



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Título del Proyecto**

Aplicación de bitúmenes asfálticos con la resina proveniente de la planta  
higuerilla a tráfico pesado

**Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil**

**Autores:**

Inca Benítez Erika Esthefania

Peñañiel Peñañiel Marcia Elizabeth

**Tutor:**

Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza, MSc.

**Riobamba, Ecuador, 2024**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, **Erika Esthefania Inca Benítez**, con cédula de ciudadanía **0604731109** y **Marcia Elizabeth Peñafiel Peñafiel**, con cédula de ciudadanía **0202155057**, autores del trabajo de investigación titulado: “**APLICACIÓN DE BITÚMENES ASFÁLTICOS CON LA RESINA PROVENIENTE DE LA PLANTA HIGUERILLA A TRÁFICO PESADO**”, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 21 de diciembre de 2023.



-----  
Erika Esthefania Inca Benítez

C.I. 0604731109



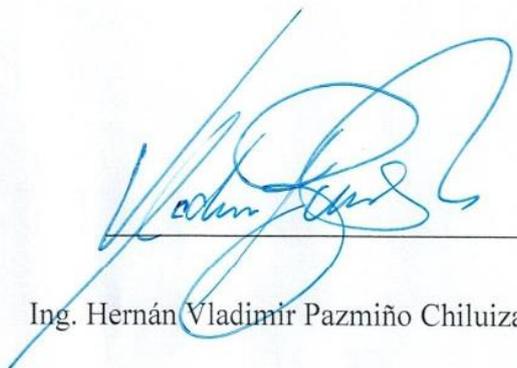
-----  
Marcia Elizabeth Peñafiel Peñafiel,

C.I. 0202155057

## DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, **Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza.MsC** catedrático adscrito a la Facultad de ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación **“APLICACIÓN DE BITÚMENES ASFÁLTICOS CON LA RESINA PROVENIENTE DE LA PLANTA HIGUERILLA A TRÁFICO PESADO”**, bajo la autoría de **Erika Esthefania Inca Benítez** y **Marcia Elizabeth Peñafiel Peñafiel**; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 21 días del mes de diciembre de 2023



Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza, MsC

C.I:060312346-4

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**APLICACIÓN DE BITÚMENES ASFÁLTICOS CON LA RESINA PROVENIENTE DE LA PLANTA HIGUERILLA A TRÁFICO PESADO**” por **Erika Esthefania Inca Benítez**, con cédula de identidad número **060473110-9** y **Marcia Elizabeth Peñafiel Peñafiel**, con cédula de identidad número **020215505-7**, bajo la tutoría de **Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluzza MsC**; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba al 01 de febrero de 2024.

Ing. Víctor Renee Velásquez Benavides, Mgs.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Firma

Ing. Ángel Edmundo Paredes García, Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Firma

Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar, Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Firma



# CERTIFICACIÓN

Que, **Inca Benítez Erika Esthefania** con CC: **0604731109** y **Peñañiel Peñañiel Marcia Elizabeth** con CC: **0202155057**, estudiante de la Carrera de **Ingeniería civil**, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**Aplicación de bitúmenes asfálticos con la resina proveniente de la planta higuera a tráfico pesado**", cumple con el **6%**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **Urkund**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 18 de enero de 2024

  
Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza.  
**TUTOR**

## **DEDICATORIA**

A Dios y a la Virgen por siempre guiar mis pasos, darme fortaleza y permitirme culminar esta etapa universitaria.

A mis padres Silvia y Mario quienes me han apoyado en cada paso que he dado, los cuales con su amor, consejos y enseñanzas han estado conmigo incondicionalmente.

A mi abuelita que desde el cielo y mi abuelito desde aquí me han acompañado en cada momento con sus oraciones y preocupación hacia mí. A mi hermana, sobrina, tíos y familiares que siempre han estado puestos a darme consejos ante cualquier adversidad.

A mis amigos y a todos quienes han sido parte de este camino y lo han hecho mucho más ameno con los momentos compartidos.

***Erika Esthefania Inca Benítez***

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo investigativo está dedicado a Dios, quien ha sido la fuerza que me ha sostenido en cada desafío. Su gracia ha iluminado mi camino y me ha dado la fortaleza para superar obstáculos.

A mis padres Carmen y Miguel quienes han sido mi fuente inagotable de apoyo, aliento y amor. Gracias por ser mis pilares, por creer en mí y por brindarme la fortaleza necesaria para alcanzar este logro.

A mis hermanas y hermanos que han sido mi constante fuente de alegría y apoyo a lo largo de la vida y, especialmente, en este trayecto académico.

A mis amigos, cuya amistad y aliento han iluminado mis días y han compartido la alegría de mis triunfos.

***Marcia Elizabeth Peñafiel Peñafiel***

## **AGRADECIMIENTO**

Expresamos nuestra más profunda gratitud a nuestros padres quienes nos han apoyado incansablemente en cada reto y paso que hemos dado con sus consejos y cariño hacia nosotras.

A la Universidad Nacional de Chimborazo la cual ha sido nuestro segundo hogar, a los docentes quienes nos han formado no solo profesionalmente si no también como personas, quienes con paciencia y sabiduría nos han impartido sus conocimientos.

De manera especial al Mgs. Vladimir Pazmiño tutor de nuestro trabajo de investigación quien siempre estuvo puesto a brindarnos ayuda ante cualquier duda o dificultad que se nos presentó a lo largo de este proyecto.

A nuestros amigos y compañeros quienes con su presencia hicieron esta etapa universitaria más agradable con cada momento compartido.

*Erika y Marcia*

## INDICE GENERAL

PORTADA.....	
DECLARATORIA DE AUTORÍA.....	
DICTAMEN FAVORABLE DEL AUTOR.....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL.....	
CERTIFICACIÓN ANTIPLAGIO.....	
DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTO.....	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	
ÍNDICE DE TABLAS.....	
ÍNDICE DE FIGURAS.....	
RESUMEN.....	
ABSTRACT.....	
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN .....	17
1.1. Antecedentes.....	17
1.2. Planteamiento del problema.....	17
1.3. Justificación.....	18
1.4. Objetivos.....	18
1.4.1. Objetivo General.....	18
1.4.2. Objetivo Específico.....	18
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO .....	18
2.1. Ligante Bituminoso.....	18
2.2. Briqueta.....	19
2.3. Granulometría.....	19
2.4. Mezclas Asfálticas .....	19
2.4.1. Tipos de mezclas asfálticas.....	19
2.4.2. Propiedades de las mezclas asfálticas.....	20
2.4.3. Propiedades Volumétricas de las mezclas asfálticas.....	21
2.5. Planta Higuerilla.....	22
2.6. Resina de la planta de higuerilla.....	22
2.6.1. Propiedades físico – químicas de la resina de higuerilla.....	22
2.6.2. Procesamiento de la resina de la higuerilla.....	25
2.7. Agregados Pétreos.....	27
2.7.1. Agregado Grueso .....	28

