



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE  
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA**

**ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA  
CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADA**

**TUTOR**

**MG. ING. CIVIL CARLOS LUIS VALERO FAJARDO**

**AUTORES**

**JOSÉ ANTONIO ESPINOZA AVILÉS  
MARÍA ALEXANDRA NAVARRETE GAVICA**

**GUAYAQUIL**

**2023**



**REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**FICHA DE REGISTRO DE TESIS**

**TÍTULO Y SUBTÍTULO:**

Análisis experimental de una mezcla asfáltica con adición de caucho de llanta reciclada.

**AUTOR/ES:**

Navarrete Gavica María Alexandra  
Espinoza Avilés José Antonio

**REVISORES O TUTORES:**

Mg. Ing. Civil Carlos Luis Valero Fajardo

**INSTITUCIÓN:**

Universidad Laica VICENTE  
ROCAFUERTE de Guayaquil

**Grado obtenido:**

Ingeniero Civil

**FACULTAD:**

INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN

**CARRERA:**

INGENIERÍA CIVIL

**FECHA DE PUBLICACIÓN:**

2023

**N. DE PAGS:**

90

**ÁREAS TEMÁTICAS:** Arquitectura y Construcción

**PALABRAS CLAVE:** Producto petrolífero, ensayo, análisis comparativo, polímero, medio ambiente

**RESUMEN:**

El presente trabajo de titulación se basa en analizar el comportamiento físico y mecánico que llega a tener la mezcla asfáltica con diversos porcentajes de caucho de llanta reciclada que es reemplazado por el agregado fino (arena) a la mezcla en su preparación y así poder hacer la comparación con la mezcla asfáltica tradicional que contiene un porcentaje del 6% de cemento asfáltico, previamente se realizaron los ensayos respectivos para poder llegar a un análisis correspondiente a cada muestra ejecutada. Para este análisis utilizamos el método de ensayo Marshall donde se obtiene los resultados de la mezcla asfáltica tradicional con la mezcla modificada de acuerdo a los porcentajes utilizados de caucho que fueron 1%, 0,8%, 0,6%, 0,4%, 0,2%, en función con el con mismo porcentaje de cemento asfáltico de la mezcla asfáltica tradicional. Luego de cada análisis se logró hacer la comparación de la estabilidad, del porcentaje de vacíos y el flujo.

<b>N. DE REGISTRO (en base de datos):</b>	<b>N. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	S <input checked="" type="checkbox"/>	N <input type="checkbox"/>
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>  Navarrete Gavica María Alexandra  Espinoza Avilés José Antonio	<b>Teléfono:</b>  0969400609  0939269012	<b>E-mail:</b>  mnarreteg@ulvr.edu.ec  jespinozaav@ulvr.edu.ec
<b>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</b>	Mg. Milton Andrade Laborde (Decano)  <b>Teléfono:</b> 042596500 Ext. 260  <b>E-mail:</b> mandrade@ulvr.edu.ec  Mg. Alexis Wladimir Valle Benitez (Director de Carrera)  <b>Teléfono:</b> 042596500 Ext. 242  <b>E-mail:</b> avalleb@ulvr.edu.ec	

# CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD ACADÉMICA

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CON  
ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADA  
por Maria & Jose Navarrete & Espinoza

Fecha de entrega: 31-ene-2023 01:30p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2003476212

Nombre del archivo: in\_SRTA.\_ALEXANDRA\_NAVARRETE\_Y\_SR.\_ESPINOZA\_JOSE\_30-01-2023.pdf (2.12M)

Total de palabras: 9362

Total de caracteres: 46628

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>7</b> %	<b>6</b> %	<b>0</b> %	<b>4</b> %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>2</b> %
<b>2</b>	<b>repositorio.upse.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>2</b> %
<b>3</b>	<b>biblioteca.uajms.edu.bo</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad Católica del CIBAO</b> Trabajo del estudiante	<b>1</b> %
<b>5</b>	<b>repositorio.urp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>6</b>	<b>docplayer.es</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %

Tutor:



Mg. Ing. Civil Carlos Luis Valero Fajardo

C.I. 0925766461

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES**

Los estudiantes egresados **NAVARRETE GAVICA MARIA ALEXANDRA Y ESPINOZA AVILES JOSE ANTONIO**, declaramos bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, **ANALISIS EXPERIMENTAL DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADICION DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADA**, corresponde totalmente a los suscritos y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedemos los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica **VICENTE ROCAFUERTE** de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autores



Firma:

**NAVARRETE GAVICA MARÍA ALEXANDRA**

**C.I. 1205729880**



Firma:

**ESPINOZA AVILES JOSÉ ANTONIO**

**C.I. 1206096982**

## **CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación **ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADA**, designado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

### **CERTIFICO:**

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: **ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADA**, presentado por los estudiantes **SRTA. NAVARRETE GAVICA MARÍA ALEXANDRA** y **SR. ESPINOZA AVILÉS JOSÉ ANTONIO** como requisito previo, para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**, encontrándose apto para su sustentación.

Tutor:



---

Mg. Ing. Civil Carlos Luis Valero Fajardo

C.I. 0925766461

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a Dios por permitirme llegar hasta aquí y poder culminar una de mis metas, agradezco también a las personas que hicieron parte de mi formación profesional, a mi familia y en especial a mi madre quien estuvo en todo momento sin dejar de apoyarme a pesar de los tropiezos durante este camino, a mi tutor de tesis por toda su ayuda, paciencia y dedicación.

**Alexandra Navarrete Gavica**

Mis agradecimientos van dirigidos a Dios, por bendecirme grandemente y permitir que cumpla con mi objetivo, le agradezco a mi familia que siempre estuvo brindándome su apoyo y en especial a mi padre Manuel y a mi madre Ruth que a pesar de los malos momentos siempre estuvieron conmigo, agradezco a todas las personas que fueron parte de este proceso universitario y por último le agradezco a mi tutor que nos brindó sus conocimientos para alcanzar la culminación de nuestro proyecto de titulación.

**José Antonio Espinoza Aviles**

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a las personas más importantes de mi vida, mi madre quien nunca dejo de creer en mí y me apoyo en todo momento hasta el día final, a mi hijo quien llego a mi vida a llenarme de ese amor infinito y a mi padre quien desde el cielo estoy segura que está orgulloso de mi.

Alexandra Navarrete

Este proyecto va dedicado para mi mayor motivación que llego a mi vida, mi hija Gia Marie que fue un regalo de parte de Dios, también va dedicado para mi familia que estuvieron cuando más los necesite y para todas las personas que siegue creyeron y confiando en mí.

José Antonio Espinoza Avilés



## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 Tema .....	3
1.2 Planteamiento del Problema .....	3
1.3 Formulación del Problema:.....	4
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo General .....	4
1.4.2 Objetivos Específicos .....	5
1.5 Idea a Defender.....	5
1.6 Línea de Investigación Institucional/Facultad. ....	5
CAPÍTULO II.....	6
2.1 MARCO TEÓRICO .....	6
2.2 Pavimento flexible .....	6
2.3 Mezclas asfálticas .....	6
2.4 Mezcla asfáltica en caliente .....	7
2.4.1 Propiedades de la mezcla asfáltica en caliente.....	7
2.5 Cemento asfáltico .....	9
2.5.1 Propiedades químicas del cemento asfáltico .....	10
2.5.2 Propiedades físicas del cemento asfáltico .....	11

2.5.3	Ensayos empíricos de consistencia del cemento asfáltico.....	11
2.5.4	Clasificación del asfalto .....	12
2.6	Agregados del hormigón asfáltico .....	16
2.6.1	Agregado grueso.....	16
2.6.2	Agregado fino.....	16
2.7	Diseño de mezclas asfálticas .....	17
2.8	Método de diseño Marshall .....	17
2.8.1	Características y comportamiento de las mezclas .....	19
2.9	Caucho .....	22
2.9.1	Composición química de las llantas .....	23
3.	Marco Legal .....	24
3.1	Constitución de la Republica del Ecuador.....	24
3.2	Código Orgánico de Ambiente .....	25
3.3	Servicio Ecuatoriano de normalización INEN.....	25
3.4	American Society for Testing and Materials .....	26
CAPÍTULO III.....		27
4.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
4.1	Enfoque de la investigación.....	27
4.2	Alcance de la investigación .....	27
4.3	Técnica e instrumentos para obtener los datos: .....	27
4.4	Población y muestra.....	28
4.5	Presentación y análisis de resultados .....	28

4.5.1	Granulometría.....	28
4.5.2	Determinación de la cantidad aproximada del % cemento asfáltico 29	
4.5.3	Ensayo Marshall.....	30
4.5.4	Método Rice .....	44
4.5.5	Método Bulk.....	48
4.5.6	Porcentaje de vacíos .....	50
4.5.7	Análisis de los resultados .....	51
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	55
5.1	Conclusiones.....	55
5.2	Recomendaciones .....	57
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58
7.	ANEXOS.....	60

### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Línea de Investigación Institucional/Facultad.....	5
<b>Tabla 2.</b>	Clasificación de asfaltos.....	12
<b>Tabla 3.</b>	Características del cemento asfáltico según ensayos de laboratorio. 15	
<b>Tabla 4.</b>	Porcentajes que pasan a través de los tamices de malla cuadrada.....	16
<b>Tabla 5.</b>	Control de calidad para ensayo Marshall. ....	20
<b>Tabla 6.</b>	Composición química de las llantas. ....	24
<b>Tabla 7.</b>	Datos de la granulometría del material usado. ....	28
<b>Tabla 8.</b>	Estabilidad y flujo con 0,2% de caucho .....	42

<b>Tabla 9.</b> Estabilidad y flujo con 0,4% .....	42
<b>Tabla 10.</b> Estabilidad y flujo con 0,6% de caucho .....	42
<b>Tabla 11.</b> Estabilidad y flujo con 0,8% de caucho .....	42
<b>Tabla 12.</b> Estabilidad y flujo con 1% de caucho .....	43
<b>Tabla 13.</b> Estabilidad y flujo con 0,6% de asfalto .....	43
<b>Tabla 14.</b> Gravedad específica de una mezcla asfáltica suelta para el 0,2%...	47
<b>Tabla 15.</b> Gravedad específica de una mezcla asfáltica suelta para el 0,4%...	47
<b>Tabla 16.</b> Gravedad específica de una mezcla asfáltica suelta para el 0,6%...	47
<b>Tabla 17.</b> Gravedad específica de una mezcla asfáltica suelta para el 0,8%...	48
<b>Tabla 18.</b> Gravedad específica de una mezcla asfáltica suelta para el 1%.....	48
<b>Tabla 19.</b> Gravedad específica de una mezcla asfáltica compactada para el 0,2% .....	48
<b>Tabla 20.</b> Gravedad específica de una mezcla asfáltica compactada para el 0,4% .....	49
<b>Tabla 21.</b> Gravedad específica de una mezcla compactada para el 0,6% .....	49
<b>Tabla 22.</b> Gravedad específica de una mezcla compactada para el 0,8% .....	49
<b>Tabla 23.</b> Gravedad específica de una mezcla asfáltica compactada del 1%..	49
<b>Tabla 24.</b> Gravedad específica de la mezcla tradicional .....	50
<b>Tabla 25.</b> Porcentajes de vacíos.....	50
<b>Tabla 26.</b> Normativa de especificaciones técnicas .....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Deterioro de la vía Urdaneta – Caluma. Tomada de. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Urdaneta (2022).....	4
--	---

Figura 2. Estructura tradicional de un pavimento flexible. Tomada de Claudio Giordani & Leone (2015).....	6
Figura 3. Destilación del petróleo. Tomada de Universidad Simón Bolívar (2008).....	9
Figura 4. Ensayo normal de penetración. Tomada de Repsol, n. d.....	12
Figura 5. Punto de ablandamiento. Tomada de Repsol, n.d.....	13
Figura 6. Ductilidad de una mezcla asfáltica. Tomada de Repsol, n.d. ....	14
Figura 7. Punto de inflamación Copa Cleveland. Tomada de Repsol, n.d.....	14
Figura 8. Ensayo de tracción. Espinoza & Navarrete (2023).....	18
Figura 9. Ensayo de módulo de tracción. Tomada de Alvarado, Ríos.....	19
Figura 10. Ensayo de fatiga. Tomada de Alvarado, Ríos.....	19
Figura 11. Calentamiento del cemento asfáltico. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	30
Figura 12. Agregado grueso. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)...	31
Figura 13. Peso del envase. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023).....	31
Figura 14. Peso de los agregados. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	32
Figura 15. Agregados con asfalto. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	32
Figura 16. Calentamiento de los agregados y el asfalto. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	33
Figura 17. Caucho triturado. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) ...	33
Figura 18. Mezcla de agregados, asfalto y caucho. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	34

Figura 19. Mezcla de agregado, asfalto y caucho. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	34
Figura 20. Calentamiento de agregados y asfalto. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	35
Figura 21. Proceso de compactación de la mezcla asfáltica. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	35
Figura 22. Compactación de la mezcla asfáltica. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	36
Figura 23. Enfriamiento de las briquetas. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	36
Figura 24. Medición de la briqueeta. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	37
Figura 25. Medición de la briqueeta. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	37
Figura 26. Medición de la briqueeta. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	38
Figura 27. Peso de la briqueeta en el aire. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	38
Figura 28. Peso de la briqueeta sumergida en el agua. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	39
Figura 29. Peso de la briqueeta seca. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	40
Figura 30. Briquetas en Baño María. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	40

