



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL**

**DEPARTAMENTO DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**

**MENCIÓN GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL**

**MENCIÓN GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN**

**TEMA:**

**“DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA UTILIZANDO LA HOJA  
SECA DE MAÍZ”**

**AUTOR:**

**Ing. JOFFRE ASACATA PILAMUNGA**

**TUTOR:**

**Ing. KLEVER MOSCOSO RIERA, Mg.**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**2024**



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia,  
Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
<b>TÍTULO:</b> "Diseño de una mezcla asfáltica modificada utilizando la hoja seca de maíz".	
<b>AUTOR:</b> Ing. Joffre Asacata Pilamunga	<b>REVISORES O TUTOR:</b> Ing. Klever Moscoso Riera, Mg.
<b>INSTITUCIÓN:</b> Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	<b>Grado obtenido:</b> Magister en Ingeniería Civil Mención Gestión de la Construcción
<b>MAESTRÍA:</b> Maestría en Ingeniería Civil	<b>COHORTE:</b> COHORTE V
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b> 2024	<b>N. DE PAGINAS:</b> 93
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b> Arquitectura y Construcción	
<b>PALABRAS CLAVE:</b> Producto petrolífero, Contaminación, Flujo	
<b>RESUMEN:</b> Sabemos que las vías son medios necesarios para establecer las relaciones comerciales, lo que genera el incremento de la economía en los países, hay sitios muy distantes para los que construir una vía se encarece su presupuesto por no contar con la fuente de material adecuado, además existen materiales desechables que van a parar a los botaderos contaminando el medio ambiente, el tema de investigación va enfocado a esos estos tipos de materiales desechados dándole un mejor uso, en este caso la cascara de maíz que pueden suplir esa necesidad y así mitigar la contaminación y darle un mejor uso en el área de la construcción. Vamos a combinar la arena tradicional de la cascara del maíz, con los porcentajes ya establecidos de una mezcla de asfalto tradicional, solo su parte fina se la mezclara realizando combinaciones hasta obtener resultados que cumplan con lo requerido en las especificaciones del Ministerio y Transporte de Obras Públicas para ser considerada como parte del agregado fino. Este material combinado obteniendo los resultados de estas mezclas asfáltica se los analizara y recomendará para su utilización según sus resultados de cada ensayo sean estos de clasificación, porcentaje de asfalto óptimo, estabilidad, flujo y vacíos, según estos criterios se los comparara con el cuadro en el capítulo 811 405-5,2 de las especificaciones del MTOP. Comparando los resultaos con lo establecido en el cuadro 405.5,2 podemos determinar su uso, ya sea para tráfico, pesado, medio o liviano, puede ser parte de una estructura de pavimento como capeta asfáltica o también según sus resultados puede ser considerado como una base asfáltica, en ambos casos aportarían en el diseño de una vía como parte de los agregados para la mezcla asfáltica. Con datos satisfactorios podemos determinar la utilización de este agregado y así beneficiar a las comunidades que generen estos desechos darle un mejor uso y poder así evitar su contaminación, y al mismo tiempo obtener un material alternativo para el diseño de una mezcla asfáltica.	
<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>	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>

<b>CONTACTO CON AUTOR:</b> Asacata Pilamunga Joffre Edwing, Ing.	<b>Teléfono:</b> 0968769600	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:jasacatap@ulvr.edu.ec">jasacatap@ulvr.edu.ec</a>
<b>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</b>	PhD. Eva Guerrero López Teléfono: 042596500 Ext. 170 E-mail: <a href="mailto:eguerrerol@ulvr.edu.ec">eguerrerol@ulvr.edu.ec</a> Directora Departamento Posgrado Mg. Kléber Moscoso Riera Teléfono: 042596500 Ext. 170 E-mail: <a href="mailto:kmoscotor@ulvr.edu.ec">kmoscotor@ulvr.edu.ec</a> Coordinador de Maestría	

# CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO

Tesis\_ASACATA\_-\_Avance\_6\_febr\_2024\_1\_corregida.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

**8%**

INDICE DE SIMILITUD

**9%**

FUENTES DE INTERNET

**2%**

PUBLICACIONES

**7%**

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repository.unimilitar.edu.co">repository.unimilitar.edu.co</a> Fuente de Internet	1%
2	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Trabajo del estudiante	1%
3	<a href="http://www.imt.mx">www.imt.mx</a> Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Escuela Superior Politécnica del Litoral Trabajo del estudiante	1%
5	Submitted to Universidad Militar Nueva Granada Trabajo del estudiante	1%
6	<a href="http://view.genial.ly">view.genial.ly</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="https://repositorio.urp.edu.pe">repositorio.urp.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="https://repositorio.uandina.edu.pe">repositorio.uandina.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
9	<a href="https://dspace.ucuenca.edu.ec">dspace.ucuenca.edu.ec</a> Fuente de Internet	1%
10	<a href="https://ri.ues.edu.sv">ri.ues.edu.sv</a> Fuente de Internet	1%
11	<a href="https://dspace.ucacue.edu.ec">dspace.ucacue.edu.ec</a> Fuente de Internet	1%
12	<a href="https://pirhua.udep.edu.pe">pirhua.udep.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
13	<a href="http://www.infoeducard.com">www.infoeducard.com</a> Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

Firma:



Ing. Kléber Alberto Moscoso Riera, Mg.

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Guayaquil, 06 de febrero del 2024

Yo, Joffre Edwing Asacata Pilamunga, declaro bajo juramento que la autoría del presente trabajo "Diseño de una mezcla asfáltica no tradicional" me corresponde totalmente y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo mis derechos de autor a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establecido por la normativa vigente.



Firma: \_\_\_\_\_


Ing. Joffre Edwing Asacata Pilamunga

C.I. 0953795127

## CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Guayaquil, 6 de febrero del 2024

Certifico que el trabajo titulado “Diseño de una mezcla asfáltica modificada utilizando la hoja seca de maíz” ha sido elaborado por el Ing. Joffre Edwing Asacata Pilamunga bajo mi tutoría, y que el mismo reúne los requisitos para ser defendido ante el tribunal examinador que se designe al efecto.

Firma:  \_\_\_\_\_

Ing. Kléber Alberto Moscoso Riera, Mg.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento principalmente a Dios, mi madre Mariana y mi padre Manuel, quienes han sido mi motor día a día en el desarrollo de este proyecto, con su ayuda incondicional han hecho que cada situación sea más llevadera.

A mi hermana Evelyn que en todo momento han sido mi soporte y motivo para superarme cada vez más, a mi tutor el MSc. Ing. Kléber Moscoso Riera por el valioso aporte de conocimientos para el desarrollo de este proyecto, a mis maestros y compañeros de aula que fueron guías y facilitadores en esta etapa de estudio.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo especialmente a mi querida madre Mariana... con ella cada día aprendo a ser una mejor persona, su constante motivación es lo que me ha llevado a culminar con éxito esta etapa de mi vida.



## RESUMEN EJECUTIVO

Sabemos que las vías son medios necesarios para establecer las relaciones comerciales, lo que genera el incremento de la economía en los países, hay sitios muy distantes para los que construir una vía se encarece su presupuesto por no contar con la fuente de material adecuado, además existen materiales desechables que van a parar a los botaderos contaminando el medio ambiente, el tema de investigación va enfocado a esos estos tipos de materiales desechados dándole un mejor uso, en este caso la cascara de maíz que pueden suplir esa necesidad y así mitigar la contaminación y darle un mejor uso en el área de la construcción.

Vamos a combinar la arena tradicional de la cascara del maíz, con los porcentajes ya establecidos de una mezcla de asfalto tradicional, solo su parte fina se la mezclara realizando combinaciones hasta obtener resultados que cumplan con lo requerido en las especificaciones del Ministerio y Transporte de Obras Públicas para ser considerada como parte del agregado fino. Este material combinado obteniendo los resultados de estas mezclas asfáltica se los analizara y recomendará para su utilización según sus resultados de cada ensayo sean estos de clasificación, porcentaje de asfalto óptimo, estabilidad, flujo y vacíos, según estos criterios se los comparara con el cuadro en el capítulo 811 405-5,2 de las especificaciones del MTOP. Comparando los resultados con lo establecido en el cuadro 405.5,2 podemos determinar su uso, ya sea para tráfico, pesado, medio o liviano, puede ser parte de una estructura de pavimento como capeta asfáltica o también según sus resultados puede ser considerado como una base asfáltica, en ambos casos aportarían en el diseño de una vía como parte de los agregados para la mezcla asfáltica. Con datos satisfactorios podemos determinar la utilización de este agregado y así beneficiar a las comunidades que generen estos desechos darle un mejor uso y poder así evitar su contaminación, y al mismo tiempo obtener un material alternativo para el diseño de una mezcla asfáltica.

**Resumen:** Asfalto, briquetas, hoja de maíz, contaminación, mezcla asfáltica, estabilidad, flujo, producto petrolífero.

## ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO.....	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES .....	v
CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
DEDICATORIA .....	viii
RESUMEN EJECUTIVO .....	ix
ÍNDICE GENERAL.....	x
CAPÍTULO I .....	1
1.1. Tema .....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	1
1.3. Formulación del problema .....	2
1.4. Sistematización del problema .....	2
1.5. Objetivos.....	3
1.5.1. Objetivo general .....	3
1.5.2. Objetivos Específicos .....	3
1.6. Justificación.....	3
1.7. Delimitación del problema.....	5
1.8. Línea de Investigación Institucional/Facultad.....	6
1.9. Idea a Defender.....	6
Diseño de una mezcla asfáltica modificada utilizando la hoja seca de maíz .....	6
Definición de Variables.....	6
CAPÍTULO II .....	7
2.1. Marco Teórico.....	7
2.1.1. Antecedentes Históricos.....	7
2.1.2. Pavimento Flexible.....	11
2.1.3. Cemento asfáltico.....	12
2.1.4. Cementos asfálticos modificados .....	13
2.1.5. Ensayos de laboratorio para cementos asfálticos.....	13
2.1.6. Ensayo de penetración.....	14
2.1.7. Ensayo de punto de ablandamiento.....	14
2.1.8. Viscosidad .....	15

2.1.9.	Punto de inflamación y combustión mediante la copa abierta Cleveland .....	17
2.1.10.	Densidad relativa (gravedad específica) .....	18
2.1.11.	Envejecimiento del cemento asfáltico a corto y largo plazo .....	19
2.1.12.	Envejecimiento a corto plazo.....	19
2.1.13.	Envejecimiento a largo plazo.....	20
2.1.14.	Agregados Pétreos .....	21
2.1.15.	Ensayos de caracterización física .....	22
2.1.16.	Análisis granulométrico de las fracciones de agregados grueso y fino .....	22
2.1.17.	Ensayo de resistencia al desgaste en la máquina Los Ángeles.....	23
2.1.18.	Relaciones de peso y volumen .....	24
2.1.19.	Densidad bulk de la llenante mineral en kerosene .....	25
2.1.20.	Adhesividad del agregado grueso al ligante asfáltico .....	25
2.1.21.	Concreto Asfáltico .....	26
2.1.22.	Diseño de mezclas asfálticas densas en caliente.....	27
2.1.23.	Diseño Marshall .....	28
2.1.24.	Tipo de mezcla asfáltica.....	29
2.1.25.	Fabricación de las briquetas Marshall.....	30
2.1.26.	Determinación de los parámetros volumétricos .....	31
2.1.27.	Determinación de los parámetros de resistencia mecánica: estabilidad y flujo Marshall	33
2.1.28.	Diseño de mezcla asfáltica .....	34
2.2.	Marco conceptual.....	34
2.3.	Marco legal.....	38
CAPÍTULO III .....		40
3.	METODOLOGÍA Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS .....	40
3.1.	Enfoque de Investigación.....	40
3.2.	Tipo de Investigación.....	40
3.3.	Métodos de investigación .....	40
3.4.	Población y Muestra .....	40
3.5.	Análisis e Interpretación de los resultados.....	41
CAPÍTULO IV: Informe Técnico.....		48
4.1.	Elaboración del tema.....	48
4.2.	Ensayos realizados.....	48

4.3.	Granulometría de la hoja seca de maíz.....	50
4.4.	Diseño de Mezcla Asfáltica (tradicional).....	51
4.5.	Diseño de Mezcla Asfáltica agregado grueso y agregado fino (50% de arena y 50% de hoja seca de maíz).....	58
4.6.	Diseño de Mezcla Asfáltica agregado grueso y agregado fino (85% de arena y 15% de hoja seca de maíz).....	65
4.7.	Cuadro de resumen del diseño asfáltico .....	71
4.8.	Conclusiones.....	72
4.9.	Recomendaciones .....	73
5.	Referencias Bibliográficas .....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Aceites para el asfalto .....	13
<i>Figura 2: Ensayo de penetración.....</i>	14
Figura 3: Punto de ablandamiento .....	15
Figura 4: Ensayo de viscosidad .....	16
<i>Figura 5: Ensayo de punto de inflamación.....</i>	18
<i>Figura 6: Ensayo densidad relativa .....</i>	19
<i>Figura 7: Ensayo de envejecimiento .....</i>	20
<i>Figura 8: Ensayo de envejecimiento .....</i>	21
<i>Figura 9: Ensayo de agregados pétreos .....</i>	22
<i>Figura 10: Ensayo de abrasión .....</i>	24
<i>Figura 11: Ensayo de densidad .....</i>	25
<i>Figura 12: Ensayo de granos de asfalto.....</i>	26
Figura 13: Tipo de mezcla .....	29
Figura 14: tipo de mezcla.....	30
Figura 15: tipo de mezcla.....	30
<i>Figura 16: Ensayo de briqueta .....</i>	31
<i>Figura 17: Gravedad específica.....</i>	32
<i>Figura 18: ensayo de gravedad específica .....</i>	33
<i>Figura 19: Ensayo Marshall.....</i>	34
Figura 20 y 21: Elaboración de la mezcla asfáltica .....	48
Figura 22: Ensayo curado de briquetas.....	49
Figura 23: Ensayo densidad briquetas .....	49
Figura 24: Ensayo Marshall.....	49
Figura 25: Ensayo granulométrico.....	49
Figura 26: Ensayo granulométrico.....	50
Figura 27: Ensayo de Abrasión.....	51
Figura 28: Ensayo granulométrico.....	52
Figura 29: Ensayo Peso Especifico.....	52
Figura 30: Ensayo Peso Unitario .....	54
Figura 31: Ensayo Marshall.....	55

Figura 32: Ensayo Rice .....	56
Figura 33: Ensayo Diagrama porcentaje de asfalto.....	57
Figura 34: Ensayo de granulometría .....	58
Figura 35: Ensayo Peso Especifico.....	59
Figura 36: Ensayo Peso Unitario .....	60
Figura 37: Ensayo Marshall .....	61
Figura 38: Ensayo Rice .....	62
Figura 39: Ensayo Diagrama porcentaje de asfalto.....	63
Figura 40: Ensayo de granulometría.....	65
Figura 41: Ensayo Peso Especifico.....	66
Figura 42: Ensayo Peso Unitario .....	67
Figura 43: Ensayo Marshall.....	68
Figura 44: Ensayo Rice .....	69
Figura 45: Ensayo Diagrama porcentaje de asfalto.....	70
Figura 46: Cuadro de resumen.....	71
Figura 47: Cuadro de Especificaciones del ministerio de Transporte y Obras Públicas .....	71

# CAPÍTULO I

## 1.1. Tema

Diseño de una mezcla asfáltica modificada utilizando la hoja seca de maíz.

## 1.2. Planteamiento del problema

El fenómeno de fatiga es uno de los principales deterioros presentes en las mezclas asfálticas que conforman las capas de rodamiento de los pavimentos, el cual ocurre bajo la acción repetida del tránsito. La repetición de las cargas produce una pérdida en la rigidez del material hasta llegar a la falla. La resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas corresponde con su capacidad para soportar las cargas repetidas sin fallar o agrietarse. La vida de los pavimentos está directamente relacionada con este fenómeno el cual deberá ser estudiado correctamente para asegurar un adecuado diseño estructural. (degradación del módulo de rigidez en mezclas asfálticas utilizando el modelo de fatiga según la metodología CALME, 2019)

El Módulo de Rigidez es una relación de tensiones y deformaciones, que particularmente en las mezclas asfálticas no se presenta como un valor único, como en el caso de otros materiales, sino como dependiente de la Temperatura de ensayo y la Frecuencia de aplicación de la carga. Para estos materiales, el Módulo de Rigidez que valora la respuesta del pavimento asfáltico ante solicitaciones dinámicas, considerando el rango de Temperaturas que pueda sufrir el pavimento en servicio, es comúnmente conocido como el Módulo Dinámico (Apas, Ricci, & Rivera, 2017)

En líneas generales puede decirse que la variación de las propiedades dinámicas por el cambio de la Temperatura provoca una disminución apreciable en el valor del Módulo Dinámico a medida que ésta aumenta. Por otro lado, el efecto de la Frecuencia de aplicación de la carga se manifiesta a través del movimiento de los vehículos pesados sobre la estructura, y genera módulos mayores a medida que la velocidad se incrementa, es decir a medida que aumenta la Frecuencia de carga. Para conocer en cada caso en particular cómo esto se manifiesta en forma cuantitativa, se efectúan determinaciones

del módulo en laboratorio, por medio de distintos procedimientos, sometiendo a las muestras a deformación en su rango lineal, bajo cargas repetidas o cargas con velocidad de deformación controlada, registrando durante el ensayo ambos esfuerzos (Apas, Ricci, & Rivera, 2017)

A partir del 2016 se denota la propuesta en el Ecuador de un hormigón asfáltico a base de polímeros, el cual presenta como una de sus características principales un aumento en el grado de flexibilidad, sin embargo, este no se ha implementado en la construcción de vías.

En la provincia del Guayas las vías de pavimento flexible se deterioran por su uso, acciones físicas y químicas, impactos ambientales, por diferentes fallas que se presentan en el pavimento flexible uno de ellos es la rigidización de la mezcla asfáltica, hormigón asfáltico por pérdida de flexibilidad o al envejecimiento del pavimento flexible. El presente proyecto de titulación pretende mejorar el comportamiento de la mezcla asfáltica por medio de la adición de hoja seca de maíz

### **1.3. Formulación del problema**

¿Cuál es el diseño de una mezcla asfáltica modificada utilizando la hoja seca de maíz?.

### **1.4. Sistematización del problema**

En el diseño de una mezcla asfáltica se debe considerar lo siguiente:

¿Cuáles son los referentes teóricos de las mezclas asfálticas?

¿Cómo determinar los porcentajes de hoja seca de maíz a utilizar para el diseño de mezcla asfáltica?

¿Cuál es el informe de los resultados del diseño de mezcla asfáltica modificada utilizando la hoja seca de maíz?



## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo general

Diseñar una mezcla asfáltica modificada utilizando la hoja seca de maíz

### 1.5.2. Objetivos Específicos

- Fundamentar los referentes teóricos acerca de mezclas asfálticas.
- Determinar los porcentajes de hoja seca de maíz a utilizar para el diseño de mezcla asfáltica.
- Presentar el informe de los resultados del diseño de mezcla asfáltica modificada utilizando la hoja seca de maíz

## 1.6. Justificación

Se analizarán diferentes mezclas asfálticas utilizando los diferentes agregados adicionando hoja seca del maíz para correlacionarlos.

**Justificación teórica:** para el presente proyecto de titulación se pretende mejorar la estabilidad y deformación de la mezcla asfáltica tradicional por medio de la adición de hoja seca de maíz, misma que se realizará por medio de cantidades en porcentajes en el agregado fino, dichos porcentajes será aleatorio.

Según Romero & Sánchez (2022), en su tesis titulada “Diseño de una mezcla asfáltica incorporando fibra de abacá con cal como materiales de refuerzo al comportamiento Marshall”, expresan lo siguiente:

El propósito del presente proyecto es proponer una alternativa para el mejoramiento de las propiedades de una mezcla asfáltica con fibra de abacá y cal como material alternativo. Para su desarrollo los materiales pétreos, asfalto y cal se obtuvieron en la provincia de Chimborazo mientras que la fibra de abacá se consiguió en la ciudad de Santo Domingo, a los cuales se realizaron su respectiva caracterización mediante ensayos de laboratorio para verificar el cumplimiento de

la normativa. Determinadas las características de los materiales, se trabajó con un diseño previamente elaborado y empleado por la planta asfáltica COVIPAL, con la metodología de diseño Marshall, en donde se elaboraron y ensayaron varias briquetas por cada uno de los siguientes porcentajes de cal (1.5%, 2.5% y 3.1%) y tres con la adición de fibras de abacá en porcentajes de 0.5%, 1% y 1.5 % para el mismo contenido de cal y asfalto. Los resultados obtenidos en la investigación mostraron que la mezcla modificada con 2.5% de cal y 0.5% de fibra de abacá presentaron las mejores características, puesto que se dio un incremento en la estabilidad del 21,26% respecto a la mezcla tradicional y en el flujo se redujo el valor promedio de 13.9 in/100 de la mezcla convencional a un 13.67in/100. Al implementar fibra de abacá y cal en la mezcla asfáltica mejora la propiedad mecánica de estabilidad mientras que el porcentaje de vacíos excede los límites permitidos por la norma. (sec. “Resumen”)

**Justificación práctica:** la justificación práctica del presente proyecto de titulación radica en la realización de determinados ensayos de estabilidad y flujo, en el laboratorio asfáltico se utilizará el método Marshall con el fin de determinar los resultados de la mezcla. Según Jiménez (2019) en su tesis titulada “Análisis del desempeño de una mezcla asfáltica con fibra de bambú” expresa lo siguiente:

La investigación se dirigió hacia el análisis del desempeño mecánico de una mezcla asfáltica con fibra de bambú como posible material natural y sostenible que aporte resistencia a la mezcla. En este caso, la fibra funcionó como una malla que permite resistencia a esfuerzos ocasionados por cargas puntuales o cíclicas. En el desarrollo de este proyecto, se trató de resolver un problema orientado a la utilización y el procesamiento de mezclas asfálticas con fibra celulosa, sus implicaciones y limitaciones. Se trabajó con un diseño previamente elaborado en laboratorio, con la metodología de diseño Superpave, el cual se modificó con fibra de bambú como agregado vía seca para determinar parámetros volumétricos de la mezcla y analizar el desempeño mecánico.