2.7.2.	Agregado Fino. ....	28
2.8.	Método de diseño de la mezcla asfáltica.....	28
2.8.1.	Ensayo Marshall.....	28
2.8.2.	Estabilidad Marshall. ....	28
2.8.3.	Flujo Marshall.....	28
2.9.	Mezclas asfálticas en caliente .....	29
2.9.1.	Requisitos Marshall para mezclas asfálticas en caliente.....	29
2.10.	Mezclas Asfálticas Modificadas. ....	29
2.10.1.	Implementación del modificador por vía húmeda. ....	29
2.11.	Propiedades volumétricas de las mezclas asfálticas compactadas.....	30
2.11.1.	Porcentaje de vacíos de aire (% Va). ....	30
2.11.2.	Vacíos del agregado mineral (% VAM). ....	31
2.11.3.	Gravedad específica Bulk (Gsb). ....	31
2.11.4.	Gravedad específica máxima medida (Gmm).....	31
2.11.5.	Gravedad específica efectiva del agregado (Gse).....	31
3.	CAPITULO III. METODOLOGÍA.....	31
3.1.	Enfoque de investigación.....	31
3.2.	Tipo de investigación.....	31
3.3.	Población de estudio y muestreo.....	32
3.4.	Técnica de recolección de datos. ....	32
3.5.	Recolección de datos e instrumento.....	32
3.5.1.	Caracterización de los agregados pétreos. ....	32
3.5.2.	Caracterización del ligante bituminoso.....	35
3.5.3.	Caracterización de la resina de higuera. ....	35
3.5.4.	Caracterización de las mezclas asfálticas. ....	37
3.6.	Diagrama Metodológico .....	37
4.	CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1.	Caracterización de los agregados pétreos .....	38
4.1.1.	Abrasión del agregado grueso.....	38
4.1.2.	Partículas Planas y Alargadas .....	39
4.1.3.	Caras Fracturadas.....	39
4.1.4.	Granulometría .....	40
4.1.5.	Peso Específico y Absorción .....	43
4.2.	Ensayos Realizados al Ligante Bituminoso.....	44
4.3.	Propiedades físico - químicas de la resina de higuera. ....	46

4.3.1.	Densidad: .....	46
4.3.2.	Viscosidad:.....	46
4.3.3.	Toxicidad. ....	47
4.3.4.	Color .....	48
4.3.5.	Olor .....	48
4.3.6.	pH.....	49
4.3.7.	Punto de inflamación de la resina de higuera. ....	50
4.4.	Diseño de la mezcla asfáltica convencional.....	50
4.4.1.	Diseño de la estructura mineral óptima. ....	51
4.4.2.	Faja del diseño de la mezcla asfáltica convencional.....	51
4.5.	Diseño de la mezcla modificada con resina de higuera.....	52
4.5.1.	Ensayo Marshall Estabilidad y Flujo .....	55
4.5.2.	Porcentaje de Vacíos.....	55
4.5.3.	VAM .....	56
4.6.	Discusión: .....	60
5.	CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	61
5.1.	Conclusiones.....	61
5.2.	Recomendaciones. ....	62
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	63

## INDICE DE ACRÓNIMOS

**MOP:** Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones

**MTOP:** Ministerio de Transporte y Obras Públicas

**INEN:** Norma Técnica Ecuatoriana

**NEVI:** Norma Ecuatoriana Vial

**ASTM:** American Society for Testing and Materials

**AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials

**ISO:** Organización Internacional de normalización

**AC-20:** Cemento asfáltico clasificado por viscosidad

**Gmm:** Gravedad Específica Máxima Medida

**VAM:** Vacíos del Agregado Mineral

**%Va:** Porcentaje de Vacíos de Aire

**Gsb:** Gravedad Específica Bulk

**SAE:** Sociedad de Ingenieros Automotrices

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> “Requisitos Marshall” .....	29
<b>Tabla 2.</b> Ensayos para agregados pétreos finos y gruesos .....	33
<b>Tabla 3.</b> “Composición granulométrica de agregados para mezcla asfáltica densa” .....	35
<b>Tabla 4.</b> Ensayo realizado al ligante bituminoso. ....	35
<b>Tabla 5.</b> “% de vacíos del agregado mineral” .....	37
<b>Tabla 6.</b> Resultados del ensayo de abrasión del agregado. ....	39
<b>Tabla 7.</b> Porcentaje de partículas planas y alargadas. ....	39
<b>Tabla 8.</b> Resultados del ensayo de caras fracturadas. ....	40
<b>Tabla 9.</b> Granulometría del agregado grueso 3/4. ....	40
<b>Tabla 10.</b> Granulometría del agregado intermedio 3/8. ....	41
<b>Tabla 11.</b> Granulometría del agregado fino (Arena). ....	42
<b>Tabla 12.</b> Resultados del peso específico y absorción de los agregados .....	43
<b>Tabla 13.</b> Propiedades del ligante asfáltico .....	44
<b>Tabla 14.</b> Punto de inflamación del asfalto. ....	45
<b>Tabla 15.</b> Procedimiento para obtener la viscosidad. ....	46
<b>Tabla 16.</b> Resultados de las propiedades químicas de la resina de higuera .....	47
<b>Tabla 17.</b> Toxicidad de la resina de higuera .....	47
<b>Tabla 18.</b> Punto de inflamación del aceite de higuera. ....	50
<b>Tabla 19.</b> Fórmula maestra óptima para la mezcla convencional. ....	51
<b>Tabla 20.</b> Faja granulométrica. ....	51
<b>Tabla 21.</b> Dosificación para la mezcla modificada con el 0.5 % de resina. ....	52
<b>Tabla 22.</b> Dosificación para la mezcla modificada con el 1 % de resina. ....	53
<b>Tabla 23.</b> Dosificación para la mezcla modificada con el 1.5 % de resina. ....	53
<b>Tabla 24.</b> Dosificación para la mezcla modificada con el 2 % de resina. ....	53
<b>Tabla 25.</b> Dosificación para la mezcla modificada con el 2.5 % de resina. ....	53
<b>Tabla 26.</b> Dosificación para la mezcla modificada con el 3 % de resina. ....	54
<b>Tabla 27.</b> Dosificación para la mezcla modificada con el 3.5 % de resina. ....	54
<b>Tabla 28.</b> Dosificación para la mezcla modificada con el 4 % de resina. ....	54
<b>Tabla 29.</b> Dosificación para la mezcla modificada con el 4.5 % de resina. ....	54
<b>Tabla 30.</b> Resultado de estabilidad y flujo de las mezclas modificadas .....	55
<b>Tabla 31.</b> Densidad máxima teórica Gmm y % de vacíos. ....	55
<b>Tabla 32.</b> Valores del VAM. ....	56