Figura 31. Cálculo de la briqueta en la probeta Marshall. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	41
Figura 32. Briqueta en la probeta Marshall. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	41
Figura 33. Porcentaje de caucho vs estabilidad. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	43
Figura 34. Porcentaje de caucho vs flujo. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	44
Figura 35. Muestra de la mezcla asfáltica. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	44
Figura 36. Peso del frasco. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	45
Figura 37. Peso del frasco. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	45
Figura 38. Peso del frasco en su totalidad. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	46
Figura 39. Frasco lleno. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023) .....	46
<b>Figura 40.</b> Porcentaje de caucho vs porcentaje de vacíos. Espinoza & Navarrete. (2023) .....	51
Figura 41. Gráfica comparativa de la estabilidad. Espinoza & Navarrete. (2023) .....	53
Figura 42. Gráfica comparativa del flujo. Espinoza & Navarrete. (2023) .....	53
Figura 43. Gráfica comparativa del porcentaje de vacíos. Espinoza & Navarrete. (2023) .....	54

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.-</b> Estado natural 6% CA .....	60
---	----

<b>Anexo 2.</b> 6% asfalto - 0,2% caucho .....	61
<b>Anexo 3.</b> 6% asfalto – 0,4% caucho .....	62
<b>Anexo 4.</b> 6% asfalto – 0.6% caucho .....	63
<b>Anexo 5.</b> 6% asfalto – 1% caucho .....	64
<b>Anexo 6.</b> Estado natural asfalto .....	65
<b>Anexo 7.</b> 6% asfalto – 0,8% caucho .....	66
<b>Anexo 8.</b> Método Ryce .....	67
<b>Anexo 9.</b> Método Marshall .....	68
<b>Anexo 10.</b> Briquetas con 1% de caucho.....	69
<b>Anexo 11.</b> Briquetas con los porcentajes de caucho.....	70
<b>Anexo 12.</b> Muestras de la mezcla asfáltica .....	70
<b>Anexo 13.</b> Mezcla de los agregados y caucho .....	71
<b>Anexo 14.</b> Caucho triturado .....	72
<b>Anexo 15.</b> Toma de resultados.....	73
<b>Anexo 16.</b> Toma de resultados.....	74



## INTRODUCCIÓN

La mezcla asfáltica es una de las creaciones ingenieriles más utilizadas a nivel mundial, es por ello que esta investigación hace un análisis experimental de la misma mezcla en su forma natural y tradicional y en su forma con adición de caucho de llanta reciclada. Dentro del primer capítulo hablamos de los objetivos a cumplir en este proyecto de investigación, la problemática que existe y cual será nuestro aporte para llevar a cabo el cumplimiento del mismo.

Haciendo énfasis en la mezcla asfáltica decimos que se utiliza en la construcción de pavimentos tanto como capa de rodadura como bajo los pavimentos, y su función es proporcionar a los usuarios de la vía una superficie cómoda, segura, de bajo costo y facilitar la circulación de vehículos. Se la encuentra en las carreteras porque es parte del tránsito vehicular y recibe las cargas diarias de acuerdo al volumen del tráfico y el tamaño de los automotores.

En la parte teórica que constituye la gran parte del capítulo dos podemos decir que hay dos aspectos fundamentales a considerar en el diseño y ejecución de las vías de acceso: la función de resistencia que determina los materiales y el espesor de las capas que se deben utilizar en su construcción. Ambos componentes definen las condiciones de textura y acabado que debe tener la capa superior del pavimento para ser segura y confortable al momento de recibir las cargas. Las capas superiores de las carreteras se denominan revestimientos.

El caucho, por su parte, es un polímero que es elástico, es decir puede deformarse significativamente y volver a su forma original cuando cesa el esfuerzo al que está sometido. Se puede sintetizar o producir utilizando látex obtenido de varias plantas tropicales. Tras el curado se forma un tejido impermeable y de gran flexibilidad que tiene diversas aplicaciones industriales, por ejemplo, en la fabricación de neumáticos o productos de impermeabilización y aislamiento.

Los neumáticos se pueden reciclar, pero muchas veces terminan en arroyos, ríos y vertederos. Se usan comúnmente para fabricar materiales de construcción, alfombras, carreteras e incluso textiles. Valero, Muñoz y Reyes (2022) consideran que “la innovación en la fabricación de nuevos materiales, que permita una minimización en el consumo de estos recursos limitados, (...) ha provocado la necesidad de orientar esta búsqueda hacia nuevas tecnologías y metodologías” (p.2130)

Darle una nueva vida al caucho se ha convertido en uno de los esfuerzos nacionales y extranjeros más importantes para evitar que este material siga contaminando el planeta, ya que las llantas una vez que han cumplido su periodo de vida útil y son desechadas, bien pueden ser utilizadas con otros propósitos.

Un estudio de Andalusian Technologies sugiere que el material podría incluso usarse para hacer los ferrocarriles del futuro. Esta investigación ha confirmado que los productos de caucho son más duraderos y pueden aislar el ruido y la vibración de los trenes que pasan. (El comercio, 2018)

Las aportaciones de los autores que constan en el marco teórico contribuyeron a dimensionar esta investigación académica que tiene como objetivo general analizar experimentalmente el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica con otros aditivos como el caucho y sirvieron para comprobar que se puede utilizar en distintos porcentajes con la mezcla tradicional, donde se reemplazó el agregado fino que es la arena con el caucho.

Durante el proceso de la investigación dentro del capítulo tres se analizaron ambas mezclas, la tradicional y la que posee el caucho de las llantas para así llegar a determinar cuáles son sus diferencias, las funciones que podría llegar a cumplir y así mismo su resistencia y duración. Todo este análisis se realizó con enfoque cuantitativo, donde con ensayos de laboratorios y otros métodos específicos se probó que en la mezcla asfáltica puede adicionarse caucho con ciertos porcentajes para ser utilizado como pavimento en carreteras.

En las pruebas de laboratorio que se efectuaron mediante el ensayo Marshall, es importante mencionar también que se tienen establecidos porcentajes de caucho de las llantas recicladas de 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8% y 1%, que son aquellos con los que se trabajó junto con los demás materiales para la realización de la mezcla asfáltica y su posterior análisis, comparación y conclusión.

Este diseño de investigación contribuye con el medio ambiente y la sostenibilidad atendiendo las metas globales de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) del Pacto Global 2030, con el ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura; ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles; y ODS 12: Producción y Consumos Responsables, donde se presenta una propuesta innovadora que mejora la calidad de vida en las ciudades y aporta al crecimiento económico porque darle una segunda oportunidad a las llantas para otro uso, también genera una economía circular de mercado.

# CAPÍTULO I

## 1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1 Tema

Análisis experimental de una mezcla asfáltica con adición de caucho de llanta reciclada

### 1.2 Planteamiento del Problema

Actualmente, el problema que se ve a diario en las vías de pavimento flexible en las que se coloca mezcla asfáltica es el deterioro que se evidencia mucho antes de que cumpla su periodo de su vida útil. Existen diferentes factores que coadyuvan a ese deterioro: descuido en el control de calidad de la materia prima, error en la dosificación al momento de la mezcla, temperatura no adecuada para realizar una buena compactación y no respetar los tiempos adecuados de curado para que la mezcla llegue a su máxima resistencia.

Generalmente, lo que desencadena la poca durabilidad de la mezcla asfáltica se presenta durante la época de lluvias, por lo que requiere mantenimientos no considerados dentro de un presupuesto establecido y es allí donde aparecen los problemas económicos y sociales refiriéndose puntualmente a las personas que transitan en sus vehículos creando daños mayores.

Crear un material constitutivo para un pavimento flexible que pase por distintos procesos hasta llegar a su resultado final e implementarlo como mezcla asfáltica puede ser una solución viable cuando se deben considerar otros factores externos como la contaminación ambiental y esta propuesta investigativa plantea utilizar específicamente las llantas que han cumplido su vida útil y han sido desechadas a depósitos, ríos y otros.

Se evidencia el daño asfáltico en la vía Urdaneta – Caluma, debido al tránsito vehicular y carga que recibe esa carretera de primer orden y, por tanto, debe recibir mantenimiento, ver Figura 1.



*Figura 1.* Deterioro de la vía Urdaneta – Caluma. Tomada de. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Urdaneta (2022).

### **1.3 Formulación del Problema:**

¿Cuál será el resultado del análisis experimental de una mezcla asfáltica con adición de caucho de llanta reciclada?

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Realizar el análisis experimental de una mezcla asfáltica con adición de caucho de llanta reciclada mediante ensayos de laboratorio para mejora de las características mecánicas y liberación de cargas contaminantes al medio ambiente.

## 1.4.2 Objetivos Específicos

- Fundamentar desde lo teórico la mezcla asfáltica no tradicional por medio de una revisión literaria actualizada para soporte de la experimentación.
- Experimentar la mezcla asfáltica con adición de caucho de llanta reciclada por medio del ensayo Marshall para el reconocimiento de su comportamiento mecánico.
- Reconocer el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica no tradicional por medio del estudio de las variables de la estabilidad y flujo para la realización del análisis experimental.

## 1.5 Idea a Defender

El caucho en el material denominado llanta puede ser utilizado para hacer una mezcla asfáltica no tradicional siempre y cuando se remplace al agregado fino, que es la arena por el caucho previamente triturado, y en base a distintas dosificaciones dio como resultado una nueva mezcla asfáltica para carreteras y vías de acceso, y con características similares y diferentes a la mezcla asfáltica tradicional.

## 1.6 Línea de Investigación Institucional/Facultad.

**Tabla 1.** Línea de Investigación Institucional/Facultad

Dominio	Institucional	Facultad
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.	Materiales de construcción

*Fuente:* Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, 2023

*Elaborado por:* Espinoza & Navarrete (2023)

## CAPÍTULO II

### 2.1 MARCO TEÓRICO

### 2.2 Pavimento flexible

Se lo define por un conjunto de capas de forma horizontal laminar que están diseñadas para resistir las cargas de tránsito y está estructurada por 4 capas las cuales son: capa de rodadura, base, subbase, subrasante.



*Figura 2.* Estructura tradicional de un pavimento flexible. Tomada de Claudio Giordani & Leone (2015).

### 2.3 Mezclas asfálticas

Lo que compone básicamente a una mezcla asfáltica es una combinación de una proporción predeterminada entre piedra y agregado en varias granulometrías y materiales bituminosos. Lo que recubre a las partículas de agregado no es más que una película continua y uniforme de cemento asfáltico. (Dupré, 2013)

Para que los materiales que componen la mezcla del pavimento asfáltico trabajen juntos, pasan por un proceso de compactación donde el betún se comporta como un aglutinante que une las partículas de agregado para formar una masa homogénea y menos porosa. Un agregado mineral que está ligado que actúa como un marco de piedra proporciona fuerza y rigidez a la mezcla. La mezcla asfáltica es una mezcla de agregados finos y gruesos que se unen con un aglutinante para proporcionar cohesión. (Dupré, 2013)

## 2.4 Mezcla asfáltica en caliente

Para lograr buenos resultados de mezcla y para que el relleno de piedra se combine uniformemente con el betún, ambos componentes se exponen a altas temperaturas superiores a 100°C. Hay varios pasos involucrados en este proceso de mezcla, en este proceso se hace en una planta de asfalto y luego la mezcla se transporta al lugar donde se va a asfaltar la carretera y se pasa por la pavimentadora y después de que se coloca se agrega al proceso de compactación que permite que la mezcla alcance sus características anti abrasivas, que proviene del paso por diferentes tipos de vehículos, que a su vez pueden requerir capas más profundas para pesar y así absorber parte de ella. La alta temperatura permite que la mezcla asfáltica mantenga una buena trabajabilidad, por lo que tiene el mejor rendimiento de la mezcla. (Dupré, 2013)

### 2.4.1 Propiedades de la mezcla asfáltica en caliente

Propiedades fundamentales con las que deben cumplir la mezcla asfáltica:

**Trabajabilidad:** Es una propiedad que se correlaciona el espécimen de agregado, tamaño de partícula, viscosidad y contenido de betún. Destaca la destreza con que la mezcla asfáltica debe ser aplicada y compactada sin segregación. También se consideran las temperaturas de mezcla y compactación. (Laboratorio nacional de vialidad, 2015)

**Estabilidad:** Depende de la fricción interna y la estructura de la superficie, la densidad de la mezcla, la forma de los agregados, el porcentaje de asfalto y el tamaño de las partículas. También se define como la condición que tiene una pavimentación asfáltica para soportar el peso de los vehículos sin causar daños mayores, que a su vez pueden transferirse a la capa estructural interna del pavimento.

Por otro lado, la aglomeración interna entre agregados se asocia con una mezcla propia de ella y básicamente depende de la capacidad de asfalto para preservar la unidad colectiva. Los errores en la acera son causados por una reducción en sus capas rodantes. (Ramirez, 2006)

**Durabilidad:** Debido al efecto combinado del tráfico y el clima, las propiedades de la mezcla se comprimen en el pavimento para soportar la degradación y el desgaste, lo que afecta principalmente el proceso de desgaste por tratarse de la superficie y por estar en dirección a el sol, el agua y el aire, y esta misma es la que produce que la mezcla desperdicie o se oxiden las propiedades aglutinantes, se envejece y endurece, haciendo que se afecte la vida útil del pavimento.