Los resultados obtenidos mostraron que la volumetría de la mezcla debe rediseñarse, dado que es necesario ajustar la granulometría a la fibra. Además, cabe destacar que las pruebas de desempeño mostraron resultados positivos para la mezcla con fibra, siendo esta capaz de cumplir con la mayoría de las especificaciones nacionales e internacionales. Como hecho ineludible, es necesario realizar nuevamente un diseño de control para lograr ajustar todos los parámetros a las normas AASHTO y la reglamentación nacional. (sec. "Resumen")

**Justificación metodológica:** la metodología a emplearse será con enfoque cuantitativo considerando que son operaciones numéricas medidas por cantidades de materiales en porcentaje de los agregados del asfalto, cemento asfáltico, agregados grueso y fino con un porcentaje de hoja seca de maíz.

El tipo de investigación es exploratoria al diseñar una mezcla asfáltica calculada por medio del método Marshall para analizar los resultados de las diferentes mezclas elaborada con diferentes cantidades en porcentaje de hoja seca de maíz. Es exploratoria al desconocer la cantidad óptima del porcentaje de hoja seca para utilizarla en la mezcla asfáltica.

**Justificación ambiental:** en la parte ambiental se trata de utilizar un material contaminante como es la hoja de maíz para ser utilizada como material innovador. Con esta acción se equilibra de cierta forma el medio ambiente, se mitiga la contaminación producida por la hoja seca de maíz al incorporar dicho material en el área de materiales de construcción.

## **1.7. Delimitación del problema**

**Área:** Ingeniería civil

**Campo:** Educación superior. Cuarto nivel de grado.

**Tema:** Diseño de una mezcla asfáltica modificada utilizando la hoja seca de maíz.

**Delimitación espacial:** Guayaquil, Guayas - Ecuador

**Delimitación temporal:** 12 meses

### **1.8. Línea de Investigación Institucional/Facultad.**

**Tabla 1**

*Línea de Investigación Institucional/Facultad*

Dominio	Línea de investigación institucional	Sub línea
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables	Territorio, ambiente y innovadores de construcción	Medio materiales para la construcción de Materiales

Fuente: (ULVR, 2020)

### **1.9. Idea a Defender**

Diseño de una mezcla asfáltica modificada utilizando la hoja seca de maíz

#### **Definición de Variables**

Diseño de una mezcla asfáltica

Hoja seca de maíz

## CAPÍTULO II

### 2.1. Marco Teórico

#### 2.1.1. Antecedentes Históricos

Debido a la falta de mejorar las vías que no están asfaltada, se han desarrollado en estos años muchas alternativas en la aplicación de estabilizadores en las carpetas de tráfico mediano y bajo, estas soluciones implementadas se las considera básicas y de bajos costo en su fabricación (Ministerio de Economía y Finanzas del Peru, 2015).

La utilización de esta variante está destinada en mejorar la capa de rodadura darle una mejor funcionabilidad que nos ayude a la corrección en la geometría del camino a construir, así también las obras complementarias de la vía como son el drenaje y de arte y su seguridad vial (Ministerio de Economía y Finanzas del Peru, 2015).

Desde el punto técnico, al utilizar estabilizadores en los caminos no asfaltado mejora su trabajabilidad y permite mejor las condiciones en el tráfico, esto hace posible un deterioro en su estructura a temprana edad y su mantenimiento vial se la puede ampliar, incrementando la vida útil de la vía (Ministerio de Economía y Finanzas del Peru, 2015).

Utilizando los estabilizadores incrementa el costo de la vía porque habrá mayor inversión, pero también el mantenimiento se lo realizará en tiempos mayores, su operación será mucho mejor en época de lluvia y tendrá un mejor servicio para los usuarios en sacar sus productos ya que una vía en buen estado trae muchos beneficios, todo esto va considerado en el plan social de la obra (Ministerio de Economía y Finanzas del Peru, 2015).

La fatiga en las mezclas asfáltica es el principal inconveniente en el deterioro de su estructura que afecta al pavimento asfaltico, esto es producido por las cargas vehiculares que está expuesta, produciendo perdida en su rigidez produciendo fisuras y grietas. La vida de los pavimentos está directamente relacionada con este fenómeno por ese motivo debe realizarse las correcciones adecuadas para evitar este deterioro en su estructura (Gomez y otros, 2019).

El Módulo de Rigidez es una relación de tensiones y deformaciones, que particularmente en las mezclas asfálticas no se presenta como un valor único, como en el caso de otros materiales, sino como dependiente de la Temperatura de ensayo y la Frecuencia de aplicación de la carga. Para estos materiales, el Módulo de Rigidez que valora la respuesta del pavimento asfáltico ante sollicitaciones dinámicas, considerando el rango de Temperaturas que pueda sufrir el pavimento en servicio, es comúnmente conocido como el Módulo Dinámico, Apas, Ricci y Rivera (2017).

En líneas generales puede decirse que la variación de las propiedades dinámicas por el cambio de la Temperatura provoca una disminución apreciable en el valor del Módulo Dinámico a medida que ésta aumenta. Por otro lado, el efecto de la Frecuencia de aplicación de la carga se manifiesta a través del movimiento de los vehículos pesados sobre la estructura, y genera módulos mayores a medida que la velocidad se incrementa, es decir a medida que aumenta la Frecuencia de carga, Apas, Ricci y Rivera (2017).

Para conocer en cada caso en particular cómo esto se manifiesta en forma cuantitativa, se efectúan determinaciones del módulo en laboratorio, por medio de distintos procedimientos, sometiendo a las muestras a deformación en su rango lineal, bajo cargas repetidas o cargas con velocidad de deformación controlada, registrando durante el ensayo ambos esfuerzos, Apas, Ricci y Rivera (2017).

Según De la Cruz & Orihuela (2023), en su artículo “Efecto de la adición del concreto reciclado en la estabilidad Marshall en pavimento flexibles, Moquegua, 2023” debe considerarse que:

Para el diseño de un pavimento deben revisarse varios factores, especialmente aquellos que influyen los posibles defectos de pavimentos ya existentes en carreteras. Por ejemplo, se observa en muchas vías con diseño de pavimento flexible notables daños y deterioro por elementos tanto técnicos como ambientales. Ante esto se busca el cómo mejorar las propiedades del asfalto y la clave está, además de en los aditivos, en considerar las características mecánicas y dinámicas resultantes de la mezcla: éstas pueden definir parámetros para el diseño y refuerzos. En particular, han de revisarse las características dinámicas

con más atención puesto que de ellas depende la resistencia del pavimento al tráfico. (De la Cruz & Orihuela, 2023, págs. 61-62)

Las características dinámicas de la capa de cemento asfáltico que constituyen estructuras para un pavimento han de revisarse de acuerdo a la determinación el Módulo dinámico, de la cual depende la aparición de posibles fisuras, deformación, fatiga y otros daños al pavimento.

Otro título importante a revisar es proporcionado por Moreira y Guamanquispe (2017), autores ecuatorianos de la tesis “*Análisis de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con adición de caucho de llanta reciclado*” de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil. Detallan la determinación de diferencias entre muestras de mezclas asfálticas convencionales y mezclas modificadas a distintas proporciones y tamaños de fibras de llantas caucho reciclado; fueron 60 las briquetas sometidas a ensayo y comparación en laboratorio (2017). A esto se suman especificaciones:

15 briquetas de muestras de mezcla convencional con cemento asfáltico del 5% al 7%, 15 briquetas con reemplazo de 1% del cemento por fibras de caucho reciclado, y las demás con reemplazo del 1.5% y 2% de caucho reciclado. Dichas briquetas se sometieron a ensayos y comparación de resultados, que se resumen en mejoramiento de propiedades en las mezclas modificadas (Moreira & Guamanquispe, 2017). Como conclusiones, el trabajo determina que el porcentaje de vacíos en los ensayos y llenos de asfalto (VFA) es proporcional al contenido asfáltico y de fibra de caucho, mientras que el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) mantiene constancia para todas las mezclas. Es decir, los valores de Estabilidad y Fluencia son proporcionales al contenido asfáltico y de fibras de caucho (Moreira & Guamanquispe, 2017). Como recomendaciones, el trabajo indica que la mezcla debe hacerse con cemento asfáltico entre 140 y 160 °C, de igual forma los utensilios para las briquetas. Además, si los agregados no tienen buena granulometría, debe tamizarse la muestra hasta obtener el valor necesario de acuerdo al tipo de asfalto. (Moreira & Guamanquispe, Análisis de las

propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con adición de caucho de llanta reciclado, 2017)

Por otra parte, Paredes y Aimacaña (2017) de la Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil en su tesis titulada “*Estudio comparativo del comportamiento a compresión de pavimentos asfálticos a base de polímeros y pavimentos flexibles*” expresa lo siguiente:

El polímero para la mezcla se extrajo de tapones plásticos triturados (partículas de 0.6 mm a 15 mm), lo que genera un beneficio ambiental a la vez que se mejora la calidad del asfalto. Se elaboran y ensayan a compresión (Marshall) tres briquetas de asfalto tradicional con cemento asfáltico proporcional y otras tres briquetas de asfalto modificado con polímero al 1%, 2% y 3% por cada porcentaje de cemento asfáltico. Los resultados luego se comparan en materia de estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos (Paredes & Aimacaña, 2017) Conclusiones: la estabilidad de la mezcla tradicional es de 5500 con 6.5% de cemento asfáltico, mientras que la de la mezcla modificada con 1% de polímetro es de 4600 con 6.0% de cemento asfáltico, teniendo mejor resultado. Esta última, la más óptima, quedó definida por 60% de agregado grueso, 39% de agregado fino, 1% de polímero (P.E) y 6.0% de asfalto. En cuanto a costes de producción, el metro cúbico de mezcla asfáltica tradicional en caliente está a \$103.20 USD, mientras que la mezcla modificada está a \$103.90 USD (Paredes & Aimacaña, 2017). Recomendaciones: hay beneficios ecológicos con la presente propuesta, y deben complementarse esta investigación con pruebas de la mezcla modificada en tramos que corroboren los resultados de laboratorio. También se indica la elaboración de briquetas a >120 °C (Paredes & Aimacaña, 2017).

Como se evidencia, es pertinente el constante análisis por ensayos en laboratorio de las propiedades de nuevas mezclas asfálticas modificadas propuestas previo a su aplicación práctica. Para cada caso particular, se cuantifican los valores de estas propiedades al determinar los módulos en laboratorio, sometiendo las muestras a deformación en su rango lineal, bajo cargas repetidas o cargas con velocidad de deformación controlada, registrando ambos esfuerzos (Apas y otros, 2017).



Utilizando la siguiente investigación titulada “El Pavimento Flexible Y El Método Whitetopping En Comparación Al Método Tradicional Para La Rehabilitación De La Vía Principal Del Recinto Barranca De La Ciudad De Samborondón” realizado por García Barzola Arantxa Gabriela y Terán Amen Alexander Yang, como requisito para optar al título de ingeniero civil en la Universidad Laica Vicente Rocafuerte De Guayaquil Facultad De Ingeniería, Industria Y Construcción Carrera De Ingeniería Civil, presentada en Guayaquil - Ecuador año 2022.

García y Terán (2022). La técnica del Whitetopping requiere para que sea viable su utilización, que los daños de la estructura existente sean superficiales, por cuanto ésta servirá de soporte al pavimento rígido. El uso de esta técnica aumenta el nivel de servicio y mejora la geometría de la vía, brindando así una mayor seguridad a sus usuarios. El pavimento tiene un menor costo inicial pero los mantenimientos que se deben realizar periódicamente hacen de este método más caro a largo plazo y sobre todo en época de invierno donde los daños son más considerables y costosas las operaciones de mantenimiento. La rehabilitación por medio del Whitetopping implica un costo inicial alto, pero el mantenimiento es bajo, lo que resulta favorable en sitios donde las deformaciones en el pavimento o flexible por efecto de los vehículos que frenan y arrancan frecuentemente, afectan su vida útil.

El aporte esté tema es la importancia que es contar con elementos alternativos así el costo sea superior al programado, pero hay que innovar parra utilizarlo en zonas que ameriten su utilización.

### **2.1.2. Pavimento Flexible.**

Según De la Cruz & Paredes (2021), los pavimentos flexibles son aquellos “compuestos por una capa de rodadura de material aglomerante, agregados, aditivos y capas granulares como la base y subbase” (Diseño de infraestructura vial con pavimento flexible para mejora de transitabilidad de la avenida Industrial, Lurín, Lima, pág. 109).

A esto, Cárdenas et. al (2023) aportan que el pavimento flexible es “elemental para vías que requieren buena servicibilidad, por lo que en la evaluación superficial se

vuelve indispensable el desarrollo y aplicación de alternativas tecnológicas para determinación del ciclo de vida de pavimentos flexibles” (Cárdenas y otros, 2023, págs. 10-11).

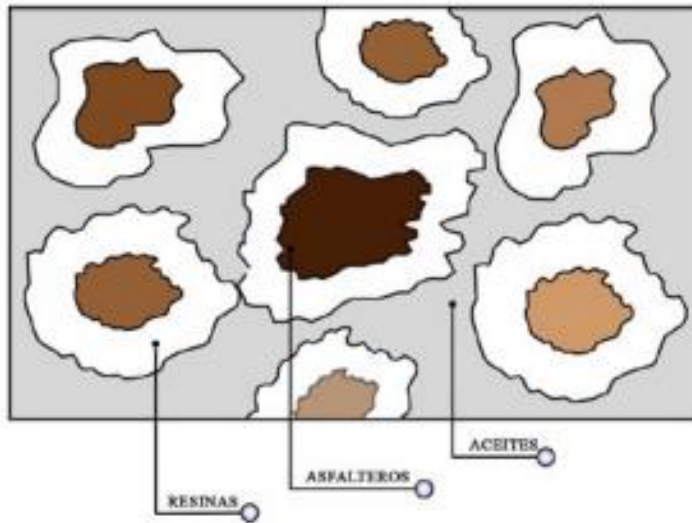
Considérese, además, que “el complejo comportamiento del pavimento varía por diversas modificaciones a las propiedades de sus materiales; por ejemplo: el envejecimiento del ligante por oxidación se asocia a materiales bituminosos que fragilizan la mezcla y propician agrietamiento” (Cárdenas y otros, 2023).

### **2.1.3. Cemento asfáltico**

El asfalto es un material de construcción utilizado desde la antigüedad principalmente por sus características como impermeabilizante. Existen más de 100 aplicaciones del asfalto que contemplan su utilización, éstas van desde la industria hasta la agricultura. Los primeros relatos de uso se pueden recoger de la Biblia con la impermeabilización de la Barca de Noé en la historia del diluvio. Así mismo, civilizaciones antiguas como Mesopotamia en el año 3800 a.c. y Egipto, relatan la utilización del asfalto en embalses. Ya en la era Moderna, las primeras aplicaciones del asfalto natural para caminos y vías se pueden encontrar en Francia (1802), Estados Unidos (1838) e Inglaterra (1868). Finalmente, con el surgimiento del vehículo a combustión, se implantó el desarrollo de combustibles extraídos del petróleo y, consecuentemente, la obtención de asfaltos refinados del petróleo.

Actualmente, el cemento asfáltico es considerado un material de construcción para pavimentos, producto del residuo de la destilación del petróleo. Este ligante asfáltico es un material constituido principalmente de bitume y otros elementos químicos (oxígeno, nitrógeno y azufre) en proporciones mínimas. El bitume es una mezcla de hidrocarbonatos solubles en bisulfato de sodio y carbono, formados de moléculas químicas categorizados en cuatro grandes grupos: saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos (SARA). Los asfaltenos son partículas coloidales recubiertas por resinas que impiden su floculación y mantienen su dispersión en aceites maltenos (Bastidas Martínez & Rondón Quintana, 2020).

**Figura 1:** Aceites para el asfalto



**Fuente:** (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020)

**Elaborado por:** Asacata (2024)

#### **2.1.4. Cementos asfálticos modificados**

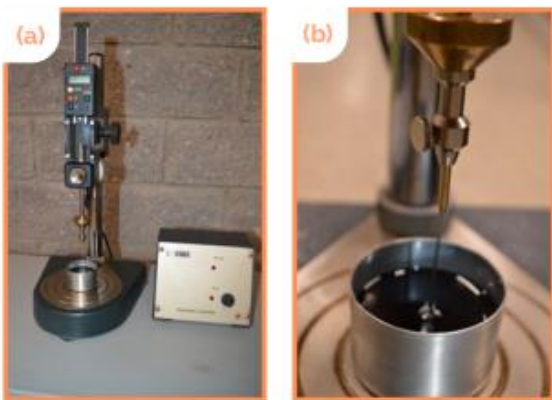
La tecnología de los asfaltos y de las mezclas asfálticas modificadas ha sido ampliamente estudiada y utilizada en el mundo. Con la adición de polímeros u otros productos, se modifican las propiedades físico-mecánicas, químicas y reológicas de las mezclas asfálticas. Cuando se utiliza esta tecnología, se pretende mejorar el comportamiento que experimentan las mezclas tradicionales cuando son sometidas a diferentes condiciones de carga y del medio ambiente. Por lo general, las propiedades que se intentan mejorar son la rigidez y la resistencia bajo carga monotónica, al ahuellamiento, a la fatiga y al envejecimiento, así como disminuir la susceptibilidad térmica. El uso de esta tecnología es también frecuente cuando es necesario que la superficie de la carretera posea una vida útil más larga de lo normal, en aplicaciones especializadas que permiten espesores más delgados de capas asfálticas o para disminuir dichos espesores (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020).

#### **2.1.5. Ensayos de laboratorio para cementos asfálticos**

### 2.1.6. Ensayo de penetración

La especificación INV-E 706 (2013) Penetración de los materiales bituminosos, define la penetración como la distancia en décimas de milímetro que una aguja penetra verticalmente en una muestra de cemento asfáltico sobre condiciones estandarizadas de carga, temperatura y tiempo. El resultado es determinado por el promedio de tres lecturas como mínimo de una aguja de masa estándar (100 g), al penetrar en un volumen comprendido entre 50 y 60 ml de cemento asfáltico durante un tiempo de cinco segundos a temperatura de 25°C. El volumen de la muestra corresponde a un diámetro de 55 mm y altura de 35 mm. Las diferencias máximas entre las lecturas de penetración deben ser de 2 y 4 (0.1 mm) para los intervalos de penetración entre 0 a 49 (0.1 mm) y 50 a 100 (0.1 mm), respectivamente (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020).

**Figura 2:** Ensayo de penetración



**Fuente:** (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020)

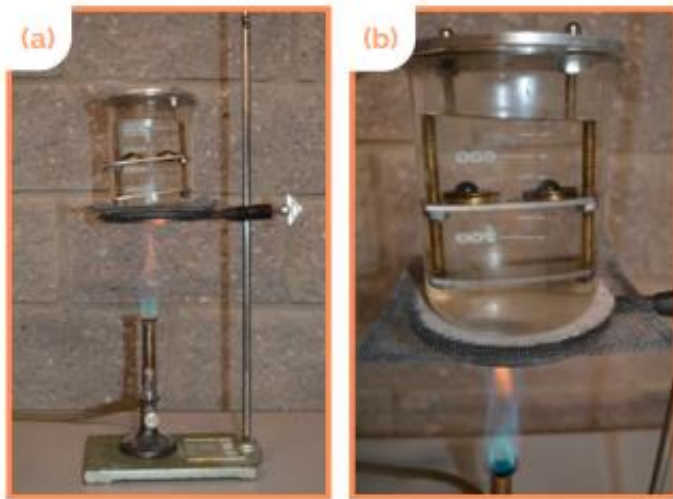
**Elaborado por:** Asacata (2024)

### 2.1.7. Ensayo de punto de ablandamiento

El punto de ablandamiento es considerado empíricamente como la medida de la temperatura, en la que el cemento asfáltico presenta una condición de fluidez (Bernucci et al., 2008). La especificación INV-E 712 (2013) determina el punto de ablandamiento por el método de “anillo y bola”. El ensayo consiste en colocar una esfera de acero sobre una muestra de asfalto confinada dentro de un anillo metálico de dimensiones estandarizadas sobre un soporte metálico. El conjunto se pone en un beaker con agua

que se calienta a temperatura controlada de 5°C/minuto, tal como es indicado en la Figura 1-4. Cuando el cemento asfáltico fluye lo necesario para no soportar más la masa de la esfera, esta penetra en el cemento asfáltico y avanza en dirección del fondo del soporte (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020).