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Índice de toxicidad. ....	24
<b>Figura 2.</b> Escala de pH. ....	25
<b>Figura 3.</b> Recolección de semillas. ....	25
<b>Figura 4.</b> Descascarado de las semillas. ....	26
<b>Figura 5.</b> Procesamiento de la resina. ....	26
<b>Figura 6.</b> Decantación del aceite. ....	27
<b>Figura 7.</b> Envasado y almacenamiento del aceite. ....	27
<b>Figura 8.</b> Adición del aceite vía húmeda. ....	30
<b>Figura 9.</b> Mina de donde se extrajo los agregados pétreos. ....	33
<b>Figura 10.</b> Ubicación de donde se extrajo la materia prima. ....	36
<b>Figura 11.</b> Propiedades físicas - químicas de la resina. ....	36
<b>Figura 12.</b> Diagrama de flujo de la metodología (Actividades). ....	38
<b>Figura 13.</b> Granulometría del agregado 3/4. ....	41
<b>Figura 14.</b> Granulometría del agregado 3/8. ....	42
<b>Figura 15.</b> Granulometría del Agregado Fino. ....	43
<b>Figura 16.</b> Ensayo del punto de inflamación en el asfalto. ....	46
<b>Figura 17.</b> Resultados del ensayo de densidad y viscosidad del aceite. ....	47
<b>Figura 18.</b> Escala de color. ....	48
<b>Figura 19.</b> Cuantificación cualitativa del olor. ....	49
<b>Figura 20.</b> Resultados del análisis del pH. ....	49
<b>Figura 21.</b> Ensayo de punto de inflamación. ....	50
<b>Figura 22.</b> Faja granulométrica 3/4" de la mezcla total de los agregados. ....	52
<b>Figura 23.</b> Gravedad Bulk Vs. % modificador. ....	56
<b>Figura 24.</b> Estabilidad vs. % modificador. ....	57
<b>Figura 25.</b> % VAM vs. % modificador. ....	57
<b>Figura 26.</b> Flujo Vs % modificador. ....	58
<b>Figura 27.</b> % Vacíos vs. % modificador. ....	58
<b>Figura 28.</b> Comparación de estabildades. ....	59
<b>Figura 29.</b> Comparación de % Va y % VAM. ....	59

## RESUMEN

El objetivo principal de la investigación es modificar la mezcla convencional al realizar concretos asfálticos, implementando la resina de higuera por vía húmeda para analizar si existe un mejoramiento en sus propiedades. Los materiales que se utilizaron como agregados, ligante bituminoso y resina fueron obtenidos en la provincia de Chimborazo, los cuales pasaron por ensayos de laboratorio para confirmar su calidad cumpliendo con los requisitos descritos en normativas correspondientes. Para la fórmula convencional se trabajó con una dosificación empleada por una constructora vial de Riobamba con un total de 5 muestras, además, se elaboraron y ensayaron 45 muestras modificadas con la adición de la resina de higuera, las cuales tienen un porcentaje de 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3%, 3.5%, 4%, y 4.5% de resina, para posteriormente someterles a ensayos utilizando el método Marshall. Como resultado de esta investigación se obtuvo que la dosificación modificada que presenta el mejor comportamiento es la de 0.5% de resina, 4.5% de asfalto y 95% de agregados, al comparar con la mezcla convencional en la resistencia se notó un incremento cercano al doble del mínimo permitido en la normativa, adicionalmente se observó una disminución en el porcentaje de vacíos respecto a la mezcla convencional cumpliendo con la normativa. Al agregar la resina en la dosificación del bitumen se logró que la estabilidad y fluencia supere la mínima permitida y tenga un mejor comportamiento en la compactación con respecto al porcentaje de vacíos proponiendo así una nueva alternativa a la viabilidad del tráfico pesado.

**Palabras claves:** resina de higuera, mezclas asfálticas, mezclas modificadas, Marshall, estabilidad, flujo.

## ABSTRACT

The main objective of the research is to modify the conventional mixture when making asphalt concrete, implementing resin by wet means to analyze if there is an improvement in its properties. The materials used as aggregates, bituminous binder, and resin were obtained in the province of Chimborazo, which underwent laboratory tests to confirm their quality, complying with the requirements described in the corresponding regulations. For the conventional formula, we worked with a dosage used by a road construction company in Riobamba with 5 samples. In addition, 45 modified samples were prepared and tested with the incorporation of resin, which has a percentage of 0.5%. To subject them to tests using the Marshall method, 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3%, 3.5%, 4%, and 4.5% of resin. As a result of this research, it was found that the modified dosage that presents the best performance is 0.5% resin, 4.5% asphalt, and 95% aggregates. Compared to the conventional resistance mixture, an increase close to double was noted of the minimum allowed in the regulations, in addition, a decrease in the percentage of empty was observed with respect to the conventional mixture, complying with the regulations. By adding the resin in the bitumen dosage, it was achieved that the stability and creep exceeded the minimum allowed and had better compaction behavior concerning the percentage of voids, thus proposing a new alternative to heavy traffic roads.

**Keywords:** resin, asphalt mixtures, modified mixtures, Marshall, stability, flow.



Reviewed by:  
Mg. Dario Javier Cutiopala Leon  
**ENGLISH PROFESSOR**  
c.c. 0604581066

## **CAPITULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Antecedentes**

El aumento de la población a nivel mundial, los cambios ambientales y climáticos han ocasionado que se vea reducido y dificultado el acceso a yacimiento de combustibles fósiles provocando que las diferentes industrias tengan la necesidad de buscar fuentes alternas para la extracción de elementos pétreos con la finalidad de cubrir sus necesidades.

El bitumen o betún es un material que contiene una gran viscosidad de color negro formado por diversas sustancias orgánicas, principalmente hidrocarburos. La higuierilla científicamente conocida como “*Ricinus communis L.*” es una planta que tiene una gran capacidad para invadir territorios, convirtiéndose en algunos casos en maleza invasora, sin embargo, al aprovechar esta planta principalmente con la extracción surge una alternativa para la realización de bitúmenes asfálticos debido a su alto contenido de oleosidad presente en la semilla de esta especie (MÁRQUEZ, 2017).

La resina que se obtendrá de la semilla de la higuierilla se utilizará como un aditivo para el material de adherencia bituminosa que combinados con los distintos agregados pétreos 3/4, 3/8 y arena formen una mezcla asfáltica óptima para soportar cargas de tráfico pesado, en la cual se realizará la comparación de la resistencia respecto a mezclas convencionales generando mejoras en la utilización de nuevas alternativas para la industria de la construcción.

### **1.2. Planteamiento del problema.**

En Ecuador existe una gran biodiversidad lo que permite explorar el proceso de extracción de resinas provenientes de una planta, convirtiéndose en una gran oportunidad para innovar en la elaboración y mejoramiento de bitúmenes asfálticos aprovechando las riquezas que nos ofrecen nuestro país.

