



**Comparación de las características mecánicas de un diseño Marshall, los módulos de resiliencia de una mezcla asfáltica de rodadura convencional y una mezcla de grano caucho**

**Maria Fernanda Güiza Barragán**

Código: 10481814436

**Cesar Fabian Urrea Ávila**

Código: 10482011105

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá D.C., Colombia

2022

**Comparación de las características mecánicas de un diseño Marshall, los módulos de resiliencia y fatiga de una mezcla asfáltica de rodadura convencional y una mezcla de grano caucho**

**Maria Fernanda Güiza Barragán**  
**Cesar Fabian Urrea Ávila**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Civil**

Director (a):

Carlos Martin Molina Gallego, PhD

Codirector (a):

Ingeniero, Edgar Horacio Rueda.

Ingeniero civil, Licenciado en Matemáticas y Física,

Línea de Investigación:

Transporte y Vías

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá D.C., Colombia

2022

## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

\_\_\_\_\_ ,

Cumple con los requisitos para optar

Al título de \_\_\_\_\_ .

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

## **Agradecimientos**

En primer lugar, queremos agradecer a Dios, quien nos permitió llegar a este punto y lograr cada uno de los propósitos que teníamos, a nuestras familias por el constante apoyo e incondicionalidad durante este proceso, a nuestra alma mater, la universidad Antonio Nariño, quien, durante cinco años, desarrollo en nosotros las facultades necesarias para ser profesionales de alta calidad.

También queremos agradecer explícitamente a los profesores Carlos Molina, Horacio Rueda y Angie Barbosa, quienes fueron piezas fundamentales en el desarrollo de esta investigación, aportando a nosotros su experiencia y conocimiento en cada uno de los temas tratados.

A la empresa JDM INGENIERÍA SAS, quien nos permitió realizar las pruebas de laboratorio en sus instalaciones y hacer uso de sus equipos, a la planta CTU (Compañía de Trabajos Urbanos), quienes nos facilitaron las mezclas asfálticas con las que se desarrollaron los ensayos y posteriormente obtuvieron los resultados.

## Contenido

<b>Índice de Ilustraciones</b> .....	<b>6</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>7</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>8</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>9</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>10</b>
<b>1. Marco Conceptual</b> .....	<b>11</b>
<b>2. Planteamiento del problema</b> .....	<b>14</b>
<b>3. Objetivos</b> .....	<b>16</b>
<b>Objetivo general:</b> .....	<b>16</b>
<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>16</b>
<b>4. Metodología</b> .....	<b>17</b>
<b>a. Preparación de la muestra</b> .....	<b>17</b>
<b>b. Ensayo de modulo resiliente</b> .....	<b>18</b>
<b>c. Ensayo de estabilidad Marshall</b> .....	<b>20</b>
<b>5. Resultados</b> .....	<b>24</b>
<b>6. Discusión de resultados finales</b> .....	<b>32</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>36</b>
<b>Referencias Bibliográficas</b> .....	<b>37</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>43</b>

## Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 1:</i> Fuente: Tema: Pavimentos / Cátedra Ingeniería Civil I / Departamento de Ingeniería Civil. Pag 3. ....	11
<i>Ilustración 2:</i> Fuente: Tema: Pavimentos / Cátedra Ingeniería Civil I / Departamento de Ingeniería Civil. Pag 4. ....	11
<i>Ilustración 3:</i> Fuente: Mapas Bogotá D.C – IDECA.....	14
<i>Ilustración 4:</i> Martillo de operación mecánica Marshall (Equipo Manual de Compactación   Dirimpex, n.d.) .....	17
<i>Ilustración 5:</i> Urrea Fabian, 15 septiembre de 2022 - Preparación de muestras para ensayo de módulo resiliente, Bogotá. ....	18
<i>Ilustración 6:</i> Urrea Fabian, 15 septiembre de 2022- Briquetas para MD12, Bogotá.....	19
<i>Ilustración 7:</i> Urrea Fabian –Guiza Maria Fernanda, 15 septiembre de 2022 – Diagrama de carga, Bogotá. ....	20
<i>Ilustración 8:</i> Seminario Pre Congreso COMISIÓN PERMANENTE DEL ASFALTO DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EN LOS INICIOS DEL SIGLO XXI .....	21
<i>Ilustración 9:</i> Diagrama de flujo metodología resumida .....	22
<i>Ilustración 10:</i> Grafica relación modulo vs Marshall, MD12 .....	29
<i>Ilustración 11:</i> Grafica relación modulo vs Marshall, GCR.....	29
<i>Ilustración 12:</i> Grafica relación Marshall vs Módulo, MD12 .....	30
<i>Ilustración 13:</i> Grafica relación Marshall vs Módulo, GCR .....	31
<i>Ilustración 14:</i> Grafica combinada Módulo vs Marshall.....	32
<i>Ilustración 15:</i> Grafica combinada Marshall vs Módulo.....	33

**Índice de tablas**

Tabla 1: Valores de resistencia (MPa) de la mezcla MD12.....	25
Tabla 2: Valores de resistencia (MPa) de la mezcla GCR.....	26
Tabla 3: Datos probabilísticos Marshall Vs. Modulo .....	27
Tabla 4: Datos probabilísticos Modulo Vs. Marshall .....	28
Tabla 5: Resultados de correlación de resistencia módulo resiliente a resistencia Marshall. .....	34
Tabla 6: Resultados de correlación de resistencia Marshall a resistencia Módulo resiliente. .....	35

## Resumen

La siguiente investigación se realiza sobre dos tipos de mezclas asfálticas diferentes, la primera, es un tipo de mezcla denominada MCCs 19, más conocida como GCR, ya que contiene grano caucho reciclado y por otra parte una mezcla de tipo MD12, a la que se le atribuye su nombre por su granulometría, en la que sus partículas más grandes no deben superar los 12,5mm.

Con esto se busca realizar una evaluación a las propiedades mecánicas de cada una de las mezclas, con el fin de evaluar el comportamiento de la resistencia a la estabilidad Marshall vs. La resistencia al módulo resiliente y viceversa, con el fin de generar una correlación matemática entre los valores obtenidos luego de los ensayos de laboratorio, para lo cual se elaboraron 22 muestras de cada una de las mezclas las cuales presentan un envejecimiento de 14 días para el ensayo de modulo resiliente, posteriormente se realiza el ensayo de estabilidad Marshall con el cual se busca dar una comparación directa de las resistencias obtenidas entre los 2 ensayos de cada una de las briquetas ensayadas teniendo en cuenta que la variabilidad de este no afectara de manera negativa los resultados obtenidos, (Juliana Puello Méndez, 2009).

De acuerdo con los resultados obtenidos se evidencia que existe una correlación entre estas dos resistencias, representadas en Mpa (megapascales), además de esto se obtiene que estos valores son coherentes con su variación de temperatura.

Por su parte la mezcla GCR refleja un mejor comportamiento mecánico sobre la mezcla MD12, lo que genera una diferencia de pendientes que se puede apreciar en una gráfica comparativa, que correlaciona las resistencias mencionadas. De acuerdo con estas gráficas, se comprueba que la correlación existente entre estos dos valores es de tipo lineal, con lo que se hace posible establecer una relación de la forma " $Y = Mx + b$ ", donde la pendiente varía drásticamente dependiendo del valor que se desea buscar, obteniendo valores de 0,0002 cuando el módulo está en el eje de las ordenadas y de 4200(MD12) y 5900 (GCR) cuando la resistencia Marshall está en el eje de las ordenadas.

## Abstrac

The following research is carried out on two different types of asphalt mixtures, the first one is a type of mixture called MCCs 19, better known as GCR, since it contains recycled rubber grain and on the other hand a mixture of type MD12, to which its name is attributed by its granulometry, in which its largest particles should not exceed 12.5mm.

With this, an evaluation of the mechanical properties of each of the mixtures is sought, in order to evaluate the behavior of the resistance to Marshall stability vs. the resistance to the resilient modulus and vice versa, with the purpose of generating a mathematical correlation between the values obtained after the laboratory tests, for which 22 samples of each of the mixtures were elaborated, which present an aging of 14 days for the resilient modulus test, subsequently the Marshall stability test is carried out.

According to the results obtained, it is evident that there is a correlation between these two resistances, represented in Mpa (megapascals), in addition to this, it is obtained that these values are consistent with their temperature variation.

On the other hand, the GCR mix reflects a better mechanical behavior over the MD12 mix, which generates a difference in slopes that can be appreciated in a comparative graph, which correlates the mentioned resistances. According to these graphs, it is verified that the existing correlation between these two values is linear, which makes it possible to establish a relationship of the form " $Y=Mx+b$ ", where the slope varies drastically depending on the value to be searched, obtaining values of 0.0002 when the module is on the ordinate axis and of 4200 (MD12) and 5900 (GCR) when the Marshall resistance is on the ordinate axis.

## Introducción

En el desarrollo de la ingeniería civil dentro de la comunidad se vuelve indispensable la realización de una gran cantidad de obras civiles que permiten el acrecentamiento de la sociedad, siendo la implementación de obras viales uno de los más grandes factores en el desarrollo de la economía y de la comunicación entre varias comunidades, del mismo modo es indispensable que las obras realizadas presenten una gran calidad en cuanto a la resistencia, durabilidad y comodidad que ofrecen al usuario, para esto la rama de la ingeniería civil ha creado un gran número de normas, especificaciones y manuales que permiten al ingeniero desarrollar un buen ejercicio en la evaluación de las problemáticas a resolver en el progreso de las obras realizadas, sin embargo estos documentos no resultan ser absolutos y se encuentran en constante actualización que les permite abordar siempre de una manera más segura y eficiente el ejecutar de dicha obra.

En el presente documento se busca estudiar el comportamiento mecánico de una mezcla de pavimento flexible y relacionarlo con el comportamiento dinámico que esta puede llegar a otorgar como resultante, esta evaluación busca darse en un valor de resistencia en mega Pascales (MPa), puesto que si bien una mezcla asfáltica resulta altamente influenciada por la temperatura, la evaluación mecánica del pavimento (estabilidad Marshall) se realiza bajo un tanteo de temperatura y la evaluación dinámica (modulo resiliente) se realiza en un número de terrazas de temperatura correspondiente a la variabilidad de la temperatura superficial del pavimento en obra (Shah et al., 2020)

## 1. Marco Conceptual

Bogotá es una ciudad con alta congestión vehicular que cuenta con una estructura de pavimento entre flexible y rígido, del cual la mayoría está fabricada en pavimento flexible (más del 60%) (Dirección Técnica Estratégica, 2015), sin contar también que la mayoría de losas de concreto como las del sistema integrado de transporte, son también re parcheadas en varios tramos con pavimento flexible, generando así una combinación que pretende beneficiar la vida útil restante de dicha losa de pavimento rígido.



*Ilustración 1:* Fuente: Tema: Pavimentos / Cátedra Ingeniería Civil I / Departamento de Ingeniería Civil. Pag 3.



*Ilustración 2:* Fuente: Tema: Pavimentos / Cátedra Ingeniería Civil I / Departamento de Ingeniería Civil. Pag 4.