**Figura 3:** Punto de ablandamiento



**Fuente:** (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020)

**Elaborado por:** Asacata (2024)

### 2.1.8. Viscosidad

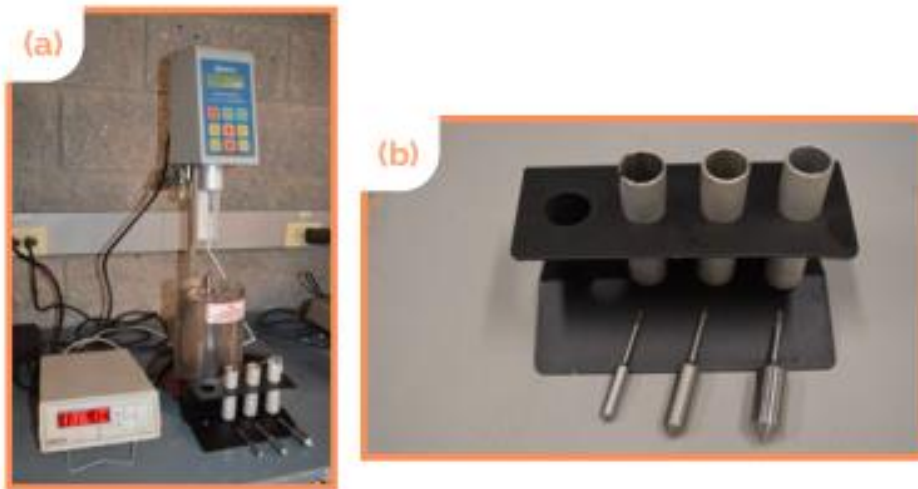
La viscosidad puede entenderse como la resistencia de un material a fluir sobre una superficie y es un parámetro físico que depende directamente de la temperatura. Cuanto mayor sea la temperatura, menos viscoso será el líquido y viceversa. Además, la viscosidad proporciona una medida indirecta de la consistencia y dureza de un cemento asfáltico; en general, cuanto más duro es el cemento, mayor es la viscosidad. En los fluidos en general, existen diferentes tipos de viscosidad:

- Viscosidad dinámica o viscosidad absoluta [Pa·s]: es la relación entre el gradiente de velocidad y el esfuerzo cortante.
- Viscosidad cinemática [m<sup>2</sup>/s]: es la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad de un líquido determinada a la misma temperatura. La unidad de medida es Stokes [St], que equivale a 100 cSt o 1 cm<sup>2</sup>/s.

- Viscosidad: es la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad a la que tarda el fluido en deformarse, exhibiendo un comportamiento no lineal. Unidad de viscosidad: • 1 poise [P] corresponde a 100 CentiPoise [cP], lo que corresponde a 1 g/[cm.s], equivalente a 0,1 Pa.s.
- 1 cP equivale a  $10^{-3}$  Pa.s.
- En S.I la viscosidad se mide en pascal-segundos [Pa.s].

Para obtener la viscosidad del cemento bituminoso se suele recomendar su determinación mediante un viscosímetro rotatorio. El propósito de la prueba usando este instrumento (AASHTO T 316 y ASTM D 4402), es determinar la viscosidad absoluta del cemento asfáltico, definida como la resistencia al corte interno del fluido, desplazado por la fuerza requerida para inducir el flujo entre los puntos de contacto de las muestras de cemento bituminoso.

**Figura 4:** Ensayo de viscosidad



**Fuente:** (Bastidas Martínez & Rondón Quintana, 2020)

**Elaborado por:** Asacata (2024)

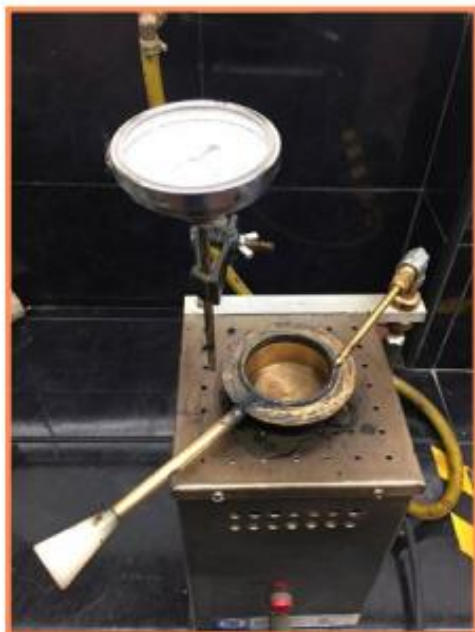
### **2.1.9. Punto de inflamación y combustión mediante la copa abierta Cleveland**

En el cemento asfáltico, el punto de inflamación es definido como la mínima temperatura a la cual la aplicación de una fuente de ignición hace que los vapores de la muestra de cemento asfáltico desprendan una llamarada repentina bajo condiciones normalizadas. Por otra parte, el punto de combustión se entiende como la máxima temperatura a la cual la aplicación de una fuente de ignición provoca que los vapores de la muestra de cemento asfáltico ardan con una llama sostenida durante cinco segundos bajo condiciones normalizadas, según la especificación INV-E 709 (2013).

La importancia del ensayo radica en obtener una temperatura de referencia con el fin de tener los cuidados necesarios (seguridad) en la manipulación del cemento asfáltico durante su transporte y operación en la planta de asfaltos. Entre mayor sea el punto de inflamación, menor es la probabilidad de experimentar problemas de combustión e inflamación durante los procesos de almacenamiento del cemento asfáltico y de fabricación de las mezclas en las plantas asfálticas. El procedimiento del ensayo consiste en someter una cantidad mínima de 70 gramos de cemento asfáltico a calentamiento en un equipo denominado copa abierta de Cleveland.

El ensayo puede ser ejecutado en equipos de operación convencional o automática. Inicialmente, la muestra es sometida a calentamiento con una velocidad de 5 a 17 °C por minuto hasta alcanzar 28 °C por debajo del supuesto punto de inflamación. Posteriormente, se realiza un barrido de llama por cada incremento de 2 °C con un movimiento suave y continuo por  $1 \pm 0.1$  segundos. Finalmente, son determinadas las temperaturas del punto de inflamación y combustión del cemento asfáltico, expresados en grados Celsius (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020).

**Figura 5:** Ensayo de punto de inflamación



**Fuente:** (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020)

**Elaborado por:** Asacata (2024)

### **2.1.10. Densidad relativa (gravedad específica)**

La densidad del cemento asfáltico es considerada como la relación entre la masa y el volumen, mientras que la densidad relativa o gravedad específica es considerada como la relación entre la masa de un volumen de cemento asfáltico y la masa de un volumen de agua igual, determinadas a una misma temperatura. La densidad relativa del cemento asfáltico se determina según la especificación INV-E 707 (2013), por medio de un juego de lecturas del picnómetro previamente calibrado. Para tal fin, es necesaria la masa del picnómetro vacío, con muestra de cemento asfáltico con y sin agua, y finalmente lleno con agua. El picnómetro utilizado debe tener una capacidad entre 24 y 30 ml y una masa total inferior a 40 ml. Los esquemas del picnómetro se ilustran. El cálculo de la densidad relativa del cemento asfáltico es determinado con las ecuaciones, y se expresa con aproximación a 0.001. El valor obtenido de densidad relativa — gravedad específica— del cemento asfáltico, es necesario para la determinación de parámetros volumétricos y para el diseño de la mezcla asfáltica (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020).



**Figura 6:** Ensayo densidad relativa



**Fuente:** (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020)

**Elaborado por:** Asacata (2024)

### **2.1.11. Envejecimiento del cemento asfáltico a corto y largo plazo**

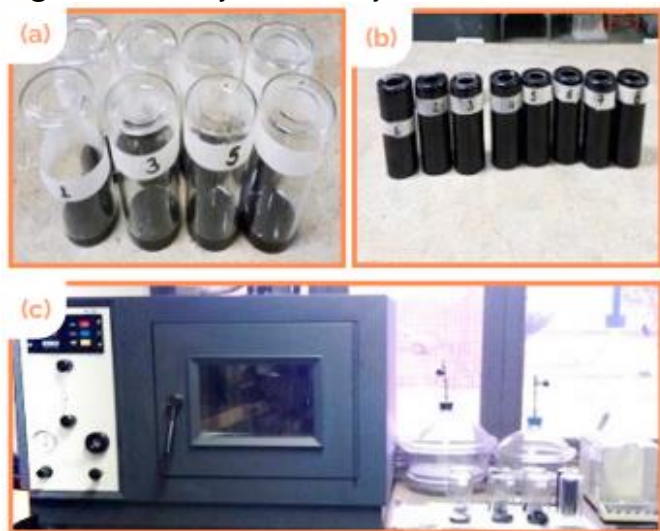
El estudio de las propiedades de los cementos asfálticos se debe realizar en tres etapas: (I) sobre la condición de muestra virgen o asfalto original, sin envejecimiento; (II) durante los procesos de fabricación, transporte, extensión y compactación de la mezcla asfáltica, representado como el envejecimiento a corto plazo; (III) finalmente, en la etapa de la vida útil o de servicio de la mezcla asfáltica en campo, conocido como el envejecimiento a largo plazo (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020).

### **2.1.12. Envejecimiento a corto plazo**

Para determinar el efecto del calor y del aire en una película delgada rotacional para materiales asfálticos, se usará la especificación ASTM D 7175 (ASTM 2008) y para el caso colombiano la INV-E 720 (2013). El objetivo del ensayo en el Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) es simular el envejecimiento a corto plazo que experimenta el asfalto durante el proceso de fabricación de la mezcla, sometiendo una película delgada de CA a calor y aire en el horno o compartimento giratorio del RTFOT. Para el ensayo es necesario la inclusión de aire mediante un caudal con taza constante a temperatura de 163°C. Como resultado del ensayo, se obtiene entonces una muestra de CA envejecida a corto plazo, y como parámetro principal de evaluación, se calcula el porcentaje de

pérdida de masa del CA antes y después de la ejecución del ensayo, equivalente a la pérdida de las fracciones químicas más leves, tales como los saturados y aromáticos (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020)

**Figura 7:** Ensayo de envejecimiento



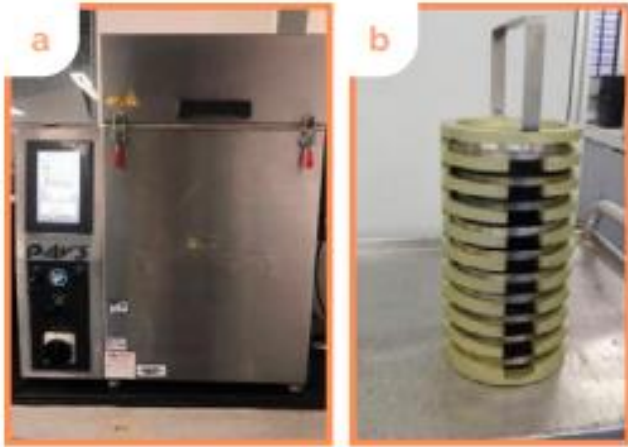
**Fuente:** (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020)

**Elaborado por:** Asacata (2024)

### 2.1.13. Envejecimiento a largo plazo

Para determinar el efecto del envejecimiento a largo plazo del asfalto (aproximadamente entre 7 a 10 años), es utilizado el equipo denominado vasijas de envejecimiento a presión, por sus siglas en inglés Pressure Aging Vessel (PAV). Este ensayo es regulado por la especificación ASTM D 7175 (ASTM 2008) y para el caso colombiano por la INV-E 720 (2013). El objetivo del envejecimiento a largo plazo en el PAV es simular el efecto del endurecimiento por oxidación del asfalto al estar expuesto durante su vida útil o servicio en campo. Para el ensayo es necesario poner muestras de asfalto, previamente envejecidas en el RTFOT, en unas placas metálicas por 20 horas a una presión de 2.1 MPa y temperaturas en función de la caracterización SUPERPAVE para la determinación del PG del cemento asfáltico (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020).

**Figura 8:** Ensayo de envejecimiento



**Fuente:** (Bastidas Martínez & Rondón Quintana, 2020)  
**Elaborado por:** Asacata (2024)

#### **2.1.14. Agregados Pétreos**

La denominación técnica agregados pétreos en pavimentos se refiere a un conglomerado de partículas inertes de gravas, arenas finas o fillers (naturales o artificiales); utilizados ya sea para la fabricación de mezclas asfálticas, concretos hidráulicos y materiales estabilizados o para la construcción de capas de terraplén, afirmado, subbase o base granular. En términos generales, en un ensayo de granulometría por cribado o tamizado, las partículas con diámetro entre 2 mm y 6.4 cm son reconocidas como gravas, aquellas con diámetro entre 0.075 y 2 mm son reconocidas como arenas (gruesas y finas) y las que son de diámetro inferior a 0.075 mm son vistas como tamaño de arcilla. Estas últimas pueden adquirir la denominación de filler o llenante mineral si no experimentan plasticidad en contacto con el agua (índice de plasticidad,  $IP=0$ ) (Bastidas Martínez & Rondón Quintana, 2020).

Dentro de una estructura de pavimento con capa asfáltica, los agregados pétreos más exigentes en cuanto a durabilidad, textura y resistencia mecánica, son aquellos que conforman las mezclas asfálticas. En estos últimos materiales los agregados pétreos conforman entre el 88% y el 96% de la masa y más del 75% del volumen. En las mezclas

asfálticas son los encargados de soportar las cargas impuestas por el parque automotor y transmitirla en menores proporciones a las capas subyacentes. De la calidad de estos materiales depende en gran medida la evolución de los mecanismos de daño que ocurren en las mezclas asfálticas como son el ahuellamiento, la fatiga, el stripping y el daño por humedad (Bastidas Martínez & Rondón Quintana, 2020).

**Figura 9:** Ensayo de agregados pétreos



**Fuente:** (Bastidas Martínez & Rondón Quintana, 2020)

**Elaborado por:** Asacata (2024)

### **2.1.15. Ensayos de caracterización física**

### **2.1.16. Análisis granulométrico de las fracciones de agregados grueso y fino**

El ensayo de análisis granulométrico o granulometría permite definir el tamaño y la distribución de tamaños de las partículas de los agregados. La especificación colombiana INV- E 213 (2013) permite determinar cuantitativamente el tamaño de las partículas para las fracciones gruesa y fina, respectivamente, por medio de tamizado. Para tal fin, se selecciona una muestra representativa del material de acuerdo con los lineamientos de las especificaciones INV-E 201 (2013) e INV-E 202 (2013). La cantidad mínima de agregado grueso necesaria para el ensayo de granulometría está en función del tamaño máximo nominal del agregado. Para el agregado fino, se seleccionará una

muestra de agregado superior a 300 gramos. Para la realización del ensayo es necesario garantizar la cantidad de muestra, que debe ser lavada y seca hasta obtener masa constante. Posteriormente, el material debe ser sometido a tamizado utilizando la serie estándar de tamices. Para el proceso de tamizado se pueden utilizar métodos manuales o equipos mecánicos según las especificaciones (Bastidas Martínez & Rondón Quintana, 2020).

### **2.1.17. Ensayo de resistencia al desgaste en la máquina Los Ángeles**

Para fines de pavimentación, los agregados deben resistir la quiebra, la degradación y la desintegración, causadas por la acción del tránsito de vehículos y la manipulación durante el proceso constructivo de la capa asfáltica. Los agregados deben presentar características de tenacidad, resistencia a la abrasión y dureza, que son evaluadas en parte por el ensayo en la máquina de Los Ángeles (Bernucci et al., 2008). Las especificaciones INV-E 218-13 e INV-E 219-13 describen la abrasión como el desgaste que experimenta el agregado cuando es sometido a ciclos de desgastes en la máquina “Los Ángeles” para las fracciones gruesas (tamaños mayores de 19 mm - 3/4”) y fracciones medianas (tamaños mayores de 37.5 mm - 1 1/2”), respectivamente. El agregado es sometido a una carga abrasiva por medio de esferas de acero, a una velocidad y revoluciones estándar.

Durante el ensayo, los agregados pétreos son impactados dentro de un cilindro metálico por esferas de acero de diámetro aproximado 46.8 mm y una masa comprendida entre 390 g y 445 g. El procedimiento del ensayo consiste en realizar el análisis granulométrico del agregado y posteriormente seleccionar la cantidad de muestra inicial conforme las informaciones presentadas para las fracciones medianas y gruesas respectivamente.

Posteriormente, se incorpora en la máquina de los Ángeles el material con la carga abrasiva y se somete a 500 giros del tambor con una velocidad entre 30 y 33 rpm. La carga abrasiva o número de esferas para la fracción mediana de agregado. Para el ensayo de la fracción gruesa, se debe utilizar una carga abrasiva correspondiente a 12 esferas de acero. Posteriormente, al sometimiento del material con la carga abrasiva en

la máquina de los Ángeles, se realiza la extracción del material y se pasa por el tamiz #12 (1.70 mm) mediante un proceso de lavado. El material retenido en dicho tamiz se seca y se pesa (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020).

**Figura 10:** Ensayo de abrasión



**Fuente:** (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020)  
**Elaborado por:** Asacata (2024)

### 2.1.18. Relaciones de peso y volumen

La relación entre la cantidad de materia, masa, y volumen, se denomina masa específica y se expresa en  $t/m^3$ ,  $kg/m^3$  o  $g/cm^3$ . Por otra parte, la relación entre peso (masa por gravedad) y volumen, se denomina el peso específico y se expresa generalmente en  $kN/m^3$ . Por tanto, el término comúnmente conocido como densidad hace referencia la masa específica. Por otra parte, el termino densidad relativa, considera la relación entre la densidad del material y la densidad del agua a  $4^\circ C$ , obteniendo un valor adimensional. Para el estudio de los agregados pétreos para mezclas asfálticas, es necesario considerar las fracciones gruesa, fina y la llenante mineral (filler). En este sentido, existen tres metodologías para determinar las relaciones de masa y volumen para las diferentes fracciones de agregados. Por otra parte, se debe tener en cuenta el volumen real y el aparente de las partículas del agregado (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020).

### 2.1.19. Densidad bulk de la llenante mineral en kerosene

El método en laboratorio para la determinación de la masa específica de la llenante mineral se puede realizar según los lineamientos de la especificación INV-E 307 (2013), que tiene por objetivo determinar la densidad del cemento hidráulico. Para el procedimiento de ensayo, la especificación contempla la colocación de 60 gramos de muestra seca de llenante mineral en un frasco Le Chatelier, con el fin de determinar el volumen. El volumen ocupado por el material, es obtenido a partir de la lectura del volumen inicial del líquido y la lectura del volumen final de líquido desplazado por la cantidad de material introducido en el frasco. El cálculo de la densidad bulk de la llenante mineral se determina con la relación de la masa del material y el volumen del líquido desplazado (Bastidas Martínez & Rondón Quintana, 2020).

**Figura 11:** Ensayo de densidad



**Fuente:** (Bastidas Martínez & Rondón Quintana, 2020)

**Elaborado por:** Asacata (2024)

### 2.1.20. Adhesividad del agregado grueso al ligante asfáltico

Un método para determinar las propiedades que tiene el agregado grueso de ser adherido por un material asfáltico, es descrito por la especificación brasilera del Departamento Nacional de Infraestructura de Transportes DNIT 078 (1994), Adhesividad al cemento asfáltico. El ensayo consiste en medir el desplazamiento de una película

asfáltica que recubre el agregado, cuando la mezcla (agregado-asfalto) se somete a 40 °C a la acción de agua destilada durante 72 horas. Para la fabricación de la mezcla (agregado-asfalto), son utilizados 500 gramos de agregado grueso en la fracción que pasa por el tamiz ¾" y retenida en el tamiz 3/8" (previamente lavado y secado), y 17.5 gramos de asfalto. El asfalto se debe calentar a 120°C y el agregado a 100°C, posteriormente, se deben mezclar por medio de una espátula de manera que garantice el recubrimiento total de las partículas. El resultado es de tipo cualitativo y se reporta como satisfactorio cuando no se verifica el desplazamiento de la película de asfalto al finalizar las 72 horas (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020).