Mientras la vida útil del pavimento sea factible al diseño establecido se obtendrá una excelente durabilidad de la misma. (Ramirez, 2006)

**Flexibilidad:** Capacidad que posee la mezcla de poder ajustarse a las de formaciones para sentamientos de la base, subbase y subrasante sin fisurarse. (Ramirez, 2006)

**Resistencia a la fatiga:** La amplitud de un pavimento asfáltico para sufrir fuerzas sin agrietarse debido al tráfico vehicular constante. Los pavimentos con menor contenido de asfalto o envejecimiento severo tienen menor resistencia a la fatiga. (Dupré, 2013)

**Impermeabilidad:** Todas las mezclas deben ser en gran medida impenetrable para permitir que el agua de la superficie de los canales, agua de lluvia, riego, etc. no puedan ser absorbidos por las capas inferiores para que así no pierdan su capacidad de carga. No se debe permitir que la mezcla se filtre, de lo contrario, la capa inferior de la estructura de recubrimiento se deteriorará. (Ramirez, 2006)

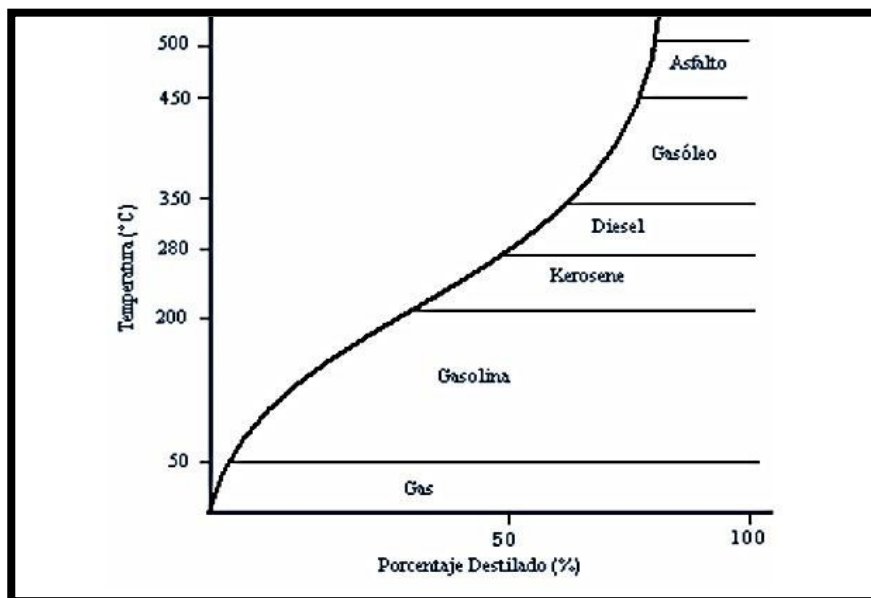
**Resistencia al deslizamiento:** La durabilidad es la capacidad de un pavimento de asfalto para proporcionar fuerzas de deslizamiento, principalmente en condiciones húmedas. Esta capacidad de unión es muy importante en términos de



seguridad, ya que no hay pérdida de agarre entre la llanta y la superficie de la carretera. (Dupré, 2013)

## 2.5 Cemento asfáltico

Derivado del petróleo con características de color negro oscuro. Asfalto que constituye un material bituminoso que a temperaturas altas cambia sus propiedades físicas. (Universidad Simón Bolívar, 2008)



*Figura 3.* Destilación del petróleo. Tomada de Universidad Simón Bolívar (2008)

El betún es un componente cohesivo elevadamente impenetrable y muy elástico el cual puede llegar a resistir diferentes tipos de cargas.

### 2.5.1 Propiedades químicas del cemento asfáltico

La brea contiene elementos tales como átomos de oxígeno, átomos de nitrógeno, átomos de azufre y átomos de azufre. Está compuesto esencialmente por moléculas que son complejas de hidrocarburos. (Dupré, 2013)

Los asfáltenos dan color y dureza al betún debido a su oscuro color intenso y su parecido con el polvo de grafito grueso. Los máltenos son fluidos pegajosos constituidos de resinas y aceites que dan al betún sus propiedades adhesivas, su valor cohesivo. En total normalidad, los hidrocarburos crean un arreglo disuelto de dos etapas en la que los hidrocarburos con más carga (llamados asfáltenos) se dispersan entre moléculas de hidrocarburos más ligeras (llamadas asfáltenos blandos). (Dupré, 2013)

Debido al proceso de envejecimiento o curado del betún, la proporción de betún a olefinas blandas en el aglutinante cambia a menudo. El deterioro provoca permutaciones significativas en varias propiedades, lo convierte en un compuesto más duro y con la mínima fuerza adhesiva. El desgaste del betún se provoca debido a diversas reacciones complejas de desagregación, evaporación y polimerización, especialmente cuando se expone a factores climático como el oxígeno y las temperaturas muy altas. (Dupré, 2013)

En la vida útil del asfaltado, se conocen dos métodos de envejecimiento:

**Envejecimiento primario o de corto plazo:** Este proceso ocurre a partir de la producción de la mezcla de fábrica hasta el desarrollo de compresión, y la razón principal de esto es la evaporación, es decir, la evaporación de los componentes más livianos del asfalto. Esto también sucede porque el asfalto se expone a altas temperaturas para la preparación de la mezcla asfáltica. (Dupré, 2013)

**Envejecimiento secundario o de largo plazo:** Su principal causa es la incorporación de oxígeno (oxidación) al cemento asfáltico y se da durante el estilo de vida de servicio de la vía. (Dupré, 2013)

### 2.5.2 Propiedades físicas del cemento asfáltico

Los recursos físicos más importantes de un asfalto para la construcción, mantenimiento y diseño de carreteras son:

**Durabilidad:** El asfalto tiene la solvencia de conservar sus propiedades iniciales cuando se somete a procesos normales de decadencia y degradación. (Ramirez, 2006)

**Adhesión:** El betún liga el agregado en la mezcla inclusive al presentarse con el agua, tráfico y cambios drásticos de temperatura. (Ramirez, 2006)

**Cohesión:** El alcance del asfalto para sostener uniformidad y fijación sobre las partículas de agregado en una mezcla homogénea compactada. (Ramirez, 2006)

**Susceptibilidad térmica:** Se refiere a la susceptibilidad de la firmeza del asfalto a varios cambios de temperatura. (Ramirez, 2006)

**Susceptibilidad a la duración de la carga:** El asfalto actúa como un fluido adherente que fluye apresuradamente y se deforma de forma irreversible. En contraste, a bajas temperaturas y bajo cargas rápidas, el asfalto se comporta como un sólido elástico con poca deformación y recuperación. La viscosidad del asfalto también se basa en gran medida del tiempo que pueda durar la tensión a la que está sujeto, similar a la temperatura. De hecho, en condiciones de alta temperatura y carga lenta, como camiones que viajan a baja velocidad. (Ramirez, 2006)

### 2.5.3 Ensayos empíricos de consistencia del cemento asfáltico

Con el fin de asimilar la dureza de los alquitranes, se realizan determinados estudios en el laboratorio, que permiten determinar su idoneidad para trabajar en superficies de carreteras en determinadas mezclas asfálticas.

**Ensayo de penetración:** Esta prueba decreta la firmeza o permanencia del asfalto calculando el recorrido que una aguja penetra perpendicularmente en un

espécimen de asfalto bajo escenarios delimitados de tiempo, temperatura y carga. A menos que se indique específicamente lo contrario, se entiende que las mediciones de penetración se realizan a 25°C con una carga de aguja de 100 gramos y periodo de aplicación de carga de 5 seg. Cuanto más suave es el betún, mayor es el número que indica su penetración ver Figura 4. (Maila, 2013)

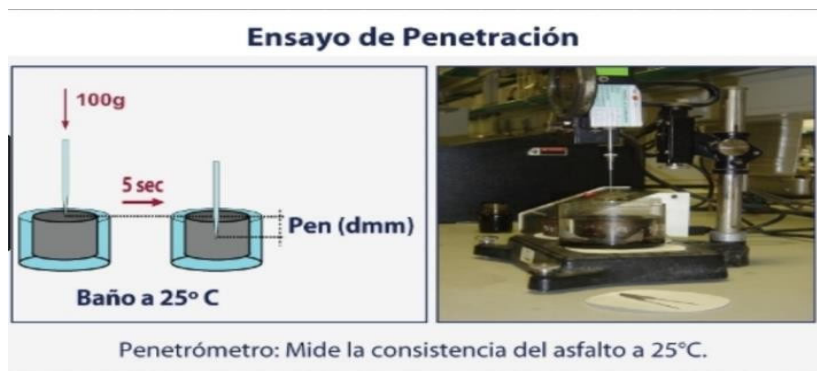


Figura 4. Ensayo normal de penetración. Tomada de Repsol, n. d

#### 2.5.4 Clasificación del asfalto

Según el Instituto del Asfalto, se puede tener cuatro grados de asfalto por pavimentación, estos se clasifican según su dureza obteniéndola del ensayo de penetración.

**Tabla 2.** Clasificación de asfaltos

Asfalto para pavimentos	
Penetración en milésimas de milímetros	Clasificación
40-50	AC-40
60-70	AC-20
85-100	AC-10
120-150	AC-5

*Fuente:* (MTOPI 2022)

*Elaboración por:* Espinoza & Navarrete (2023)

**Punto de ablandamiento:** Este método generalmente se lo hace utilizando la técnica de anillo y bola. Distintos tipos de asfalto se ablandan a diferentes temperaturas. Sin embargo, la prueba no está incluida en la especificación del betún para pavimento, que a menudo se utiliza para determinar materiales más

compactos usados en otras diligencias y para especificar el resultado del betún después de que ha alcanzado la temperatura deseada y se ha ablandado. Se cree que podría estar en el rango de 48° a 57°C. (Maila, 2013)

La prueba consiste en llenar dos anillos de latón de tamaño estándar con brea, suspender las muestras por separado en un baño de agua extractada y colocar una bola de acero del tamaño y peso especificados en el centro de las muestras, luego se calienta el baño a 5°C por minuto. Este alcance de temperatura se denomina punto de ablandamiento del asfalto. Para realizar la prueba se describen procedimientos y equipos necesarios con referencia en la regla ASTM D-36. (Maila, 2013)



*Figura 5. Punto de ablandamiento. Tomada de Repsol, n.d.*

**Ductilidad:** Algunos elementos tienen la propiedad de que pueden deformarse sin romperse. Los asfaltos que son maleables generalmente tienen características mejores de unión que los que no las tienen. Por otro lado, el betún, que es muy dúctil, es generalmente más susceptible a los cambios de temperatura. (Maila, 2013)

El procedimiento radica en situar el espécimen en un baño elástico a 25 °C y luego permitir que se mida el alargamiento elástico (expresado como porcentaje de deformación) a 5 cm/min  $\pm$ 5 % de alargamiento (~100 cm) antes de la falla. El asfalto muy duradero es sensible a las evoluciones de temperatura. (Maila, 2013)



Figura 6. Ductilidad de una mezcla asfáltica. Tomada de Repsol, n.d.

**Punto de inflamación:** El punto de inflamación de un aglutinante bituminoso con la temperatura más diminutiva a la que los volátiles se aíslan del prototipo y producen un "punto de inflamación" en apariencia de una llamarada abierta. El punto de inflamación no debe confundirse con la temperatura del fuego, que es una temperatura mucho más baja a la que los aglutinantes bituminosos se encienden y queman. El punto de inflamación existe únicamente por la inflamación instantánea de las divisiones volátiles separadas del betún. (Maila, 2013)

Es un recipiente de latón abierto parcialmente lleno de betún y calentado a una velocidad específica bajo las condiciones estándar especificadas en el Método ASTM D-92. El punto de inflamación del betún se mide mediante una prueba de copa abierta llamada Cleveland. El punto de inflamación se define como la temperatura a la que una pequeña llama cruza regularmente la superficie de la muestra y se libera suficiente vapor para producir el punto de inflamación.

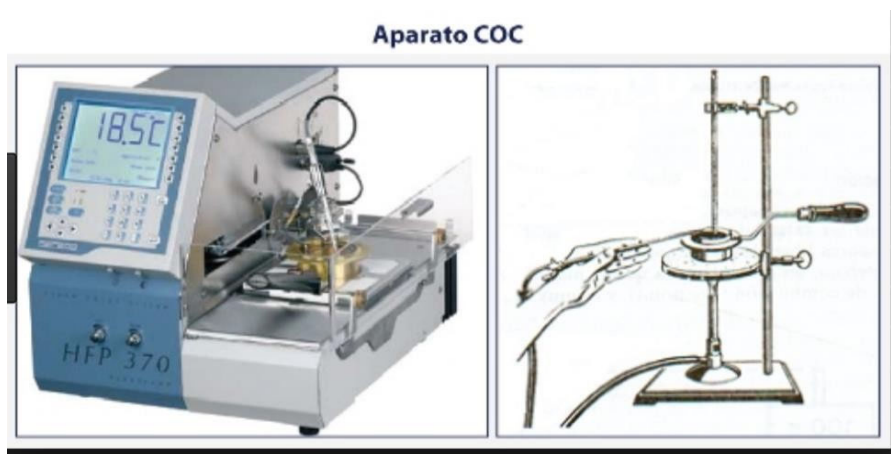


Figura 7. Punto de inflamación Copa Cleveland. Tomada de Repsol, n.d.

**Peso específico:** La gravedad específica es la relación entre el peso de un volumen dado de material y el peso de un volumen semejante a el agua, para ambos materiales a una temperatura dada. Es necesario conocer la gravedad específica del betún disponible para la corrección de volumen, que también se utiliza como factor para determinar los vacíos en las mezclas asfálticas compactadas.