En la *Ilustración 1*, se presenta la composición física de un pavimento flexible, en la que su mayor diferencia con respecto al pavimento rígido *Ilustración 2*, radica en la capa de

subbase que tiene el pavimento flexible y por el contrario el pavimento rígido no posee, este genera que la losa de pavimento rígido necesite una capacidad portante superior a la del pavimento flexible, ya que requiere una mayor resistencia en cuanto a la transferencia de esfuerzos (Giordani & Leone, s. f.).

Esto constituye de cierto modo una ventaja a la hora de efectuar los mantenimientos en la malla vial de la ciudad ya que si bien el pavimento flexible resulta ser menos resistente a las cargas altas, es mucho más sencillo y económico de reparar que un tramo extenso de losas de pavimento rígido, por lo que se vuelve indispensable el estudio de nuevas alternativas en los pavimentos flexibles, que permitan alargar la vida útil de los tramos y mejorar sus mecánicas reaccionantes a las diferentes cargas estáticas y dinámicas a las que este se pueda ver sometidas por los diferentes niveles de tráfico que las transiten Vidal Valencia, J. (2006).

Uno de los métodos usados para la realización del diseño de una carpeta asfáltica, para pavimentos flexibles, es el diseño Marshall, el cual consiste en una serie de tanteos con diferentes porcentajes de contenido asfáltico y granulometrías preestablecidas, al finalizar se obtienen datos de densidad, resistencia Marshall y flujo Marshall, con estos es posible determinar una serie de gráficas que permiten determinar el comportamiento mecánico más favorable de la mezcla asfáltica, en este ensayo se aplica una cantidad predeterminada de golpes por ambas caras de una muestra confinada en un molde de acero de 4" de ancho, de modo que la muestra compactada obtenga una altura alrededor de las 2 ½". (Díaz Claros.C.M, y Castro Celis. L.C., (2017).

Existen en el campo de los pavimentos flexibles una gran cantidad de productos que pueden llevar a un mejoramiento del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica siendo el uso de aditivos de tipo químico y físico una alternativa viable (Hugo Alexander Rondón-Quintana et al., 2008), pero esta genera una gran explotación de recursos económicos y ambientales para su implementación en el campo ingenieril, esto debido a la continua explotación de canteras para la producción de materiales a la alta demanda de betún a destilar y dosificar para el uso de los aditivos, es por esto que otras alternativas que pretendan la reutilización de las carpetas y/o materiales ya existentes, puede llegar a generar un

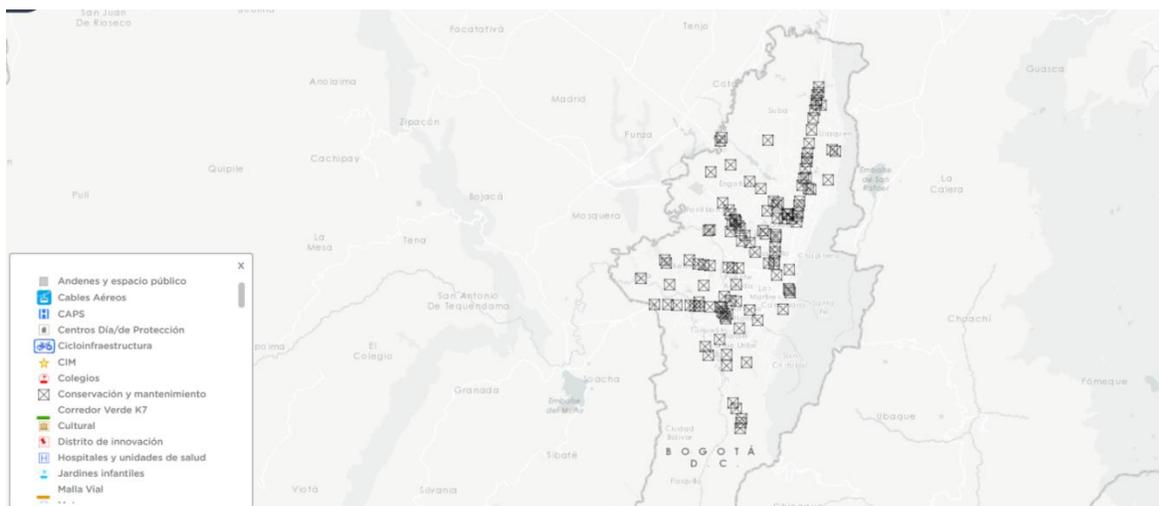
atractivo ambiental y comercial a la problemática de mantenimientos que se evidencia en la ciudad de Bogotá (Pavimentos: Materiales, Construcción Y Diseño, 2015).

Los pavimentos reciclados generan una gran opción para reducir los costos de mantenimiento vial y se debe buscar la forma de mejorar sus mecánicas estáticas y dinámicas para ampliar su vida útil, de modo que representen una mejor opción para su uso en lugar del pavimento convencional, de modo que los pavimentos reciclados tipo RAP por sus siglas en inglés (Reclaimed Asphalt Pavement) y los pavimentos con caucho reciclado tipo Grano Caucho Reciclado (GCR) , representen en poco tiempo la mayoría de la malla vial de pavimento flexible instalado en la ciudad de Bogotá y que las propiedades que determinan su rendimiento óptimo en campo sean de un valor óptimo incluso superior a los pavimentos flexibles convencionales, así propiedades como su densidad, resistencia a la compresión, a la tensión, su adherencia, su resiliencia y su resistencia a la fatiga, presenten valores por encima de los ya establecidos en la guía de diseño nacionales e internacionales (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2013).

Es por estos nuevos materiales y metodologías que la normativa de una ciudad o país debe siempre estar en un constante cambio, que de acuerdo con las nuevas técnicas de vanguardia busque siempre mejorar la interfaz del usuario en las vías que circula, de este modo se requiere la constante revisión de los parámetros de diseño que se aplican en los pavimentos que se pueden llegar a utilizar en un futuro, datos como la cantidad de cemento asfáltico a usar y la cantidad de caucho o material reciclado que se puede incluir en una mezcla con fin de mejorar el comportamiento mecánico para el uso de la misma (Naser et al., 2022)

## 2. Planteamiento del problema

Hoy en día en la ciudad de Bogotá enfrenta a una problemática radicada en su malla vial, está actualmente presenta un deterioro significativo, lo que genera que las personas con vehículo propio presenten daños en el mismo y accidentes viales, además de esto se considera también la alta congestión generada por los mantenimientos programados, como se puede ver en la *Ilustración 3* (secretaría nacional De Ambiente, 2015)



*Ilustración 3:* Fuente: Mapas Bogotá D.C – IDECA

Adicionalmente, se debe plantear la demora en obra debido a los diferentes protocolos que se deben cumplir en cuanto a diseño, licencias, estudios y ejecución de la misma.

Gracias a esto se abre un campo investigativo alrededor de estos nuevos tipo de materiales que resultan altamente amigables a las problemáticas ambientales y altamente susceptibles a la comprobación de las mecánicas que rodean el comportamiento de un material usado para carreteras, de este modo se puede tratar de establecer comparaciones e interrelaciones entre el material convencional utilizado para la carpeta de rodadura en la ciudad de Bogotá y las carpetas superiores construidas con GCR, logrando así generar datos altamente importantes como lo son los beneficios frente a las mecánicas de diseño, al comparar de manera directa el comportamiento de varios tipos de mezcla, frente a los diferentes tipos de esfuerzo, logrando medir así su comportamiento a las cargas cíclicas y su capacidad de recuperación o ahuellamiento frente a cargas superiores, todo esto de acuerdo a la última

actualización de las especificaciones y normas INVIAS e IDU, también, frente a los métodos europeos para los fenómenos de resiliencia y fatiga.

Por eso buscamos entender cuál sería la mejor alternativa de mezcla para las vías tipo 1 presentes en la ciudad de Bogotá y establecer así correlaciones que presenten las ventajas y desventajas de una mezcla frente a otra.

### 3. Objetivos

#### **Objetivo general:**

1. Hallar un modelo matemático que permita correlacionar los valores de la resistencia del diseño Marshall, con los valores obtenidos a partir de ensayo de modulo resiliente de la carpeta de rodadura de un pavimento flexible, con el fin de obtener de manera más ágil alguno de los dos valores a partir del que ya se tenga.

#### **Objetivos específicos**

1. Determinar cuál de los dos tipos de mezclas presenta un mejor comportamiento referente a su relación de esfuerzos estáticos y dinámicos.
2. Determinar los parámetros influyentes en el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas.
3. Analizar gráficamente el comportamiento de la pendiente en cada una de las posibles variaciones del ensayo Marshall y de modulo resiliente.

## 4. Metodología Metodología

### a. Preparación de la muestra

Para cumplir con los objetivos anteriormente planteados, es necesaria la fabricación de varias muestras tipo Marshall con el fin de la realización de los 2 ensayos previamente mencionados, estas muestras son fabricadas bajo la metodología Marshall, la cual es una metodología ampliamente usada para el diseño de vías en el país, esta consiste en aplicar una cantidad predeterminada de golpes por ambas caras de una muestra confinada en un molde de acero de 4" de ancho, de modo que la muestra compactada obtenga una altura alrededor de las 2 ½".



*Ilustración 4:* Martillo de operación mecánica Marshall (Equipo Manual de Compactación | Dirimpex, n.d.)

El equipo mostrado en la *Ilustración 4*, nos permite observar un martillo Marshall de operación mecánica, el cual tiene un peso de 4,5kg aproximadamente y sirve para realizar la compactación de las briquetas asfálticas a evaluar en los ensayos.

Luego de compactar cada muestra con 75 golpes por cara y cara, se debe esperar a que esta enfrié, este proceso no debe ser inferior a 24 horas, finalmente se extraen las muestras y se

dejan envejecer 14 días a una temperatura no mayor de 20°C, de acuerdo lo estipula la norma une 12697-26 en su anexo C.

**b. Ensayo de modulo resiliente**

se instrumentan las muestras y se prepara cada una para el ensayo de modulo resiliente tal como se muestra en la *Ilustración 5*.