El presente trabajo investigativo previo a la obtención del título de Ingeniero Civil tiene como principal propósito demostrar como aporta la resina de la planta higuierilla en el comportamiento de los bitúmenes asfálticos; se propone aprovechar la semilla de esta planta que se encuentra fácilmente en nuestro medio para comparar las resistencias entre la mezcla común usando la denominada fórmula maestra y la muestra modificada con la resina de la higuierilla conocida en esta investigación como modificador, buscando una alternativa renovable la cual puede ser un sustituto del petróleo en la elaboración del bitumen asfáltico.

### **1.3. Justificación.**

La resina de higuera que a su vez produce el aceite de mismo nombre, en la actualidad tiene una alta demanda en el mercado debido a su buena composición química utilizándose en la elaboración de distintos productos en industrias farmacéuticas, cosmetológicas, pintura, entre otras.

Sin embargo, al momento de realizar investigación bibliográfica la información que se ha encontrado es muy escasa, por lo que se evidencia que el uso de este aceite en el sector de la construcción haciendo énfasis en la parte de vialidad es poco común, por lo tanto, este tema de investigación trata sobre relacionar la resina de la higuera con la modificación del bitumen asfáltico estudiando la resistencia que se obtendrá siguiendo procesos de ensayos descritos en la normativa del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MOTOP).

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo General**

- Analizar los cambios en la resistencia de mezclas diseñadas con bitúmenes asfálticos utilizando resina de higuera por medio de la normativa MOTOP para determinar la resistencia.

#### **1.4.2. Objetivo Específico**

- Caracterizar las propiedades físicas y químicas propias de la resina de higuera.
- Elaborar una mezcla a base de agregados pétreos que contiene asfalto y resina.
- Realizar una comparación entre mezclas convencionales y la mezcla modificada con la resina de higuera.

## **CAPITULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1.Ligante Bituminoso.**

El asfalto o ligante bituminoso es conocido originalmente como bitumen de color negro que posee una apariencia viscosa compuesta principalmente de hidrocarburos. Aproximadamente en el año 2500 a.c. fue descubierto en Egipto, proviene del vocablo “Sphalto” que significa deja caer. Sin embargo, los griegos fueron los que le otorgaron el significado de “que rigidiza o estabiliza” (Bobadilla, 2020) .

Es uno de los materiales más antiguo usado por el hombre dentro del campo de la Ingeniería. Posee propiedades tanto adhesivas como impermeabilizantes que ayudan a que las

partículas de áridos se unan. Cabe mencionar que se extrae del petróleo mediante algunos procesos como por ejemplo la destilación, extracción por solventes y recuperación (Martínez y otros, 2018).

## **2.2. Briqueta**

Es una determinada cantidad de mezcla asfáltica, que debe cumplir con un patrón establecido de porcentajes de agregados y asfalto, la cual debe someterse a una compactación con la finalidad de obtener muestras normalizadas.

## **2.3. Granulometría.**

El análisis granulométrico o granulometría se utiliza para caracterizar y clasificar los materiales en función del tamaño de su partícula por medio de la utilización de tamices de diferentes tamaños dando como resultado una curva de distribución granulométrica en forma de S. Para este tema investigativo se va a utilizar material que retiene el tamiz 3/4, 3/8, y el material fino.

## **2.4. Mezclas Asfálticas**

Es la combinación entre agregados minerales con un ligante bituminoso y mezclados con la finalidad de que el bitumen cubra los agregados. Para el diseño de estas mezclas es necesario elegir el tipo y tamaño de los agregados, al igual que el tipo y contenido del asfalto, con la finalidad de cumplir con las propiedades que debe poseer (Garnica y otros, 2005).

### **2.4.1. Tipos de mezclas asfálticas.**

Los tipos de mezclas asfálticas se clasifican ya sea por su textura o por las propiedades para las cuales fueron diseñadas.

#### **2.4.1.1. Mezclas asfálticas en caliente**

Son mezclas que se elaboran en planta y se compactan en caliente con el objetivo de lograr un bajo porcentaje de vacíos y una elevada densificación, ya que es considerada una de las mejores mezclas asfálticas que poseen excelentes propiedades. Tanto los áridos como el ligante bituminoso deben ser calentados por separado a una temperatura de 160 °C. Cabe mencionar que los áridos deben estar secos (Salgado & Navarrete, 2019).

#### **2.4.1.2.Mezcla asfáltica en semi-calientes o tibias**

Estas mezclas son realizadas a una temperatura que va entre los 100°C a 135°C, con la finalidad de reducir la viscosidad del asfalto. Y si comparamos con la mezcla en caliente los agregados van a estar cubierto a temperaturas relativamente bajas (Lopera & Córdova, 2012).

#### **2.4.1.3.Mezclas asfálticas en frio**

Estas mezclas se preparan in situ, puesto que los agregados se utilizan con la humedad que poseen y el asfalto debe ser calentado a una temperatura menor a 60 °C. Y su compactación se lo realiza a temperatura ambiente (Salgado & Navarrete, 2019).

#### **2.4.2. Propiedades de las mezclas asfálticas.**

Estas propiedades dependen mucho de los materiales ya que no todos son diseñados de la misma forma, a continuación, se presenta las propiedades que se debe considerar en una mezcla.

##### **2.4.2.1.Estabilidad y flujo**

La estabilidad es la capacidad que tiene el pavimento para resistir a deformaciones y desplazamientos bajo cargas de tránsito. Para tener un registro de estabilidad debemos tener un análisis completo del tránsito, puesto que depende del tránsito que se espera. Cuando tenemos valores muy altos en la estabilidad se puede decir que el pavimento es demasiado rígido.

El Flujo también es conocido como fluencia, se refiere a la deformación vertical total resultado del sometimiento de la muestra a una carga máxima. Un factor importante en el flujo es la cantidad de asfalto en la muestra, es decir, cuando incrementamos el material de fluencia también incrementamos la mezcla (Romero & Sánchez, 2022).

##### **2.4.2.2.Durabilidad**

Esta propiedad resiste a factores como los cambios en las propiedades del asfalto, separación de las películas de asfalto y la desintegración del agregado, debido a condiciones externos. Al tener una buena mezcla asfáltica estamos asegurando que el pavimento no tenga un excesivo envejecimiento.

### **2.4.2.3.Impermeabilidad**

Es la capacidad que debe poseer la capa de rodadura para resistir al paso de agua o de aire, está relacionada directamente con el porcentaje de vacíos que posee la mezcla.

### **2.4.2.4.Flexibilidad**

Es la propiedad que tiene la mezcla asfáltica de sufrir deformaciones adaptándose a los diferentes cambios que produce las capas inferiores sin sufrir ningún agrietamiento (Jiménez, 2016).