**Figura 12:** Ensayo de granos de asfalto



**Fuente:** (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020)  
**Elaborado por:** Asacata (2024)

### **2.1.21. Concreto Asfáltico**

El hormigón asfáltico es el material de construcción de pavimentos flexibles más utilizado en el mundo. Las mezclas bituminosas son todos los áridos recubiertos de una película de material bituminoso, utilizados principalmente como abrasivo para pavimentos flexibles. En este sentido, la mezcla asfáltica debe tener ciertas propiedades mecánicas y funcionales que contribuyan al desempeño de la estructura del pavimento. Las principales ventajas de utilizar mezclas asfálticas son:



- Son materiales duraderos, resistentes al envejecimiento ya la oxidación.
- Debido a su baja porosidad, son muy resistentes y duraderos.
- Impermeabilización superficial de pavimentos.
- En cuanto a las desventajas del uso de estas mezclas, se pueden señalar las siguientes.
- Debido a la baja porosidad, la textura de la superficie no es la mejor para lograr una buena fricción entre el neumático y la carretera.
- Contribuyen a los niveles de agua subterránea durante las lluvias, aumentando la probabilidad de hidroplano y aumentando los accidentes de tráfico.
- Difícil de producir y construir, ya que se esparce y compacta a altas temperaturas, hay un impacto negativo en el medio ambiente por las emisiones.

### **2.1.22. Diseño de mezclas asfálticas densas en caliente**

El diseño de mezclas de concreto asfáltico consiste en el estudio detallado de las características físicas de los agregados pétreos y de los materiales asfálticos para la determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico. Este último debe garantizar la correcta interacción de los materiales constituyentes de la mezcla en términos volumétricos y de resistencia. Altos contenidos de asfalto en la mezcla pueden contribuir al problema de exudación y, consecuentemente, ahuellamiento en el desempeño de la vida útil del pavimento.

En sentido contrario, un bajo porcentaje de asfalto origina separación o desagregación de la mezcla asfáltica en servicio, con lo cual, se pueden desarrollar diferentes patologías en el pavimento (por ejemplo: stripping, pérdida de resistencia al daño por humedad, envejecimiento prematuro, entre otras). Para el diseño de mezclas asfálticas existen diversas metodologías, entre las que se destacan: el método Marshall, método Hveem y la metodología Superpave. En el presente documento se describirán detalladamente los métodos Marshall y Superpave por ser los más utilizados en la Ingeniería de Pavimentos; y se dejará de lado el método Heveem, debido a que no es ampliamente utilizado en la práctica actual (Bastidas Martínez & Rondón Quintana, 2020).

### 2.1.23. Diseño Marshall

El ensayo Marshall es el más utilizado para determinar el contenido de asfalto óptimo en mezclas asfálticas del tipo denso y en caliente (por ejemplo: concreto asfáltico). Tal como se mencionó con anterioridad, mezclas asfálticas con elevados contenidos de asfalto pueden tener tendencias a la ocurrencia de deformaciones permanentes excesivas o ahuellamiento. En sentido contrario, las mezclas asfálticas con bajos contenidos de asfalto pueden tener tendencia a la ocurrencia de fisuras o agrietamiento por fatiga (Bernucci et al., 2008), así como disminución de la resistencia al daño por humedad y al envejecimiento.

El ensayo de estabilidad y flujo Marshall fue desarrollado por el ingeniero Bruce Marshall en los años 40; surgió como ayuda en la determinación de las proporciones de los materiales constituyentes de las capas de rodadura de las pistas de aterrizaje y salida de las aeronaves en la segunda guerra mundial. El ensayo es regulado por la especificación INV-E 748 (2013) y tiene como objetivo determinar la resistencia máxima a la compresión radial y el desplazamiento total presentado en una briqueta o muestra Marshall desde la aplicación de una carga inicial nula hasta la carga máxima de ruptura (carga monotónica), bajo temperatura de ensayo de 60 °C. En ese sentido, la realización del ensayo permite obtener una idea de la cohesión de la mezcla asfáltica y su resistencia bajo carga monotónica a altas temperaturas de servicio (Bastidas Martínez & Rondón Quintana, 2020).

Algunos investigadores mencionan que la resistencia es un indicador de la resistencia al hundimiento en climas de alta temperatura. Además, la prueba se utiliza para determinar la composición volumétrica de la mezcla. Para diseñar una mezcla asfáltica utilizando el método Marshall se siguen los siguientes pasos:

- Determinar el tipo de mezcla bituminosa.
- Medir la granulosis del asfalto.
- Propiedades de los áridos para asfalto.
- Propiedades físicas del asfalto.

- Determinar la temperatura de trabajo. Seleccione la cantidad de asfalto que se puede utilizar.
- Separación de las fracciones para la elaboración de las briquetas Marshall.
- Fabricación de briquetas Marshall.
- Definir parámetros volumétricos.
- Definir parámetros de resistencia mecánica.
- Selección del contenido óptimo de cemento bituminoso

### 2.1.24. Tipo de mezcla asfáltica

Existen mezclas asfálticas que pueden ser utilizadas como capa de rodadura, capas intermedias y capas de base asfáltica, en función del diseño estructural del pavimento. El Artículo 450-INVÍAS (2013) y el artículo 510- IDU (2011), especifican emplear los tipos de mezclas en función del tipo de subcapa que se vaya a conformar dentro de la capa asfáltica y del espesor compacto de ésta (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020).

**Figura 13:** Tipo de mezcla

Tipo de capa	Espesor compacto [cm]	Tipo de mezcla
<b>INVÍAS (2013)</b>		
Rodadura	3-4	MDC-10
	4-6	MDC-19, MSC-19
	> 6	MDC-25, MDC-19, MSC-19
Intermedia	> 5	MDC-25, MSC-25
Base	> 7.5	MSC-25, MGC-38, MGC-25
Alto módulo	6-13	MAM-25
Bacheo	5-7.5	MSC-25, MGC-25
	> 7.5	MSC-25, MGC-38, MGC-25

**Fuente:** (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020)

**Elaborado por:** Asacata (2024)

**Figura 14:** tipo de mezcla

Tipo de capa	Espesor compacto [cm]	Tipo de mezcla
<b>IDU (2011)</b>		
Rodadura	3-4	MD10
	4-6	MD12, MS12
	6-10	MD20, MS20
Intermedia	5-75	MD20, MS20
	75-10	MD20, MS20/MS25
Base	75-15	MD20, MS25, MG20/MG25
Alto módulo	6-13	MAM20

**Fuente:** (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020)

**Elaborado por:** Asacata (2024)

**Figura 15:** tipo de mezcla

Tipo de Mezcla Densa en Caliente	Tamiz (mm / U.S. Standard)										
	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075	
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200	
% Pasa											
Densa	MDC - 25		100	80-95	67-85	60-77	43-59	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC - 19			100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC - 10					100	65-87	43-61	16-29	9-19	5-10
Semi densa	MSC - 25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
	MSC - 19			100	80-95	65-80	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
Gruesa	MGC - 38	100	75-95	65-85	47-67	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
	MGC - 25		100	75-95	55-75	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
Alto Módulo	MAM- 25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	10-20	8-14	6-9
Tolerancias' (±)		-	4%					3%			2%

**Fuente:** (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020)

**Elaborado por:** Asacata (2024)

### 2.1.25. Fabricación de las briquetas Marshall

Luego de separar las fracciones granulométricas y realizar la respectiva dosificación del material, se deben someter a calentamiento los agregados y el asfalto. La temperatura de calentamiento del asfalto se obtiene a partir del resultado de viscosidad, y los agregados se deben someter a una temperatura entre 10 a 15 °C por encima de la temperatura del asfalto. Posteriormente, se realiza la mezcla por un periodo inferior a dos minutos, garantizado el recubrimiento de los agregados por la lámina de

asfalto. Finalmente, se hace la compactación de la briqueta en un molde metálico, generalmente con 75 golpes por capa con un martillo normalizado. Previamente al proceso de compactación, se realiza un acomodo del material con ayuda de una espátula, generando 10 golpes centrales y 15 golpes laterales (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020).

**Figura 16:** Ensayo de briqueta



**Fuente:** (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020)  
**Elaborado por:** Asacata (2024)

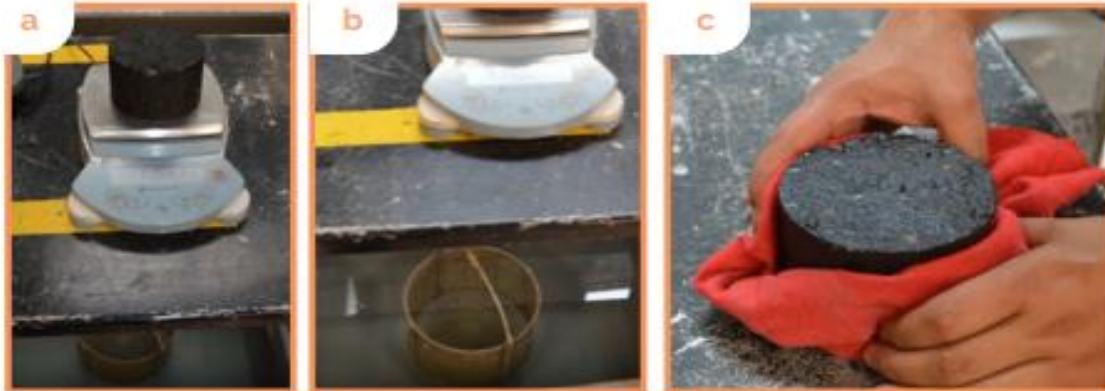
### **2.1.26. Determinación de los parámetros volumétricos**

Después de la realización de las briquetas, se procede a determinar los principales parámetros volumétricos, tales como: gravedad específica máxima teórica, gravedad específica aparente ( $G_{mb}$ ), con el fin de determinar los vacíos con aire ( $V_a$ ), vacíos en el agregado mineral (VAM) y los vacíos llenos con asfalto (VFA) (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020)

La gravedad específica aparente ( $G_{mb}$ ) se puede determinar teniendo en cuenta la relación de masa y volumen, considerando los vacíos presentes en la mezcla asfáltica. La determinación de la gravedad específica aparente de la mezcla asfáltica compacta se puede realizar a partir del principio de la balanza hidrostática, teniendo en consideración el principio físico de Arquímedes. El cálculo matemático se puede realizar utilizando la

relación entre la masa seca al aire y el volumen desplazado por el empuje del agua, según la Ecuación 53 (Bastidas Martínez & Rondón Quintana, 2020).

**Figura 17:** Gravedad específica

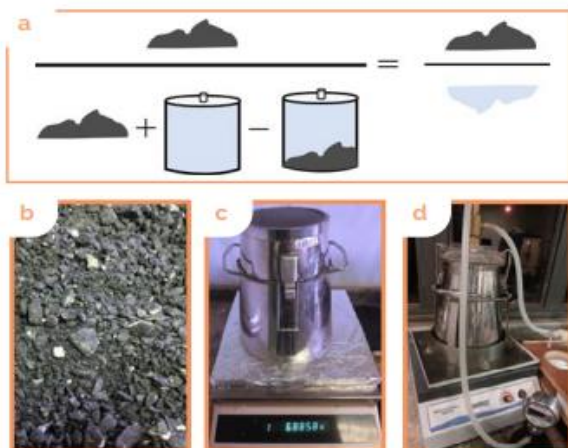


**Fuente:** (Bastidas Martínez & Rondón Quintana, 2020)

**Elaborado por:** Asacata (2024)

La gravedad específica máxima teórica (Gmm) se considera como la relación entre la masa y el volumen de las partículas de agregados recubiertos por asfalto, sin considerar los vacíos generados en el contacto de las partículas. La Gmm se puede obtener por medio de la expresión matemática que relaciona el valor porcentual y las masas específicas de los materiales constituyentes de la mezcla asfáltica. La ecuación 54 muestra la expresión matemática que relaciona el cálculo de la Gmm, su uso está limitada a agregados que presenten bajos valores de absorción (Bastidas Martínez & Rondón Quintana, 2020).

**Figura 18:** ensayo de gravedad específica



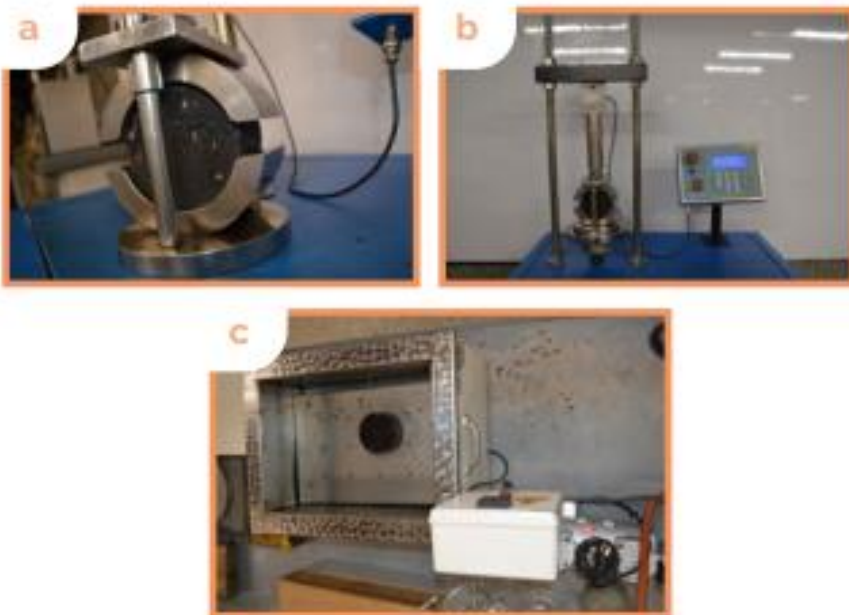
**Fuente:** (Bastidas Martínez & Rondón Quintana, 2020)

**Elaborado por:** Asacata (2024)

### **2.1.27. Determinación de los parámetros de resistencia mecánica: estabilidad y flujo Marshall**

La estabilidad (E), el flujo (f) y relación E/F se consideran parámetros de resistencia para el diseño de las mezclas asfálticas, los cuales son utilizados para determinar el contenido óptimo de asfalto y se obtienen según la especificación INV-E 748 (2013). La especificación de diseño de mezclas asfálticas densas en caliente para un nivel de tránsito alto, contemplan un valor mínimo de 9000 N para una energía de compactación de 75 golpes por cada cara de la briqueta. La metodología del ensayo consiste en la aplicación de una carga sobre una briqueta solicitada diametralmente en el estado plano de tensión a la temperatura de 60 °C, la cual se alcanza mediante el condicionamiento por un intervalo entre 30 y 40 minutos en un baño María. La aplicación de la carga monotónica se realiza aplicando una velocidad de 48 mm/s y se determina el desplazamiento vertical en el estado de falla, entendido como el flujo Marshall. Por otra parte, la relación entre la estabilidad y el flujo (E/F) define la resistencia bajo carga monotónica del material y es un indicador de “rigidez (Bastidas Martínez & Rondón Quintana, 2020).

**Figura 19: Ensayo Marshall**



**Fuente:** (Bastidas Martínez & Rondón Quintana, 2020)  
**Elaborado por:** Asacata (2024)

### **2.1.28. Diseño de mezcla asfáltica**

El procedimiento del diseño de mezcla involucra los siguientes pasos básicos:

- Determinación del agregado pétreo.
- Caracterización del cemento asfáltico.
- Verificación de la proporción llenante mineral y asfalto.
- Selección de la cantidad de los cuerpos de prueba o briquetas a realizar.
- Compactación de los cuerpos de prueba en el compactador giratorio.
- Determinación de los parámetros volumétricos para establecer el contenido óptimo de asfalto.
- Realización de los ensayos de comportamiento mecánico

## **2.2. Marco conceptual**

**Arena:** Materia constituida por pequeños granos de mineral desprendidos de las rocas y acumulados en playas, márgenes de ríos o formando capa sobre un terreno.



**Arena triturada:** Es un producto con tamaño de sus partículas entre 0 y 4 milímetros resultado de la molienda y cribado a un tamaño menor de 4 mm en el circuito secundario en nuestra planta de fabricación de áridos.

**Grava triturada:** garantiza una mayor resistencia del hormigón, gracias a la conexión de las partículas angulosas.

**Granulometría:** es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica con fines de análisis tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas.

**Peso unitario:** de una sustancia se define como su peso por unidad de volumen.

**Gravedad específica:** es una comparación de la densidad de una sustancia con la densidad del agua.

**Gravedad específica neta, Gsb.:** Proporción de la masa al aire de una unidad de volumen de un material permeable (incluyendo vacíos permeables e impermeables del material) a una temperatura indicada.

**Gravedad específica aparente, Gsa.:** Proporción de la masa en aire de una unidad de volumen de un material impermeable a una temperatura indicada.

**Gravedad específica efectiva, Gse.:** Proporción de la masa en aire de una unidad de volumen de un material permeable (excluyendo vacíos permeables de asfalto) a una temperatura indicada.

**Absorción del asfalto:** La absorción se expresa como un porcentaje de la masa del agregado, más que como un porcentaje del total de la masa de la mezcla.

**Ensayo de Abrasión:** que se emplea para determinar el comportamiento de cualquier material frente al desgaste que producirá un agente externo.

**Ligante:** materiales bituminosos proporcionan elasticidad al pavimento, característica por la cual los pavimentos bituminosos reciben el nombre de flexibles.

**Mezcla asfáltica:** es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos.

**Ensayo de Marshall:** es para determinar el contenido óptimo de asfalto para un determinado diseño.

**Ensayo de briqueta:** es una mezcla de asfalto en caliente para el pavimento flexible que sirve para el control de calidad.

**Ensayo Rice:** determina la gravedad específica de la mezcla asfáltica.

**Estabilidad Marshall:** Se define la estabilidad Marshall como el número total de newtons (N) necesarios para producir la falla de la probeta a 60° C.

**Flujo:** Deformación del espécimen al punto de máxima carga.

**Asfalto:** también denominado betún o chapopote (en México y Venezuela), es la mezcla de brea, que es un material viscoso, pegajoso y de color plomo (gris oscuro).

**Prueba volumétrica:** Un factor que debe tenerse en cuenta al considerar el comportamiento de la mezcla asfáltica es el de las proporciones volumétricas de los componentes, el ligante asfáltico y el agregado.

**Arena:** Conjunto de partículas pequeñas de rocas que se acumulan en las orillas del mar o de los ríos, que se usan para elaborar morteros y hormigones (Construmática, 2018).

**Arena triturada:** Es la partícula fina de entre 0 y 4 milímetros resultado de la roca triturada y cribada de tamaño menor de 4 mm.

**Grava triturada:** es el material rocoso de varios tamaños la cual se transporta para ser procesado en la cribadora para obtener granos homogéneos útil para su utilización (Geologiaweb, 2020).

**Granulometría:** es la separación de los materiales de acuerdo a su tamaño y se la representa en una curva granulométrica de tamaño vs % retenido. (idb, 2017).

**Pesa unitaria:** El peso específico es la relación existente entre el peso y el volumen que ocupa una sustancia en el espacio. Es el peso de cierta cantidad de sustancia dividido el volumen que ocupa (Concepto.de, 2020).

**Gravedad específica:** es la relación entre una sustancia y otra de referencia (es usual que en este caso se utilice agua) (Lifeder, 2018).

**Gravedad específica neta,  $G_{sb}$ .**: Proporción de la masa al aire de una unidad de volumen de un material permeable (incluyendo vacíos permeables e impermeables del material) a una temperatura indicada.

**Gravedad específica aparente,  $G_{sa}$ .**: Proporción de la masa en aire de una unidad de volumen de un material impermeable a una temperatura indicada.

**Gravedad específica efectiva,  $G_{se}$ .**: Proporción de la masa en aire de una unidad de volumen de un material permeable (excluyendo vacíos permeables de asfalto) a una temperatura indicada.

**Absorción del asfalto:** es el porcentaje de la masa del agregado.

**Ensayo de Abrasión:** Es el desgaste por fricción, en los agregados gruesos una de sus propiedades físicas en las cuales sus importancia y conocimiento son indispensables en el diseño de mezcla (SlideShare, 2015).

**Ligante:** Materiales bituminosos proporcionan elasticidad al pavimento, característica por la cual los pavimentos bituminosos reciben el nombre de flexibles.

**Mezcla asfáltica:** Es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos.

**Ensayo de Marshall:** Determina el contenido óptimo de asfalto para un diseño dado.

**Ensayo de briqueta:** Es una mezcla de asfalto en caliente para el pavimento flexible que sirve para el control de calidad.

**Ensayo Rice:** Determina la gravedad específica de la mezcla asfáltica.

**Estabilidad Marshall:** es la carga máxima que soporta la briqueta de asfalto realizada a una temperatura determinada (Scribd, 2017).

**Flujo:** es la deformación que de la probeta al realizar el ensayo de estabilidad hasta lograr su falla (Scribd, 2017).

**Asfalto:** es producido por el proceso de destilación del petróleo que se los mezcla con el agregado fino y grueso para formar el pavimento asfáltico (Definición, 2017).