Una gravedad específica de 1,05 enfatiza que el peso del material a la temperatura establecida es 1,05 veces el peso del agua. Todos los deducidos y la mayoría de los macizos cambian el tamaño con la temperatura. Se encogen cuando se enfrían y se expanden cuando se calientan. (Maila, 2013)

Petroecuador produce cemento bituminoso en la refinería de Esmeralda y se utiliza como bitumen AC-20 porque sus propiedades de permeabilidad física cumplen con los estándares MTOP 60-70. Mejorar el rendimiento del cemento asfáltico en bruto en condiciones más severas, como condiciones climáticas extremas, tráfico muy pesado, entornos hostiles, tensión concentrada en ciertos lugares, mediante el tratamiento del cemento asfáltico en bruto con otras sustancias, etc. (Dupré, 2013)

**Tabla 3.** Características del cemento asfáltico según ensayos de laboratorio.

LIGANTE ASFALTICO		
ENSAYOS	MIN	MAX
Ductilidad (25°C, 5cm/min), % (2100GR, 5s),	100	--
Punto de ablandamiento A y B, °C	48	57
Penetración (25°C,) (2100GR, 5s),	60	70
Punto de inflamación, Copa de Cleveland °C	232	232

*Fuente:* (MTOP 2002)

*Elaborado por:* Espinoza & Navarrete (2023)

Al rectificar el cemento asfáltico se quiere mejorar sus principales características mecánicas y físicas, este método se lo está aplicando mayormente en el continente europeo según investigaciones. Aún más se ha avanzado en el tratamiento del cemento asfáltico crudo con diversas sustancias para mejorar su

desempeño en condiciones más severas tales como condiciones duras, condiciones climáticas extremas, tránsito vehicular muy pesado, esfuerzos concentrados en ciertas áreas, etc. (Dupré, 2013)

## 2.6 Agregados del hormigón asfáltico

Los adheridos que conforman una mezcla de asfaltado se clasifican en polvo mineral, árido grueso y árido fino.

**Tabla 4.** Porcentajes que pasan a través de los tamices de malla cuadrada

Tamiz	Porcentaje en peso		
	A	B	C
2" (50.8 mm.)	100	--	--
1 1/2" (38.1 mm.)	90-100	100	--
1" (25.4 mm.)		90 -	100
3/4"(19.0 mm.)	56 -80	--	90 -
1/2" (12.5 mm.)	--	56 -	--
3/8" (9.5 mm.)	--	--	56 -
Nº 4(4.75 mm.)	35-65	29 -	35 -
Nº 8 (2.36 mm.)	23-49	19 -	23 -
Nº 50 (0.30 mm.)	5-19	5 -	5 -
Nº 200 (0.075)	2-8	1 - 7	2 - 8

*Fuente:* MOP (2022)

*Elaborado por:* Espinoza & Navarrete (2023)

### 2.6.1 Agregado grueso

Material que cruza el tamiz (Nº4) 4.75mm. (MTOPI 2002)

### 2.6.2 Agregado fino

Material que pasa el tamiz INEN 4.75mm (Nº4) y es retenida en el tamiz (Nº200). (MTOPI 2002)

Para la producción de mezclas asfálticas, los materiales minerales deben ser limpios, duraderos: sin materiales vegetales y, sobre todo, deben tener el tamaño



de partícula correcto de acuerdo con el uso de la mezcla en las superficies de las carreteras. (Navarro, 2013)

## **2.7 Diseño de mezclas asfálticas**

El betún y el agregado se mezclan en proporciones iguales en una mezcla asfáltica, y estas proporciones relativas de estos materiales pueden determinar las propiedades físicas de la mezcla y su desempeño como pavimento terminado. (Náyade, 2006)

Este proyecto de investigación se lo ejecutara usando el método de estabilidad Marshall, para poder así conseguir un hormigón asfáltico que este óptimo y que pueda cumpla las especificaciones de la investigación.

## **2.8 Método de diseño Marshall**

Lo que ahora representa este método de diseño fue desarrollado por Bruce Marshall. La forma actual se deriva de una investigación iniciada en 1943 por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos. Su propósito es determinar el contenido óptimo de betún para crear una combinación específica de agregados. El método también proporciona información sobre las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente y determina la densidad y el contenido de vacíos óptimos que deben observarse al crear el pavimento. (Maila, 2013)

El método de Marshall es aplicable solo a mezclas asfálticas calientes que utilizan cemento asfáltico, que se puede utilizar para diversas pruebas que determinan las propiedades físicas de la muestra. La mezcla está compuesta de áridos con un tamaño máximo de 25 mm. (Maila, 2013)

Se utilizaron varias muestras, cada una con la misma combinación de áridos, pero diferente contenido de betún preparadas según un procedimiento específico. Deben utilizarse muestras con un diámetro de  $64 \times 102$  mm. (Maila, 2013)

El método Marshall tiene como principal objetivo determinar el alcance óptimo para un establecido tipo de mezcla asfáltica, donde se emplea una dosificación de

los agregados pétreos y el derivado del petróleo que cumple como función de cemento asfáltico con o sin él llenante mineral.

Usando un compactador Marshall se toman pequeñas muestras que se pueden probar en cuanto a deformación, estabilidad, densidad, vacíos en mezclas y agregados minerales, pero los resultados de todas estas pruebas dependen principalmente de la calidad de las muestras de betún obtenidas. Este método se puede utilizar en el diseño de laboratorio y control de campo.

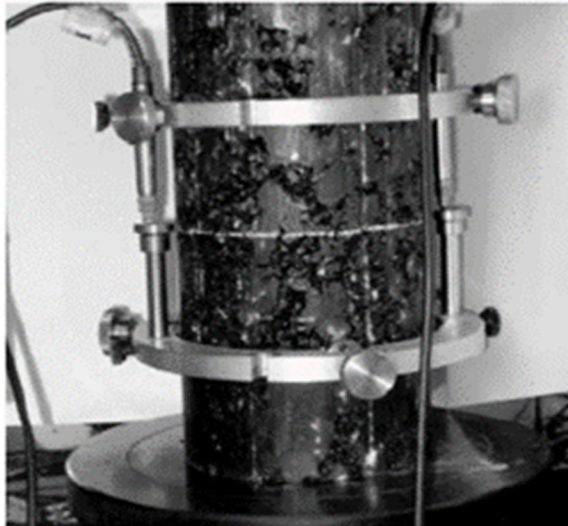
La preparación de las briquetas se basa en calentar los agregados y mezclarlos con AC-20 (cemento asfáltico), las que serán comprimidas utilizando la influencia de matrices estandarizadas. El tamaño estándar de las briquetas es de 64 mm (2½ pulgadas) de alto y 102 mm (4 pulgadas) de diámetro (ASTM D1559).

Los aspectos importantes evaluados en este enfoque de diseño son: densidad, porcentaje de vacíos en la mezcla, vacíos de agregados, vacíos rellenos de asfalto y pruebas de estabilidad y flujo de especímenes pre compactados.

Los principales ensayos para el cálculo de pavimentos realizados sobre muestras obtenidas por el método Marshall son: ensayo de tracción, ensayo de módulo dinámico y el ensayo de fatiga (ver Figuras 8, 9 y 10).



*Figura 8.* Ensayo de tracción. Espinoza & Navarrete (2023)



*Figura 9.* Ensayo de módulo de tracción. Tomada de Alvarado, Ríos



*Figura 10.* Ensayo de fatiga. Tomada de Alvarado, Ríos.

### **2.8.1 Características y comportamiento de las mezclas**

Una mezcla examinada en laboratorio para determinar sus posibles desempeños debe ser dada por las siguientes características.

- Vacíos de aire

- Vacíos en el agregado mineral
- Vacíos llenos de asfalto
- Estabilidad y flujo

**Tabla 5.** Control de calidad para ensayo Marshall.

Categoría	PESADO		MEDIO		LIVIANO	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Numero de Golpes	75		50		35	
Estabilidad (Lb)	1800	----	1200	----	1000	24000
Flujo (Pulg/100)	8	14	8	16	8	16
% Vacíos en la mezcla	3	5	3	5	3	5

*Fuente:* (MOP 2002)

*Elaborado por:* Espinoza & Navarrete (2023)

### 2.8.1.1 Densidad

Es una propiedad muy importante, ya que el recubrimiento terminado debe tener una alta densidad para un rendimiento a largo plazo. La consistencia de una mezcla compactada se conceptualiza como su peso unitario. (Maila, 2013)

En el análisis de diseño de relación de mezcla, la mezcla compactada se determina especialmente en kilogramos por metro cúbico. El resultado de la densidad es la densidad absoluta de la mezcla multiplicada por la cohesión del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>). La medida en el laboratorio se convierte en la densidad estándar utilizada como reseña para evaluar si la consistencia del revestimiento acabado es apropiada. Los códigos colectivamente especifican que la densidad del recubrimiento debe ser una proporción de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que la compactación en sitio rara vez consigue la densidad que se logra utilizando técnicas de compactación de laboratorio estándar. (Maila, 2013)

### 2.8.1.2 Vacíos de aire o simplemente vacíos

Todas las mezclas de grado cerrado requieren que se reforme un cierto porcentaje de vacíos para aprobar una compactación añadida en condiciones de tráfico y para facilitar área para que el asfalto fluya durante la compactación

adicional. La porosidad son los pequeños espacios de aire o bolsas que existen entre los agregados del pavimento en la mezcla compactada final. Las muestras de laboratorio de las capas base y superficial permiten un porcentaje de vacíos del 3 % al 5 %, según el diseño específico. (Maila, 2013)

El exceso de vacíos provee canales a través de la mezcla a través del agua y el aire que pueden entrar y dañar el pavimento. Un contenido de vacío demasiado bajo puede causar sangrado del betún; una condición en la que la abundancia de betún fluye de la mezcla a la superficie. La durabilidad del pavimento asfáltico depende de la porosidad. Esto se debe a que cuanto mínimo es el dígito de huecos, pequeña es la permeabilidad de la mezcla. A mayor densidad, menor porosidad. (Maila, 2013)

### **2.8.1.3 Vacíos en el agregado mineral**

Los vacíos en los agregados (VMA, por sus siglas en inglés) son espacios de aire entre partículas de agregados en mezclas de pavimento compactado, incluidos los espacios rellenos de asfalto. (Maila, 2013)

El VMA simboliza el espacio utilizable para adecuar el la proporción de betún efectivo (betún total menos el perdido en el agregado) y el volumen vacío esperado en la mezcla. En cuanto a mayor sea el VMA, más cavidad hay para la membrana asfáltica. (Maila, 2013)

### **2.8.1.4 Vacíos llenos de asfalto**

Es la parte intersticial entre los adheridos minerales que contienen el ligante asfáltico. Se presenta como el porcentaje de vacíos entre agregados minerales o VAM. Estos corresponden al volumen efectivo de betún actual en la mezcla. (I.N.V.E-799-07, 2012)

### **2.8.1.5 Estabilidad**

Se refiere a su capacidad para resistir el movimiento y la desproporción menudo a cargas de tráfico. Un pavimento sólido conserva su normalidad y

suavidad bajo cargas diarias, mientras que un pavimento inconsistente muestra ranuras (ranuras), curvaturas (ondas) y otros signos de permutaciones en la mezcla.

Los requerimientos de estabilidad solo se pueden decretar después de una observación de tráfico completo, ya que la enumeración de estabilidad del pavimento depende del volumen de tráfico codiciado. Las descripciones de estabilidad deben ser lo suficientemente elevadas para cumplir con el tráfico anticipado, pero no más altas de lo que requieren las condiciones del tráfico. Las cifras de estabilidad muy altas dan como resultado pavimentos demasiado duros y, por lo tanto, menos duraderos de lo previsto. (Diseño de mezclas asfálticas, 2003)

También depende de la fricción y la cohesión. La fricción aislada de las partículas minerales (fricción entre partículas) está correlacionada con pertenencias como la forma de los agregados y la textura de la superficie. La cohesión es el resultado de la capacidad de unión del asfalto. Una categoría adecuada de fricción interna y atracción en la mezcla evita que las partículas del agregado se muevan unas contra otras bajo la influencia de las fuerzas del tráfico. (Diseño de mezclas asfálticas, 2003)

#### **2.8.1.6 Flujo**

Esta representa la deformación de la briqueta que está indicada por la disminución del diámetro al momento de deformarse.

### **2.9 Caucho**

El caucho de llanta reciclado se obtiene de llantas que han terminado su periodo de su vida útil y cumplen una función importante y peligrosa de manera que no tiene otro destino que un lugar designado como vertedero municipal o vertedero a cielo abierto. El aumento de la contaminación ambiental afecta los ecosistemas.

Esto se debe a que alrededor del 70% de los neumáticos se queman como combustible en hornos de fabricación de láminas y cemento, lo que, entre otras cosas, afecta el medio ambiente y la salud gubernamental, debido a la emisión de contaminantes cancerígenos y mutagénicos como los combinados orgánicos sutiles (COV) e petróleos odoríferos policíclicos (HAP) y otros elementos que afectan al sistema pulmonar, etc.

Por otro lado, si se prefiere por almacenar llantas usadas, además de la contaminación visual que provocan, existen muchas molestias, como la cría de roedores o insectos; estos incluyen mosquitos que transmiten el dengue y la encefalitis y se estima que se reproducen 4.000 veces más en charcos de neumáticos que en la naturaleza. (Angulo, Duarte, 2005)

### **2.9.1 Composición química de las llantas**

Los neumáticos se componen especialmente de tres productos: caucho (natural y sintético), alambre de acero y fibras textiles. Por otro lado, el caucho utilizado en la producción de neumáticos consiste en un grupo de polímeros (compuestos de alto peso molecular) que incluyen polisopreno sintético, polibutadieno y, más comúnmente, estireno-butadieno, que se basan en hidrocarburos.

