uploads/2022/08/FT-MDC10-Bello.pdf>
- construccion, f. l. (2020). *DICCIONARIO DE LA CONSTRUCCION*. Obtenido de <https://www.diccionariodelaconstruccion.com/procesos-productivos-obra-civil/firmes-y-pavimentos/linea-de-terreno-natural>
- consulting, i. (2021). *infitia*. Obtenido de <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/elastomeros-que-son-tipos-y-aplicaciones/#:~:text=Los%20elast%C3%B3meros%20son%20pol%C3%ADmeros%20muy,original%20despu%C3%A9s%20de%20ser%20estirados.>
- CTU. (30 de Octubre de 2022). Obtenido de CTU : <https://ctu.com.co/mezcla-asfaltica-mdc-10/>

da-Lab. (05 de Octubre de 2022). Obtenido de da-Lab: [https://www.da-lab.co/wp-](https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-730-13.pdf)

[content/uploads/2021/04/INV-730-13.pdf](https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-730-13.pdf)

DANE. (2018). *Censo 2018*. Obtenido de

https://sitios.dane.gov.co/cnpv/app/views/informacion/perfiles/25307_infografia.pdf

Díaz, M. Á. (2015). Análisis de curvas para el diseño de mezclas de concreto con material triturado del

río Magdalena en el sector de Girardot, Cundinamarca. In *Crescendo*.

DICCIONARIO DE LA CONSTRUCCION. (30 de Octubre de 2022). Obtenido de DICCIONARIO DE LA

CONSTRUCCION: [https://www.diccionariodelaconstruccion.com/procesos-productivos-obra-](https://www.diccionariodelaconstruccion.com/procesos-productivos-obra-civil/firmes-y-pavimentos/ensayo-marshall)

[civil/firmes-y-pavimentos/ensayo-marshall](https://www.diccionariodelaconstruccion.com/procesos-productivos-obra-civil/firmes-y-pavimentos/ensayo-marshall)

Docplayer. (30 de Octubre de 2022). Obtenido de Docplayer : [https://docplayer.es/34029668-Gravedad-](https://docplayer.es/34029668-Gravedad-especifica-bulk-y-densidad-de-mezclas-asfalticas-compactadas-empleando-especimenes-parafinados-i-n-v-e.html)

[especifica-bulk-y-densidad-de-mezclas-asfalticas-compactadas-empleando-especimenes-](https://docplayer.es/34029668-Gravedad-especifica-bulk-y-densidad-de-mezclas-asfalticas-compactadas-empleando-especimenes-parafinados-i-n-v-e.html)

[parafinados-i-n-v-e.html](https://docplayer.es/34029668-Gravedad-especifica-bulk-y-densidad-de-mezclas-asfalticas-compactadas-empleando-especimenes-parafinados-i-n-v-e.html)

Equipos y laboratorio de colombia. (30 de Octubre de 2022). Obtenido de Equipos y laboratorio de

colombia: [https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/baNo-](https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/baNo-maria#:~:text=El%20ba%C3%B1o%20de%20Mar%C3%ADa%20es,tambi%C3%A9n%20permiten%20trabajar%20con%20aceite.)

[maria#:~:text=El%20ba%C3%B1o%20de%20Mar%C3%ADa%20es,tambi%C3%A9n%20permiten](https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/baNo-maria#:~:text=El%20ba%C3%B1o%20de%20Mar%C3%ADa%20es,tambi%C3%A9n%20permiten%20trabajar%20con%20aceite.)

[%20trabajar%20con%20aceite.](https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/baNo-maria#:~:text=El%20ba%C3%B1o%20de%20Mar%C3%ADa%20es,tambi%C3%A9n%20permiten%20trabajar%20con%20aceite.)

GALVIS, S. P. (2013). Análisis de la resistencia a compresión y flexión del concreto modificado con fibra

de fique. México: Ingenierías.

GALVIS, S. P. (2015). *Concretos Hidráulicos modificados con materiales reciclados*. Colombia: Xviii

Simposio Colombiano Sobre Ingeniería De Pavimentos.

Galvis, S. P. (2019). *Manejo de residuos de construcción y demolición en el municipio Guamo, Tolima*.

Colombia: Lámpsakos.

García Callejas, D. F. (2014). *Seguimiento pista de prueba pavimentada con mezcla asfáltica tipo MDC-2 modificada con la ceniza de la cascarilla de arroz, en una vía con tránsito liviano durante el año 2013*. Colombia: Doctoral dissertation.

geotecnia. (2020). *geotecnia facil* . Obtenido de <https://geotecniafacil.com/ensayo-cbr-laboratorio/>

Gómez Doncel, E. R. (2015). *Incidencia de la harina de arroz en una mezcla asfáltica MDC-2*. Colombia: Doctoral dissertation.