**Prueba volumétrica:** es la reacción química de una muestra con una cantidad desconocida y compararla con otra conocida (Ejemplode, 2017).

### 2.3. Marco legal

La pirámide de Kelsen es una representación gráfica de la idea de sistema jurídico escalonado. Esta figura muestra de manera simple la manera en la que se relacionan el conjunto de normas jurídicas de un ordenamiento jurídico, que para Kelsen es el principio de jerarquía normativa. Esto implica que una norma situada en un escalón concreto nunca va a poder contradecir a una norma situada en un escalón superior (Gonzales, 2020).

#### **Ministerio y Transporte de Obras Públicas en sus capítulos.**

- SECCION 405      Capas de Rodadura      IV-77
- SECCION 811      Agregados para Hormigón Asfáltico      VIII-94

#### **Normas Técnicas Ecuatorianas**

- INEN NTE 2515: Producto derivado del petróleo - cemento asfáltico.
- INEN NTE 2515 – 808 Determinación del punto de inflamación en capa abierta Cleveland.
- INEN NTE 2515 – 915 Determinación de la solubilidad en tricloroetileno.
- INEN NTE 2515 – 916 Determinación de la Ductilidad.
- INEN NTE 2515 – 917 Determinación de la penetración.
- INEN NTE 923      Gravedad específica del asfalto.
- INEN NTE 0695      Muestreo del agregado.
- INEN NTE 696 y 697      Ensayos granulométricos.
- INEN NTE 0860      Ensayos de Abrasión.
- INEN NTE 0858      Determinación de la masa unitaria en agregado.
- INEN NTE 0857      Determinación del peso específico en agregado grueso.

- INEN NTE 0856 Determinación del peso específico en agregado fino.

### **Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM)**

- ASTM D3381 Cemento de asfalto graduado de viscosidad para uso en la construcción de pavimentos.
- ASTM D4867 Método de prueba para el efecto de la humedad de concreto asfáltico de pavimento.
- ASTM D4123 Modulo resiliente diametral para asfálticas.
- ASTM D4123-82 Método de ensayo estándar para prueba de tensión indirecta para módulo resiliente de mezclas bituminosas.
- ASTM D2171 Método de ensayo estándar para viscosidad de asfaltos por viscosímetro capilar de vacío.
- ASTM D2170 Método de ensayo estándar para la viscosidad cinemática de los asfaltos (bitumen).
- ASTM D3625 Práctica estándar para el efecto del agua sobre el agregado revestido de betún usando agua hirviendo.

### **Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes**

- AASHTO T182 Método estándar de ensayo para el revestimiento y el desbaste de mezclas de aguarde bitumen.

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

#### 3.1. Enfoque de Investigación

**Enfoque cuantitativo:** En esta investigación el enfoque es cuantitativo, dado que se realizará una amplia recolección, toma de información, datos y magnitudes numéricas entre las cuales podemos determinar los ensayos de estabilidad y flujo, como la proporción adecuada de los materiales para la mezcla asfáltica.

#### 3.2. Tipo de Investigación

Los tipos de investigación que se han utilizado son las documentales y de campo, recopilación de los datos y muestras a ensayar para realizar el diseño de mezcla asfáltica

#### 3.3. Métodos de investigación

**Método experimental:** La investigación es experimental ya que se reemplazará la arena tradicional por la hoja seca de maíz triturada, para ser parte de la mezcla asfáltica, y se harán mezclas con porcentajes variados hasta obtener una mezcla que cumpla con las especificaciones.

Las técnicas que se utilizaran son la técnicas documentales y técnica de campo, recopilación de los datos y muestras a ensayar para realizar el diseño de mezcla asfáltica

#### 3.4. Población y Muestra

En esta investigación población y muestra coinciden, 12 briquetas de diferentes porcentajes de asfalto, la muestra ha sido escogida intencionalmente por los investigadores debido a los altos costos de los ensayos de laboratorio.

La muestra de esta investigación está conformada por:

3 briquetas de 5.5% de asfalto.

3 briquetas de 6% de asfalto.

3 briquetas de 6.5% de asfalto.

3 briquetas de 7% de asfalto.

Para un total de muestras de 12 briquetas

### 3.5. Análisis e Interpretación de los resultados

El análisis consiste básicamente en dar respuesta a los objetivos o hipótesis planteadas a partir de las mediciones efectuadas y los datos resultantes. Para plantear el análisis es conveniente plantear un plan de análisis o lo que se conoce como un plan de explotación de datos. En él se suele detallar de manera flexible cómo vamos a proceder al enfrentarnos a los datos, cuáles serán las principales líneas de análisis, qué orden vamos a seguir, y qué tipo de pruebas o técnicas de análisis aplicaremos sobre los datos. (tecnica de investigacion social, 2017).

Los análisis a realizar serán de acuerdo a lo estipulado en las Especificaciones del Ministerio y Transporte de Obras Públicas, de la misma manera se obtendrá y evaluará las características técnicas y sus propiedades de los agregados a utilizar para el su uso en la mezcla asfáltica.

Transportadas las muestras al laboratorio, se llevará a cabo el programa de ensayos siguiente, siguiendo las normas ASTM:

- Contenido natural de humedad D 2487
- Límites de Atterberg D 2216 y D 4318
- Granulometría C 136
- Abrasión C 131 C 535
- Peso específico C 128
- Peso unitario C 29
- Marshall ASTM D3496 y D3497, AASTHO TP 62

**Ensayo de peso específico máximo de mezclas asfálticas (RICE):** este ensayo se realiza con el fin de determinar el peso específico máximo de las mezclas asfálticas, este es aplicado a las mezclas sueltas o no compactada, para indicar el peso específico

de la mezcla sin vacíos, el resultado obtenido permitiendo conocer la cantidad del ligante asfáltico absorbido por parte de los agregados que tiene la mezcla.

**Ensayo de extracción de asfalto:** para la realización de extracción de asfalto es necesario considerar el peso inicial en base a 1000 gramos, restándole los pesos obtenidos luego de extraer el peso del polvo que se queda en los filtros y también en los gramos de polvo que se encuentra por litros de solvente.

**Ensayo de granulometría:** este ensayo se determina la forma cuantitativa la distribución de las diferentes partículas de grava de varios tamaños depositado en los tamices según su abertura para realizar la curva granulométrica y ver que este el agregado dentro de los rangos requeridos.

**Ensayo del método Marshall:** este procedimiento se utiliza para conocer el contenido óptimo del ligante asfáltico, ya que este consiste en preparar diferentes briquetas con diferente contenido de asfalto, que se incrementan en un 0.50% utilizando el contenido del asfalto por encima y por debajo del considerado valor óptimo, ya que se calcula de acuerdo a la granulometría por combinación de agregados pétreos.

### Interpretación de los cálculos para el diseño asfáltico:

Para obtener la densidad BULK y el porcentaje de vacíos se realizan los siguientes cálculos.

- Cálculo de la gravedad específica bulk, dónde:

$$G_{agr} = \frac{100}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3} \dots \dots \dots} \quad \text{Ecuación: 1}$$

Donde:

P1, P2, P3----- porcentaje en peso de cada una de las fracciones del material que interviene.

G1, G2, G3, ----- pesos específicos de los materiales anteriores.

- Calcula la gravedad específica máxima teórica, este valor se calcula así:



$$Gagr = \frac{100}{\frac{\% agregados}{Gagr} + \frac{\% cemento asfáltico}{Gasf}} \quad \text{Ecuación: 2}$$

**Dónde:**

**% agregados-----100 - % asfalto**

**Gagr----- Gravedad específica promedio.**

- **Determinación el volumen.**

$$Volumen = \text{Peso aire SSS} - \text{peso agua SSS} \quad \text{Ecuación: 3}$$

**Dónde:**

**Peso del aire SSS----- peso de la muestra en el aire en estado SSS**

**Peso agua SSS-----peso de la muestra en el agua en estado SSS**

- **Determinación de la densidad BULK con la expresión:**

$$Densidad\ bulk = \frac{\text{peso aire seco}}{\text{peso aire SSS} - \text{peso agua SSS}} \quad \text{Ecuación: 4}$$

**Dónde:**

**Peso aire seco-----peso en el aire de la muestra seca.**

Peso aire SSS-----peso en el aire de la muestra en estado SSS.

Peso agua SSS-----peso en agua de la muestra en estado SSS.

- Cálculo del peso específico de la muestra suelta RICE, así:

$$Gmm = \frac{A}{A + D - E} \quad \text{Ecuación: 5}$$

Donde:

A----- peso de la muestra.

D-----peso del envase (matraz + agua).

E-----peso del envase (matraz + agua + muestra).

- Calculo del porcentaje del volumen de los agregados:

$$\% Vagr = \frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \quad \text{Ecuación: 6}$$

Dónde:

Gmb-----Bulk promedio de las 3 briquetas.

Gsb----- gravedad especifica bulk del agregado.

Ps-----% agregado = % total - % asfalto utilizado.

- Porcentaje total de vacíos con respecto al volumen de la probeta, así:

$$Pa = 100 * \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \quad \text{Ecuación: 7}$$

**Dónde:**

**Gmm-----RICE.**

**Gmb-----Bulk promedio de las 3 briquetas.**

- **Calculo volumen de asfalto.**

$$Va = 100 - \% V \text{ agregados} - Pa \quad \text{Ecuación: 8}$$

**Dónde:**

**% V agregado-----% volumen de agregados,**

**Pa----- % total de vacíos con respecto a la probeta.**

- **Se determina el % de vacíos.**

$$Vam = 100 - \% Vagr. \quad \text{Ecuación: 9}$$

**Dónde:**

**% Vagr----- % volumen de agregado.**

- **Se determina el volumen efectivo de asfalto de la mezcla.**

$$Vea = \frac{Va}{Vam} * 100 \quad \text{Ecuación: 10}$$

Dónde:

Va----- volumen de asfalto.

Vam-----% vacíos en agregados minerales.

- Se determina el contenido de asfalto efectivo con respecto a la muestra.

$$Ae = \% \text{ asfalto} - \frac{\text{asfalto absorbido agregados}}{100} * \% \text{ agregados} \quad \text{Ecuación: 11}$$

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb \quad \text{Ecuación: 12}$$

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} \quad \text{Ecuación: 13}$$

Dónde:

Pmm----- sumatoria de los porcentajes de mezcla (199%)

Pb----- % de asfalto al que queremos calcular.

Gmm----- peso específico de la muestra asfáltica rice.

Gb----- peso específico del asfalto (1.011).

Gse----- gravedad específica efectiva del agregado.

Gsb----- gravedad específica del bulk del agregado.

Gb----- peso específico del asfalto.

Pba----- asfalto absorbido por el agregado.

- **Del volumen de la briqueta se calcula la estabilidad corregida.**

$$E_c = Dial * Factor\ de\ corrección * Constante\ del\ anillo \quad \text{Ecuación: 14}$$

**Dónde:**

**Constante del anillo----- varía de acuerdo al equipo Marshall utilizado.**

Los valores de estabilidad de las tres briquetas se calcularon como valores de estabilidad de la muestra, también se promediaron los valores de flujo obtenidos y se descartaron algunos valores que eran significativamente diferentes a los demás. curva;

1. Peso unitario vs % de asfalto.
2. Estabilidad vs % de asfalto,
3. Flujo vs % de asfalto.
4. % de vacíos vs % de asfalto.
5. % de vacíos en los agregados minerales (V.A.M.) vs % de asfalto.

Hay que tener en cuenta que la densidad aumenta con el contenido de asfalto hasta llegar a un punto máximo en la cual decrece, todos estos detalles lo presentamos en la unidad número 4.

## CAPÍTULO IV: Informe Técnico

### 4.1. Elaboración del tema.

Para elaborar el tema, se determinó un diseño de asfalto tradicional optimo con los materiales que cumplen las especificaciones recomendadas, que sirva para la comparación con el diseño de asfalto no tradicional, utilizando la hoja de cascara seca de maíz en lugar de arena de río, que es uno de los minerales a utilizar en este tema investigativo, en el que se harán las mezclas respectivas con la finalidad de cumplir con lo requerido.

### 4.2. Ensayos realizados.

Los ensayos fueron realizados en el laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil para la elaboración del proyecto investigativo, el porcentaje del material grueso se mantuvo para cada ensayo solo vario la hoja seca de maíz, hay que destacar que adicionalmente se realizó una combinaciones de la hoja seca de maíz con la arena de rio 50 – 50 y también 15 - 85, para obtener un mejor resultado en su granulometría y este dentro de los parámetros requeridos para la elaboración de la mezcla asfáltica no tradicional, los detalles de los ensayos se describen a continuación.

**Figura 20:** *Elaboración de la mezcla asfáltica* **Figura 21:** *Compactación de briquetas*



Elaborado por: Asacata (2024)



Elaborado por: Asacata (2024)

**Figura 22: Ensayo curado de briquetas**



**Elaborado por:** Asacata (2024)

**Figura 23: Ensayo densidad briquetas**



**Elaborado por:** Asacata (2024)

**Figura 24: Ensayo Marshall**



**Elaborado por:** Asacata (2024)

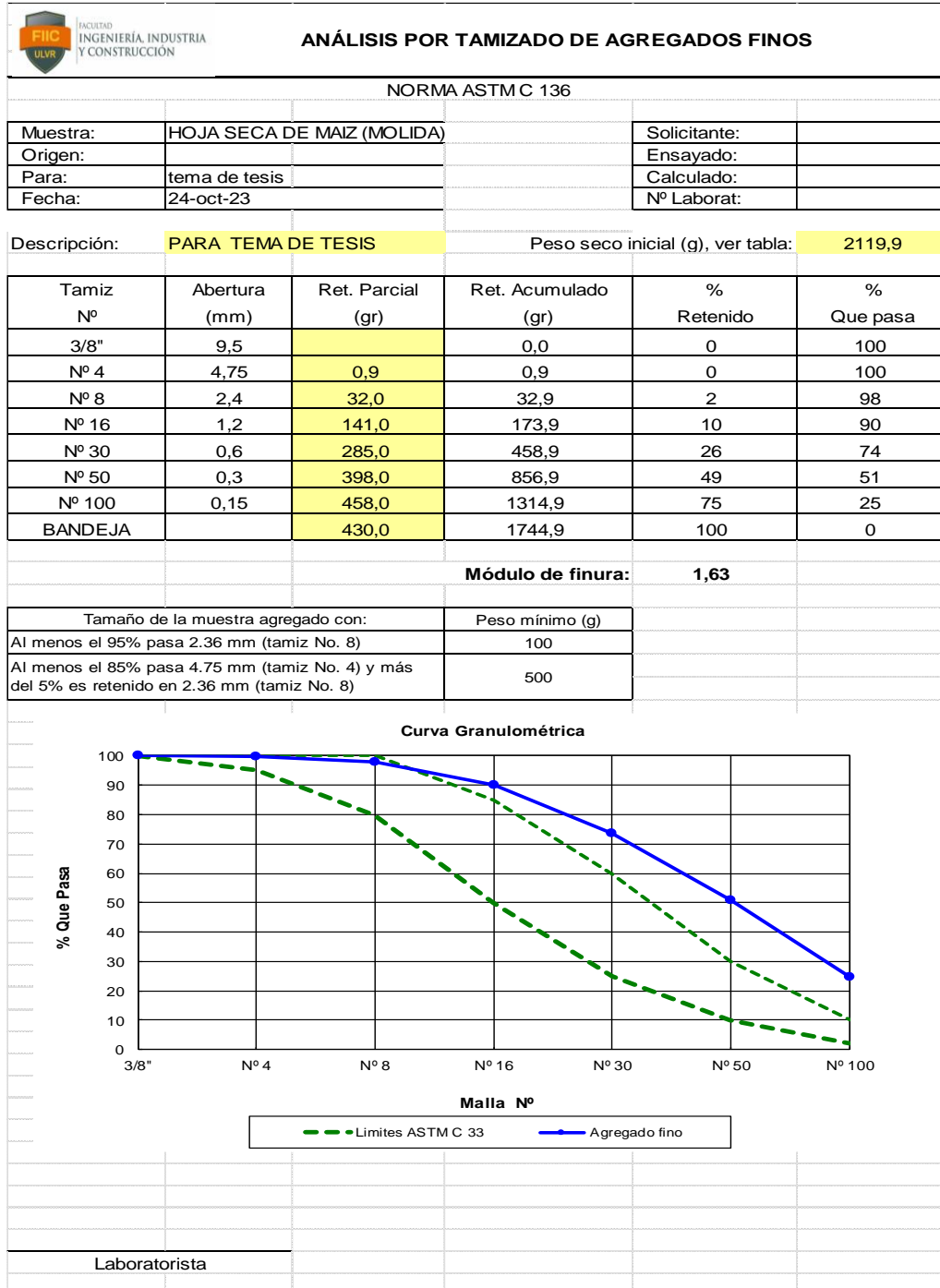
**Figura 25: Ensayo granulométrico**



**Elaborado por:** Asacata (2024)

### 4.3. Granulometría de la hoja seca de maíz

Figura 26: Ensayo granulométrico




Elaborado por: Asacata (2024)



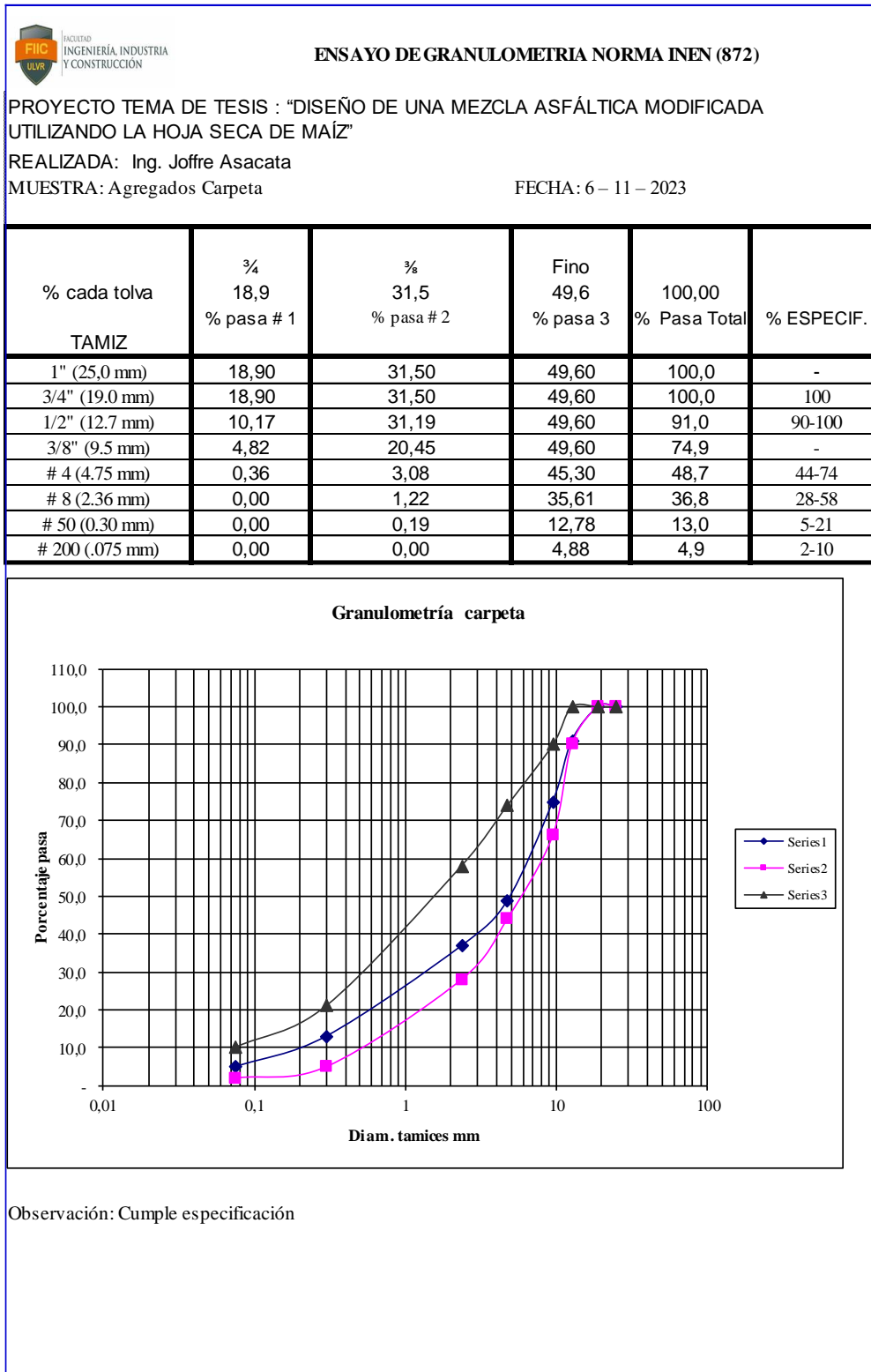
#### 4.4. Diseño de Mezcla Asfáltica (tradicional).