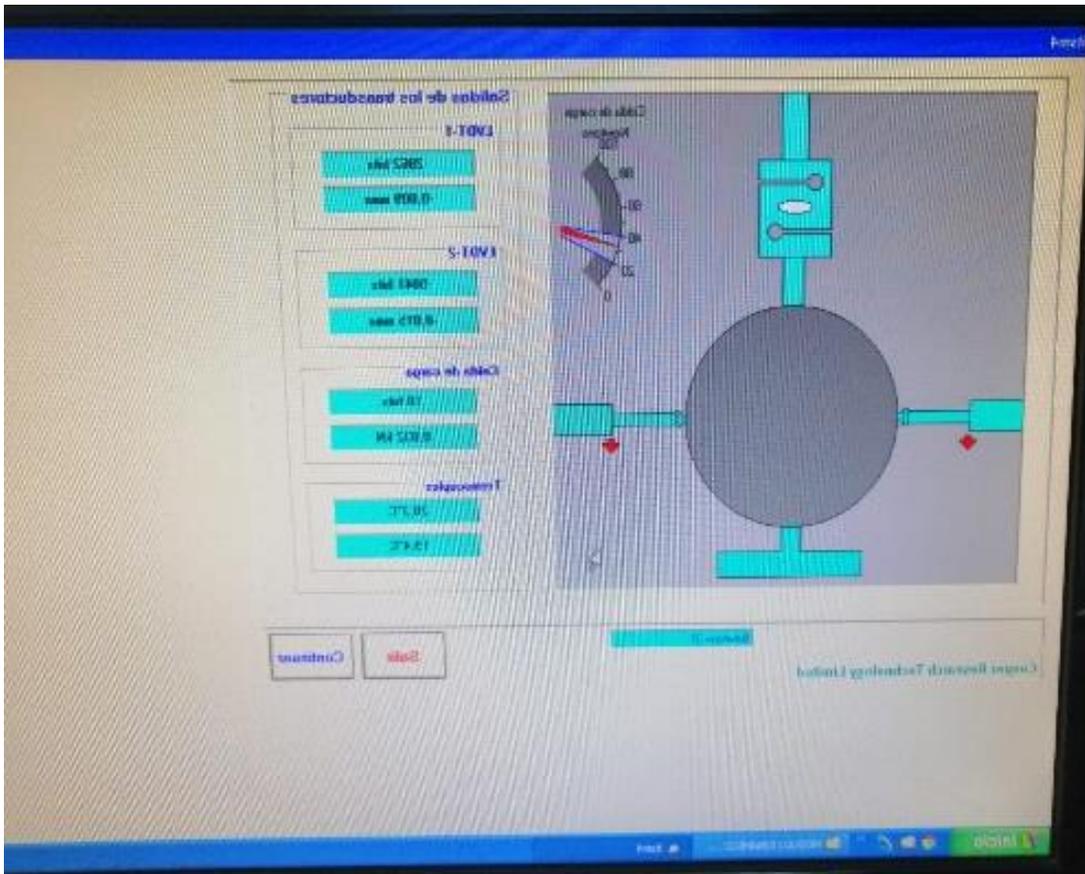


*Ilustración 5:* Urrea Fabian, 15 septiembre de 2022 - Preparación de muestras para ensayo de módulo resiliente, Bogotá.



*Ilustración 6:* Urrea Fabian, 15 septiembre de 2022- Briquetas para MD12, Bogotá.

En la *Ilustración 6*, se pueden observar algunas muestras ensayadas, las cuales se encuentran dentro del equipo del ensayo de modulo resiliente, con el fin de ser acondicionadas para estabilizar la temperatura interna de cada una de las briquetas, de acuerdo con lo estipulado en la normal UNE 12697 anexo C.

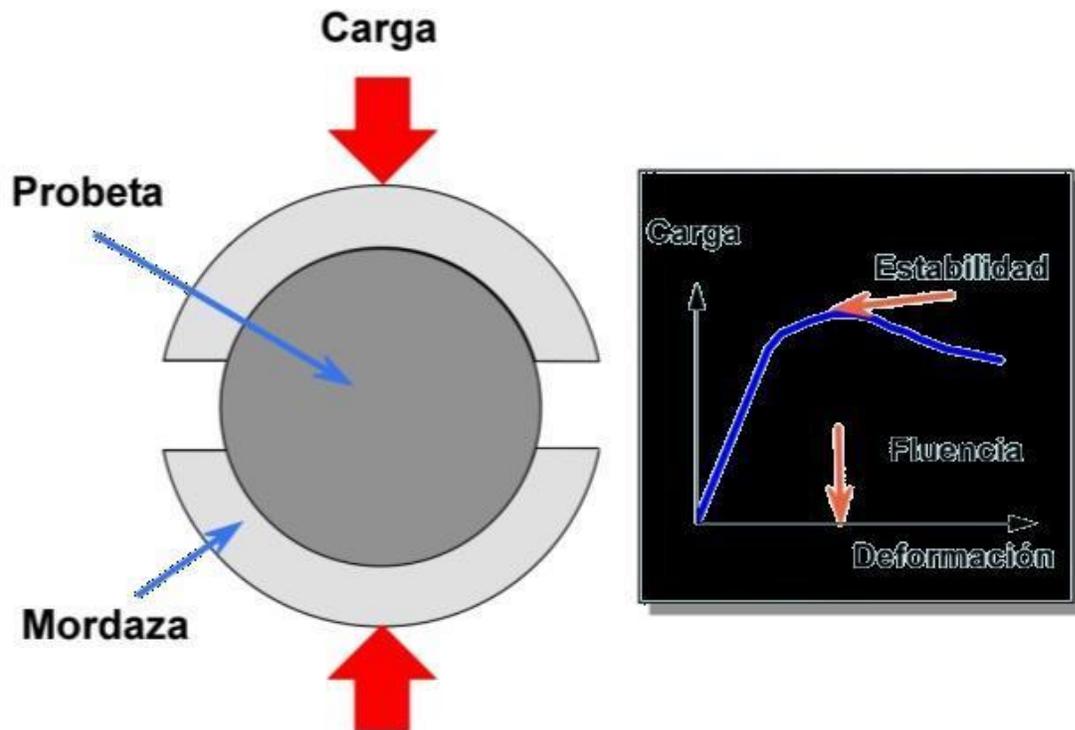


*Ilustración 7:* Urrea Fabian –Guiza Maria Fernanda, 15 septiembre de 2022 – Diagrama de carga, Bogotá.

En la *Ilustración 7* se evidencia el proceso de montaje y escogencia de los parámetros con los cuales se va a realizar el ensayo, en esta ilustración se logra ver la temperatura a la que se genera el ensayo y el recorrido al cual se ajustan los deformímetros de precisión LVDT. Finalmente, al ser un ensayo no destructivo, las muestras son utilizadas en el ensayo de estabilidad y flujo, con fin de hallar una comparación directa para la correlación de datos.

### c. Ensayo de estabilidad Marshall

Terminado el ensayo de modulo resiliente se esperan 24 horas con el fin de que las muestras recuperen sus propiedades mecánicas y no hallan fallas tempranas en el ensayo de estabilidad por causa de fatiga presente en la muestra, pasado este periodo se sumergen las muestras en un baño maría a  $60^{\circ}$  C durante 1 hora, finalmente se determina la resistencia Marshall de la mezcla de cada una de las briquetas.



*Ilustración 8:* Seminario Pre Congreso COMISIÓN PERMANENTE DEL ASFALTO DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EN LOS INICIOS DEL SIGLO XXI

En la *Ilustración 8* se pueden apreciar los esfuerzos a los que se ven sometidos diferentes tipos de muestras, se evidencia una muestra de pavimento flexible.

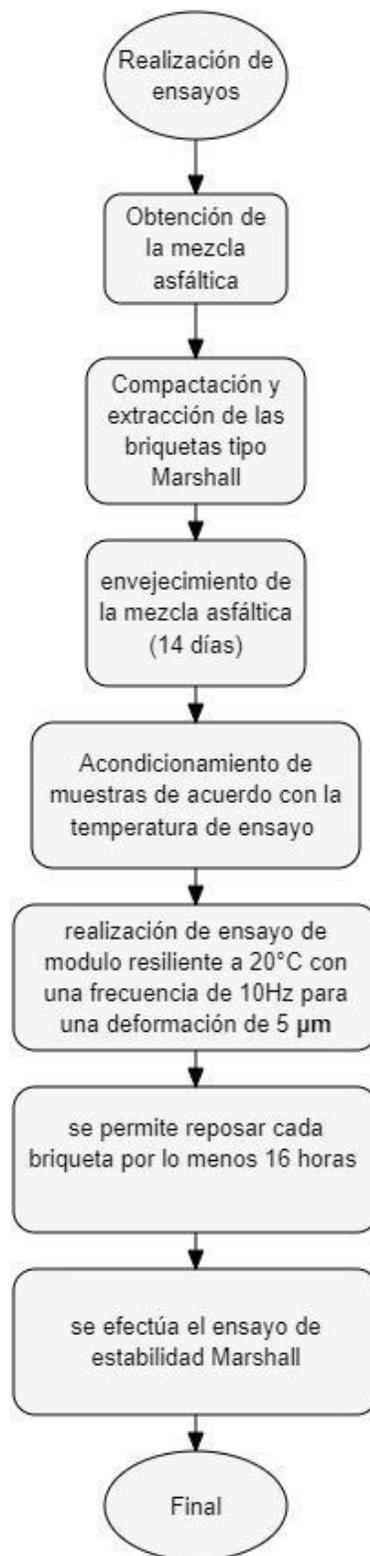


Ilustración 9: Diagrama de flujo metodológica resumida

En la *Ilustración 9*, se aprecia un diagrama de flujo que resume la metodología empleada en el desarrollo de los ensayos de laboratorio, sobre los cuales se obtuvieron los resultados presentados a continuación.

## 5. Resultados

Los resultados presentados a continuación pertenecen a los tipos de mezcla MD12 (mezcla densa en caliente de máximo 12 mm) (IDU, 2019a) y una mezcla MCCs19 (mezcla asfáltica modificada con grano caucho reciclado por vía seca - GCR) (IDU, 2019b), De acuerdo con la normativa IDU.

Estas mezclas fueron suministradas por La Compañía Trabajos Urbanos S.A.S (CTU), en los anexos del presente documento se encontrarán los informes del diseño presentados por la planta CTU.

Teniendo en cuenta la optimización del tiempo y el material proporcionado para las briquetas, se tomó la decisión de realizar primero el ensayo de modulo resiliente, el cual no es destructivo y luego el ensayo de resistencia Marshall, ya que este último ensayo si presenta destrucción de la muestra, por este motivo las resistencias Marshall registradas tienen un envejecimiento mayor al exigido por la norma.

En la Tabla 1 y Tabla 2 se relacionan los resultados obtenidos en Mpa, luego de ensayar las muestras en tracción indirecta (modulo) y su resistencia bajo el método Marshall.

Tabla 1: Valores de resistencia (MPa) de la mezcla MD12

MD 12	
MODULO	MARSHALL
3806	1,687
3967	1,715
4251	1,739
4266	1,740
4300	1,747
4379	1,749
4413	1,760
4485	1,769
4514	1,771
4615	1,774
4773	1,802
4818	1,808
4845	1,819
4862	1,829
4902	1,847
5017	1,859
5030	1,860
5067	1,871
5112	1,960
5131	1,973
5620	1,982
6177	2.225

Autoría propia

Tabla 2: Valores de resistencia (MPa) de la mezcla GCR

GCR	
MODULO	MARSHALL
4223	2,214
4270	2,230
4589	2,238
4653	2,265
4676	2,267
4681	2,279
4705	2,284
4725	2,285
4858	2,293
4876	2,300
4885	2,311
4902	2,322
4976	2,332
4976	2,347
5154	2,355
5195	2,357
5229	2,358
5254	2,369
5268	2,379
5325	2,384
5359	2,431
5855	2,448

Autoría propia

Tabla 3: Datos probabilísticos Marshall Vs. Modulo

Promedio Marshall MD12		Promedio Marshall - GCR	
Promedio de pendientes	0,00038818	Promedio de pendientes	0,00047164
Promedio ensayos	1,83122168	Promedio ensayos	2,32039384
Valor máximo	2,22473424	Valor máximo	2,44817917
Valor mínimo	1,6867663	Valor mínimo	2,21380487

Autoría propia

La Tabla 3, se presenta el resultado de los datos estadísticos primarios para los resultados obtenidos en laboratorio para la mezcla MD12 y GCR por medio del método Marshall.