GRC. (2019). *GLOBAL RUBBER CORPORATION* . Obtenido de BLOG:

<https://globalrubbercorporation.com/blog/119-historia-del-caucho>

IDEAM. (2022). Obtenido de MINISTERIO DE AMBIENTE: <http://www.ideam.gov.co/web/siac/ozono>

IDEAM. (2022). *GOV.COM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/contaminacion-atmosferica>

INVIAS. (2012). Suministro de cemento Asfáltico con grano de caucho reciclado . *Artículo 413 - 13* , págs. 63-71.

INVIAS. (2013). *INVIAS*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/>

ISSA. (2020). *MPI*. Obtenido de [http://www.mpi.net.co/Emulsiones-](http://www.mpi.net.co/Emulsiones-asfalticas#:~:text=La%20emulsi%C3%B3n%20asf%C3%A1lticas%20es%20una,especiales%2C%20lamados%20E2%80%9Cemulsificantes%20E2%80%9D)

[asfalticas#:~:text=La%20emulsi%C3%B3n%20asf%C3%A1lticas%20es%20una,especiales%2C%20lamados%20E2%80%9Cemulsificantes%20E2%80%9D](http://www.mpi.net.co/Emulsiones-asfalticas#:~:text=La%20emulsi%C3%B3n%20asf%C3%A1lticas%20es%20una,especiales%2C%20lamados%20E2%80%9Cemulsificantes%20E2%80%9D)

ISSUU. (31 de Octubre de 2022). Obtenido de ISSUU: https://issuu.com/pinzuar/docs/cat__logo_2017_-_agosto_-_pinzuar.c/87

ISSUU. (31 de Octubre de 2022). Obtenido de ISSUU: https://issuu.com/pinzuar/docs/web_ref_ps-25_m_quina_semiautom_tica_digital_para_

- Jiménez Gómez, N. (2015). *Determinar una ecuación que permita correlacionar el modulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto hidráulico con materiales procedentes del Rio Cucuana*. Colombia: Doctoral dissertation.
- Library. (05 de Octubre de 2022). Obtenido de Library : <https://1library.co/article/norma-invias-e-m%C3%A9todo-de-dise%C3%B1o-marshall.zpn106oy>
- Liévano, L. (2017). Analisis , Estudio y concepción en la aplicación de concreto con agregados de llantas neumaticas recicladas en elementos arquitectonicos. *Univerisad Nacional Colombiana*, 1 - 111.
- Lubo, O., & RoimanMartinez. (2019). Asfaltos modificados con cauchos en vias primarias en las ciudades Santa Marta, Barranquilla y Bogota como alternativa de mejoramiento de la capa de rodadura de los pavimentos flexibles entre los años 2012-2019. *Facultad de Ingeniera Civil. Universidad de Colombia, Santa Marta*, 1 - 10.
- madrimas. (2019). Obtenido de Los hundimientos de la superficie terrestre pueden ser generados por diversos procesos, naturales u antrópicos. No obstante, la sobreexplotación de las aguas subterráneas crece exponencialmente en todos los continentes y en especial en donde escasean las
- MAQUINTER. (30 de Octubre de 2022). Obtenido de MAQUINTER : <https://maquinter.es/capas-de-rodadura-clases-de-mezcla-espores/>
- Meneses Martínez, J. A. (2017). *Utilización de materiales procedentes de la quebrada la lucha en el municipio de coello, estabilizados con emulsión asfáltica para pavimentos de la red terciaria*. Colombia: Doctoral dissertation.
- Merizalde Aguirre, J. E. (2019). Estudio del pavimento flexible con polvo de caucho frente al efecto de fatiga. *Titulación - Ingeniería Civil*, 168. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20270>

metodologia. (2020). Obtenido de

<https://www.metrodebogota.gov.co/sites/default/files/Anexo%20%20-%20Metodolog%C3%ADa%20para%20elaboraci%C3%B3n%20estudios%20de%20tr%C3%A1nsito.pdf>

MIGUEL ANGEL AVILA DIAZ, S. P. (2017). La ecología industrial en la fabricación de asfaltos modificados con material reciclado y naturales. *Revista de Ingeniería*, págs. p.76 - 86 v.1.

multinsa. (2019). *multinsa.com*. Obtenido de <https://www.multinsa.com/que-es-la-carpeta-asfaltica/>

Muñoz Perez, S. H. (17 de febrero de 2021). Portal de revistas académicas. *infraestructura vial*, 14.