Figura 27: Ensayo de Abrasión

		
<b>ENSAYO DE ABRASION (NORMA INEN 860)</b>		
<b>PROYECTO TEMA DE TESIS :</b> “DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA UTILIZANDO LA HOJA SECA DE MAÍZ”		
<b>REALIZADA:</b> Ing. Joffre Asacata		
<b>MUESTRA:</b> # 1 y 2 ripio 3/4" y 3/8".		<b>FECHA:</b> 6 – 11 – 2023
		<b>MUESTRA:</b> Ripio
Muestra	1	2
Peso muestra antes del ensayo	5000	5000
Peso muestra despues del ensayo ret # 12	3285	3241
Peso muestra pasa # 12	1715	1759
% desgaste	<b>34,30</b>	<b>35,18</b>
Promedio	<b>34,7</b>	
Máximo desgaste de agregados para hormigón asfáltico 40%, cumple especificación		


Elaborado por: Asacata (2024)

**Figura 28: Ensayo granulométrico**



Elaborado por: Asacata (2024)

**Figura 29: Ensayo Peso Especifico**

 <b>LABORATORIO DE SUELOS</b>		
PROYECTO TEMA DE TESIS : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA UTILIZANDO LA HOJA SECA DE MAÍZ" REALIZADA: Ing. Joffre Asacata MUESTRA: 3/4", 3/8" Y arena USO: Hormigón Asfáltico.		
FECHA: 6 – 11 – 2023		
<b>PESO ESPECIFICO - AGREGADO GRUESO</b>		
Material que pasa el tamiz 2" y es retenido en el # 4	3/4"	3/8"
A Peso en el aire de la muestra secada al horno	6058,6	5866,2
B Peso en el aire de la muestra saturada sup. Seca	6312	6104,2
C Peso en el agua de la muestra saturada	3751	3654
Peso específico aparente A/(B-C)	2,366	2,394
Peso específico de S.S.S B/(B-C)	2,465	2,491
Peso específico nominal A/(A-C)	2,625	2,652
% de absorción (B-A)/A	4,182	4,057
<b>PESO ESPECIFICO DE AGREGADO FINO</b>		
Material que pasa el tamiz # 4 y es retenido en el integral	# 1 Arena	
A Peso aire muestra seca	240,2	
B Peso picnómetro aforado lleno de agua	344,2	
C Peso picnómetro aforado con muestra y agua	496,2	
S Peso muestra saturada con superficie seca	248	
Peso específico aparente	2,502	
Peso específico aparente (S.S.S)	2,583	
Peso específico nominal	2,723	
% Absorción	3,247	


Elaborado por: Asacata (2024)

**Figura 30: Ensayo Peso Unitario**

<b>LABORATORIO DE SUELOS</b>			
PROYECTO TEMA DE TESIS : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA UTILIZANDO LA HOJA SECA DE MAÍZ" REALIZADA: Ing. Joffre Asacata MUESTRA: # 1 arena y 2 ripio y arena. USO: Hormigón asfáltico. <span style="float: right;">FECHA: 6 – 11 – 2023</span>			
<b>PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO 3/4</b>			
Material que pasa tamiz 2" y es retenido en el # 4	muestra 1	muestra 2	muestra 3
A Peso del material (gm)	14268	14248	14278
B Volumen del recipiente (cm3)	9658	9743	9813
Peso unitario A/B	1,477	1,462	1,455
Promedio	1,465		
<b>PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO 3/8</b>			
Material que pasa tamiz 2" y es retenido en el # 4	muestra 1	muestra 2	muestra 3
A Peso del material (gm)	14845	14835	14768
B Volumen del recipiente (cm3)	9834	9824	9743
Peso unitario A/B	1,510	1,510	1,516
Promedio	1,512		
<b>PESO UNITARIO AGREGADO FINO</b>			
Material que pasa el tamiz # 4 y es ret. en el integral	muestra 1	muestra 2	muestra 3
A Peso en el aire de la muestra (gm)	5082,4	5106,2	5046,8
B Volumen del recipiente (cm3)	3065,7	3065,4	2815
Peso unitario A/B	1,658	1,666	1,793
Promedio	1,705		

**Elaborado por:** Asacata (2024)


**Figura 31: Ensayo Marshall**

 <b>ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO DEL HORMIGON ASFÁLTICO</b>																			
PROYECTO TEMA DE TESIS : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA UTILIZANDO LA HOJA SECA DE MAÍZ" REALIZADA: Ing. Joffre Asacata																		FECHA: 6 – 11 – 2023	
Gagr. 2,441																			
Fecha	% asfalto	Espesor Briqueeta	Peso briqueeta en gm			Peso específico			Asfalto Absorbido %	Volumen % Total			Vacíos en Agregados Minerales	% Asfalto Efectivo	Peso Unitario lb/pie3	Estabilidad		Flujo 0,01"	Factor
			Seca En aire	S.S.S en Aire	En agua	"Bulk"	Máximo Teórico	Máximo Medido		Agregados	Vacíos con Aire	Asfalto Efectivo				Medida	Corregida		
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
						=d/e-f			$\frac{(i-h) \cdot 10^4}{i \cdot h(100-b)}$	$\frac{(100-b) \cdot g}{100}$	$(1-g/l) \cdot 100$	$100-k-l$	100-k	$\frac{b-j(100-b)}{100}$	62,4'g				
	5,50	6,40	1110,10	1111,50	596,20	2,154										2085,00	2030,63	8,42	0,97
		6,50	1118,30	1120,60	601,10	2,153										2115,00	2000,36	8,33	0,95
		6,40	1115,40	1115,60	598,70	2,158	2,26	2,32	1,09	83,43	7,09	9,48	16,57	4,47	134,47	2165,00	2108,54	8,44	0,97
	6,00	6,70	1164,00	1166,30	633,00	2,183										2450,00	2188,22	9,49	0,89
		5,60	985,50	986,90	535,20	2,182										2227,00	2791,54	9,87	1,25
		5,90	1058,90	1059,90	575,20	2,185	2,25	2,25	0,04	84,07	3,07	12,86	15,93	5,96	136,22	2385,00	2708,81	10,10	1,14
	6,50	6,50	1170,20	1170,80	635,50	2,186										2415,00	2284,10	11,32	0,95
		6,30	1098,50	1099,80	598,80	2,193										2421,00	2429,10	11,27	1,00
		6,50	1175,40	1177,50	642,20	2,196	2,24	2,24	0,16	83,95	2,31	13,75	16,05	6,35	136,75	2406,00	2275,59	12,10	0,95
7,00	6,00	1060,60	1060,80	575,20	2,184										2185,00	2404,07	13,11	1,10	
	6,00	1065,60	1066,20	577,60	2,181										2154,00	2369,96	13,23	1,10	
	6,20	1068,50	1068,80	580,20	2,187	2,22	2,23	0,29	83,21	2,28	14,51	16,79	6,73	136,28	2145,00	2218,25	13,47	1,03	
					2,184										2330,76	2330,76	13,27		

ESPECIFICACIONES:  
 Estabilidad mínima = 1.800 lb  
 Flujo (0.01 ptg.) = 8-14  
 % vacíos = 3-5

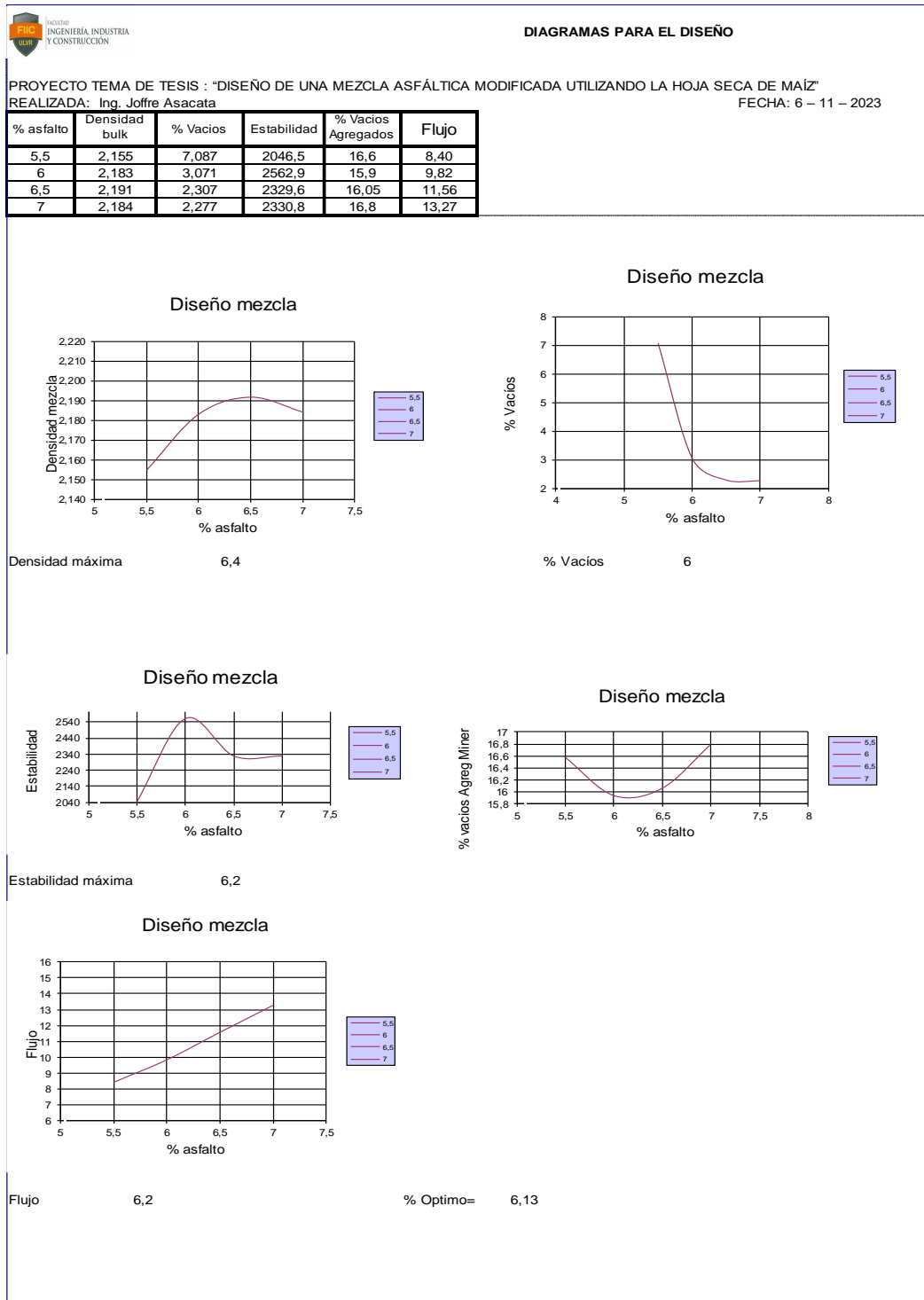
**Elaborado por: Asacata (2024)**

**Figura 32: Ensayo Rice**

 <b>LABORATORIO DE SUELOS</b>				
PROYECTO TEMA DE TESIS : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA UTILIZANDO LA HOJA SECA DE MAÍZ" REALIZADA: Ing. Joffre Asacata FECHA: 6 – 11 – 2023				
<b>Determinación Rice Gmm</b>				
% Asfalto	5,5	6	6,5	7
D Peso frasco+agua a 25°C	7406,5	7406,5	7406,5	7406,5
Peso frasco	2903,2	2903,2	2903,2	2903,2
Peso muestra + frasco	4010,2	4537,6	4037,6	3958,5
A Peso muestra	1107	1634,4	1134,4	1055,3
E Peso muestra +frasco+agua a 25°C	8036,2	8315,2	8035,2	7989,6
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>	<b>2,319</b>	<b>2,252</b>	<b>2,243</b>	<b>2,235</b>

Elaborado por: Asacata (2024)

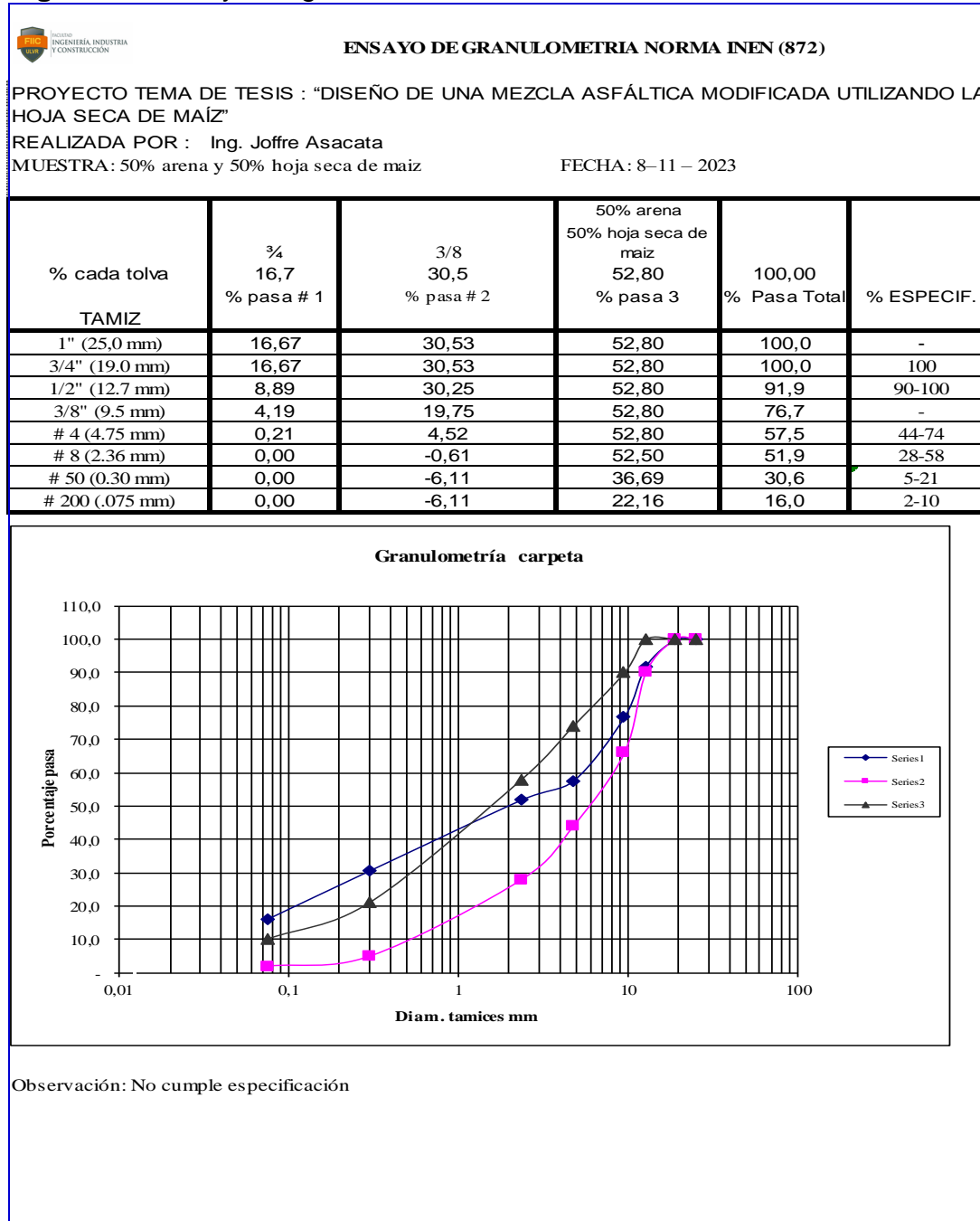
**Figura 33: Ensayo Diagrama porcentaje de asfalto**



Elaborado por: Asacata (2024)

#### 4.5. Diseño de Mezcla Asfáltica agregado grueso y agregado fino (50% de arena y 50% de hoja seca de maíz)


**Figura 34:** Ensayo de granulometría



Elaborado por: Asacata (2024)




**Figura 35: Ensayo Peso Especifico**

 <b>LABORATORIO DE SUELOS</b>		
PROYECTO TEMA DE TESIS : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA UTILIZANDO LA HOJA SECA DE MAÍZ" REALIZADA POR : Ing. Joffre Asacata MUESTRA: 50% arena y 50% hoja seca de maiz USO: Hormigón Asfáltico.		
FECHA: 8-11 – 2023		
PESO ESPECIFICO - AGREGADO GRUESO		
Material que pasa el tamiz 2" y es retenido en el # 4	¾"	⅜"
A Peso en el aire de la muestra secada al horno	6058,6	5866,2
B Peso en el aire de la muestra saturada sup. Seca	6312	6104,2
C Peso en el agua de la muestra saturada	3751	3654
Peso específico aparente A/(B-C)	2,366	2,394
Peso específico de S.S.S B/(B-C)	2,465	2,491
Peso específico nominal A/(A-C)	2,625	2,652
% de absorción (B-A)/A	4,182	4,057
PESO ESPECIFICO DE AGREGADO FINO		
	# 1	
Material que pasa el tamiz # 4 y es retenido en el integral	Arena 50% y hoja seca de maiz 50%	
A Peso aire muestra seca	210	
B Peso picnómetro aforado lleno de agua	348,1	
C Peso picnómetro aforado con muestra y agua	421,5	
S Peso muestra saturada con superficie seca	216,35	
Peso específico aparente	1,469	
Peso específico aparente (S.S.S)	1,513	
Peso específico nominal	1,537	
% Absorción	3,024	

Elaborado por: Asacata (2024)

**Figura 36: Ensayo Peso Unitario**

<b>LABORATORIO DE SUELOS</b>			
			
PROYECTO TEMA DE TESIS : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA UTILIZANDO LA HOJA SECA DE MAÍZ" REALIZADA POR : Ing. Joffre Asacata MUESTRA: 50% arena y 50% hoja seca de maiz USO: Hormigón asfáltico. <span style="float: right;">FECHA: 8-11 – 2023</span>			
<b>PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO 3/4</b>			
Material que pasa tamiz 2" y es retenido en el # 4	muestra 1	muestra 2	muestra 3
A Peso del material (gm)	14313,1	14212,2	14280,1
B Volumen del recipiente (cm3)	9796	9796	9796
Peso unitario A/B	1,461	1,451	1,458
Promedio		1,457	
<b>PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO 3/8</b>			
Material que pasa tamiz 2" y es retenido en el # 4	muestra 1	muestra 2	muestra 3
A Peso del material (gm)	14785,2	14778,1	14875,1
B Volumen del recipiente (cm3)	9796	9796	9796
Peso unitario A/B	1,509	1,509	1,518
Promedio		1,512	
<b>PESO UNITARIO AGREGADO FINO arena 50 % y hoja seca de maiz 50%</b>			
Material que pasa el tamiz # 4 y es ret. en el integral	muestra 1	muestra 2	muestra 3
A Peso en el aire de la muestra (gm)	4422	4419	4434
B Volumen del recipiente (cm3)	2958	2985	2978
Peso unitario A/B	1,495	1,480	1,489
Promedio		1,488	

Elaborado por: Asacata (2024)

**Figura 37: Ensayo Marshall**


<b>ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO DEL HORMIGON ASFÁLTICO</b>																			
PROYECTO TEMA DE TESIS : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA UTILIZANDO LA HOJA SECA DE MAÍZ" REALIZADA POR : Ing. Joffre Asacata <span style="float: right;">FECHA: 8-11 - 2023</span> MUESTRA: 50% arena y 50% hoja seca de maíz																			
Gagr. 1,794																			
Fecha	% asfalto	Espesor Briqueata	Peso briqueta en gm			Peso específico			Asfalto Absorvido %	Volumen % Total			Vacíos en Agregados Mnerales	% Asfalto Efectivo	Peso Unitario lb/pie3	Estabilidad		Flujo 0,01"	Factor
			Seca En aire	S.S.S en Aire	En agua	"Bulk"	Máximo Teórico	Máximo Medido		Agregados	Vacios con Aire	Asfalto Efectivo				Medida	Corregida		
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
						=d/e-f			$\frac{=(+h)*10^4}{i*h(100-b)}$	$(100-b)*g$	$(1-g/i)*100$	$100-k-l$	$100-k$	$\frac{=b-j(100-b)}{100}$	$62,4*g$				
	5,5	6,3	902,0	904,0	355,4	1,644										1658	1663,5	6,45	1,00
		6,6	911,0	913,0	359,0	1,644										1633	1500,6	6,75	0,92
		6,2	908,0	910,0	361,0	1,654										1671	1728,1	6,53	1,03
						1,648	1,721	1,859	4,57	86,8	11,374	1,845	13,2	1,185	102,80		1630,7	6,58	
	6	6,4	921,4	922,7	372,1	1,673										1775	1728,7	7,64	0,97
		6,6	932,4	934,1	374,1	1,665										1823	1675,2	7,98	0,92
		5,9	918,6	920,4	374,5	1,683										1856	2108,0	8,21	1,14
						1,674	1,715	1,820	3,61	87,7	8,055	4,250	12,3	2,610	104,44		1837,3	7,94	
	6,5	6,7	930,2	932,1	378,2	1,679										1987	1774,7	9,32	0,89
		6,3	927,4	929,3	380,2	1,689										1967	1973,6	8,87	1,00
		6,4	928,6	929,6	378,5	1,685										1945	1894,3	9,56	0,97
						1,684	1,708	1,802	3,24	87,8	6,502	5,711	12,2	3,467	105,11		1880,8	9,25	
	7	6,6	935,2	937,1	371,2	1,653										1853	1702,7	10,45	0,92
		6,4	930,8	932,5	368,5	1,650										1934	1883,6	10,67	0,97
		6,5	940,1	941,8	369,4	1,642										1798	1700,5	10,18	0,95
						1,648	1,702	1,813	3,87	85,5	9,072	5,476	14,5	3,405	102,86		1762,3	10,43	