También se le agregan otros materiales al caucho para mejorar sus propiedades, tales como: plastificantes que mejoran el manejo del caucho antes de la vulcanización; el óxido de zinc y el óxido de magnesio, comúnmente conocidos como activadores, que se mezclan para reducir el tiempo de vulcanización de horas a minutos; Antioxidante, por lo que la goma tiene una vida útil más larga sin ser dañada por el oxígeno y el ozono; finalmente, el carbón, el humo negro producido por la combustión incompleta del gas natural, tiene mayor resistencia al desgaste y flexibilidad.

Aunque suelen variar, según el tipo de neumático y el país de fabricación, los diversos elementos químicos que componen un neumático y sus respectivos porcentajes.

Durante el proceso de vulcanización, el caucho bruto se mezcla con otros productos (caucho sintético, azufre y óxidos) y expuesto a una temperatura de 10

grados durante la fabricación del arco, lo que provoca cambios en su estructura química interna y propiedades físicas.

**Tabla 6.** *Composición química de las llantas.*

<b>Material</b>	<b>Llantas, automóviles y camionetas</b>	<b>Llantas, camiones y microbuses</b>
Caucho natural	14%	27%
Caucho sintético	27%	14%
Negro de humo	28%	28%
Acero	14 - 15%	14 - 15%
Fibra textil, suavizante, óxidos, antioxidantes	16 - 17%	16 - 17%
Peso promedio	8,6 Kg	45,4 Kg
Volumen	0.06 m3	0.36 m3

*Fuente:* Rubber Manufacturers Association

*Elaborado por:* Espinoza & Navarrete (2023)

### 3. Marco Legal

Dentro de la investigación se ha hecho una revisión del marco legal relacionado con la normativa vigente que ampara y garantiza el cuidado y mantenimiento de las vías de acceso en la Constitución de la República, las normativas técnicas de construcción, Normas INEN, impacto ambiental, normas internacionales ASTM D para análisis de pavimentos, entre otras.

#### 3.1 Constitución de la Republica del Ecuador

##### **Sección segunda**

##### **Ambiente Sano**

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.



**Art. 415.-** El Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados adoptarán políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano y de uso del suelo, que permitan regular el crecimiento urbano, el manejo de la fauna urbana e incentiven el establecimiento de zonas verdes. Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos. Se incentivará y facilitará el transporte terrestre no motorizado, en especial mediante el establecimiento de ciclo vías.

**Art. 350.-** El sistema de educación superior tiene como finalidad la formación académica y profesional con visión científica y humanista; la investigación científica y tecnológica; la innovación, promoción, desarrollo y difusión de los saberes y las culturas; la construcción de soluciones para los problemas del país, en relación con los objetivos del régimen de desarrollo.

**Artículo 385.-** “El sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, en el marco del respeto al ambiente, la naturaleza, la vida, las culturas y la soberanía, tendrá como finalidad: 1) Generar, adaptar y difundir conocimientos científicos y tecnológicos (...)”;

### **3.2 Código Orgánico de Ambiente**

1. Regular los derechos, garantías y principios relacionados con el ambiente sano y la naturaleza, previstos en la Constitución y los instrumentos internacionales ratificados por el Estado.

### **3.3 Servicio Ecuatoriano de normalización INEN**

**Norma Técnica Ecuatoriana 2515:2011, (INEN, 2011)** esta norma establece los requerimientos para la conformación de la mezcla.

**Norma Técnica Ecuatoriana 0154:1987, (INEN, 1987)** Esta norma establece las dimensiones nominales de las aberturas de las mallas de alambre y de las placas perforadas que se usan en los tamices de ensayo. 30

**Norma Técnica Ecuatoriana 2061:1987, (INEN, 1987)** Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los asfaltos diluidos obtenidos de la mezcla de productos derivados de la refinación del petróleo.

### **3.4 American Society for Testing and Materials**

**ASTM D 1559-89**, (Test Method for Resistance of Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus), Diseño de Mezclas Método Marshall.

**ASTM D2041-11**, (Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures) o Clasificación de Suelos y Agregados para la construcción de vías.

**ASTM D1188-07**, (Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Coated Samples) o (AASHTO T 275) Sirve para determinar valores de densidad bulk, que son utilizados en muchos métodos de selección de proporciones para mezclas de agregados

**ASTM D6648-08**, (Standard Test Method for Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer), Sirve para el análisis de la respuesta del pavimento ante la carga de tráfico.

## **CAPÍTULO III**

### **4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **4.1 Enfoque de la investigación**

El enfoque de este proyecto es cuantitativo, dado a que primero se realiza la observación del proceso que se lleva a cabo que son los ensayos del laboratorio para la mezcla asfáltica con adición del caucho, donde luego se obtiene la información para hacer el análisis del trabajo científico de modo empírico y compararlo con el que ya está establecido.

#### **4.2 Alcance de la investigación**

Este proyecto tiene un alcance correlacional, debido al almacenamiento de información argumentada mediante los ensayos del laboratorio para la mezcla asfáltica con adición de caucho, teniendo como principal objetivo comparar las muestras de cada una de ellas, haciendo una relación comparativa para demostrar cual se asemeja a las muestras tradicionales de la mezcla asfáltica.

Hernández et al, (2014), menciona que tiene la finalidad de evaluar la asociación de dos o más variables de una muestra o contexto en particular, donde todos están vinculados entre sí.

#### **4.3 Técnica e instrumentos para obtener los datos:**

La técnica utilizada para este proyecto fue el experimento mediante el Método de Marshall para demostrar el comportamiento de la mezcla asfáltica con la adición del caucho reciclado, que en este caso el material fueron llantas. Como instrumento para obtener los datos se utilizaron prueba de variables, estadísticas y correlaciones.

También los ensayos, donde a través de tablas de laboratorio se pudo determinar los resultados de las muestras y de forma más general es la que esta anexada al final del presente trabajo. Contiene todos los datos y variables más relevantes que son en primera instancia el porcentaje de caucho utilizado para

cada briqueta, porcentaje de asfalto con el que se trabajó, densidad, la estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos.

#### 4.4 Población y muestra

Como población son todas las vías de acceso y carreteras ejecutadas con pavimento flexible que se encuentran a lo largo y ancho del país y la muestra representativa es la vía principal Urdaneta – Caluma que es aquella que presenta los daños significativos.

En cuestión de muestras se realizaron dos tipos de muestras en briquetas. La una que corresponde a la briqueta de mezcla asfáltica tradicional compactada y la otra la mezcla no tradicional, donde se trabajó con el mismo porcentaje de cemento asfáltico para ambas mezclas.

En el caso de la mezcla no tradicional se remplazaron los agregados finos, como la arena, en cinco distintos porcentajes de caucho haciendo tres briquetas por cada uno, en total 15 muestras.

#### 4.5 Presentación y análisis de resultados

##### 4.5.1 Granulometría

Para proceder a realizar los ensayos de laboratorio correspondiente se realizó previamente la granulometría de los agregados finos y gruesos.

**Tabla 7.** Datos de la granulometría del material usado.

<b>ENSAYO GRANULOMÉTRICO</b>					
<b>FUENTE DEL MATERIAL: LICOSA S.A</b>					
<b>UBICACIÓN: GUAYAQUIL – ECUADOR</b>					
<b>PROYECTO: ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADA</b>					
<b>TAMIZ</b>	<b>PESO PARCIAL (GR)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% PASANTE ACUMULADO</b>	<b>ESPECIFICACIONES (MTOF -FOO1-2002)</b>
1"	0	0	0	100	100
3/4"	2600	5,62%	5,62%	94%	90-100
1/2"					
3/8"	14500	31,32%	36,93%	63%	57-81

<b>1/4"</b>					
<b>N° 4</b>	1000	2,16%	39,09%	61%	36-81
<b>N°8</b>	9000	19,44%	58,53%	41%	24- 50
<b>N° 50</b>	13000	28,08%	86,61%	13%	9-20
<b>N° 80</b>					
<b>N°100</b>					
<b>N° 200</b>	3600	7,78%	94,38%	6%	3-8
<b>FONDO</b>	2600	5,62%	100,00%	0%	
<b>TOTAL</b>	46300	100,00%			

**Nota:** Clasificación mediante el tamizado del material.

**Elaborado por:** Espinoza & Navarrete (2023)

#### 4.5.2 Determinación de la cantidad aproximada del % cemento asfáltico

##### 4.5.2.1 Detalle del procedimiento

El Instituto del Asfalto determina que el cálculo del % CA se utiliza la siguiente formula:

$$\%A = 0.035a + 0.045b + K.c + F$$

**Dónde:**

**%A**= % de asfalto en la mezcla asfáltica

**a** = % Retenido tamiz N°8.

**b** = % Pasante tamiz N°8.

**c** = % de agregado que pasa la malla N°200.

**K** = 0.15 si él % que retiene el tamiz 3/4" está entre 11% y 15%.

0.18 si él % que retiene está entre 6% y 10%.

0.20 si él % que retiene es el 5% o menos.

**F**= de 0 a 2% que varía según la absorción del material. (0.7 valor recomendado)

#### 4.5.2.2 Aplicación de formula

$$\%A = 0.035(58,53) + 0.045(41) + (0.2)(5,62) + (0,7)$$

$$\%A = 5,72\%$$

El porcentaje de asfalto se utilizará para la mezcla asfáltica para los diferentes grupos de briquetas será del 6%.

#### 4.5.3 Ensayo Marshall

Una vez realizada la granulometría, se iniciaron los ensayos en el laboratorio mediante el método Marshall que consiste en determinar el alcance que tiene la mezcla asfáltica usando en este caso distintos porcentajes de caucho para ver cuál es la que más se asemeja a la mezcla tradicional y determinar también qué frecuencia de tránsito pueden soportar los demás porcentajes.

A continuación, el procedimiento que se empleó en el laboratorio.

1. Se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 150° y se coloca la llama baja para lograr que esté lo más fluido posible y colocarlo en sus envases correspondiente para proceder el ensayo.



*Figura 11.* Calentamiento del cemento asfáltico. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)

2. Se separan los agregados finos y gruesos. Se lo pesa en el envase correspondiente en relación al porcentaje del peso que es 1100g.



*Figura 12.* Agregado grueso. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)



*Figura 13.* Peso del envase. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)



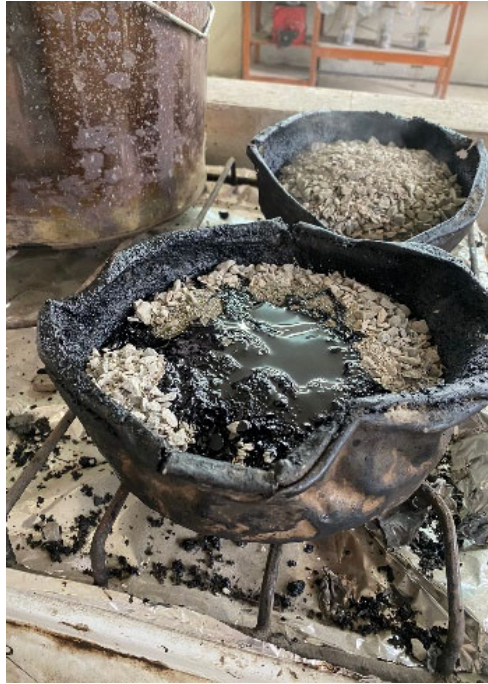
*Figura 14.* Peso de los agregados. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)

3. Una vez separado y pesado los agregados se le agrega el asfalto previamente calentado y se mezcla junto con cada porcentaje correspondiente de caucho.



*Figura 15.* Agregados con asfalto. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)





*Figura 16.* Calentamiento de los agregados y el asfalto. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)



*Figura 17.* Caucho triturado. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)

4. Cuando todos los agregados estén en el envase y son llevados al fuego se procede a mezclar antes de su compactación y se los vuelve a poner en fuego.



*Figura 18.* Mezcla de agregados, asfalto y caucho. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)



*Figura 19.* Mezcla de agregado, asfalto y caucho. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)



*Figura 20.* Calentamiento de agregados y asfalto. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)

5. Una vez la mezcla esta lista se procede a la compactación con golpes mediante el martillo Marshall con 75 golpes en las dos caras del molde.



*Figura 21.* Proceso de compactación de la mezcla asfáltica. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)



*Figura 22.* Compactación de la mezcla asfáltica. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)

6. Se extraen las briquetas del molde y se deja enfriar a temperatura ambiente por 24h.



*Figura 23.* Enfriamiento de las briquetas. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)

7. Al día siguiente cuando ya están a la temperatura adecuada, se midió cada una de las briquetas con un vernier o calibrador de alta presión.



*Figura 24.* Medición de la briqueta. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)



*Figura 25.* Medición de la briqueta. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)



*Figura 26.* Medición de la briqueta. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)

8. Luego, se pesaron las briquetas en el aire.



*Figura 27.* Peso de la briqueta en el aire. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)

9. Se pesó la muestra sumergida en agua.



*Figura 28.* Peso de la briqueta sumergida en el agua. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)

10. Se pesa la muestra superficialmente seca.



*Figura 29.* Peso de la briqueta seca. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)

11. Se deja las briquetas en Baño María por 30 minutos antes de poner en la probeta de Marshall.



*Figura 30.* Briquetas en Baño María. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)

12. Se procede a calcular el flujo y la estabilidad y se coloca en la probeta Marshall para alcanzar el esfuerzo máximo y la deformación.