Obtenido de *infraestructura vial*: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/44410>

OLIVARES, J. P. (2017).

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1343/ICI_129.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ortiz, M. I. (29 de junio de 2020). *EL TIEMPO*. Obtenido de

<https://www.eltiempo.com/amp/Justicia/cortes/demandas-contrala-nacion-por-accidente-de-transito-por-vias-en-mal-estado-512438>

Patiño, M. V., & Ramos, M. A. (5). Llantas usadas: Materia prima para pavimentos y múltiples

ecoaplicaciones. *Revista Ontare*, 73 - 114.

Peña Quinchia, J. D. (2016). *Concreto hidráulico modificado con poliestireno expandido (icopor)*.

Colombia: Doctoral dissertation.

Pinzón Galvis, S. (2013). Análisis de la resistencia a compresión y flexión del concreto modificado con fibra de fique. Colombia: Ingenierías.

Pinzón Galvis, S. (2016). *Estrategias de gestión urbana para la reducción de la vulnerabilidad por inundaciones en el municipio de Girardot-Cundinamarca*. Colombia: Master's thesis, Universidad Piloto de Colombia.

PINZUAR . (31 de Octubre de 2022). Obtenido de PINZUAR :

<https://www.pinzuar.com.co/product/237><https://www.pinzuar.com.co/product/237>

PORTO. (2016). Obtenido de

<https://definicion.de/terraplen/#:~:text=En%20el%20terreno%20de%20la,superficie%20terrestre%20con%20alg%C3%BAn%20fin.>

QUIMICA.ES. (2021). Obtenido de

<https://www.quimica.es/enciclopedia/Gas.html#:~:text=Un%20gas%20est%C3%A1%20constituido%20por,el%20volumen%20total%20del%20recipiente.>

RAE. (2001). *RAE.ES*. Obtenido de <https://www.rae.es/drae2001/%C3%BAtil>

RAMIREZ, O. (2018). IMPLEMENTACIÓN DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA .

[https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/20506/CorreaLesmesCamiloAndres2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y.](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/20506/CorreaLesmesCamiloAndres2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

repository ucatolica. (05 de Octubre de 2022). Obtenido de repository ucatolica: <https://www.dalab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-758-13.pdf>

[lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-758-13.pdf](https://www.dalab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-758-13.pdf)

ROINGTEC. (31 de Octubre de 2022). Obtenido de ROINGTEC: [https://rcingtec.com/product/martillo-](https://rcingtec.com/product/martillo-compactacion-marshall/)

[compactacion-marshall/](https://rcingtec.com/product/martillo-compactacion-marshall/)

RSU. (2020). *manual de gestion ambiental*. Obtenido de

https://www.cempre.org.uy/docs/manual_girsu/parte_4_incineracion.pdf

SANDRA PINZON GALVIS. (2013). *INCIDENCIA DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ EN EL ASFALTO*

PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2. Colombia, Girardot Y El Alto Magdalena: Super-Nova.

Semana. (13 de octubre de 2020). *Basuras en Colombia: un problema al que no se le puede echar tierra.*

Obtenido de <https://www.semana.com/impacto/articulo/basuras-en-colombia-un-problema-al-que-no-se-le-puede-echar-tierra---noticias/56387/>

sensagent. (2021). *diccionario civil virtual*. Obtenido de

<http://diccionario.sensagent.com/Capacidad%20portante/es-es/>

SINKA. (2020). *CEMENTO SINKA*. Obtenido de [https://www.cementosinka.com.pe/blog/que-es-la-](https://www.cementosinka.com.pe/blog/que-es-la-dosificacion-de-concreto/)

[dosificacion-de-concreto/](https://www.cementosinka.com.pe/blog/que-es-la-dosificacion-de-concreto/)

studylib.es. (31 de Octubre de 2022). Obtenido de studylib.es:

[https://studylib.es/doc/5825755/term%C3%B3metro-bimet%C3%A1lico-modelo-54--](https://studylib.es/doc/5825755/term%C3%B3metro-bimet%C3%A1lico-modelo-54--versi%C3%B3n-robusta)

[versi%C3%B3n-robusta](https://studylib.es/doc/5825755/term%C3%B3metro-bimet%C3%A1lico-modelo-54--versi%C3%B3n-robusta)

SURVEY. (01 de 01 de 2022). *PROPIEDADES DEL SUELO*. Obtenido de FAO.ORG:

[https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-](https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/#:~:text=Densidad%20del%20Suelo&text=Se%20refiere%20al%20peso%20por,est%C3%A1%20alrededor%20de%202%2C65.)