### **2.4.2.5.Resistencia a la fatiga**

Es la capacidad para que soporte los esfuerzos que son causados por los vehículos, ya que la consecuencia de la fatiga es el agrietamiento.

### **2.4.2.6.Resistencia al deslizamiento**

Se refiere a la capacidad del pavimento para evitar el deslizamiento de los neumáticos, sobre todo cuando la superficie de rodamiento este humedecida. Esta propiedad se relaciona con dos aspectos como son el contenido de asfalto y las características del agregado.

### **2.4.2.7.Trabajabilidad**

Se refiere al grado de dificultad que el material posee al momento de ser mezclado en el proceso de elaboración o colocación del pavimento. Existen diferentes parámetros los cuales le dificultan como por ejemplo la temperatura con la que se trabaja y con la que compactamos, al igual que el alto contenido de filler.

## **2.4.3. Propiedades Volumétricas de las mezclas asfálticas.**

### **2.4.3.1.Vacíos de Aire**

Según (MOP-001-F, 2002) la mezcla debe contener un porcentaje de vacíos que va del 3 % al 5 %. Esto representa los espacios o bolsas que se encuentra entre las partículas de dicha mezcla.

### **2.4.3.2.Vacíos en el Agregado Mineral**

Son espacios de aire que hay entre las partículas de agregado en una mezcla, esto incluye los espacios que están llenos de asfalto. Cuando el VMA es mayor significa que habrá más espacio disponible para las películas de asfalto. Los valores mínimos del VMA está relacionado con el tamaño de los agregados (Asphalt Institute, 1982).

### **2.4.3.3.Densidad**

Una de las características importantes es que se debe tener una alta densidad en el pavimento ya que esto nos garantiza tener un rendimiento duradero. La densidad que se obtiene en el laboratorio viene a ser la densidad patrón y se usa como referencia para determinar si la densidad del pavimento es adecuada o no.

### **2.4.3.4.Contenido de Asfalto**

Esto depende de las características del agregado como es la granulometría y la capacidad de absorción, ya que la granulometría está relacionada con el contenido óptimo de asfalto.

## **2.5.Planta Higuera.**

Su nombre científico es *Ricinus communis L.* es una planta tipo arbusto con altura de 1 a 3.5 metros lo que le convierte en una especie invasora, el principal producto de cultivo es su semilla o fruto a partir del cual se extrae la resina para convertirla en aceite de resino y aprovechar todos sus beneficios en las distintas industrias.

Al momento de la manipulación de esta planta hay que ser cuidadosos debido a la alta toxicidad de sus semillas (Orlando y otros, 2022).

## **2.6.Resina de la planta de higuera.**

La resina que se obtiene de manera natural de la planta higuera también conocida como aceite de ricino es ampliamente utilizada en diversas industrias como son farmacéuticas, cosmética, producción de biodiesel, entre otras.

### **2.6.1. Propiedades físico – químicas de la resina de higuera.**

#### **2.6.1.1.Viscosidad dinámica**

Es la resistencia que presenta el aceite a fluir debido al rozamiento que puede tener entre sus moléculas, esta tiende a variar dependiendo de la temperatura al que este se encuentre expuesto, sin embargo, la desventaja que muestra este aceite es que entre más baja la temperatura más alta es la viscosidad.

Se puede entender que mientras menor sea la viscosidad el líquido tendrá una mayor fluidez, su unidad de medida es el poisson.

### **2.6.1.2.Viscosidad cinemática**

En este tipo de viscosidad se mide la resistencia interna de un fluido y su capacidad de fluir bajo el efecto de las fuerzas gravitacionales, su unidad de medida es  $\text{mm}^2/\text{seg}$ .

### **2.6.1.3.Densidad.**

La densidad del aceite es una propiedad importante que se debe conocer, es una magnitud escalar, siendo la relación existente entre la masa específica y el volumen conocido. Su unidad de medida es  $\text{g}/\text{cm}^3$  (Hernandes, 2018).

### **2.6.1.4.Punto de Inflamación.**

El punto de inflamación se refiere a la temperatura en la cual una sustancia arde al aplicar una llama durante al menos 5 segundos, es decir es el límite a la cual puede ser expuesta la misma. Mientras más pesado sea el compuesto tiene la capacidad de soportar una mayor temperatura.

### **2.6.1.5.Toxicidad.**

La resina de higuerilla se encuentra compuesta principalmente por ricina que es una proteína tóxica la cual está presente en las semillas o en los desechos del procesamiento de la resina, al ser esta utilizada en ámbitos industriales como pesticida la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha propuesto la siguiente figura para determinar qué tan tóxico puede llegar a ser.

## Figura 1.

### Índice de toxicidad.

Categoría de peligro	ORAL (Símbolo y frase de peligro)	DERMAL (Símbolo y frase de peligro)	INHALACION (Símbolo y frase de peligro)
<b>1</b> PELIGRO	 Mortal en caso de ingestión	 Mortal por el contacto con la piel	 Mortal si se inhala
<b>2</b> PELIGRO	 Mortal en caso de ingestión	 Mortal por el contacto con la piel	 Mortal si se inhala
<b>3</b> PELIGRO	 Tóxico en caso de ingestión	 Tóxico por el contacto con la piel	 Tóxico si se inhala
<b>4</b> PRECAUCION	 Nocivo en caso de ingestión	 Nocivo por el contacto con la piel	 Nocivo si se inhala
<b>5</b> PRECAUCION	Puede ser nocivo en caso de ingestión	Puede ser nocivo en contacto con la piel	Puede ser nocivo si se inhala

Fuente: (AMIFAC, 2009)

#### 2.6.1.6. Color

Es importante diferenciar los colores de los aceites, ya que estos nos ayudan a identificar si es un aceite suave o intenso, pero este no es un identificador de la calidad.

#### 2.6.1.7. Olor

El olor puede ser caracterizado como ofensivo o contaminante dependiendo de las molestias que puede provocar a las personas. Cabe mencionar que cada individuo tiene diferentes sensibilidades.

#### 2.6.1.8. PH

Es una forma de medir la acidez o alcalinidad que indica la cantidad de iones de hidrógenos que se puede encontrar presente en una solución. En las resinas el nivel de PH debe ser igual o superior a 6.5 puntos.

## Figura 2.

*Escala de pH.*



**Fuente:** (Ondarse Álvarez, 2021)

### 2.6.2. Procesamiento de la resina de la higuera.

El proceso para la extracción del aceite que contiene la semilla de la planta de higuera se lo puede realizar de forma simplificada o por medio de una prensa o un disolvente como el hexano (Salinas de León y otros, 2020). Para esta investigación se ha realizado de una forma simplificada siguiendo los siguientes pasos:

- \* Recolección de la materia prima: La recolecta se lo hace de una planta donde las semillas ya están totalmente maduras para un mejor proceso de extracción de la resina.