*Figura 31.* Cálculo de la briqueta en la probeta Marshall. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)



*Figura 32.* Briqueta en la probeta Marshall. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)

13. Finalmente, se concluyó el método Marshall y se realiza el cálculo.

#### 4.5.3.1 Estabilidad y flujo

**Tabla 8.** Estabilidad y flujo con 0,2% de caucho

<b>% DE CAUCHO</b>	<b>FC</b>	<b>CARGA (Lb)</b>	<b>ESTABILIDAD</b>	<b>FLUJO</b>
0,2%	0,94	170	1503	6,3
0,2%	0,86	187	1504	6,2
0,2%	0,90	230	1936	6,4
<b>PROMEDIO</b>			1648	6,3

Elaborado por: Espinoza & Navarrete. (2023)

**Tabla 9.** Estabilidad y flujo con 0,4%

<b>% DE CAUCHO</b>	<b>FC</b>	<b>CARGA (Lb)</b>	<b>ESTABILIDAD</b>	<b>FLUJO</b>
0,4%	0,94	257	2272	6,3
0,4%	0,86	277	2228	6,2
0,4%	0,90	271	2281	6,4
<b>PROMEDIO</b>			2260	6,3

Elaborado por: Espinoza & Navarrete. (2023)

**Tabla 10.** Estabilidad y flujo con 0,6% de caucho

<b>% DE CAUCHO</b>	<b>FC</b>	<b>CARGA (Lb)</b>	<b>ESTABILIDAD</b>	<b>FLUJO</b>
0,6%	0,94	229	2024	6
0,6%	0,86	252	2027	6,1
0,6%	0,90	253	2130	5,8
<b>PROMEDIO</b>			2060	6,0

Elaborado por: Espinoza & Navarrete. (2023)

**Tabla 11.** Estabilidad y flujo con 0,8% de caucho

<b>% DE CAUCHO</b>	<b>FC</b>	<b>CARGA (Lb)</b>	<b>ESTABILIDAD</b>	<b>FLUJO</b>
0,8%	0,99	365	3380	5,7
0,8%	0,86	251	2019	5
0,8%	0,84	240	1888	6,3
<b>PROMEDIO</b>			2429	5,7

Elaborado por: Espinoza & Navarrete. (2023)

**Tabla 12.** Estabilidad y flujo con 1% de caucho

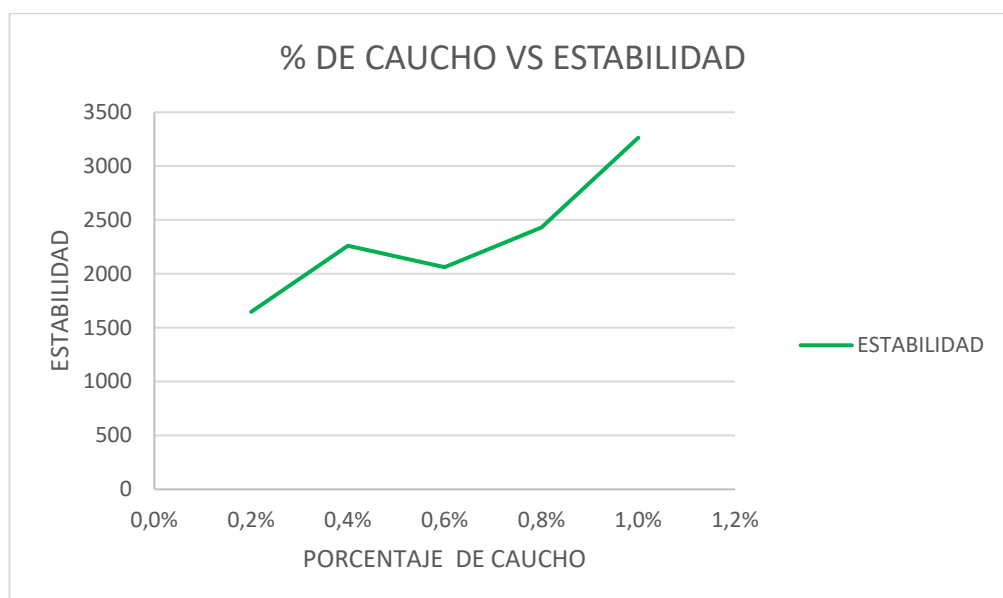
% DE CAUCHO	FC	CARGA (Lb)	ESTABILIDAD	FLUJO
1,0%	0,90	348	2929	7
1,0%	0,86	466	3748	4,8
1,0%	0,92	360	3115	5,2
PROMEDIO			3264	5,7

Elaborado por: Espinoza & Navarrete. (2023)

**Tabla 13.** Estabilidad y flujo con 0,6% de asfalto

% DE ASFALTO	FC	CARGA (Lb)	ESTABILIDAD	FLUJO
0,6%	0,92	412	3565	4,3
0,6%	0,99	405	3751	4,7
0,6%	1,01	420	3988	5
PROMEDIO			3768	4,7

Elaborado por: Espinoza & Navarrete. (2023)



**Figura 33.** Porcentaje de caucho vs estabilidad. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)

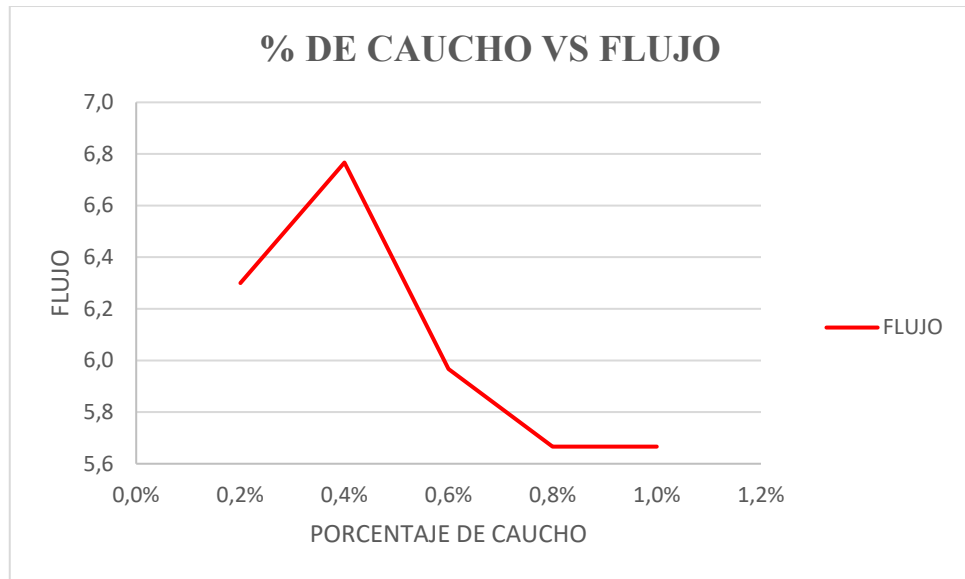


Figura 34. Porcentaje de caucho vs flujo. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)

#### 4.5.4 Método Rice

El ensayo con el Método Rice analiza la determinación de la gravedad y densidad máxima de la mezcla asfáltica no compactadas a una temperatura de 25° y se lo obtiene con el siguiente procedimiento:

1. Se saca la muestra pesando 300g

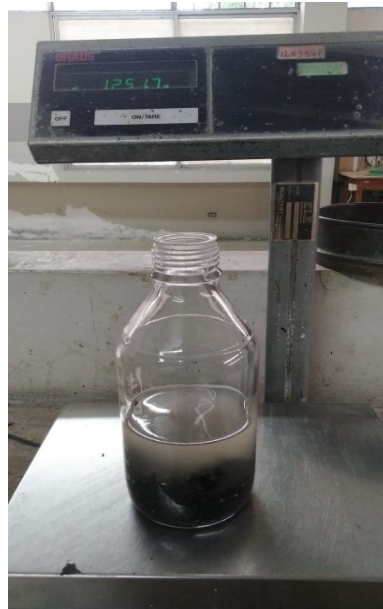


Figura 35. Muestra de la mezcla asfáltica. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)

2. Se pesa el frasco vacío, luego se pesa el frasco lleno de agua, luego se coloca el material (300g) y se agrega agua hasta cubrir todo el material creando el efecto espejo. Luego de cubrir todo el material se procede a la succión de vacíos.



*Figura 36.* Peso del frasco. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)



*Figura 37.* Peso del frasco. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)

3. Llenar el frasco a su totalidad con agua y pesar.



Figura 38. Peso del frasco en su totalidad. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)



Figura 39. Frasco lleno. Elaborado por: Espinoza & Navarrete (2023)

#### 4.5.4.1 Gravedad específica de una mezcla asfáltica suelta (Gmm)

**Tabla 14.** Gravedad específica de una mezcla asfáltica suelta para el 0,2%

% de Caucho	AC	P. Muestra (A)	Rec+Agua (B)	P.M.+Rec+Agua (C)	Rice Gmm
0,2%	6,0%	300	1678,8	1850,7	2342

**Nota:** Promedio de gravedad específica 2342g

**Elaborado por:** Espinoza & Navarrete. (2023)

**Tabla 15.** Gravedad específica de una mezcla asfáltica suelta para el 0,4%

% de Caucho	AC	P. Muestra (A)	Rec+Agua (B)	P.M.+Rec+Agua (C)	Rice Gmm
0,4%	6,0%	300	1678,8	1850,5	2338

**Nota:** Promedio de gravedad específica 2338g

**Elaborado por:** Espinoza & Navarrete. (2023)

**Tabla 16.** Gravedad específica de una mezcla asfáltica suelta para el 0,6%

% de Caucho	AC	P. Muestra (A)	Rec+Agua (B)	P.M.+Rec+Agua (C)	Rice Gmm
0,6%	6,0%	300	1678,8	1850,1	2331

**Nota:** Promedio de gravedad específica 2331g

**Elaborado por:** Espinoza & Navarrete. (2023)

**Tabla 17.** Gravedad específica de una mezcla asfáltica suelta para el 0,8%

% de Caucho	AC	P. Muestra (A)	Rec+Agua (B)	P.M.+Rec+Agua (C)	Rice Gmm
0,8%	6,0%	300	1678,8	1849,6	2322

**Nota:** Promedio de gravedad específica 2322g

**Elaborado por:** Espinoza & Navarrete. (2023)

**Tabla 18.** Gravedad específica de una mezcla asfáltica suelta para el 1%

% de Caucho	AC	P. Muestra (A)	Rec+Agua (B)	P.M.+Rec+Agua (C)	Rice Gmm
1,0%	6,0%	300	1678,8	1850,7	2342

**Nota:** Promedio de gravedad específica 2342g

**Elaborado por:** Espinoza & Navarrete. (2023)

#### 4.5.5 Método Bulk

##### 4.5.5.1 Gravedad específica de una mezcla asfáltica compactada (Gmb)

**Tabla 19.** Gravedad específica de una mezcla asfáltica compactada para el 0,2%

% DEL CAUCHO	CA	P. AIRE	P.S.S	P. AGUA	VOLUMEN	BULCK
0,2%	6,0%	1150,3	1151,8	624,2	527,6	2180
0,2%	6,0%	1158,6	1160,2	618,7	541,5	2140
0,2%	6,0%	1134,8	1135,1	610,7	524,4	2164
PROMEDIO DE BULCK						2161

**Nota:** Promedio de la gravedad específica = 2161g

**Elaborado por:** Espinoza & Navarrete (2023)



**Tabla 20.** Gravedad específica de una mezcla asfáltica compactada para el 0,4%

<b>% DEL CAUCHO</b>	<b>CA</b>	<b>P. AIRE</b>	<b>P.S.S</b>	<b>P. AGUA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>BULCK</b>
0,4%	6,0%	1179,6	1179,9	637,1	542,8	2173
0,4%	6,0%	1216,3	1216,4	643,8	572,6	2124
0,4%	6,0%	1163,3	1164,7	612,5	552,2	2107
PROMEDIO DE BULCK						2135

**Nota:** Promedio de la gravedad específica = 2135 g

**Elaborado por:** Espinoza & Navarrete (2023)

**Tabla 21.** Gravedad específica de una mezcla compactada para el 0,6%

<b>% DEL CAUCHO</b>	<b>CA</b>	<b>P. AIRE</b>	<b>P.S.S</b>	<b>P. AGUA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>BULCK</b>
0,6%	6,0%	1158,5	1159,3	624,5	534,8	2166
0,6%	6,0%	1177,8	1177,6	619,1	558,5	2109
0,6%	6,0%	1170,4	1172,0	620,7	551,3	2123
PROMEDIO DE BULCK						2133

**Nota:** Promedio de la gravedad específica = 2135 g

**Elaborado por:** Espinoza & Navarrete (2023)

**Tabla 22.** Gravedad específica de una mezcla compactada para el 0,8%

<b>% DEL CAUCHO</b>	<b>CA</b>	<b>P. AIRE</b>	<b>P.S.S</b>	<b>P. AGUA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>BULCK</b>
0,8%	6,0%	1132,6	1132,9	622,4	510,5	2219
0,8%	6,0%	1141,8	1142,4	621,1	521,3	2190
0,8%	6,0%	1151,4	1152,1	611,3	540,8	2129
PROMEDIO DE BULCK						2179