Allí se puede evidenciar que los valores obtenidos en la mezcla de GCR, son más altos que los obtenidos en la mezcla MD12, lo cual resulta ser coherente con resultados obtenidos en anteriores estudios dentro del campo.

También podemos comprobar que la pendiente de las rectas Marshall vs. Modulo, presentan un comportamiento más alto en la mezcla GCR que en la mezcla MD12, por lo que la relación de esfuerzos resulta más conveniente para la mezcla a base de grano caucho.

Tabla 4: Datos probabilísticos Modulo Vs. Marshall

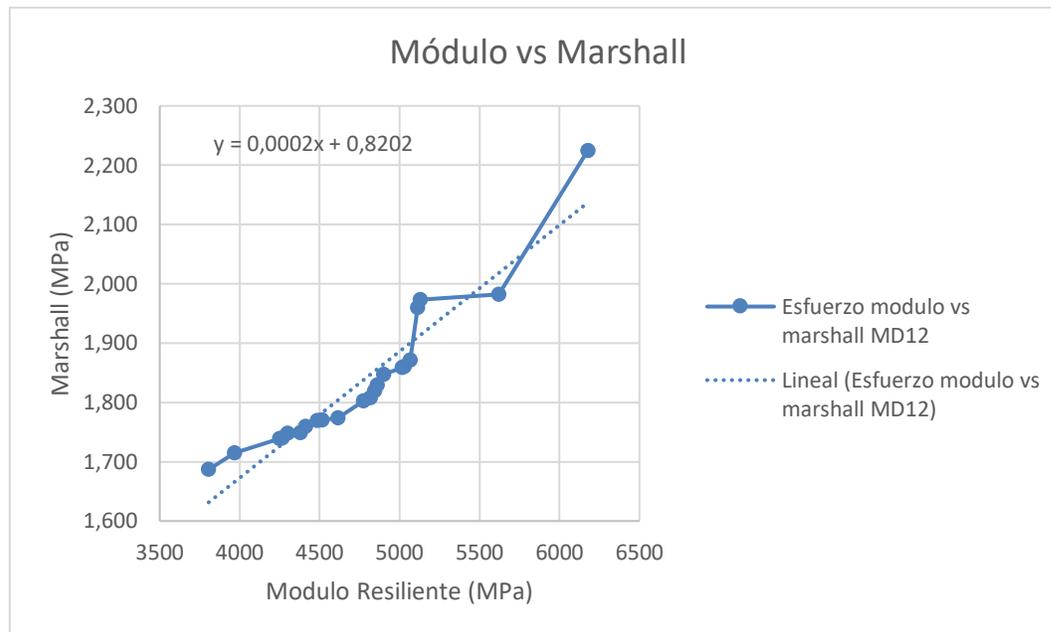
Promedio modulo MD12		Promedio modulo - GCR	
Promedio de pendientes	2583,78743	Promedio de pendientes	2125,47527
Promedio ensayos	4743,18182	Promedio ensayos	4937,90909
Valor máximo	6177	Valor máximo	5855
Valor mínimo	3806	Valor mínimo	4223

Autoría propia

La Tabla 4 anterior presenta el resultado de los datos estadísticos primarios para los resultados obtenidos en laboratorio para la mezcla MD12 y GCR por medio del método de ensayos de Modulo.

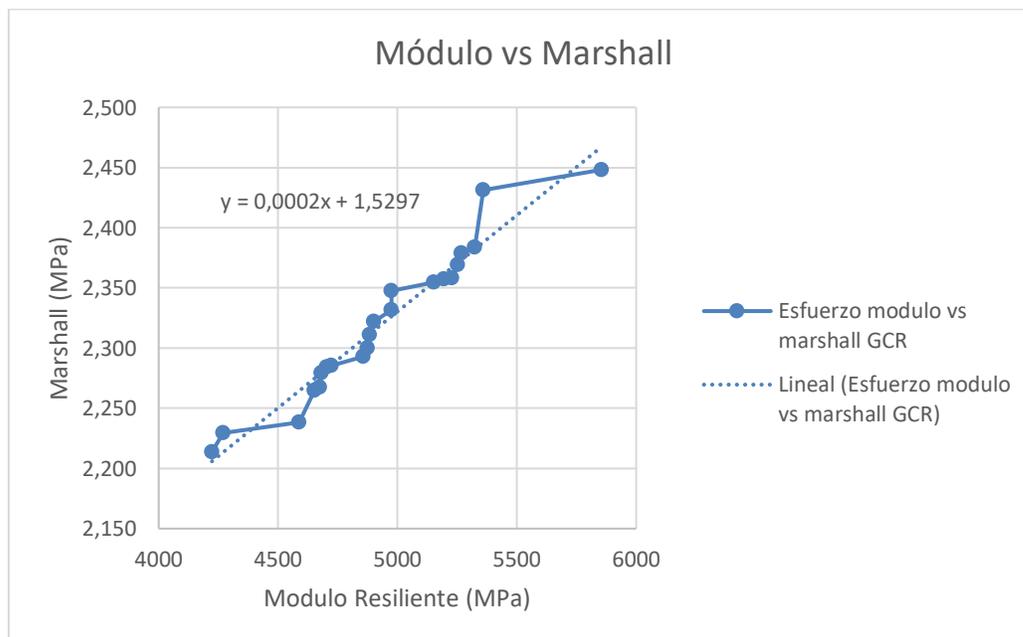
Allí se puede evidenciar que los valores obtenidos en la mezcla de GCR, son más bajos que los obtenidos en la mezcla MD12, podemos comprobar que la pendiente de las rectas Modulo vs. Marshall, donde se presenta una variación en los valores de la pendiente, debido a la variabilidad de los datos en la mezcla MD12.

Tal como se presenta en la Tabla 1, se presentan valores de modulo más altos en la mezcla MD12, pero también unos más bajos, esto se genera debido a la relación de vacíos y al envejecimiento que tuvieron las mezclas.



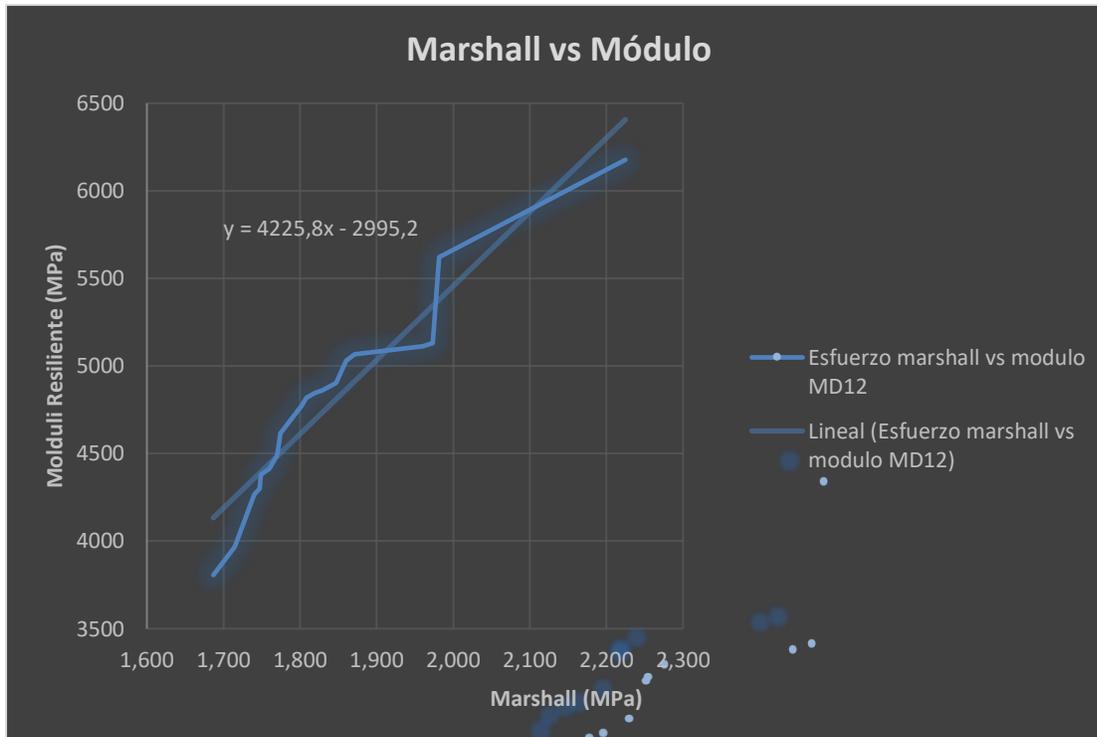
*Ilustración 10:* Grafica relación modulo vs Marshall, MD12

En la *Ilustración 10*, se evidencia grafico del resultado de las muestras de MD12, bajo el ensayo de modulo resiliente y resistencia Marshall.



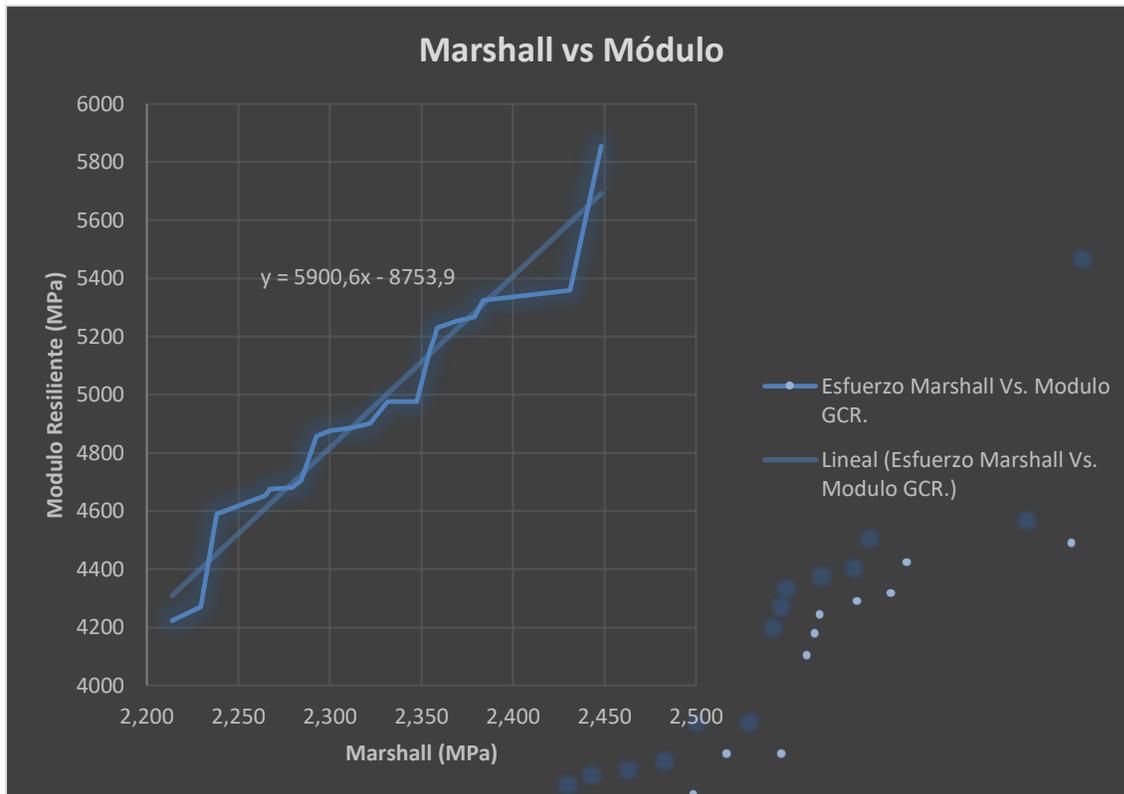
*Ilustración 11:* Grafica relación modulo vs Marshall, GCR

En la *Ilustración 11*, se refleja el grafico del resultado de las muestras de GCR bajo el ensayo de resistencia Marshall y modulo resiliente.