## Figura 3.

*Recolección de semillas.*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

- \* Descascarado y trituración: A cada semilla se le quita su capa protectora para pasar a ser molidas en una licuadora, procesadora o un molino ayudando a liberar el aceite que posee.

#### **Figura 4.**

*Descascarado de las semillas.*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

- \* Procesamiento de la resina: La pasta que resulto de la molida se mezcla con el doble de cantidad de agua para someter a una cocción con una temperatura de  $100^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ , donde el agua se reduce y como resultado queda el aceite de higuera.

#### **Figura 5.**

*Procesamiento de la resina.*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

- \* Decantación: Después de la extracción el aceite pasa por una malla fina donde las impurezas quedan y el aceite queda limpio.

## Figura 6.

*Decantación del aceite.*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

- \* Almacenamiento y envasado: El aceite se almacena en envases de vidrio para que no se vea afectado sus propiedades y se debe guardar en un lugar donde no reciba la luz directa del sol.

## Figura 7.

*Envasado y almacenamiento del aceite.*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

## 2.7. Agregados Pétreos.

Son materiales granulares que se utilizan principalmente en la construcción, por medio de la adición de distintos elementos son importantes para la resistencia y durabilidad de donde se aplique, pueden ser de origen natural o artificial (Olguín de la Mora, 2016)

### **2.7.1. Agregado Grueso**

Es el material que proviene de la desintegración de la roca de origen volcánico y que queda retenido en el tamiz N°4, debe estar elaborado bajo la normativa NTE INEN 872 para tener una buena calidad de este (HOLCIM, 2023).

### **2.7.2. Agregado Fino.**

Proviene de origen volcánico, puede ser una arena natural o piedra triturada con el tamaño de sus partículas menor a 4.75 mm, debe pasar el tamiz 3/8 y quedar retenido en el tamiz N°200 (Brayan, 2021).

## **2.8.Método de diseño de la mezcla asfáltica.**

El diseño de una mezcla asfáltica tiene por objetivo determinar la combinación ideal de materiales (3/4, 3/8, arena, asfalto) para lograr un producto con alta duración, el cual se verifica con ensayos de laboratorios y el cumplimiento de parámetros establecido en el MTOP.

### **2.8.1. Ensayo Marshall.**

Este ensayo se origina en los años 40 por el Departamento de Carreteras del Estado de Misisipi (EE. UU) por el técnico responsable Bruce G. Marshall.

El ensayo consiste en la elaboración de una serie de probetas cilíndricas (briquetas) las cuales van a ser sometidas a una carga diametral por medio de una velocidad constante en donde como resultado da la estabilidad y flujo de las muestras analizadas (Loma, 2013).

### **2.8.2. Estabilidad Marshall.**

La estabilidad es la carga máxima que soporta la briqueta ensayada luego de estar sometida una hora en baño maría a una temperatura de  $60 \pm 1^\circ\text{C}$ , donde el punto de falla hace referencia a la lectura de carga máxima obtenido en el ensayo.

### **2.8.3. Flujo Marshall.**

Se refiere a la deformación que alcanza la briqueta al ser sometida al ensayo de estabilidad.

## 2.9. Mezclas asfálticas en caliente

Para esta mezcla los agregados gruesos y finos deben estar completamente secos, luego se toma el 95 % de estos agregados y el 5 % de asfalto y se calientan por separado. Una vez que cumplan con la temperatura que nos dice la norma que es de 160°C se procede a mezclar sin dejar que la temperatura disminuya.

### 2.9.1. Requisitos Marshall para mezclas asfálticas en caliente.

De acuerdo con la norma (MOP-001-F, 2002) a continuación se presenta los requisitos que deben cumplir las mezclas asfálticas.

**Tabla 1.**

*“Requisitos Marshall”*

Tipo de Tráfico	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
	Min	Máx.	Min	Máx.	Min	Máx.	Min	Máx.
Criterios Marshall								
No de golpes/cara		75		75		50		50
Estabilidad (Libras)	2200	.....	1800	.....	1200	.....	1000	2400
Flujo (pulg. /100)	8	GWA14	8	14	8	16	8	16
% de vacíos	3	5	3	5	3	5	3	5

Fuente: (MOP-001-F, 2002)

### 2.10. Mezclas Asfálticas Modificadas.

Los asfaltos modificados hacen referencia a la incorporación de un aditivo modificador de diferentes orígenes, en este caso el aceite de higuera, con el objetivo de mejorar sus propiedades como durabilidad, temperatura, resistencia, mejorar agrietamientos, cohesión, entre otras (Forigua Orjuela & Pedraza Díaz, 2014).

#### 2.10.1. Implementación del modificador por vía húmeda.

Para la realización de este tema investigativo se ha añadido el aceite de higuera directamente al ligante bituminoso al momento de calentarlo a 160°C, teniendo en cuenta su buena compatibilidad con el mismo para obtener una mezcla homogénea para dar paso a mezclar con los agregados a la misma temperatura y obtener la mezcla asfáltica modificada.

## Figura 8.

*Adición del aceite vía húmeda.*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

### 2.11. Propiedades volumétricas de las mezclas asfálticas compactadas.

Es importante en toda mezcla asfáltica analizar sus propiedades volumétricas ya que hacen referencia principalmente a la calidad de compactación entre los agregados pétreos y el asfalto, a continuación, se detallan las mismas:

#### 2.11.1. Porcentaje de vacíos de aire (%Va).

Hace referencia a los espacios de aire que tengan lugar entre las partículas de los agregados pétreos después de su compactación final, este porcentaje se debe encontrar en el rango de 3% y 5 % según la MOP.

Se determina por medio de la siguiente expresión:

$$Va = 100 * \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$$

Va = Vacíos de aire de la mezcla compactada.

Gmm = Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica

Gmb = Gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada.

### **2.11.2. Vacíos del agregado mineral (%VAM).**

Se define como el espacio existente entre las partículas de la mezcla y los espacios rellenados con asfalto (contenido de asfalto efectivo), se expresa como un porcentaje del volumen total (Garnica y otros, 2004).

### **2.11.3. Gravedad específica Bulk (Gsb).**

Es la relación existente entre el peso en el aire del volumen de agregado incluyendo los vacíos permeables e impermeables y el peso en el aire de un volumen de agua libre de gas o destilada.

### **2.11.4. Gravedad específica máxima medida (Gmm).**

También conocida como peso específico RICE, es la cantidad de vacíos que tiene la mezcla asfáltica cuando la muestra es disgregada, indicando la cantidad de vacíos que tendrá la briqueta al ser compactada.

### **2.11.5. Gravedad específica efectiva del agregado (Gse).**

Es la relación del peso de una unidad de volumen de un material permeable (sin tomar en cuenta los vacíos permeables del asfalto), con respecto a una masa de igual densidad con volumen igual al agua destilada a una temperatura de agua (Garnica y otros, 2004).