**Nota:** Promedio de la gravedad específica = 2179g

**Elaborado por:** Espinoza & Navarrete (2023)

**Tabla 23.** Gravedad específica de una mezcla asfáltica compactada del 1%

<b>% DEL CAUCHO</b>	<b>CA</b>	<b>P. AIRE</b>	<b>P.S.S</b>	<b>P. AGUA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>BULCK</b>
1,0%	6,0%	1154,7	1155,3	625,4	529,9	2179
1,0%	6,0%	1164,8	1165,2	620,7	544,5	2139
1,0%	6,0%	1141,3	1152,9	638,5	514,4	2219
PROMEDIO DE BULCK						2179

**Nota:** Promedio de la gravedad específica = 2179g

**Elaborado por:** Espinoza & Navarrete (2023)

**Tabla 24.** Gravedad específica de la mezcla tradicional

CA	P. AIRE	P.S.S	P. AGUA	VOLUMEN	BULCK
6,0%	1151,1	1158,3	634,5	523,8	2198
6,0%	1160,8	1162,4	637,2	525,2	2210
6,0%	1165,4	1166,4	642,6	523,8	2225
PROMEDIO DE BULCK					2211

**Nota:** Promedio de la gravedad específica = 2211g

**Elaborado por:** Espinoza & Navarrete (2023)

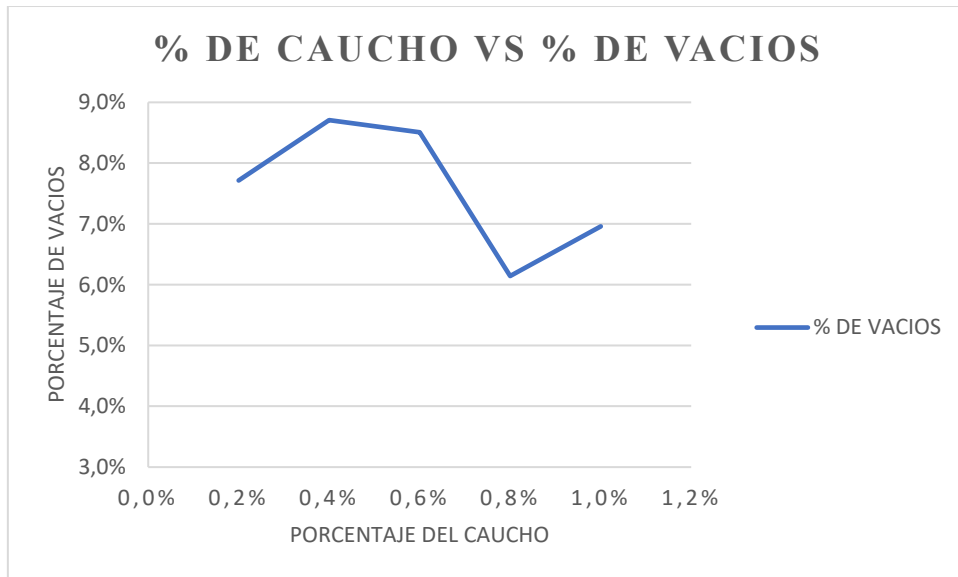
#### 4.5.6 Porcentaje de vacíos

**Tabla 25.** Porcentajes de vacíos

% DE CAUCHO	% DE VACIOS
0,2%	7,7%
0,4%	8,7%
0,6%	8,5%
0,8%	6,1%
1%	7,0%

**Nota:** porcentajes de vacíos en relación al porcentaje de caucho.

**Elaborado por:** Espinoza & Navarrete (2023)



**Figura 40.** Porcentaje de caucho vs porcentaje de vacíos. Espinoza & Navarrete. (2023)

#### 4.5.7 Análisis de los resultados

El resultado de todos los análisis que se realizaron en el laboratorio permite elaborar una evaluación de la nueva mezcla asfáltica por cada uno de sus porcentajes de caucho y hacer la comparación con la mezcla asfáltica tradicional.

A continuación, se describe el comportamiento de la mezcla asfáltica tradicional sin modificar y de la mezcla con la adición del caucho:

##### 4.5.7.1 Mezcla asfáltica tradicional sin modificar

El comportamiento que se obtuvo en esta muestra fue que la estabilidad es de 3788 lb con un porcentaje de vacíos de 7,5% con un flujo de 5% donde las 3 variables no cumplen con la especificación técnica establecida por la normativa NEVI-12.

##### 4.5.7.2 Mezcla asfáltica con 0,2 % de caucho

En esta mezcla se determina que con la adición de 0,2% de caucho su estabilidad fue 1648 lb lo que significa que, si cumple, flujo de 6,3% lo que corresponde a

que no es favorable y un porcentaje de vacío de 7,7% que tampoco es favorable de acuerdo a la normativa.

#### **4.5.7.3 Mezcla asfáltica con 0,4% de caucho**

Con este porcentaje de caucho la estabilidad es 2322 lb y según la norma no cumple, valor de flujo 6,8% lo que corresponde a que no es favorable y el porcentaje de vacío 8,7 que no es favorable de acuerdo a la norma.

#### **4.5.7.4 Mezcla asfáltica con 0,6% de caucho**

En esta mezcla la estabilidad dio como resultado 2064 lb y si cumple, valor del flujo 6% que no es favorable y el porcentaje de vacío 8,5% y tampoco cumple.

#### **4.5.7.5 Mezcla asfáltica con 0,8% de caucho**

Se determina en esta mezcla una estabilidad de 2429 lb lo que significa que no cumple, flujo de 5,7% que no es favorable y porcentaje de vacío de 6,1 que no cumple de acuerdo a la norma.

#### **4.5.7.6 Mezcla asfáltica con 1% de caucho**

La mezcla con el 1% de caucho determina que tiene una estabilidad de 3264 lb , flujo de 5,7% y un porcentaje de vacío de 7%.

En las siguiente graficas se podrá analizar la comparación de cada una de las variables de cada muestra ejecutada:

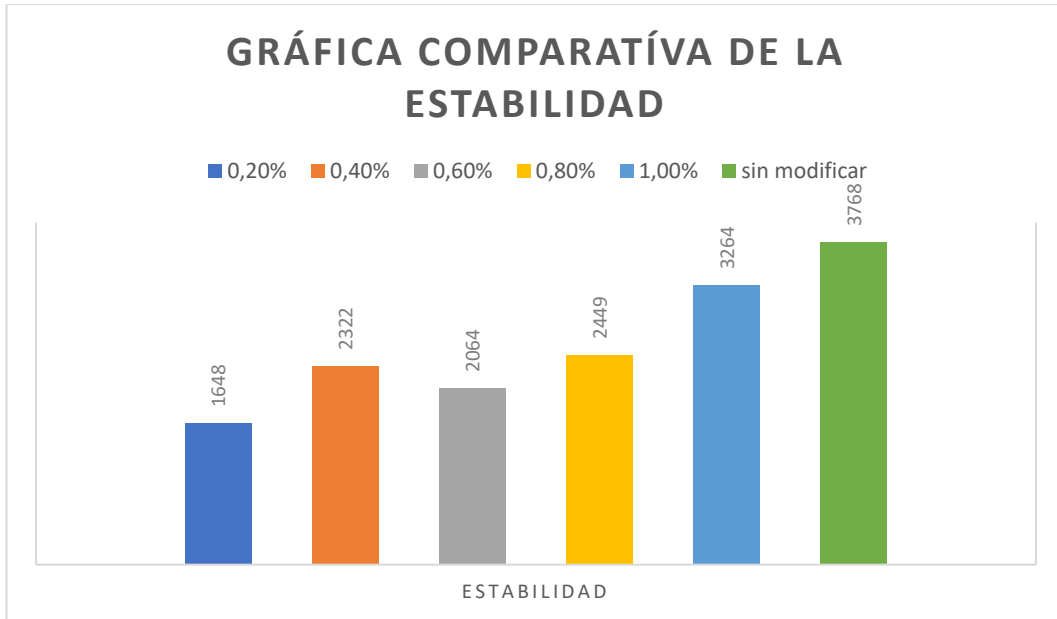


Figura 41. Gráfica comparativa de la estabilidad. Espinoza & Navarrete. (2023)

La mezcla asfáltica con la mejor característica de estabilidad fue dada por dos porcentajes del caucho que corresponden al 0,2% y 0,6%, dejando como descartado a las demás muestras.

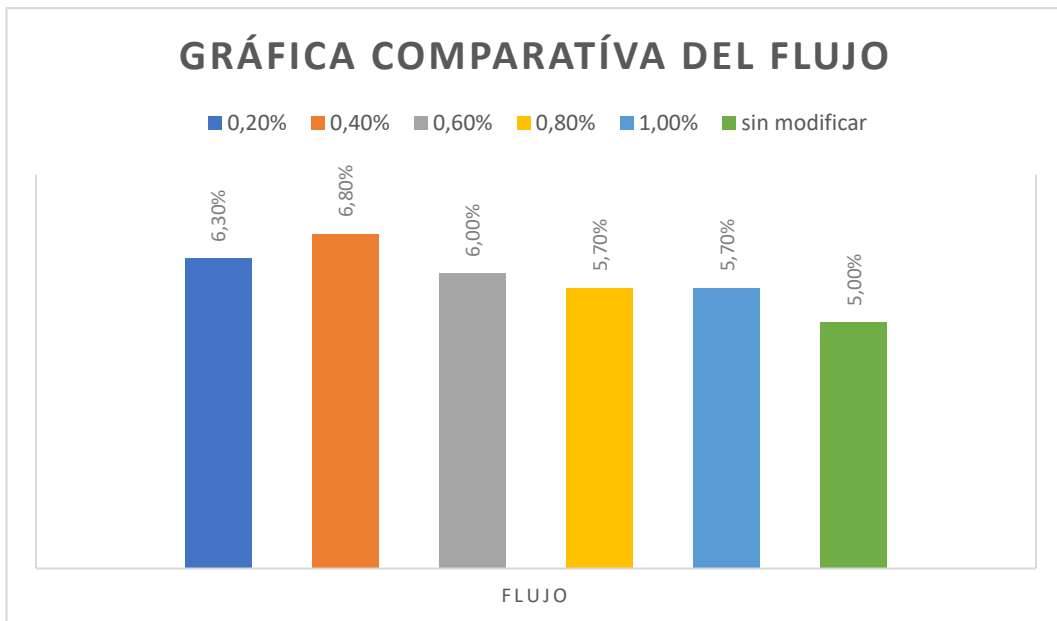


Figura 42. Gráfica comparativa del flujo. Espinoza & Navarrete. (2023)

La mezcla asfáltica con mejor comportamiento mecánico de flujo tiene es la que se le adicionó el 0,4% del caucho a la muestra y la que le sigue con la característica poco similar es la del 0,2%.

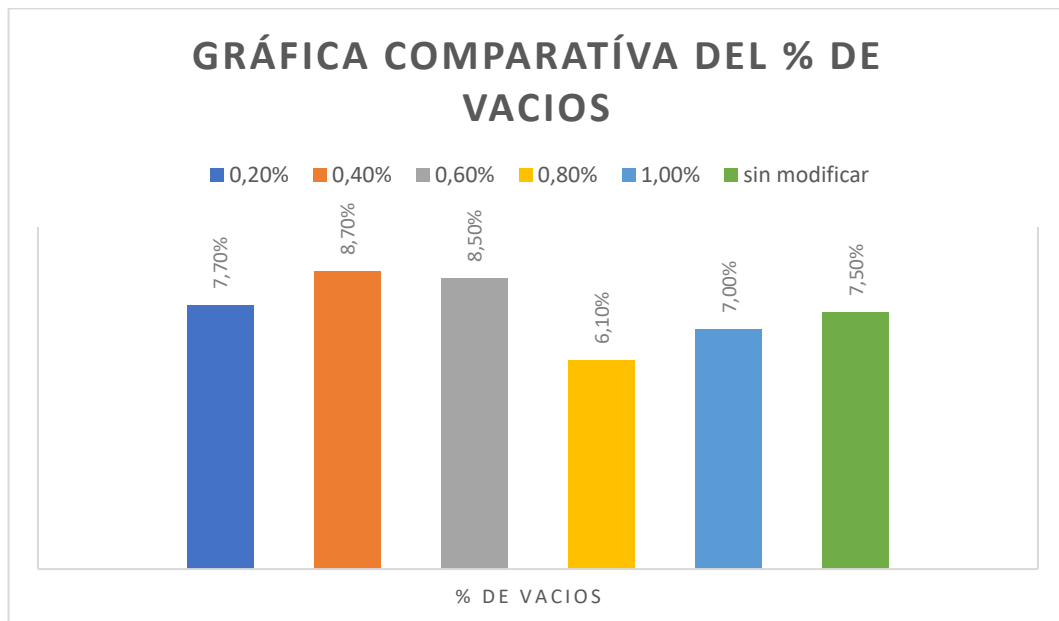


Figura 43. Gráfica comparativa del porcentaje de vacíos. Espinoza & Navarrete. (2023)

Los mejores comportamientos se determinaron por el 0,8% y 1%, siendo estos los que demostraron tener el menos porcentaje de vacíos.