*Ilustración 12:* Grafica relación Marshall vs Módulo, MD12

La *Ilustración 12*, se presenta grafico del resultado de las muestras de MD12, bajo el ensayo de resistencia Marshall y modulo resiliente.



*Ilustración 13:* Grafica relación Marshall vs Módulo, GCR

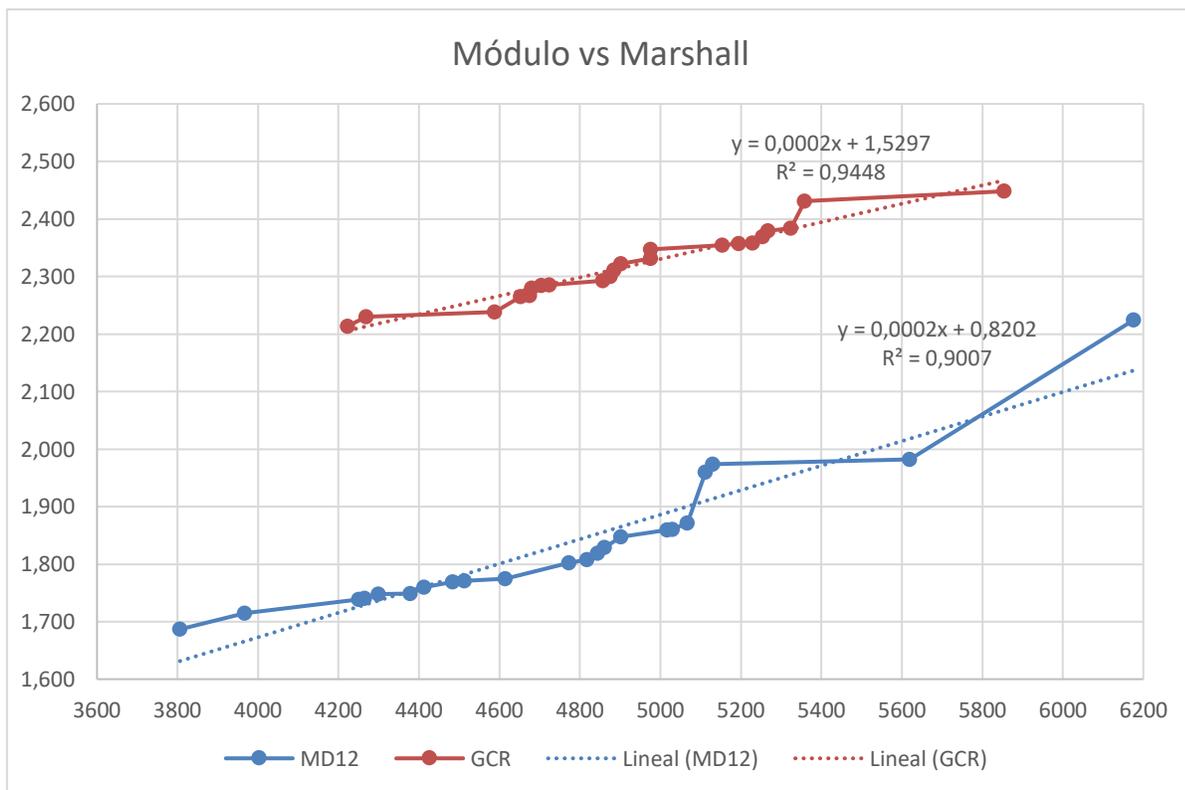
La *Ilustración 13*, se presenta grafico del resultado de las muestras de GCR, bajo el ensayo de resistencia Marshall y modulo resiliente.

## 6. Discusión de resultados finales

De acuerdo con las anteriores graficas se evidencia que el comportamiento de la resistencia modulo resiliente con respecto a la resistencia del método Marshall y viceversa presentan un comportamiento lineal.

Lo anteriormente mencionado debido a que los dos factores de resistencia dependen en su mayoría de la composición de la mezcla asfáltica, principalmente de la relación de vacíos, su granulometría y la cantidad de betún que exista en la mezcla, ya que, estas características son esencialmente las que determinan la densificación, compacidad y resistencia de la mezcla (Rodríguez, 2014).

En la *Ilustración 14*, se presentan los resultados de los ensayos modulo y Marshall, de manera combinada para los dos tipos de mezclas, donde se puede comprar la relación que existe entre las pendientes que se presentan en las curvas de cada una de ellas.



*Ilustración 14:* Grafica combinada Módulo vs Marshall

Se encuentra que estas no generan un punto de intersección entre sí debido a que la variación de datos en la resistencia Marshall presenta un incremento significativo en la mezcla GCR con respecto a la mezcla MD12.

Según lo reflejado en la gráfica se evidencia que la mezcla GCR tiene un comportamiento mecánico superior a la mezcla MD12, proporcionando así mayor resistencia a la mezcla y por consiguiente a la carpeta asfáltica (Universidad de Los Andes, 2002).

También se logra observar que, aunque la resistencia Marshall de la mezcla GCR es más alta que la mezcla MD12, se puede afirmar que la pendiente de ambas muestras, con respecto a la curva modulo vs. Marshall es sumamente similar.

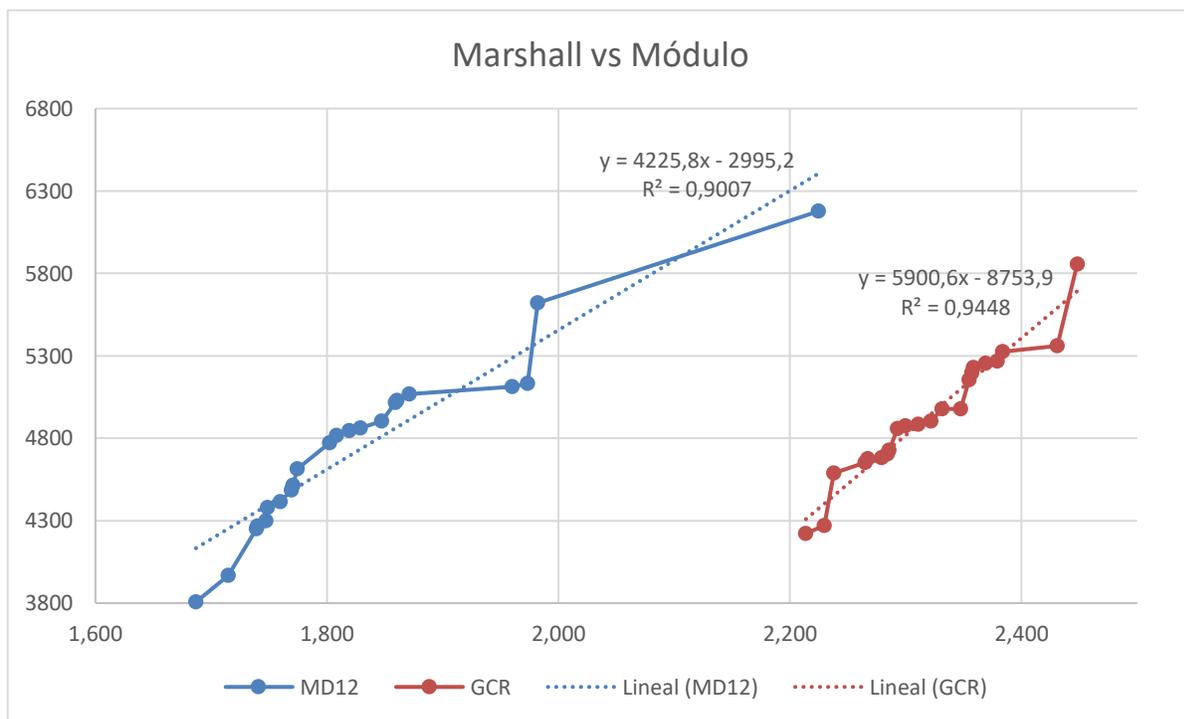


Ilustración 15: Grafica combinada Marshall vs Módulo

Realizando un análisis a la *Ilustración 15* que muestra la gráfica comparativa Marshall vs. Modulo, también de manera combinada, se evidencia que el comportamiento lineal ascendente es similar, ya que, no se presenta intersección entre ellas, en cuanto a los valores referentes a la resistencia Marshall, sin embargo, se presenta una diferencia notoria en la pendiente de cada una de las curvas, puesto que la mezcla GCR, maneja una pendiente

mucho más pronunciada que la mezcla MD12, esto nos lleva a inferir, un comportamiento significativo en la mejora del trabajo de la mezcla GCR.

De acuerdo con lo presentado en la *Ilustración 14* y *Ilustración 15*, se comprueba un comportamiento lineal, en los diferentes tipos de mezcla asfáltica, también se puede decir que este comportamiento es ajustable de acuerdo con los parámetros de: relación de vacíos, vacíos en el agregado mineral, contenido de agua en la mezcla, densidad de la mezcla y contenido de betún asfáltico. Los cuales son parámetros que se pueden controlar con el uso adecuado de los equipos y los materiales durante la fabricación de las mezclas, (Guerra, et al. (2014). Durante el proceso constructivo, estos parámetros siguen siendo controlables a excepción del contenido de agua en las mezclas.

Cabe aclarar que estos resultados son obtenidos bajo muestras ideales, por lo que en la práctica los resultados obtenidos van a variar conforme a las condiciones climáticas y de tránsito bajo las que este sometido el pavimento, especialmente resulta más complejo controlar el contenido de agua presente en la mezcla una vez existan precipitaciones sobre la vía, debido a esto es probable que el valor de la estabilidad Marshall disminuya y por ende, el valor del módulo resiliente.

El análisis anterior hace referencia a que el comportamiento de las interacciones de Modulo vs. Marshall y Marshall vs. Modulo, tienen una tendencia lineal, por lo que se puede deducir que es correcto afirmar que una fórmula que relacione estos datos tiene el comportamiento de modo  $Y = Mx + B$ , donde  $Mx$  = al valor de la pendiente,  $Y$ = al valor de las ordenadas y  $B$ = al punto en el que se interceptan las abscisas, este valor es ascendente en las curvas presentadas. Por ello podemos determinar que existe una relación presente entre el valor de Marshall y Modulo, siempre y cuando se mantengan los parámetros citados anteriormente.

Tabla 5: Resultados de correlación de resistencia módulo resiliente a resistencia Marshall.