[fisicas/es/#:~:text=Densidad%20del%20Suelo&text=Se%20refiere%20al%20peso%20por,est%C3%A1%20alrededor%20de%202%2C65.](https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/#:~:text=Densidad%20del%20Suelo&text=Se%20refiere%20al%20peso%20por,est%C3%A1%20alrededor%20de%202%2C65.)

TBT. (Octubre de 30 de 2022). Obtenido de TBT: [http://tbtttek.com.ar/1-18-marshall-stability-](http://tbtttek.com.ar/1-18-marshall-stability-tester.html#:~:text=La%20m%C3%A1quina%20para%20pruebas%20de,el%20c%C3%A1culo%20de%20proporci%C3%B3n%20de)

[tester.html#:~:text=La%20m%C3%A1quina%20para%20pruebas%20de,el%20c%C3%A1culo%20de%20proporci%C3%B3n%20de](http://tbtttek.com.ar/1-18-marshall-stability-tester.html#:~:text=La%20m%C3%A1quina%20para%20pruebas%20de,el%20c%C3%A1culo%20de%20proporci%C3%B3n%20de)

tiempo, e. (2019). Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-375889>

unisalle, c. (2018). Obtenido de

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1086&context=ing_civil

Uricoechea Sandoval, J. P. (2020). *Evaluación de deterioros de la capa superficial del pavimento flexible*

de un (1) km de vía comprendida desde la calle 16 con carrera 12 con calle 15 y calle 14 hasta

calle 11 con calle 12 del municipio de Girardot Cundinamarca. Colombia: Doctoral dissertation.

verde, e. (2021). Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/que-son-los-residuos-solidos-y-como-se-clasifican-1537.html>

word reference. (2020). Obtenido de <https://www.significados.com/aforo/>

xunta, e. (2020). Obtenido de

https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contido/61_materiales_ptreos.html

ZURITA, D. S. (2016). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE ASFALTO*. Obtenido de

[file:///C:/Users/Laura%20Arias/Downloads/Tesis%201113%20-%20Vega%20Zurita%20Danilo%20Sebasti%C3%A1n%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Laura%20Arias/Downloads/Tesis%201113%20-%20Vega%20Zurita%20Danilo%20Sebasti%C3%A1n%20(1).pdf)

13 Anexos

Parámetro	Especificación INVIAS-2013
Gradación	MDC-10 - 2013
Estabilidad	Mínimo 9.000N
Flujo	2mm a 3.5mm
Vacíos en la mezcla total	4% a 7%
Vacíos en los agregados	Mínimo 14%
Vacíos llenos con asfalto	65% a 75%
Relación llenante/ligante efectivo	0.8 a 1.2
Relación estabilidad/flujo	3.0 a 6.0 KN/mm
Espesor promedio de película de asfalto (μm)	>7.5

Imagen 18 Criterio de una mezcla asfáltica
Fuente: file:///C:/Users/USER/Downloads/pdf-1diseno-marshall-mdc-10-10-febrero-2020-pdf_compress.pdf

Parámetro	Rango de asfalto (%)	
	Min	Max
Estabilidad	4,5	7,0
Flujo	4,5	6,2
Vacíos en la mezcla total (aire)	5,4	6,5
Vacíos en los agregados	4,5	7,0
Vacíos llenos con asfalto	5,2	6,2
Relación llenante/ligante efectivo	5,1	7,0
Relación estabilidad/flujo	4,5	6,5
Espesor promedio de película de asfalto (μm)	5,5	7,0
Rango en el que se cumplen todas las propiedades	5,5	6,2

Imagen 19 rango de asfalto Fuente: file:///C:/Users/USER/Downloads/pdf-1diseno-marshall-mdc-10-10-febrero-2020-pdf_compress.pdf

Ensayo	Base de impacto	Peso del martillo	Altura de caída	Peso	Normas
Marshall 4"	\varnothing 100,3 mm	4 535 g	457,2 mm	9.5 kg	INV E748 /ASTMD 6927
Marshall 6"	\varnothing 100,3 mm	10 210 g	457,2 mm	17 kg	INV E800 / ASTM D 5581

Tabla 43 Especificaciones técnicas martillo compactación Marshall

Nota: Tomado de ROINGTEC (ROINGTEC, 2022)