## **3. CAPITULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1. Enfoque de investigación**

El enfoque de la presente investigación es cuantitativo, puesto que se va a usar datos numéricos obtenidos en los diferentes ensayos de laboratorio con la finalidad de descubrir si la resina que proviene de la planta higuera es compatible para la realización de bitúmenes asfálticos.

### **3.2. Tipo de investigación**

Este trabajo de investigación es de tipo experimental, partiendo de un diseño exploratorio puesto que nos basamos en la fórmula maestra de la empresa COVIPAL S.A. la que nos permite elaborar y ensayar muestras de briquetas normales y cuyos resultados de laboratorio servirán como punto de comparación con las muestras de briquetas modificadas, en las que, variando los porcentajes del modificador se encontró el porcentaje óptimo para comparar las mezclas.

### **3.3.Población de estudio y muestreo.**

La población y muestra de esta investigación hace referencia a las briquetas modificadas realizadas con distintos porcentajes de resina, en total se realizaron 9 combinaciones asfálticas, cada combinación cuenta con 5 briquetas, teniendo un total de 45 muestras.

### **3.4.Técnica de recolección de datos.**

El proceso para la realización de este trabajo investigativo inició con la recolección de información con temática referente al tema haciendo uso de distintas fuentes bibliográficas, para dar paso a los ensayos de laboratorio empezando con la caracterización de los distintos agregados pétreos como son granulometría, caras fracturadas, partículas planas y alargadas, peso específico y absorción, densidad y el proceso de extracción de la resina de la planta higuera, posteriormente se realizó el punto de inflamación al aceite y al asfalto a utilizar por medidas de seguridad y calidad, todos estos siguiendo las normativas ASTM, INEN e ISO dependiendo el tipo de ensayo.

Se prosiguió a realizar las primeras 5 briquetas de control haciendo uso de la “fórmula maestra” y a realizar los ensayos de estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos verificando que cumpla con lo establecido en la MOP, dando paso a la realización de las briquetas con la dosificación modificada incorporando el aceite de higuera para determinar sus propiedades de estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos y porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) siguiendo normativas AASHTO y ASTM.

### **3.5.Recolección de datos e instrumento.**

En este apartado se detallan los ensayos de laboratorio realizados tanto de agregados pétreos, ligante bituminoso, resina de higuera y a las mezclas asfálticas con referencia a las normas utilizadas en cada uno de ellos.

#### **3.5.1. Caracterización de los agregados pétreos.**

Los agregados utilizados en la realización de este trabajo investigativo provienen de la misma zona geográfica perteneciente a la empresa COVIPAL.S. A ubicada en la ciudad de Riobamba con cercanía a la cantera Cerro Negro.

### Figura 9.

Mina de donde se extrajeron los agregados pétreos.



Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)

### Tabla 2.

Ensayos para agregados pétreos finos y gruesos

Ensayo	Norma	
<b>Granulometría</b>	<b>INEN-696, 2011</b> Con una muestra inicial se lleva a la tamizadora por 5 minutos para proceder a pesar lo que retiene en cada tamiz y poder determinar si los agregados se encuentran dentro de los límites requeridos para mezclas asfálticas en caliente.	
	<b>INEN-856, 2010</b> Se lavó y se sumergió el árido por 24 horas, se secó las partículas en una estufa para realizar la prueba del cono y dar los 25 golpes con una muestra superficialmente seca, se registra el peso para introducir la muestra en el picnómetro aforado y pesado previamente, se procede a eliminar el aire agitando el picnómetro para registrar su peso con la muestra. Finalmente, se vacía el picnómetro y la muestra se lleva al horno para conseguir el peso de la muestra seca	

**Peso Específico y  
Absorción del árido  
Grueso**

**INEN-857, 210**

Se lavo y se sumergió el árido por 24 horas, pasado el tiempo se filtró el agua y se secó las partículas para pesarlo. Se sumergió la muestra con el uso de la canastilla para proceder a secar en el horno y tener su peso seco.



**Partículas Planas y  
Alargadas.**

**ASTM D-4791, 2005**

Se utiliza una masa mínima correspondiente al agregado analizado descrita en la normativa, se extiende la muestra seca para verificar que la relación largo/espesor sea mayor a 5 para considerar como partícula plana y alargada.



**Caras Fracturadas**

**ASTMD-5821, 2005**

Se utiliza una masa mínima correspondiente al agregado analizado descrita en la normativa, se extiende la muestra seca para inspeccionar cada partícula y verificar si cumple con los criterios de caras fracturadas.



**Abrasión**

**INEN-860, 2011**

Se usa para determinar la tenacidad del agregado, en el cual se ha utilizado una masa de 5000 gr y 12 esferas, para girar la máquina a 500 revoluciones con una velocidad de 30 r/min, para finalmente tamizar por el tamiz N°12 y pesar lo retenido en el mismo



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**3.5.1.1.Faja granulométrica de diseño.**

El agregado que se obtuvo fue tamizado con la finalidad de que la granulometría se coloque dentro de los rangos permitidos (**Tabla 3**) para una mezcla asfáltica en caliente.

**Tabla 3.**

“Composición granulométrica de agregados para mezcla asfáltica densa”

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada							
	3/4"	1/2"	3/8"	N°4				
1" (25.4 mm.)	100	..	..	..				
3/4" (19 mm.)	90	100	100	..				
1/2" (12.7 mm.)	..	90	100	100				
3/8" (9.50 mm.)	56	80		90	100			
N°4 (4.75 mm.)	35	65	44	74	55	85	80	100
N°8 (2,36 mm.)	23	49	28	58	32	67	65	100
N°16 (1.18 mm.)	..	..	..	..	..	..	40	80
N°30 (0.60 mm.)	..	..	..	..	..	..	25	65
N°50 (0.30 mm.)	5	19	5	21	7	23	7	40
N°100 (0.15 mm.)	..	..	..	..	..	..	3	20
N°200 (0.075 mm.)	2	8	2	10	2	10	2	10

Fuente: (MOP-001-F, 2002)

### 3.5.2. Caracterización del ligante bituminoso.

Para la realización de esta investigación se utilizó asfalto de tipo AC-20.

**Tabla 4.**

Ensayo realizado al ligante bituminoso.

Ensayo	Normativa
<b>Punto de Inflamación</b>	<b>I.N.V.E, 709, 2007</b> Se utiliza para determinar la mínima temperatura al que el asfalto puede ser manejado sin riesgo de ignición

Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)

### 3.5.3. Caracterización de la resina de higuera.

Para elaborar este tema investigativo la materia prima se extrajo de un lote ubicado en la vía a Guano en las coordenadas 1°37'41.1"S 78°38'09.3"W. Se obtuvo un total de 25 lb de materia prima de higuera dándonos como resultado 1500 ml de resina cantidad que fue suficiente para la obtención de los resultados.