Modulo Vs Marshall	Análisis
$Y=0,0002x+1,5297$ (GCR) $Y=0,0002x+0,8202$ (MD12)	Se puede Observar que la pendiente de los resultados obtenidos en la curva Módulo Vs Marshall, presentan una tendencia similar y

	por lo tanto un comportamiento mecánico similar que se puede correlacionar con las fórmulas presentadas en esta tabla.
--	--

Autoría propia

Tabla 6: Resultados de correlación de resistencia Marshall a resistencia Módulo resiliente.

Marshall Vs Módulo	Análisis
$Y=5900,6x-8753,9$ (GCR) $Y=4225,8-2995,2$ (MD12)	Se puede Observar que la pendiente de los resultados obtenidos en la curva Marshall Vs Módulo, presentan una tendencia similar y por lo tanto un comportamiento mecánico similar que se puede correlacionar con las fórmulas presentadas en esta tabla.

Autoría propia

De acuerdo con los resultados de módulo obtenido se puede observar que la mezcla convencional y la mezcla GCR presentan una disminución de módulo con el incremento de la temperatura, lo mencionado anteriormente es de vital importancia para el diseño de estructuras de pavimento teniendo la variabilidad climática del país con el objetivo de proponer estructuras acordes con el sector o zona (Amirkhanian, 2008).

## Conclusiones

- Se comprueba que el GCR (grano caucho reciclado) poseen un comportamiento más estable y adecuado frente a la relación de esfuerzos dinámicos y estáticos.
- Se logra corroborar que factores como el contenido de asfalto, la densidad, porcentaje de vacíos y agua presente en la mezcla, afecta el desempeño de esta.
- Se establece un comportamiento lineal en las resistencias en Mpa en el ensayo Marshall y el ensayo de modulo resiliente, con lo que se puede establecer la relación existente conforme la formula  $Y = Mx + B$
- Existe una afectación considerable en la resistencia de las mezclas de acuerdo con el aumento de temperatura a la que trabajan.
- Se puede inferir que es posible determinar la resistencia Marshall o de modulo resiliente teniendo uno de estos dos valores y habiendo estudiado solo un lote de la producción.
- Los resultados permitieron observar que, sin importar la variabilidad climática o incremento en temperatura, los módulos presentaron aumento con la frecuencia de los ensayos, dando como resultado mayor problemática en términos de durabilidad para corredores viales con baja velocidad.
- Los resultados de resistencias se logran correlacionar en Mpa para las mezclas MD12 y GCR, en el comportamiento estático de la resistencia Marshall.
- Los resultados de resistencias se logran correlacionar en Mpa para las mezclas MD12 y GCR, en el comportamiento dinámico de la resistencia del módulo resiliente (Vidal Valencia, J. (2006).

### Referencias Bibliográficas

1. *Equipo manual de compactación / Dirimpex.* (n.d.). Retrieved September 27, 2022, from <https://dirimpex.com/equipos/equipo-manual-de-compactacion/>
2. Instituto de Desarrollo Urbano, & 23 gu-ic-019\_guia\_diseno\_pavimentos\_para\_bajos\_volumenes\_v1. (2013). *23 gu-ic-019\_guia\_diseno\_pavimentos\_para\_bajos\_volumenes\_v1.* 2, 109.
3. Instituto de Desarrollo Urbano, & Boletín Técnico No. 1\_ Caracterización de Mezclas Asfálticas. (2015). *Instituto de Desarrollo Urbano.*  
[http://www.idu.gov.co/image/journal/article?img\\_id=0\\_ART\\_MALL](http://www.idu.gov.co/image/journal/article?img_id=0_ART_MALL)
4. Naser, M., Abdel-Jaber, M. tasim, Al-shamayleh, R., Louzi, N., & Ibrahim, R. (2022). Evaluating the effects of using reclaimed asphalt pavement and recycled concrete aggregate on the behavior of hot mix asphalts. *Transportation Engineering, 10.*  
<https://doi.org/10.1016/J.TRENG.2022.100140>
5. Secretaria Nacional De Ambiente. (2015, December). *Plan de aprovechamiento de llantas presentado por el Gobierno Nacional tuvo como ejemplo piloto del Distrito - Historial de noticias - Secretaría Distrital de Ambiente.*  
[https://ambientebogota.gov.co/historial-de-noticias/-/asset\\_publisher/VqEYxdh9mhVF/content/plan-de-aprovechamiento-de-llantas-presentado-por-el-gobierno-nacional-tuvo-como-ejemplo-piloto-del-distrito](https://ambientebogota.gov.co/historial-de-noticias/-/asset_publisher/VqEYxdh9mhVF/content/plan-de-aprovechamiento-de-llantas-presentado-por-el-gobierno-nacional-tuvo-como-ejemplo-piloto-del-distrito)
6. Instituto de Desarrollo Urbano, & 23 gu-ic-019\_guia\_diseno\_pavimentos\_para\_bajos\_volumenes\_v1. (2013). *23 gu-ic-019\_guia\_diseno\_pavimentos\_para\_bajos\_volumenes\_v1.* 2, 109.
7. Instituto de Desarrollo Urbano, & 23 gu-ic-019\_guia\_diseno\_pavimentos\_para\_bajos\_volumenes\_v1. (2013). *23 gu-ic-019\_guia\_diseno\_pavimentos\_para\_bajos\_volumenes\_v1.* 2, 109.
8. Instituto de Desarrollo Urbano, & Boletín Técnico No. 1\_ Caracterización de Mezclas Asfálticas. (2015). *Instituto de Desarrollo Urbano.*  
[http://www.idu.gov.co/image/journal/article?img\\_id=0\\_ART\\_MALL](http://www.idu.gov.co/image/journal/article?img_id=0_ART_MALL)

9. Naser, M., Abdel-Jaber, M. tasim, Al-shamayleh, R., Louzi, N., & Ibrahim, R. (2022). Evaluating the effects of using reclaimed asphalt pavement and recycled concrete aggregate on the behavior of hot mix asphalts. *Transportation Engineering*, <https://doi.org/10.1016/J.TRENG.2022.100140>
10. Secretaria Nacional De Ambiente. (2015, December). *Plan de aprovechamiento de llantas presentado por el Gobierno Nacional tuvo como ejemplo piloto del Distrito - Historial de noticias - Secretaría Distrital de Ambiente*. [https://ambientebogota.gov.co/historial-de-noticias/-/asset\\_publisher/VqEYxdh9mhVF/content/plan-de-aprovechamiento-de-llantas-presentado-por-el-gobierno-nacional-tuvo-como-ejemplo-piloto-del-distrito](https://ambientebogota.gov.co/historial-de-noticias/-/asset_publisher/VqEYxdh9mhVF/content/plan-de-aprovechamiento-de-llantas-presentado-por-el-gobierno-nacional-tuvo-como-ejemplo-piloto-del-distrito)
11. Melo, G. (2013). Estudio de la influencia del asfalto envejecido en el comportamiento mecánico de una mezcla de concreto asfáltico producida en caliente. *Unal.edu.co*. <https://doi.org/https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51752>
12. Andrea. (2013). Características del asfalto en el comportamiento de mezclas asfálticas mdc-2 del Invias. *Core.ac.uk*. <https://doi.org/oai:repository.unimilitar.edu.co:10654/3287>
13. Manuel, J. (2022). Análisis comparativo de modulo resiliente y ensayos de deformación permanente en mezclas asfálticas del tipo (Mdc2) en briquetas compactadas con martillo Marshall y compactador Giratorio. *Javeriana.edu.co*. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10554/7570>
14. Julián Vidal Valencia. (2012). Comportamiento dinámico de mezclas asfálticas. *Revista Universidad EAFIT*, 42(143), 72–88. <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/795>
15. RICUC ICC. (2017). Evaluación de rigidez Marshall, tracción indirecta y módulo resiliente en mezclas asfálticas con RAP y escoria de cobre. *Revista Ingeniería de Construcción*, 32(1), 15–24. [https://www.academia.edu/31807751/Evaluaci%C3%B3n\\_de\\_rigidez\\_Marshall\\_tracci%C3%B3n\\_indirecta\\_y\\_m%C3%B3dulo\\_resiliente\\_en\\_mezclas\\_asf%C3%A1lticas\\_con\\_RAP\\_y\\_escoria\\_de\\_cobre?from=cover\\_page](https://www.academia.edu/31807751/Evaluaci%C3%B3n_de_rigidez_Marshall_tracci%C3%B3n_indirecta_y_m%C3%B3dulo_resiliente_en_mezclas_asf%C3%A1lticas_con_RAP_y_escoria_de_cobre?from=cover_page)

16. RODRIGUEZ, O. (2014, September 21). *VARIABILIDAD DEL MÓDULO RESILIENTE DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2 DENTRO DE LA VENTANA DE DISEÑO PROPUESTA POR*. Academia.edu.  
[https://www.academia.edu/8424941/VARIABILIDAD\\_DEL\\_M%C3%93DULO\\_RESILIENTE\\_DE\\_UNA\\_MEZCLA\\_ASF%C3%81LTICA\\_MDC\\_2\\_DENTRO\\_DE\\_LA\\_VENTANA\\_DE\\_DISE%C3%91O\\_PROPUESTA\\_POR?bulkDownload=thisPaper-topRelated-sameAuthor-citingThis-citedByThis-secondOrderCitations&from=cover\\_page](https://www.academia.edu/8424941/VARIABILIDAD_DEL_M%C3%93DULO_RESILIENTE_DE_UNA_MEZCLA_ASF%C3%81LTICA_MDC_2_DENTRO_DE_LA_VENTANA_DE_DISE%C3%91O_PROPUESTA_POR?bulkDownload=thisPaper-topRelated-sameAuthor-citingThis-citedByThis-secondOrderCitations&from=cover_page)
17. Guerra, C. (2014). *EFFECTOS DE LA TEMPERATURA EN EL MODULO RESILIENTE EN MEZCLAS ASFALTICAS DISEÑADAS POR EL METODO MARSHALL EN LA CIUDAD DE AREQUIPA*. Concytec.gob.pe.  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSM\\_b0140778311ac9511a95d6f3aa5364b0](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSM_b0140778311ac9511a95d6f3aa5364b0)
18. Chen, Y., Chen, Z., Xiang, Q., Qin, W., & Yi, J. (2021). Research on the influence of RAP and aged asphalt on the performance of plant-mixed hot recycled asphalt mixture and blended asphalt. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00722.  
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00722>
19. Zaumanis, M., Mallick, R. B., & Frank, R. (2014). 100% recycled hot mix asphalt: A review and analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 92, 230–245.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.07.007>
20. *Especificaciones Técnicas Generales de Materiales*. (2022). Instituto de Desarrollo Urbano - IDU. <https://www.idu.gov.co/page/especificaciones-tecnicas-generales-de-materiales>
21. Ghazavi, M., & Kavandi, M. (2022). Shear modulus and damping characteristics of uniform and layered sand-rubber grain mixtures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 162, 107412. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107412>
22. Safi, F. R., Hossain, K., Wu, S., Al-Qadi, I. L., & Ozer, H. (2018). A model to predict creep compliance of asphalt mixtures containing recycled materials. *Construction and Building Materials*, 184, 374–381.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.232>