Pedestal de compactación
Placa superior en acero de 305mm x 305mm x 25mm (12" x 12" x 1").
Base en madera de 203mm x 203mm x 457mm (8" x 8" x 18")
Incluye sujetador de molde Marshall

Tabla 44 Especificaciones técnicas

Nota: Tomado de catálogo Asfaltos productos para ensayos (ISSUU, 2022)

Generales	
Rango de fuerza	: Rango bajo: 0 – 5 kN: compresión * Rango alto: 0 – 50 kN compresión
Clase de exactitud	: 0,5 % desde el 10 % para cada rango
Rango de desplazamiento (penetración, elongación)	: 50 mm
Exactitud de la medición de desplazamiento	: 0,5 % +/- 0,05 mm
Velocidad de desplazamiento:	Preestablecidas según ensayo.
Celdas de carga	: 2 celdas de tipo "S", tensión / compresión * Rango bajo : 0 – 5 kN Rango alto : 0 – 50 kN
Operación	: 220 VAC / 110 VAC monofásica (según modelo) 1 200 W , Polo a tierra obligatorio
Dimensiones	: Totales 1 000 x 1 700 x 600 mm ³ útiles 30 x 40 x 40 mm ³
Peso	: 132 kg

Imagen 20 Maquina semiautomática Digital para ensayos MARSHALL y CBR

Nota: Tomado de manual del usuario pinzuar (ISSUU, 2022)

Pinzuar
∅ interno: 101,6 mm
Altura del molde: 76,2 mm
Ancho del molde: 76,2 mm
Peso: 8 kg

Tabla 45 Molde para ensayo estabilidad y flujo

Nota: Tomado de Pinzuar Colombia (PINZUAR , 2022)

CARACTERISTICAS DE PRODUCTO	
Línea	Hornos eléctricos
Referencia Industrial	1.2651.73
Código EAN	7707172625200
Tipo de aparato	Horno eléctrico de uso doméstico
Acabado	Acero inoxidable
Tensión de alimentación	220 V a.c.
Frecuencia eléctrica	50 / 60 Hz
Potencia eléctrica	2015 W
Intensidad eléctrica	9,15 A
Temperatura máx de cocción	250 °C
Resistencias eléctricas	Superior 900 W, inferior 1100 W
Accesorios	Una (1) parrilla cromada
	Una (1) bandeja asadora
Controles	Una (1) perilla para selección de funciones
	Una (1) perilla para el control de temperatura
	Una (1) perilla para el control de tiempo
Capacidad	52 L
Dimensiones de empaque	61,7 cm x 55,0 cm x 63,0 cm (F x P x A)
Peso neto	22,0 Kg
Peso bruto	25,0 Kg

Imagen 21 Horno eléctrico referencia HE2651

Nota: Tomado de Gasodomesticos ,Challenger (challenger, 2022)

- Rangos de medición desde -70 ... +500 °C
- Caja y bulbo en acero inoxidable
- Bimetal con ajuste del punto cero en el lado dorsal de la caja
- Longitud de bulbo individual 63 ... 1.000 mm
- Homologación Germanischer Lloyd (opción)

Imagen 22 Termómetro bimetalico Modelo 54

Nota: Tomado de studylib instrumentación de temperatura mecánica (studylib.es, 2022)

Característica		Norma de Ensayo	Criterio	Fórmula de Trabajo
Estabilidad		E-748	> 9,0 (N)	13,35
Flujo			2.0 - 3.5 (mm)	3,28
Relación estabilidad/flujo			3.0 - 6.0 (N/mm)	4,14
Vacíos con aire	Rodadura	E-736	4.0 - 6.0 (%)	5,4
	Intermedia		4.0 - 7.0 (%)	
	Base		5.0 - 8.0 (%)	
Vacíos en los agregados minerales		E-799	> 16(%)	18,8
Vacíos llenos de asfalto			65 - 75 (%)	70,9
Relación llenante/ligante efectivo			0,8 - 1,2	1,01
Concentración del llenante		E-745	Valor crítico	0,25
Espesor promedio de la película de asfalto		E-741	> 7.5 um	8,7
Contenido de asfalto		E-732	$ARF\% - 0.3\% \leq ART\% \leq ARF\% + 0.3\%$	6,1
Gradación		E-123	Reportar	Ver gradación típica

Imagen 23 Características técnicas MCD – 10

Nota: Tomado de conasfaltos Evolucionaria – Transforma (conasfaltos, 2022)