ESPECIFICACIONES:

- Estabilidad mínima = 1.800 lb
- Flujo (0.01 plg.) = 8-14
- % vacíos = 3-5

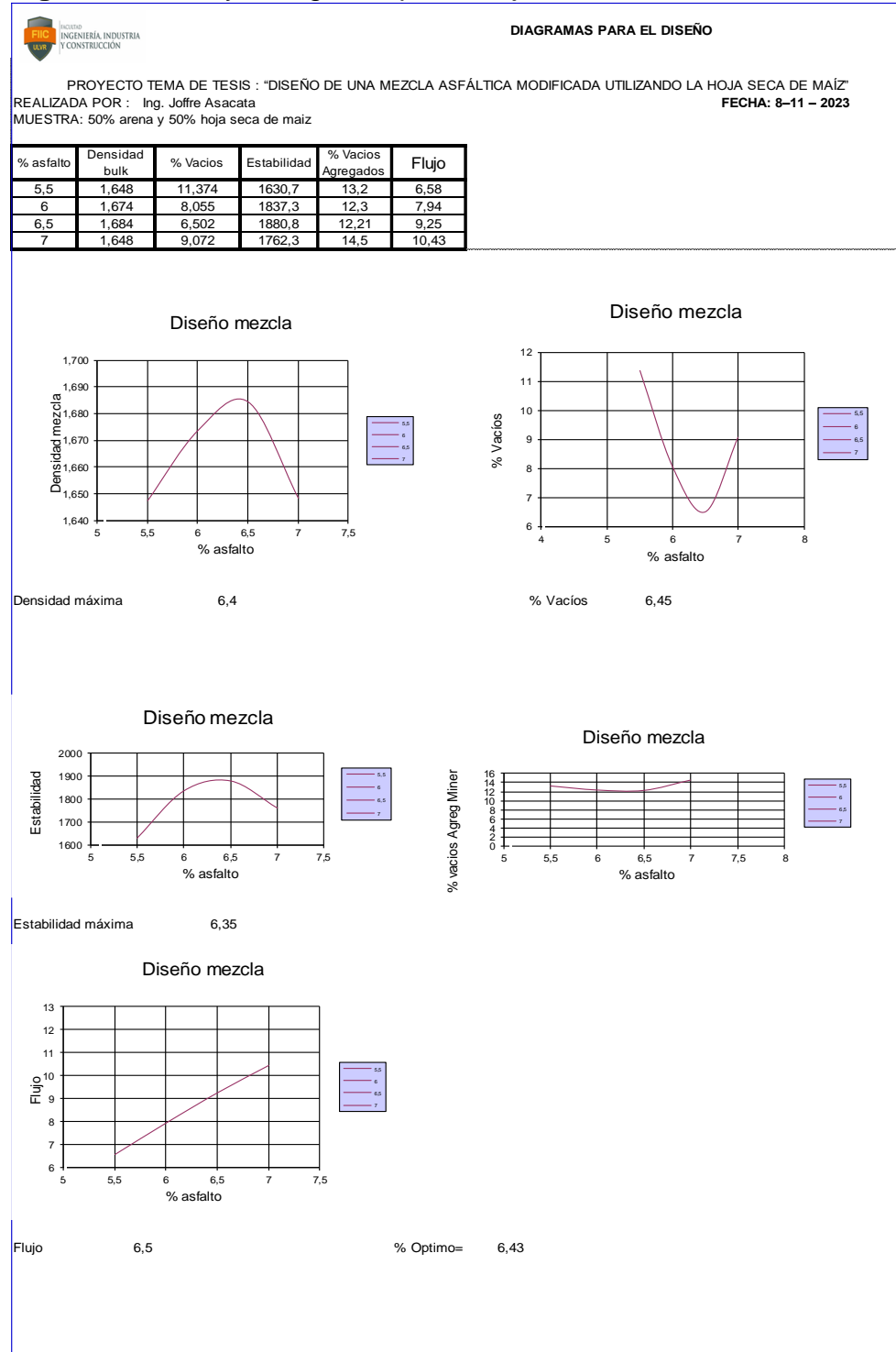
Elaborado por: Asacata (2024)

**Figura 38: Ensayo Rice**

		<b>LABORATORIO DE SUELOS</b>			
PROYECTO TEMA DE TESIS : “DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA UTILIZANDO LA HOJA SECA DE MAÍZ” REALIZADA POR : Ing. Joffre Asacata MUESTRA: 50% arena y 50% hoja seca de maiz <span style="float: right;">FECHA: 8-11 – 2023</span>					
<b>Determinación Rice Gmm</b>					
% Asfalto	5,5	6	6,5	7	
D Peso frasco+agua a 25°C	7406,5	7406,5	7406,5	7406,5	
Peso frasco	2903,2	2903,2	2903,2	2903,2	
Peso muestra + frasco	3744	3728	3745,8	3768,5	
A Peso muestra	840,8	824,8	842,6	865,3	
E Peso muestra +frasco+agua a 25°C	7795	7778,2	7781,4	7794,5	
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>	<b>1,859</b>	<b>1,820</b>	<b>1,802</b>	<b>1,813</b>	

**Elaborado por:** Asacata (2024)

**Figura 39: Ensayo Diagrama porcentaje de asfalto**



Elaborado por: Asacata (2024)

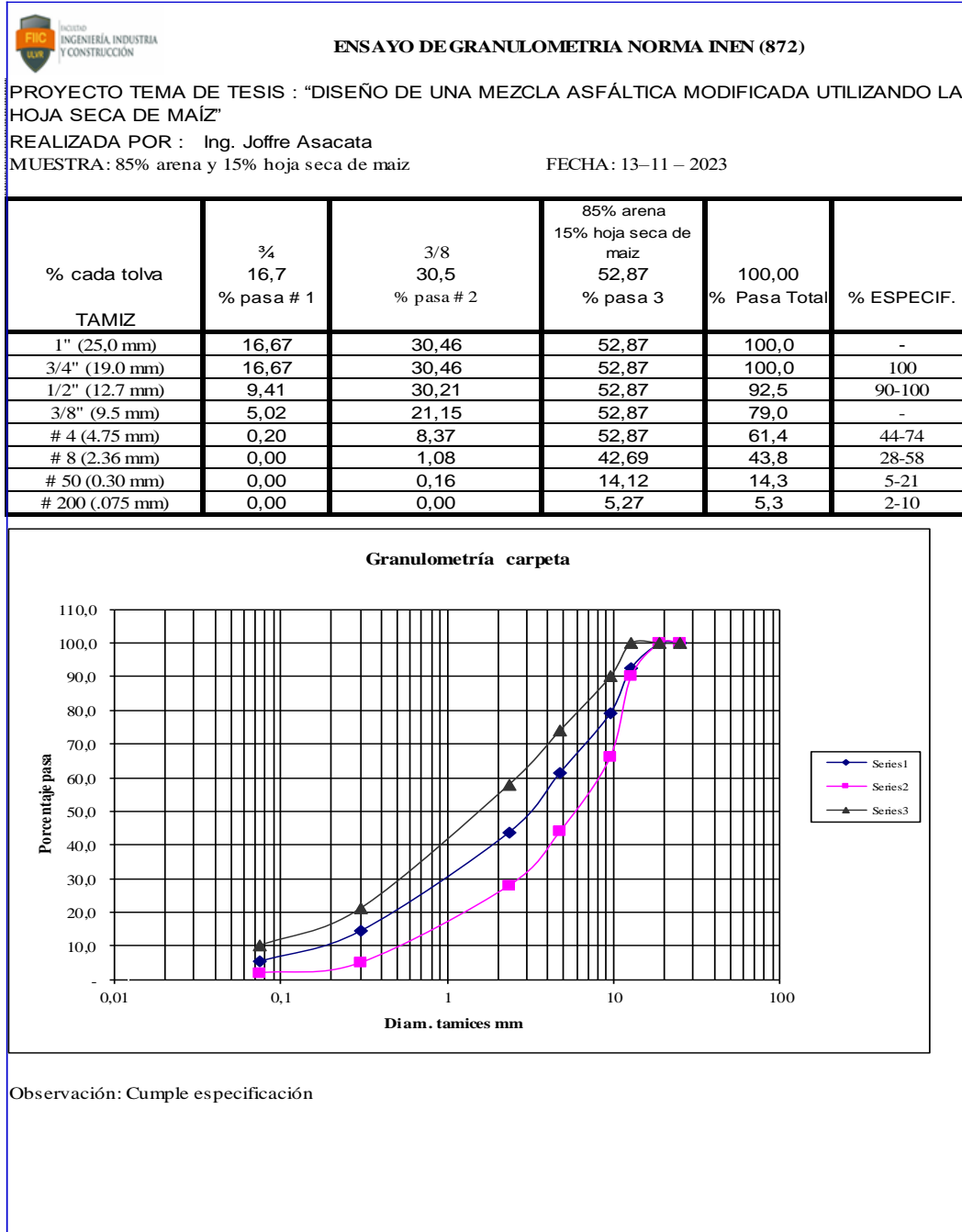
El diseño de mezcla asfáltica realizado, utilizando el material granular, el 50% de arena y el 50% de hoja seca de maíz, como lo indica en el tema de tesis y demostrado por los resultados obtenidos en cada ensayo efectuado, no cumple con las Normas respectivas para ser utilizado o considerado en los diseños de asfalto, ya que la curva granulométrica no entra dentro de los parámetros requeridos, por este motivo lo hemos realizado agregándole arena de río un 85% y 15% de hoja seca de maíz.

Los resultados de estos ensayos utilizando el 85% de arena y 15% de hoja seca de maíz, nos da valores que garantiza, que el diseño asfalta a exponer está dentro de lo permitido por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas en la unidad 404-4 base de hormigón asfáltico mezclado en sitio.

Los resultados de este análisis lo mostramos a continuación:


#### 4.6. Diseño de Mezcla Asfáltica agregado grueso y agregado fino (85% de arena y 15% de hoja seca de maíz)

**Figura 40:** Ensayo de granulometría



Elaborado por: Asacata (2024)


**Figura 41: Ensayo Peso Especifico**

<b>LABORATORIO DE SUELOS</b>		
		
PROYECTO TEMA DE TESIS : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA UTILIZANDO LA HOJA SECA DE MAÍZ"		
REALIZADA POR : Ing. Joffre Asacata		
MUESTRA: 85% arena y 15% hoja seca de maiz		FECHA: 13-11 - 2023
USO: Hormigón Asfáltico.		
PESO ESPECIFICO - AGREGADO GRUESO		
Material que pasa el tamiz 2" y es retenido en el # 4	¾"	3/8"
A Peso en el aire de la muestra secada al horno	6058,6	5866,2
B Peso en el aire de la muestra saturada sup. Seca	6312	6104,2
C Peso en el agua de la muestra saturada	3751	3654
Peso específico aparente A/(B-C)	2,366	2,394
Peso específico de S.S.S B/(B-C)	2,465	2,491
Peso específico nominal A/(A-C)	2,625	2,652
% de absorción (B-A)/A	4,182	4,057
PESO ESPECIFICO DE AGREGADO FINO		
	# 1	
Material que pasa el tamiz # 4 y es retenido en el integral	Arena 85% y hoja seca de maiz 15%	
A Peso aire muestra seca	248	
B Peso picnómetro aforado lleno de agua	348,1	
C Peso picnómetro aforado con muestra y agua	492,4	
S Peso muestra saturada con superficie seca	256,2	
Peso específico aparente	2,216	
Peso específico aparente (S.S.S)	2,290	
Peso específico nominal	2,392	
% Absorción	3,306	

Elaborado por: Asacata (2024)




**Figura 42: Ensayo Peso Unitario**

<b>LABORATORIO DE SUELOS</b>			
			
PROYECTO TEMA DE TESIS : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA UTILIZANDO LA HOJA SECA DE MAÍZ"			
REALIZADA POR : Ing. Joffre Asacata			
MUESTRA: 85% arena y 15% hoja seca de maiz			
USO: Hormigón asfáltico.		FECHA: 13-11 – 2023	
<b>PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO 3/4</b>			
Material que pasa tamiz 2" y es retenido en el # 4	muestra 1	muestra 2	muestra 3
A Peso del material (gm)	14313,1	14212,2	14280,1
B Volumen del recipiente (cm3)	9796	9796	9796
Peso unitario A/B	1,461	1,451	1,458
Promedio	1,457		
<b>PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO 3/8</b>			
Material que pasa tamiz 2" y es retenido en el # 4	muestra 1	muestra 2	muestra 3
A Peso del material (gm)	14785,2	14778,1	14875,1
B Volumen del recipiente (cm3)	9796	9796	9796
Peso unitario A/B	1,509	1,509	1,518
Promedio	1,512		
<b>PESO UNITARIO AGREGADO FINO arena 85 % y hoja seca de maiz 15%</b>			
Material que pasa el tamiz # 4 y es ret. en el integral	muestra 1	muestra 2	muestra 3
A Peso en el aire de la muestra (gm)	4958	4965	5002
B Volumen del recipiente (cm3)	2968	2968	2968
Peso unitario A/B	1,670	1,673	1,685
Promedio	1,676		

Elaborado por: Asacata (2024)


**Figura 43: Ensayo Marshall**

 <b>ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO DEL HORMIGON ASFALTICO</b>																			
PROYECTO TEMA DE TESIS : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA UTILIZANDO LA HOJA SECA DE MAÍZ" REALIZADA POR : Ing. Joffre Asacata <span style="float: right;">FECHA: 13-11 – 2023</span> MUESTRA: 85% arena y 15% hoja seca de maiz																			
Gagr. 2,292																			
Fecha	% asfalto	Espesor Briqueata	Peso briqueata en gm			Peso especifico			Asfalto Absorbido %	Volumen % Total			Vacios en Agregados Minerales	% Asfalto Efectivo	Peso Unitario lb/pie3	Estabilidad		Flujo 0,01"	Factor
			Seca En aire	S.S.S en Aire	En agua	"Bulk" G	Máximo Teórico H	Máximo Medido I		Agregados K	Vacios con Aire L	Asfalto Efectivo M				Agregados N	Medida Q		
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
						=d/e-f			$\frac{(i-h) \cdot 10^4}{i \cdot h(100-b)}$	$\frac{(100-b) \cdot g}{Gagr.}$	$\frac{(1-g/l) \cdot 100}{100-k-l}$	100-k-l	100-k	$\frac{b-j(100-b)}{100}$	62,4*g				
	5,5	6,5	988,2	990,1	512,2	2,068										1998	1889,7	7,43	0,95
		6,3	1002,2	1004,2	521,3	2,075										2017	2023,7	7,72	1,00
		6,6	1012,5	1014,3	515,6	2,030										2187	2009,6	7,58	0,92
						2,058	2,143	2,200	1,28	84,8	6,464	8,702	15,2	4,294	128,41		1974,4	7,58	
	6	6,5	1025,3	1027,1	522,4	2,032										2476	2341,8	9,11	0,95
		6,4	1032,4	1034,2	534,2	2,065										2494	2429,0	9,23	0,97
		6,6	1019,6	1021,5	541,6	2,125										2404	2209,0	9,31	0,92
						2,074	2,131	2,166	0,81	85,0	4,255	10,711	15,0	5,237	129,39		2326,6	9,22	
	6,5	6,3	1045,2	1047,1	552,4	2,113										2323	2330,8	10,73	1,00
		6,6	1036,5	1038,4	547,3	2,111										2345	2154,8	11,24	0,92
		6,4	1039,8	1041,6	551,6	2,122										2289	2229,3	10,96	0,97
						2,115	2,118	2,173	1,29	86,3	2,683	11,043	13,7	5,298	131,98		2238,3	10,98	
	7	6,6	1076,8	1077,7	577,8	2,154										2376	2183,3	12,31	0,92
		6,7	1104,8	1106,0	572,2	2,070										2376	2122,1	12,34	0,89
		6,3	1119,4	1120,5	585,7	2,093										2309	2316,7	12,42	1,00
						2,106	2,106	2,148	1,01	85,4	1,991	12,583	14,6	6,059	131,39		2207,4	12,36	

**ESPECIFICACIONES:**  
 Estabilidad mínima = 1.800 lb  
 Flujo (0.01 plg.) = 8-14  
 % vacíos = 3-5

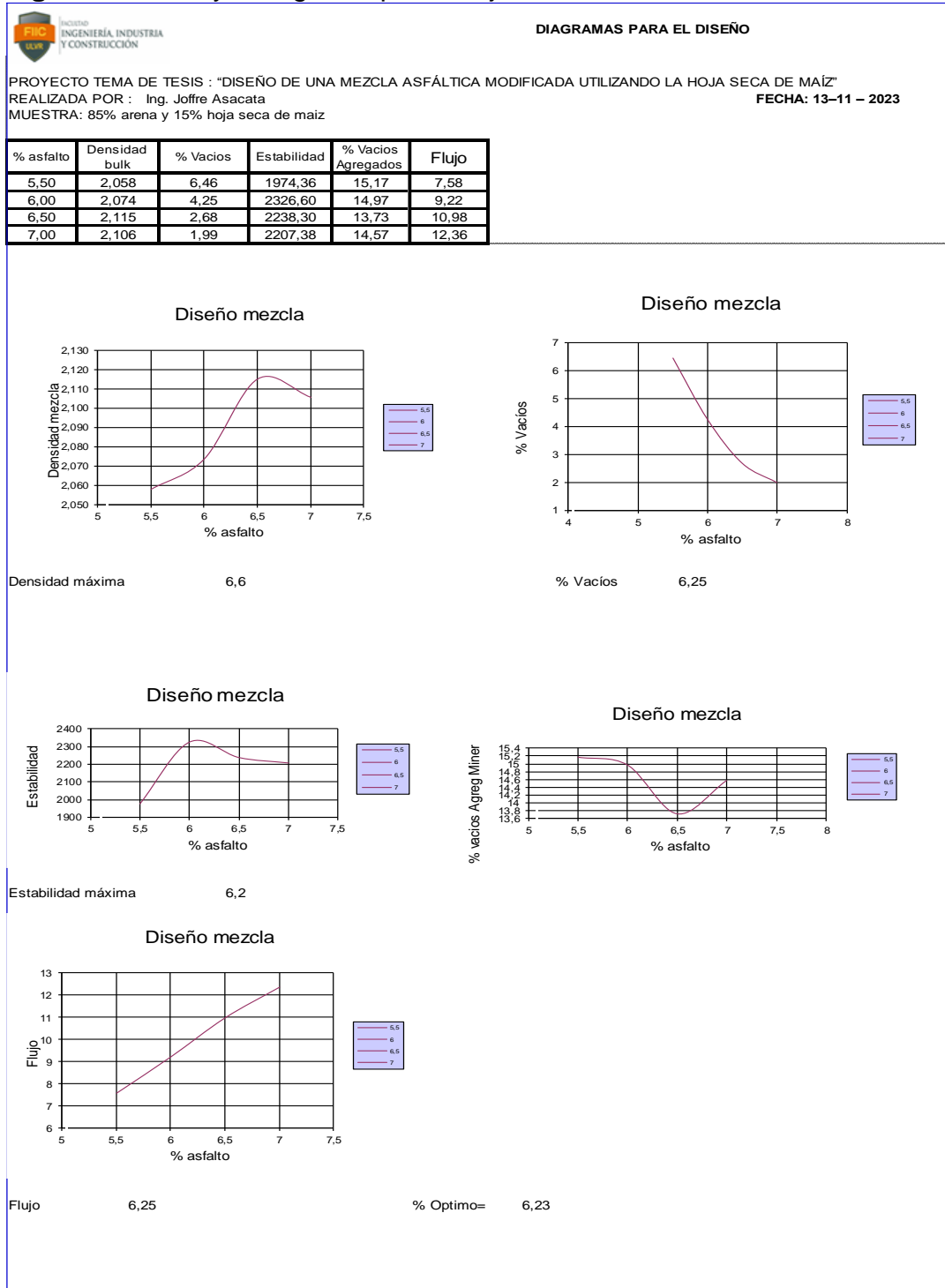
Elaborado por: Asacata (2024)

**Figura 44: Ensayo Rice**

<b>LABORATORIO DE SUELOS</b>				
				
PROYECTO TEMA DE TESIS : "DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA UTILIZANDO LA HOJA SECA DE MAÍZ"				
REALIZADA POR : Ing. Joffre Asacata				
MUESTRA: 85% arena y 15% hoja seca de maiz      FECHA: 13-11 - 2023				
<b>Determinación Rice Gmm</b>				
% Asfalto	5,5	6	6,5	7
D Peso frasco+agua a 25°C	7406,5	7406,5	7406,5	7406,5
Peso frasco	2903,2	2903,2	2903,2	2903,2
Peso muestra + frasco	4108,6	4012,3	4122,5	4058,6
A Peso muestra	1205,4	1109,1	1219,3	1155,4
E Peso muestra +frasco+agua a 25°C	8064	8003,5	8064,8	8024,1
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>	<b>2,200</b>	<b>2,166</b>	<b>2,173</b>	<b>2,148</b>

Elaborado por: Asacata (2024)

**Figura 45: Ensayo Diagrama porcentaje de asfalto**



Elaborado por: Asacata (2024)

#### 4.7. Cuadro de resumen del diseño asfáltico

Figura 46: Cuadro de resumen

### RESUMEN DE LOS DISEÑOS ASFÁLTICOS ESTUDIADOS

Diseño	% asfalto	Densidad bulk	% Vacios	Estabilidad	% Vacios Agregados	Flujo
normal	6,13	2,162	2,872	2502,2	16,0	10,27
Arena 50% - hoja seca de maíz 50%	6,43	1,683	6,719	1874,7	12,2	9,07
Arena 85% - hoja seca de maíz 15%	6,23	2,093	3,533	2286,0	14,4	10,03

Elaborado por: Asacata (2024)

En la tabla presentada por las especificaciones del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) en el capítulo 811 cuadro 405-5.2, adjuntada a continuación, podemos determinar su utilización dentro de la estructura del pavimento

Figura 47: Cuadro de Especificaciones del ministerio de Transporte y Obras Públicas

Ensayos de acuerdo al método Marshall	T R A F I C O					
	PESADO		MEDIO		LIVIANO	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
N° de golpes	75		50		35	
Estabilidad (libras)	1.800	--	1.200	--	750	--
Flujo (pulgada/100)	8	16	8	18	8	20
% vacíos con aire:						
Carpeta	3	5	3	5	3	5
Base	3	8	3	8	3	8

Nota: % de Vacíos en el agregado mineral (VMA) de acuerdo con el gráfico actualizado del Instituto del Asfalto.