23. Kaseer, F., Martin, A. E., & Arámbula-Mercado, E. (2019). Use of recycling agents in asphalt mixtures with high recycled materials contents in the United States: A literature review. *Construction and Building Materials*, 211, 974–987.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.286>
24. Lee, S.-J., Amirkhanian, S. N., & Kwon, S.-Z. (2008). The effects of compaction temperature on CRM mixtures made with the SGC and the Marshall compactor. *Construction and Building Materials*, 22(6), 1122–1128.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.03.003>
25. Zhang, C., Kazanci, O. B., Levinson, R., Heiselberg, P., Olesen, B. W., Chiesa, G., Sodagar, B., Ai, Z., Selkowitz, S., Zinzi, M., Mahdavi, A., Teufl, H., Kolokotroni, M., Salvati, A., Bozonnet, E., Chtioui, F., Salagnac, P., Rahif, R., Attia, S., & Lemort, V. (2021). Resilient cooling strategies – A critical review and qualitative assessment. *Energy and Buildings*, 251, 111312.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111312>
26. Shah, S. A. R., Anwar, M. K., Arshad, H., Qurashi, M. A., Nisar, A., Khan, A. N., & Waseem, M. (2020). Marshall stability and flow analysis of asphalt concrete under progressive temperature conditions: An application of advance decision-making approach. *Construction and Building Materials*, 262, 120756.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120756>
27. IDU. (2019a). 620-18 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE DENSA, SEMIDENSA Y GRUESA.
28. IDU. (2019b). 626-18 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA. IDU.
29. González Granada, D. F., & Pedraza Susa, A. (2016). Influencia de la temperatura de compactación en mezclas asfálticas densas en caliente MDC modificadas con grano de caucho reciclado GCR. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_civil/110](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/110)
30. Díaz Claros.C.M, y Castro Celis. L.C., (2017), Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá, Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás, Bogotá.

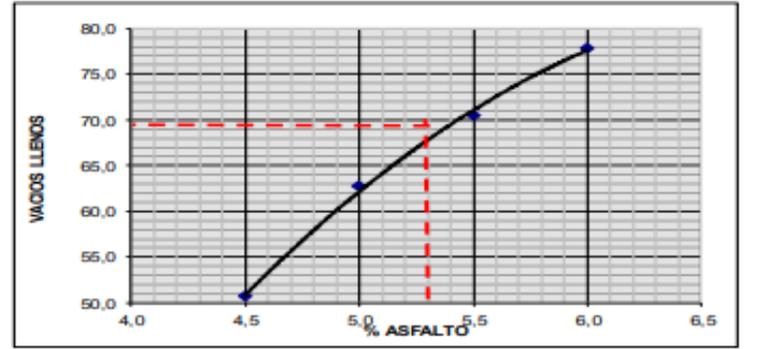
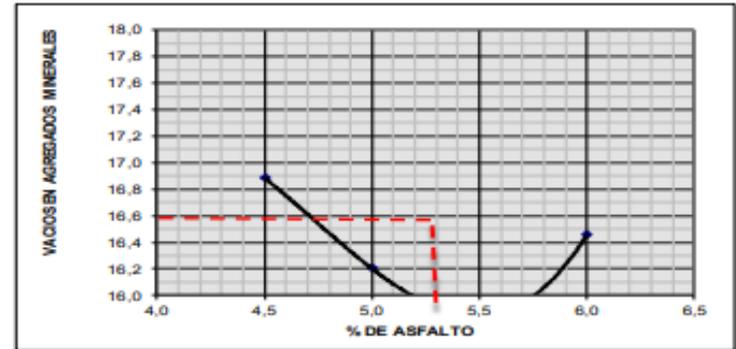
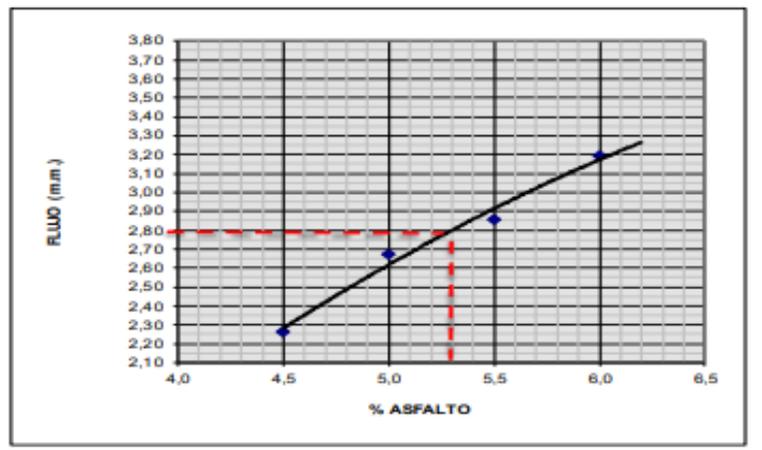
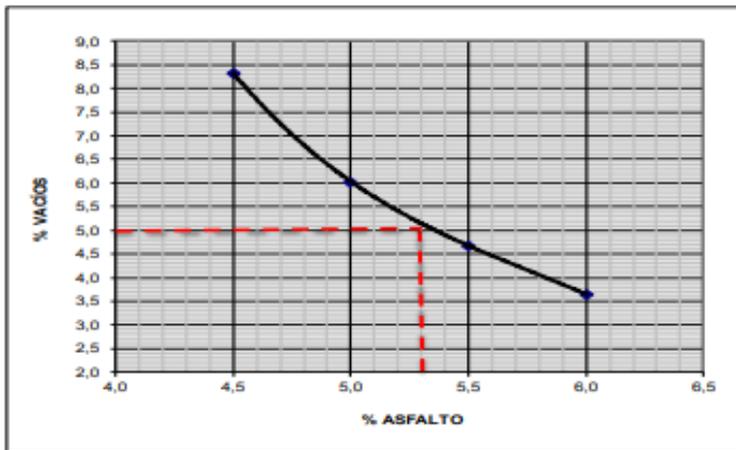
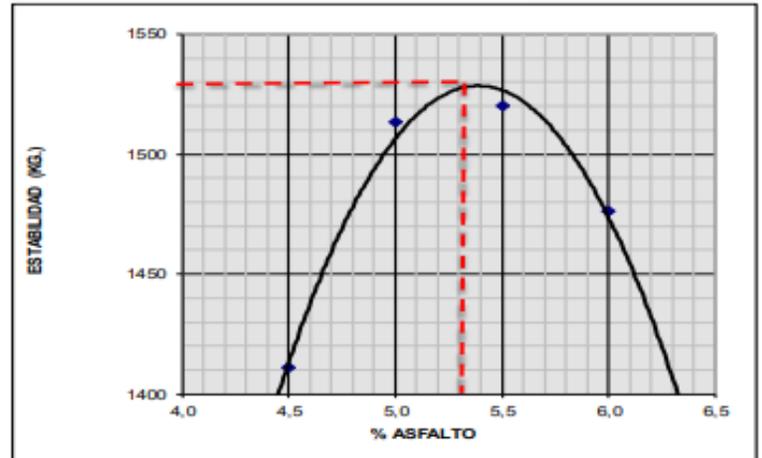
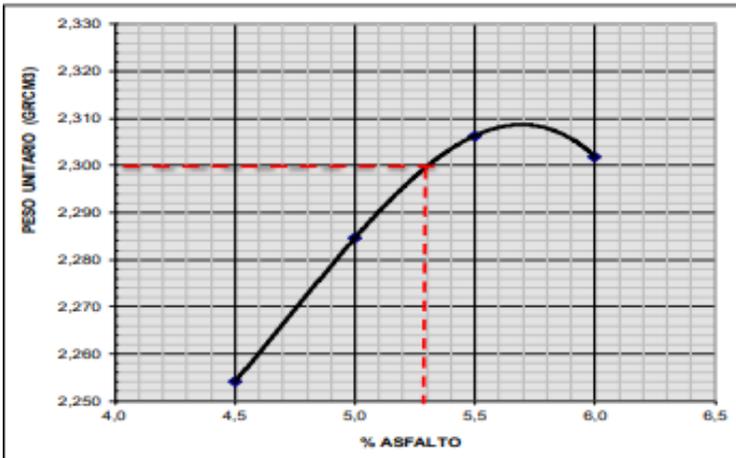
31. Rondon, H., Reyes, F., Figueroa, S., Rincon, E., Real, C., & Montealegre, T. (2007). Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia. *Infraestructura Vial*, 10(19).
32. J. Puello Méndez y N. Afanasjeva, «Técnicas instrumentales para la evaluación del envejecimiento en los asfaltos,» *Dialnet*, vol. 6, pp. 1-2, 2016.
33. I. D. D. URBANO, «SEGUNDA FASE DEL ESTUDIO DE LAS MEJORAS MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON DESECHOS DE LLANTAS – PISTA DE PRUEBA.,» Bogotá D.C., 2015.
34. I. L. L. R. J. P. R. R. ARMANDO RAMÍREZ VILLAMIZAR, «DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CON ASFALTO CAUCHO TECNOLOGÍA GAP GRADED PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ,» Bogotá D.C., 2014.
35. c. H. N. H. A. Abbaas I. Kareem a, «Rendimiento de asfalto de mezcla en caliente producido con agregados de hormigón reciclado de doble capa,» *ELSEVIER*, 2019.
36. F. A. R. Hugo Alexander Rondón, *Pavimentos. Materiales, construcción y diseño*, Bogota: ECOE, 2015.
37. C. M. C. C. L. C. Díaz Claros, «Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá,» *Repositorio USTA*, Bogota, 2017.
38. R. Verdugo, «Realidades y percepciones del uso de los asfaltos modificados en colombia,» *Santafé de Bogotá D.C.*, 2014.
39. J. L. D. A. RICARDO ALBERTO ANGULO RODRÍGUEZ, «MODIFICACIÓN DE UN ASFALTO CON CAUCHO RECICLADO DE LLANTAPARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS,» *UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER*, Bucarmanga, 2005.
40. Y. M.-M. A. M. T.-L. Hugo A. Rodón-Quintana, «Influencia de la Temperatura de Compactación Sobre La Resistencia Bajo Carga Monotonica de Mezcla Asfalticas Modificadas Con Grano de Caucho Reciclado de Llantas,» *TecnoLógicas*, 31 agosto 2012.
41. Marshall M. Thompson, Tutumluer Erol (1998), *revisión teórica del Módulo de Materiales Granulares y Asfalto*, Universidad Urbana de Illinois, USA

42. Monismith, C., Bor Wen, T. (1994), Rigidez de Mezclas asfálticas Mixtas, Programa estratégico de Investigación Americano, Universidad Berkeley, California, USA
43. Spinle Caro, S. – Garcia Aragon, C., Efectos del Clima sobre el Desempeño de Pavimentos, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia
44. Montejo Fonseca, A. (2010) Ingeniería de Pavimentos – Fundamentos, estudios básicos y diseño, 2da edición, Colombia
45. Heydinger Andrew, G. Randolph W. Bryan, Análisis del módulo Resiliente de mezclas Densas, investigación de Transportes 1547.
46. Página, U. (n.d.). *Tema: Pavimentos / Cátedra Ingeniería Civil I / Departamento de Ingeniería Civil.*  
[https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1\\_ano/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_ano/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf)
47. *UNE-EN 12697-26:2012 Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo pa...* (2012). Une.org. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0050271>