**Tabla 26.** Normativa de especificaciones técnicas

	ESPECIFICACIÓN
ESTABILIDAD (lb)	<2200
% VACIOS	3% - 5%
FLUJO	8 - 14

**Nota:** Estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos establecidos.

**Elaborado por:** Espinoza & Navarrete (2023)

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- Respecto al primer objetivo específico se logra fundamentar con soporte teórico la mezcla asfáltica citando distintos autores que coinciden con este paradigma.
- Se logra la experimentación de la mezcla asfáltica con caucho de llanta reciclada mediante el ensayo Marshall que permitió reconocer el comportamiento mecánico de la misma.
- Se reconoció el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica no tradicional por medio del estudio de sus variables principales que fueron la estabilidad, flujo, porcentaje de vacío y esto por consiguiente permitió la realización del análisis experimental correspondiente.
- Se logró realizar el análisis experimental de la mezcla asfáltica con adición de caucho de llanta reciclada mediante los ensayos de laboratorio mejorando sus características mecánicas y liberando de cargas contaminantes al medio ambiente incitando al reciclaje de las llantas que alcanzan su vida útil y son desechadas.
- Se logró comprobar que el caucho de las llantas recicladas previamente triturado se pudo adicionar al agregado grueso conjunto con el asfalto para poder crear la mezcla asfáltica no tradicional y estudiar su comportamiento y semejanza respecto a la mezcla asfáltica tradicional.
- Los resultados de las muestras también determinaron que la compatibilidad se mide de acuerdo con la normativa NEVI -12, donde la estabilidad tiene que ser menor a 2200 lb con un rango de porcentaje de vacíos del 3% - 5% y con un flujo dentro del rango del 8-14.
- Con el Método Marshall se determinó que la estabilidad, flujo y porcentajes de vacíos que son las tres variables de la mezcla asfáltica adicionado con caucho específicamente el material llanta, en vez del agregado fino, en este caso arena, dio como resultado que son compatibles y cumplen con las especificaciones técnicas de una mezcla tradicional.
- Para el experimento se utilizó el caucho y específicamente el material llanta como medida y carga contaminante al medio ambiente que puede

ser utilizada para esta nueva alternativa de mezcla asfáltica no tradicional en las vías y carreteras de primer, segundo y tercer orden.



## **5.2 Recomendaciones**

- Se debe calentar el cemento asfáltico a una temperatura mínima de 110°C y máxima de 150°C para adquirir una mezcla homogénea.
- Se debe respetar el tiempo de enfriamiento de las briquetas.
- Trabajar la dosificación en relación a los pesos en porcentajes para llegar al peso requerido de una briketa.
- Realizar de 3 a 5 muestras de mezcla asfáltica por cada estudio a realizar.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arenas Lozano, H. L. (2011). quinta. Obtenido de <ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/harenas/docs/MATERIALES%20I/DOCUMENTOS%20DE%20CONSULTA/tecnologia%20del%20cemento%20asfaltico-HUGO%20LEON%20ARENAS.pdf>
- Constitución de la República del Ecuador, 2008, [https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_const.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf)
- Diseño de mezclas asfálticas. (2003).
- Dupré, N. (2013). Obtenido de [https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/115523/cf-%20navarro\\_nd.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/115523/cf-%20navarro_nd.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Urdaneta, <https://urdaneta.gob.ec/via-urdaneta-caluma-es-intervenida-gracias-al-trabajo-conjunto-de-la-alcaldia-de-urdaneta-y-transporte-caluma/> (2022)
- I.N.V.E-799-07. (2012).
- Maila, M. (2013). Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/742/1/T-UCE-0011-31.pdf>
- MOP 2002. (s.f.). MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PUBLICAS.
- Organización de las Naciones Unidas, Pacto Global 2030, Objetivos de Desarrollo Sostenible, <https://es.unesco.org/sdgs>
- Pérez Perdujo, R. (2014). Obtenido de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/12236/1/TRABAJO%20FINAL%20MODIFICADOS%2017-06-2014.pdf>
- Portal, M. A. (2009). Las creencias en el asfalto: La sacralización como una forma de apropiación del espacio público en la ciudad de México. Cuadernos de antropología social, (30), 59-75. <http://www.scielo.org.ar/pdf/cas/n30/n30a04.pdf>
- Ramirez, N. (2006). Obtenido de <https://es.slideshare.net/inrahil/estudio-de-la-utilizacin-de-caucho-de-neumticos-en-mezclas-asfálticas>
- Repsol. (s.f.). Repsol. Obtenido de [https://www.repsol.com/pe\\_es/peru/productos-servicios/asfaltos/control-de-calidad](https://www.repsol.com/pe_es/peru/productos-servicios/asfaltos/control-de-calidad)

Laboratorio nacional de viabilidad, (2015)  
<https://pdf4pro.com/view/mop-direcci-243-n-de-vialidad-laboratorio-nacional-2ae2e1.html>

Valero, C. L., Muñoz, G. L., y Reyes, M. A. (2022). Adoquín vehicular de capacidad drenante con concha de manglar: un innovador material de construcción. *Polo del Conocimiento*, 7(7), 2128-2145.  
<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/4337/10294#Villarroel>, L. (29 de junio de 2016). Propiedades del asfalto. Obtenido de <http://propiedadesdelasfalto.blogspot.com/2016/06/fisuras-y-grietas-fisurasy-grietas-por.html>


## 7. ANEXOS

### Anexo 1.- Estado natural 6% CA

Universidad de Guayaquil  
 Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas  
 Laboratorio de Suelos y Materiales "Dr. Ing. Arnaldo Ruffini"  
 Estado Natural 6% CA

MUESTRA Nº	FECHA	DIAMETRO Y ALTURA	PESO INICIAL	PESO EN EL AIRE	PESO SUPERFICIALMENTE SECO	PESO SUMERGIDO	ROTURA	DEFORMACION
602 1		10,2 x 6,7	1140,5	1157,1	1158,3	634,5	412	4,3
602 2		10,3 x 6,4	1143,7	1160,8	1162,4	637,2	403	4,7
602 3		10,2 x 6,3	1148,2	1165,4	1166,4	642,6	420	5,0



Anexo 2. 6% asfalto - 0,2% caucho


 Universidad de Guayaquil  
 Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas  
 Laboratorio de Suelos y Materiales "Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli"

Modificado 6% Asfalto caucho 0,2%

MUESTRA Nº	FECHA DIAMETRO Y ALTURA	PESO INICIAL	PESO EN EL AIRE	PESO SUPERFICIALMENTE SECO	PESO SUMERGIDO	ROTURA	DEFORMACION
18(636)	1 10,5 X 6,6	1123,7	1150,8	1157,8	624,2	170	6,3
	2 10,2 X 7,0	1127,1	1158,6	1160,2	618,7	187	6,2
	3 10,3 X 6,8	1105,9	1134,8	1135,1	610,7	230	6,4


Anexo 3. 6% asfalto – 0,4% caucho


 Universidad de Guayaquil  
 Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas  
 Laboratorio de Suelos y Materiales "Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli"
 

*Modificado 6% asfalto 0,4% caucho*

MUESTRA Nº	FECHA DIAMETRO Y ALTURA	PESO INICIAL	PESO EN EL AIRE	PESO SUPERFICIALMENTE SECO	PESO SUMERGIDO	ROTURA	DEFORMACION
2L 1	10,3 X 6,2	1151,0	1179,6	1179,9	637,1	257	7,0
2	10,4 X 7,1	1185,1	1216,3	1216,4	643,8	227	6,8
3	10,3 X 6,8	1143,6	1163,3	1164,7	612,5	271	6,5


Anexo 4. 6% asfalto – 0.6% caucho


 Universidad de Guayaquil  
 Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas  
 Laboratorio de Suelos y Materiales "Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli"

*Modificado 6% asfalto 0.6% caucho*

MUESTRA Nº	FECHA DIAMETRO Y ALTURA	PESO INICIAL	PESO EN EL AIRE	PESO SUPERFICIALMENTE SECO	5.5.5 PESO SUMERGIDO	ROTURA	DEFORMACION
1	10,5 X 6,3	1129,2	1158,5	1159,3	624,5	229	6,0
2	10,4 X 7,1	1142,4	1177,8	1177,6	619,1	252	6,1
3	10,4 X 7,0	1143,2	1170,4	1172,0	620,7	253	5,8

Anexo 5. 6% asfalto – 1% caucho



 Universidad de Guayaquil  
 Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas  
 Laboratorio de Suelos y Materiales "Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli"

Modificado 6% caucho 1.2%

MUESTRA Nº	FECHA	DIAMETRO Y ALTURA	PESO INICIAL	PESO EN EL AIRE	PESO SUPERFICIALMENTE SECO	PESO SUMERGIDO	ROTURA	DEFORMACION
#2 1		10,3 x 6,8	1140,0	1154,7	1155,3	625,4	348	7,0%
2		10,3 x 7,0	1148,6	1164,8	1165,2	620,7	466	4,8
3		10,2 x 6,7	1141,3	1152,5	1152,9	638,5	360	5,2



Anexo 6. Estado natural asfalto

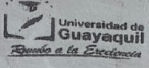

 Universidad de Guayaquil  
 Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas  
 Laboratorio de Suelos y Materiales "Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli"

Estado Natural

MUESTRA Nº	FECHA DIAMETRO Y ALTURA	PESO INICIAL	PESO EN EL AIRE	PESO SUPERFICIALMENTE SECO	PESO SUMERGIDO	ROTURA	DEFORMACION
6,0% 1	10,2 x 6,7	1140,5	1153,9	1155,1			
6,0% 2	10,3 x 6,4	1143,7	1158,8	1160,4			
6,0% 3	10,2 x 6,3	1148,2	1133,1	1134,4			


Anexo 7. 6% asfalto – 0,8% caucho

Figura (Número de figura). Título de Figura



Universidad de Guayaquil  
Bueno a la Esencia

Universidad de Guayaquil  
Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas  
Laboratorio de Suelos y Materiales "Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli"



*Modificado 6% conchas 0,8%*

MUESTRA Nº	FECHA DIAMETRO Y ALTURA	PESO INICIAL	PESO EN EL AIRE	PESO SUPERFICIALMENTE SECO	PESO SUMERGIDO	ROTURA	DEFORMACION
#CIB 1	10,4 X 6,4	1115,0	1132,6	1132,9	622,4	365	S,7
2	10,4 X 7,0	1107,0	1141,8	1142,4	621,1	251	SP
3	10,3 X 7,1	1120,8	1151,4	1152,1	611,3	240	6,3



Anexo 9. Método Marshall

UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL													
PROYECTO : ANALISIS EXPERIMENTAL DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADICION DE CAUCHO RECICLADO DE LLANTA													
METODO MARSHALL													
% DE CAUCHO	CA	P. AIRE	P.S.S	P. AGUA	VOLUMEN	BULCK	RICE	VACIOS	FC	CARGA (Lb)	FLUJO	ESTABILIDAD	FLUJO PROMEDIO
0,2%	6,0%	1150,3	1151,8	624,2	527,6	2180	2342	7,7%	0,94	170	6,3	1503	
0,2%	6,0%	1158,6	1160,2	618,7	541,5	2140			0,86	187	6,2	1504	
0,2%	6,0%	1134,8	1135,1	610,7	524,4	2164			0,90	230	6,4	1936	
					BULCK PROMEDIO	2161				ESTABILIDAD PROMEDIO		1648	6,3
0,4%	6,0%	1179,6	1179,9	637,1	542,8	2173	2338	8,7%	1,04	257	7	2505	
0,4%	6,0%	1216,3	1216,4	643,8	572,6	2124			0,84	277	6,8	2178	
0,4%	6,0%	1163,3	1164,7	612,5	552,2	2107			0,90	271	6,5	2281	
					BULCK PROMEDIO	2135				ESTABILIDAD PROMEDIO		2322	6,8
0,6%	6,0%	1158,5	1159,3	624,5	534,8	2166	2331	8,5%	1,01	229	6	2175	
0,6%	6,0%	1177,8	1177,6	619,1	558,5	2109			0,84	252	6,1	1982	
0,6%	6,0%	1170,4	1172,0	620,7	551,3	2123			0,86	253	5,8	2035	
					BULCK PROMEDIO	2133				ESTABILIDAD PROMEDIO		2064	6,0
0,8%	6,0%	1132,6	1132,9	622,4	510,5	2219	2322	6,1%	0,99	365	5,7	3380	
0,8%	6,0%	1141,8	1142,4	621,1	521,3	2190			0,86	251	5	2019	
0,8%	6,0%	1151,4	1152,1	611,3	540,8	2129			0,84	240	6,3	1888	
					BULCK PROMEDIO	2179				ESTABILIDAD PROMEDIO		2429	5,7
1,0%	6,0%	1154,7	1155,3	625,4	529,9	2179	2342	7,0%	0,90	348	7	2929	
1,0%	6,0%	1164,8	1165,2	620,7	544,5	2139			0,86	466	4,8	3748	
1,0%	6,0%	1141,3	1152,9	638,5	514,4	2219			0,92	360	5,2	3115	
					BULCK PROMEDIO	2179				ESTABILIDAD PROMEDIO		3264	5,7
Sin modificar	6,0%	1154,7	1155,3	625,4	529,9	2179	2355	7,5%	0,92	412	4,3	3565	
Sin modificar	6,0%	1164,8	1165,2	620,7	544,5	2139			0,99	405	4,7	3751	
Sin modificar	6,0%	1141,3	1152,9	638,5	514,4	2219			1,01	420	5	3988	
					BULCK PROMEDIO	2179				ESTABILIDAD PROMEDIO		3768	5

*Anexo 10.* Briquetas con 1% de caucho



*Anexo 11.* Briquetas con los porcentajes de caucho



*Anexo 12.* Muestras de la mezcla asfáltica



*Anexo 13.* Mezcla de los agregados y caucho



*Anexo 14.* Caucho triturado





*Anexo 15.* Toma de resultados