Elaborado por: Asacata (2024)

#### **4.8. Conclusiones**

- Se investigó la mejor manera de utilizar la cascara de maíz evitando no alterar los porcentajes de cada material al realizar la mezcla asfáltica, en la cual se determinó que sería de la hoja seca de maíz molerla o mezclarla en el agregado fino y así poder mantener los porcentajes del diseño tradicional realizado previamente.
- Se realizó la mezcla tradicional y se determinó las combinaciones en el agregado fino manteniendo los porcentajes del diseño tradicional. Sin embargo, el porcentaje de asfalto óptimo es del 6,23%, estabilidad de 2286 con flujo de 10.03, cumpliendo con los estándares establecidos por el MTOP.
- Los resultados ideales de la combinación de la arena y cascara de maíz fue 85-15, ya que su tamaño de partícula de agregado fino cumplió con las especificaciones requeridas para su uso. Y a su vez, la mezcla 85-15 se puede utilizar en tráfico pesado como nos indica en la tabla 405 del MTOP, siempre que la relación de vacíos se encuentre dentro de límites aceptables.

#### **4.9. Recomendaciones**

- Se recomienda realizar varios ensayos de diseño asfáltico con diversos porcentajes de los agregados para tener datos más exactos de acuerdo con el tipo de agregado.
- Se recomienda elaborar una tabla de todos los resultados de cada mezcla para establecer la idoneidad con base en los valores del porcentaje de asfalto, densidad aparente, vacíos, estabilidad y flujo. Es importante crear una tabla para cada porcentaje de asfalto.
- Se recomienda utilizar materiales innovadores realizándole todas las pruebas adecuadas, como fue en este estudio, la utilización de la cascara de maíz, donde se pudo considerar como parte del agregado fino utilizado en la estructura del pavimento flexible.

## 5. Referencias Bibliográficas

- Achig, J. (7 de FEBRERO de 2017). *SCRIBD*. Recuperado el 2020, de <https://es.scribd.com/document/338634040/Manual-de-Practica-Ensayo-RICE>
- Aimacaña, J. (2017). *Estudio comparativo del comportamiento a compresión de pavimentos asfálticos a base de polímeros y pavimentos flexibles tradicionales*. Recuperado el 2020, de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25265>
- ANALISIS GRANULOMETRICO*. (s.f.). Recuperado el 8 de mayo de 2018, de [icc.ucv.cl/geotecnia/03\\_docencia/02\\_laboratorio/manual.../granulometria.pdf](http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual.../granulometria.pdf)
- Apas, A., Ricci, L., & Rivera, J. (20 de diciembre de 2017). *repositorio institucional abierto*. Recuperado el marzo de 2020, de repositorio institucional abierto web site: <https://ria.utn.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12272/2541/Modelo%20de%20correlaci%C3%B3n%20entre%20par%C3%A1metros%20Marshall%20y%20la%20Curva%20Maestra%20de%20mezclas%20asf%C3%A1lticas.pdf?sequence=1>
- Arrieta, E. (21 de enero de 2019). *diferenciador*. Recuperado el 2020, de diferenciador web site: <https://www.diferenciador.com/diferencia-entre-metodo-inductivo-y-deductivo/>
- Asfalto y mezcla asfáltica*. (2019). Obtenido de <https://www.amazon.es/Asfaltos-Mezclas-Asfálticas-Quintana-Alexander/dp>
- Bastidas Martínez, J. G., & Rondón Quintana, H. A. (agosto de 2020). <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/8146>. Recuperado el junio de 2022, de repository.unipiloto.edu.co Web site.
- Bencosme, N. (2018). *tutareaescola*. Recuperado el abril de 2020, de [https://www.tutareaescolar.com/tipos\\_de\\_arena.html](https://www.tutareaescolar.com/tipos_de_arena.html)
- Bocanegra, A. (6 de JULIO de 2019). *SCRIBD*. Recuperado el 2020, de SCRIBD web site: <https://es.scribd.com/document/415965168/Contenido-de-humedad>
- Bustamante, 1. (13 de junio de 2015). *SlideShare*. Recuperado el 2020, de <https://es.slideshare.net/bustamante199403/peso-especifico-y-absorción-de-agregado-grueso-y-fino>
- Camara mexicana de la industria de la construcción. (15 de febrero de 2019). *Revista Mexicana de la Construcción*. Recuperado el 2020, de Revista Mexicana de la Construcción web site: <https://www.cmic.org/lo-que-es-necesario-saber-de-la-mezcla-asfáltica/>
- Cárdenas, C., Carrillo, J., Izarra, A., Murga, C., & Vásquez, A. (Diciembre de 2023). Herramientas tecnológicas de evaluación de fallas en la superficie de pavimento flexible, una revisión sistemática. *Revista de Investigación Científica y Tecnológica Llamkasun*, IV(2), 10-23. <https://doi.org/https://doi.org/10.47797/llamkasun.v4i2.121>



- Cedeño, F., Espin, P., & Bonifaz, H. (2014). *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Ecuador*. Recuperado el 2020, de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/9619>
- Cervera, M., & Blanco, E. (2016). *Cervera, escuela de ingeniería civil UPC*. Recuperado el enero de 2020, de [http://cervera.rmee.upc.edu/libros/Mec%C3%A1nica\\_de\\_estructuras\\_I\\_Resistencia\\_de\\_Materiales.pdf](http://cervera.rmee.upc.edu/libros/Mec%C3%A1nica_de_estructuras_I_Resistencia_de_Materiales.pdf)
- chile, p. u. (2015). *www7.uc.c*. Recuperado el mayo de 2020, de [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/construccion/urbanizacion/html/conceptos/8.html](http://www7.uc.cl/sw_educ/construccion/urbanizacion/html/conceptos/8.html)
- Concepto.de. (26 de marzo de 2020). *concepto.de/*. Recuperado el 2020, de <https://concepto.de/peso-especifico/>
- Construmática. (8 de junio de 2018). *construmatica.com/*. Recuperado el 2020, de <https://www.construmatica.com/construpedia/Arena>
- Contreras, Y., & Roa, M. (26 de abril de 2015). *tecnica e instrumento de investigacion*. Recuperado el 2020, de tecnica e instrumento de investigacion web site: <http://tecnicasdeinvestigacion2015.blogspot.com/2015/04/bienvenidos-nuestro-blogger.html>
- Coronado, R. (24 de septiembre de 2016). *SlideShare*. Recuperado el 2020, de [https://es.slideshare.net/kedyramirezgil/laboratorio-de-concreto-n3los-pesos-unitarios-de-los-agregados-y-el-contenido-de-humedad#:~:text=4.3%20Peso%20unitario%3A%20Es%20el,Peso%20unitario%20suelto%20\(PUS\)](https://es.slideshare.net/kedyramirezgil/laboratorio-de-concreto-n3los-pesos-unitarios-de-los-agregados-y-el-contenido-de-humedad#:~:text=4.3%20Peso%20unitario%3A%20Es%20el,Peso%20unitario%20suelto%20(PUS))).
- cueva del ingeniero civil. (enero de 2016). *cuevadelcivi*. Recuperado el abril de 2020, de <https://www.cuevadelcivil.com/2016/01/disenio-de-mezclas-asfalticas-en.html>
- cuevadelcivil.com*. (2015). Recuperado el mayo de 2020, de <https://www.cuevadelcivil.com/2015/04/equipo-para-la-elaboracion-de-nucleos.html>
- cuevadelcivil.com/*. (2015). Recuperado el mayo de 2020, de <https://www.cuevadelcivil.com/2015/04/preparacion-de-las-muestras-para-el.html>
- De la Cruz, S., & Orihuela, V. (Septiembre de 2023). Efecto de la adición del concreto reciclado en la estabilidad Marshall en pavimento flexibles, Moquegua, 2023. *High Tech Engineering Journal*, III(2), 61-72. Recuperado el Enero de 2024, de <https://revista.uct.edu.pe/index.php/hightech/article/view/509>
- De la Cruz, S., & Paredes, G. (2021). Diseño de infraestructura vial con pavimento flexible para mejora de transitabilidad de la avenida Industrial, Lurín, Lima. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*(21), 108-114. <https://doi.org/https://doi.org/10.36561/ING.21.9>
- Definición. (13 de octubre de 2017). *definicion.de/*. Recuperado el 2020, de <https://definicion.de/asfalto/>
- Ejemplode. (27 de oviembre de 2017). *ejemplode*. Recuperado el 2020, de [https://www.ejemplode.com/38-quimica/4770-ejemplo\\_de\\_analisis\\_volumetrico.html](https://www.ejemplode.com/38-quimica/4770-ejemplo_de_analisis_volumetrico.html)

Equipos de enciclopedia significados. (8 de octubre de 2021). *significados.com*. Recuperado el febrero de 2024, de significados.com Web site: <https://www.significados.com/tipos-de-investigacion/>

Fajardo, W. (2 de septiembre de 2016). *SlideShare*. Recuperado el 2020, de <https://es.slideshare.net/WilverFajardoMamani/ensayo-marshall-65611123>

Garca, A., & teran, . A. (2022). <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/5372/1/T-ULVR-4362.pdf>. Recuperado el junio de 2022, de repositorio.ulvr.ed web site.

Geologiaweb. (15 de JUNIO de 2020). *geologiaweb.com/*. Recuperado el 2020, de <https://geologiaweb.com/rocas-sedimentarias/grava/>

German, S. (2019).

Gomez, J., Hernandez, R., Delgado, H., & Flores, M. (23 de agosto de 2019). *instituto mexicano del transporte*. Recuperado el febrero de 2020, de instituto mexicano del transporte web site: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/EvaluacionTecnologica/et7.pdf>

Gonzales, D. (8 de enero de 2020). <http://lefis.unizar.es/>. Recuperado el junio de 2020, de [http://lefis.unizar.es/lefispedia/doku.php?id=es:piramide\\_de\\_kelsen](http://lefis.unizar.es/lefispedia/doku.php?id=es:piramide_de_kelsen)

google inc. (15 de marzo de 2018). *earth.google*. Obtenido de <https://earth.google.com/web/@-2.1891013,-79.88683361,14.35407718a,2622.90267343d,35y,6.66277221h,0t,0r>

HERNANDEZ. (2014). MEXICO.

Hernandez. (2014). *Metodología de la investigación 6ta edición*. MEXICO: MC Graw Hill.

HERNANDEZ. (2014). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 6TA EDICIÓN*. MEXICO.

Hernandez, R., Baptista, P., & Fernandez, C. (2015). *Metodologia de la Investigacion*. Mexico D.F., Mexico: Mc Graw Hill education. Recuperado el marzo de 2020, de <https://es.slideshare.net/MarianaAndreaDlaPaz/hernandez-fernandez-baptista-i-49915464>

Huertas, G., & Cazar, J. (2014). *ESPE Universidad de las fuerzas armadas, departamento de Ciencias de la tierra y la construcción Carrera de Ingeniería Civil*. Recuperado el 2020, de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/8413>

idb. (17 de octubre de 2017). *ingeniero-de-caminos.com*. Recuperado el 2020, de <https://ingeniero-de-caminos.com/granulometria/>

Jiménez, A. (2019). *Análisis del desempeño de una mezcla asfáltica con fibra de bambú*. Recuperado el 2023, de Repositorio del Tecnológico de Costa Rica: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/12221>

Jimenez, C. (2016). *repositorio digital de universidad tecnica de ambato*. Recuperado el 2020, de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25151>

Lifeder. (14 de mayo de 2018). *lifeder.com/*. Recuperado el 2020, de <https://www.lifeder.com/gravedad-especifica/>

- Maila, M. (2015). *Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA)*. Recuperado el 2020, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/742>
- Mata, L. (14 de febrero de 2019). *investigalia*. Recuperado el 2020, de *investigalia web site*: <https://investigaliacr.com/investigacion/conceptos-basicos-investigacion-cientifica/>
- Mezclas asfálticas en caliente*. (2015). Obtenido de <http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/>
- Mezclas asfálticas en frio y caliente*. (2016). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/305979081/MEZCLAS-ASFALTICAS-EN-FR>
- Ministerio de Economía y Finanzas del Perú. (2 de marzo de 2015). *plataforma digital unica del estado peruano*. Recuperado el 2020, de *plataforma digital unica del estado peruano Web site*: [https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/normas/normasv/2015/RD003-2015/Pautas\\_Pavimentos.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/normas/normasv/2015/RD003-2015/Pautas_Pavimentos.pdf)
- Módulo de elasticidad*. (2018). Obtenido de [http://cervera.rmee.upc.edu/libros/Mec%C3%A1nica\\_de\\_estructuras\\_I\\_Resistencia\\_de\\_Materiales.pdf](http://cervera.rmee.upc.edu/libros/Mec%C3%A1nica_de_estructuras_I_Resistencia_de_Materiales.pdf)
- Moreira, F., & Guamanquispe, F. (2017). *Análisis de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con adición de caucho de llanta reciclado*. Recuperado el Enero de 2024, de Repositorio de la Universidad Técnica de Ambato: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25156>
- Moreira, F., & Jimenez, C. (2017). *Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica*. Recuperado el 2020, de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25151>
- Morote, M. (19 de noviembre de 2015). *SlideShare*. Recuperado el 2020, de <https://es.slideshare.net/MaxMoroteArias/ensayo-de-abrasion>
- Navarro, j. (2017). *edu.pe*. Recuperado el 2020, de <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/4569>
- nta-asfalto*. (2019). Recuperado el abril de 2020, de <http://www.nta-asfaltos.com.br/cap>
- Oleksandr, G. (2018). *123rf*. Recuperado el abril de 2020, de [https://es.123rf.com/photo\\_62222012\\_antecedentes-compone-de-grava-triturada-fracci%C3%B3n-fina-en-la-luz-del-sol.html](https://es.123rf.com/photo_62222012_antecedentes-compone-de-grava-triturada-fracci%C3%B3n-fina-en-la-luz-del-sol.html)
- Padilla, A. (2015). *upcommons*. Recuperado el 2020, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-14.pdf?sequence=14&isAllowed=y>
- Paredes, V., & Aimacaña, J. (2017). *Estudio comparativo del comportamiento a compresión de pavimentos asfálticos a base de polímeros y pavimentos flexibles tradicionales*. Recuperado el Enero de 2024, de Repositorio de la Universidad Técnica de Ambato: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25265>
- Piragis, A. (2018). *dreamstime.com/arena*. Recuperado el abril de 2020, de <https://es.dreamstime.com/arena-volc%C3%A1nica-gris-peque%C3%B1a-superficie-de-piedra-colorida-image128084100>

- Rocas y minerales. (10 de diciembre de 2018). *rocas y minerales*. Recuperado el 2020, de <https://www.rocasym minerales.net/grava/#:~:text=Grava%20triturada%20o%20Grava%20redondeada,y%20esfuerzo%20para%20el%20amasado>.
- Romero, H., & Sánchez, M. (25 de Noviembre de 2022). *Diseño de una mezcla asfáltica incorporando fibra de abacá con cal como materiales de refuerzo al comportamiento Marshall*. Recuperado el 2023, de Repositorio de la Universidad Nacional de Chimborazo: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/9948/1/ROMERO%20H-SANCHEZ%20M%20Dise%c3%b1o%20de%20una%20mezcla%20asf%c3%a1ltica%20incorporand o%20fibra%20de%20abac%c3%a1%20con%20cal%20como%20materiales%20de%20refuerzo.pdf>
- Scribd. (27 de octubre de 2017). *es.scribd.com/*. Recuperado el 2020, de [https://es.scribd.com/upload-document?archive\\_doc=362770617&escape=false&metadata=%7B%22context%22%3A%22archive\\_view\\_restricted%22%2C%22page%22%3A%22read%22%2C%22action%22%3A%22download%22%2C%22logged\\_in%22%3Atrue%2C%22platform%22%3A%22web%22%7D](https://es.scribd.com/upload-document?archive_doc=362770617&escape=false&metadata=%7B%22context%22%3A%22archive_view_restricted%22%2C%22page%22%3A%22read%22%2C%22action%22%3A%22download%22%2C%22logged_in%22%3Atrue%2C%22platform%22%3A%22web%22%7D)
- segovia, a. (2014). *puce.edu.ec*. Recuperado el 2020, de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/11401>
- Silva, J. (2015). *direccion de vialidad gobierno de chile*. Recuperado el 2020, de [http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/CAP%20I%20LIGANTES%20LAB%20C%20\[Modo%20de%20compatibilidad\].pdf](http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/CAP%20I%20LIGANTES%20LAB%20C%20[Modo%20de%20compatibilidad].pdf)
- SlideShare. (19 de noviembre de 2015). *es.slideshare.net/*. Recuperado el 2020, de <https://es.slideshare.net/MaxMoroteArias/ensayo-de-abrasion>
- Techfab (India) Industries Limited. (2016). *Poliéster tejido geotextil multifilamento*. Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/p-detail/Poli%C3%A9ster-tejido-geotextil-multifilamento-400000136050.html>
- tecnicadeinvestigacion.com. (12 de octubre de 2017). *tecnicadeinvestigacion.com*. Recuperado el junio de 2020, de <https://sites.google.com/site/tecnicadeinvestigacion.com/temas-y-contenidos/tema-1-la-investigacion-social/fases-de-la-investigacion-social/analisis-e-interpretacion-de-resultados>
- universia.net. (23 de mar de 2020). *Habilidades*. Recuperado el ene de 2024, de Los conceptos fundamentales de la metodología de investigación: <https://www.universia.net/mx/actualidad/habilidades/conceptos-fundamentales-metodologia-investigacion-1167677.html>
- Universidad Europea de Madrid. (20 de nov de 2016). Obtenido de <http://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/1.%20Tema%201%20Consolidacion.pdf>
- VELASQUEZ, U. A. (2016). *CONTENIDO DE HUMEDAD*. Recuperado el 2020, de <https://es.slideshare.net/guidocespedescondori/informe-contenido-de-humedad>

WISE. (2016). *Fuente: IPN, amaac, canal construcción*. Recuperado el 2020, de <https://blog.vise.com.mx/qu%C3%A9-es-un-pavimento-flexible-y-cu%C3%A1ndo-conviene-usarlo>

Vise. (5 de SEPTIEMBRE de 2018). *IPN, amaac, canal construcción*. Recuperado el 2020, de <https://blog.vise.com.mx/qu%C3%A9-es-un-pavimento-flexible-y-cu%C3%A1ndo-conviene-usarlo>

Wellman, W. (marzo de 2015). *“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIPO SMA*. Recuperado el 2020, de <http://biblio3.url.edu.gt/Tesis/2005/02/01/Wellmann-Werner.pdf>

Wikipedia. (22 de mayo de 2017). *wikipedia. la enciclopedia libre*. Recuperado el junio de 2020, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Arena>