## Anexos

PROBETA #	% ASF.	ESPESOR PROMEDIO (mm)	FACTOR DE CORRECCION	PESO SECO, g	PESO SUMERGIDO, g	PESO S.S.S. g	PESO ESP. BULK.	GMM	GRAV. ESPEC. BULK AGREG.	GRAVEDAD ESP. EFECT. DEL AGREG.	% ABSORCION DE LIGANTE	% VACIOS CON AIRE	% V.A.M.	% V.F.A	ESTABILIDAD MEDIDA, N	FLUJO, mm	LIGANTE EFECTIVO	RELACION DE POLVO	ESTABILIDAD CORREGIDA (N)
1	6,5	65,1	0,960	1165,8	630,7	1171,0	2,158	2,311	2,449	2,534	1,39	6,6	17,6	62,3	17,92	2,93	5,20	1,37	17205
2		64,7	0,970	1167,6	632,4	1173,5	2,158					6,6	17,6	62,3	17,73	3,05		1,37	17202
3		65,5	0,953	1161,2	638,8	1177,5	2,156					6,7	17,7	62,0	17,80	3,07		1,37	16959
PROMEDIO							2,157					6,7	17,7	62,2	17,82	3,02		1,37	17122
1	7,0	65,0	0,963	1156,4	640,9	1170,8	2,182	2,296	2,449	2,534	1,39	4,9	17,1	71,2	18,31	3,25	5,70	1,24	17628
2		64,8	0,968	1160,6	642,4	1173,6	2,185					4,8	17,0	71,6	18,47	3,01		1,24	17879
3		65,2	0,958	1162,9	637,1	1169,6	2,184					4,9	17,1	71,5	18,75	3,15		1,24	17966
PROMEDIO							2,184					4,9	17,1	71,4	18,61	3,14		1,24	17824
1	7,5	65,1	0,960	1154,5	629,0	1159,1	2,178	2,280	2,449	2,534	1,39	4,5	17,3	74,0	19,21	3,57	6,21	1,14	18443
2		65,2	0,958	1149,8	631,0	1158,2	2,181					4,4	17,2	74,6	19,03	3,48		1,14	18226
3		65,0	0,963	1163,1	632,8	1166,8	2,178					4,5	17,3	74,0	19,13	3,51		1,14	18417
PROMEDIO							2,179					4,4	17,7	74,2	19,12	3,52		1,14	18362
1	8,0	64,2	0,983	1155,4	629,4	1156,2	2,193	2,265	2,449	2,534	1,39	3,2	17,6	81,9	18,32	3,86	6,72	1,06	18009
2		65,0	0,963	1159,0	631,4	1160,3	2,191					3,3	17,7	81,5	18,21	3,95		1,06	17536
3		64,9	0,965	1160,1	633,6	1161,3	2,198					3,0	17,4	83,0	18,35	3,99		1,06	17708
PROMEDIO							2,194					3,1	17,6	82,2	18,29	3,93		1,06	17751
1	8,5	65,3	0,956	1161,5	640,1	1163,0	2,221	2,250	2,449	2,534	1,39	1,3	17,0	92,4	17,52	4,32	7,23	0,98	16751
2		64,9	0,965	1161,0	641,2	1163,8	2,222					1,3	17,0	92,5	17,62	4,41		0,98	17006
3		64,0	0,988	1151,5	634,4	1152,9	2,221					1,3	17,0	92,3	17,67	4,38		0,98	17453
PROMEDIO							2,221					1,3	17,0	92,4	17,60	4,37		0,98	17070

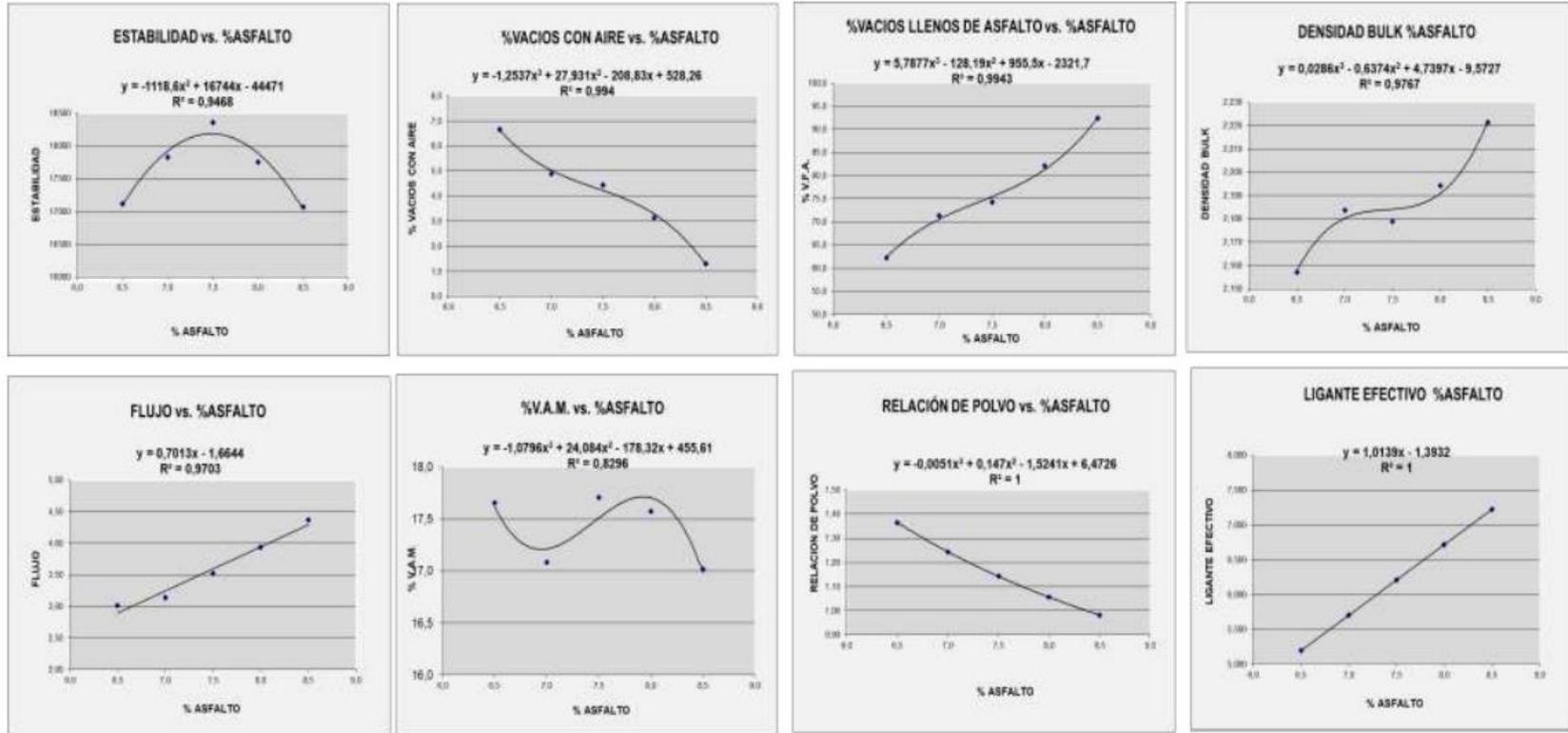
Anexo N°1: Se relaciona la información obtenida en el ensayo de la muestra GCR en cuanto a relación de vacíos y porcentaje de agua en la muestra de cada ensayo



Anexo N°2, puntos óptimos donde se encuentra la resistencia máxima del asfalto según el flujo, contenido de gigante asfáltico, para el MD12

MEZCLA No.	ASFALTO	AGEGADOS EN MEZCLA TOTAL	PESO EN GRAMOS				PESO ESPECIFICO			VOLUMEN PORCENTAJE TOTAL				CONTENIDO DE ASFALTO EFECTIVO	VACIOS EN AGREGADOS MINERALES	VFA VACIOS LLENOS DE ASFALTO	Relacion llenante /ligante efectivo	PESO UNITARIO	ESTABILIDAD		FLUJO						
			H ESPESOR PROBETA	SECA EN AIRE	S.S.S. EN AIRE	EN AGUA	BULK	MAXIMO TEORICO	MAXIMO MEDIDO	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	ASFALTO ABSORBIDO %	AGREGADOS	VACIOS CON AIRE						ASFALTO EFECTIVO	%	%	%	g/cm3	Kg	Kg	0,01"	mm
			Pb	Ps			Gmb		Gmm	Gse	Pba	(100-b)g G.Agr.	Va						100-k-l	Pbe	VAM	VFA	LLd	g'0,9970Z	MEDIDA	CORREGIDA	
1	4,5	95,5	6,38	1147,2	1152,8	644,8	2,258												1397	1411	9,3	2,35					
2	4,5	95,5	6,42	1136,8	1141,7	635,7	2,247												1469	1470	8,8	2,23					
3	4,5	95,5	6,42	1143,2	1150,1	643,7	2,258												1351	1352	8,7	2,21					
							2,254	2,421	2,459	2,636	0,681	83,1	8,3	8,6	3,8	16,9	50,7	1,3	2,248	1406	1411	8,9	2,26				
4	5,0	95,0	6,31	1149,9	1155,1	651,8	2,285												1423	1462	10,4	2,65					
5	5,0	95,0	6,32	1148,5	1152,7	650,3	2,286												1501	1538	10,9	2,76					
6	5,0	95,0	6,21	1142,9	1146,9	646,3	2,283												1464	1540	10,3	2,62					
							2,285	2,403	2,431	2,624	0,512	83,8	6,0	10,2	4,8	16,2	62,8	1,0	2,278	1463	1513	10,5	2,68				
7	5,5	94,5	6,09	1140,2	1142,8	647,7	2,303												1331	1439	11,1	2,82					
8	5,5	94,5	6,33	1138,8	1142,3	649,0	2,309												1456	1489	11,3	2,87					
9	5,5	94,5	6,14	1138,3	1141,1	647,8	2,308												1527	1632	11,3	2,88					
							2,306	2,386	2,419	2,632	0,622	84,2	4,7	11,2	5,3	15,8	70,5	1,0	2,300	1438	1520	11,2	2,86				
10	6,0	94,0	6,19	1128,5	1129,9	644,7	2,326												1379	1457	11,6	2,95					
11	6,0	94,0	6,20	1151,8	1152,5	650,3	2,294												1366	1440	12,5	3,17					
12	6,0	94,0	6,19	1135,1	1136,5	640,0	2,286												1449	1531	13,6	3,46					
							2,302	2,369	2,389	2,616	0,382	83,5	3,7	12,8	5,9	16,5	77,8	0,9	2,295	1398	1476	12,6	3,19				

Anexo N°3: Se relaciona la información obtenida en el ensayo de la muestra MD12 en cuanto a relación de vacíos y porcentaje de agua en la muestra de cada ensayo



Anexo N°4: Puntos óptimos donde se encuentra la resistencia máxima del asfalto según el flujo, contenido de gigante asfáltico, para el GCR