**Figura 10.**

*Ubicación de donde se extrajo la materia prima.*

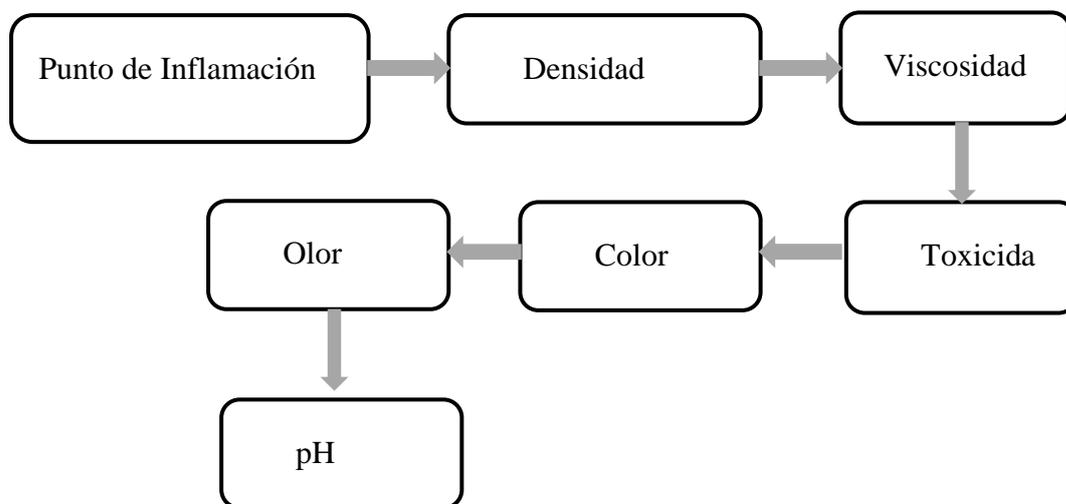


**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

En el proceso de extracción de la resina de la higuera se realizaron y analizaron las siguientes características:

**Figura 11.**

*Propiedades físicas - químicas de la resina.*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

### 3.5.4. Caracterización de las mezclas asfálticas.

Las briquetas compactadas modificadas y no modificadas deben ser ensayadas para verificar el cumplimiento de las especificaciones mencionadas en la normativa MOP-001-F, 2002, las mismas que se muestran en la **Tabla 1**.

Además, debe cumplir con parámetros para el % de vacíos del agregado mineral (VAM), así como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 5.**

*“% de vacíos del agregado mineral”.*

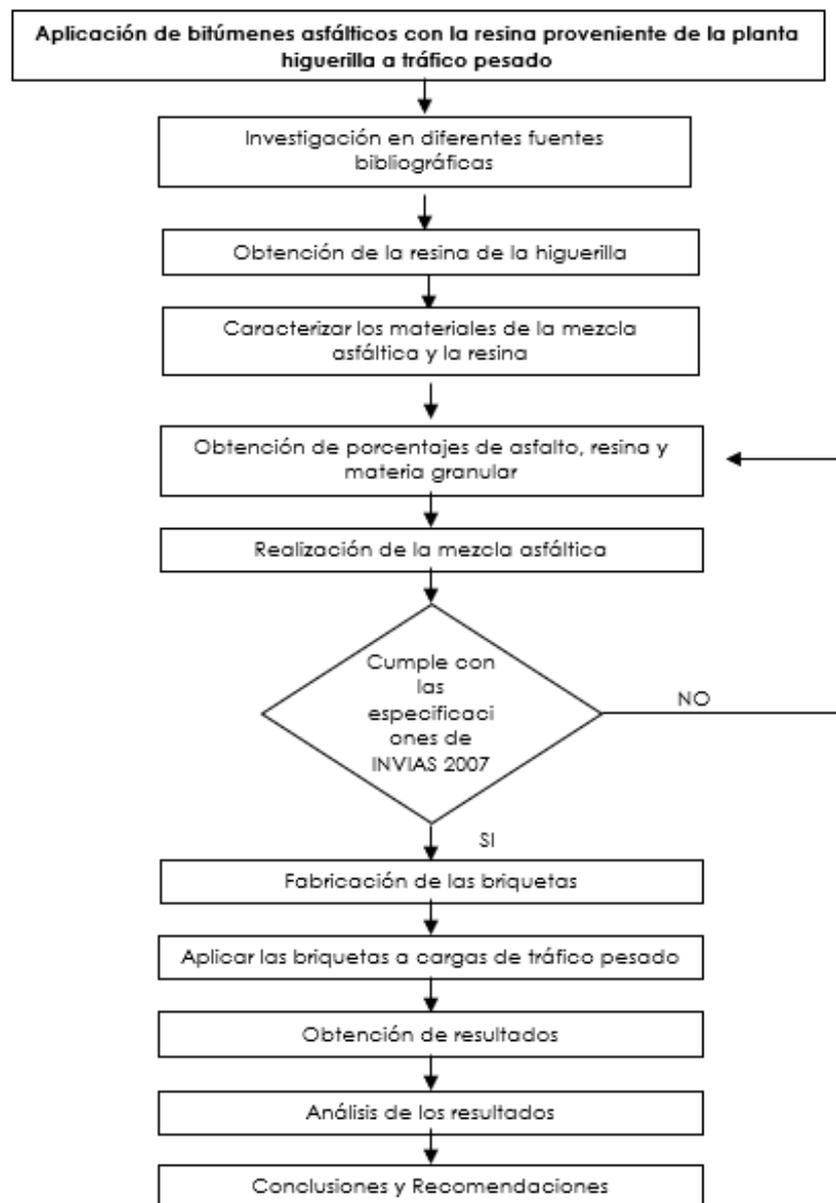
Tamaño máximo del agregado en mm		VAM mínimo [%]		
		Vacíos de diseño [%]		
Mm	In	3.0	4.0	5.0
1.8	N°16	21.5	22.5	23.5
2.36	N°8	19.0	20.0	21.0
4.75	N°4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	½	13.0	14.0	15.0
19.0	¾	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9	10	11.0

*Nota:* Estos valores normativos para el VAM han sido tomados de (MOP-001-F, 2002)

### 3.6. Diagrama Metodológico

**Figura 12.**

*Diagrama de flujo de la metodología (Actividades).*



**Fuente:** *(Inca & Peñafiel, 2023)*

## **4. CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Caracterización de los agregados pétreos**

#### **4.1.1. Abrasión del agregado grueso**

Para realizar este ensayo se usó la norma INEN 860, la que nos detalla todo el procedimiento que se debe seguir para determinar el desgaste que sufre los agregados.

**Tabla 6.***Resultados del ensayo de abrasión del agregado.*

<b>Agregado</b>	<b>Masa Inicial [gr]</b>	<b>Tamiz No 12 [gr]</b>	<b>Abrasión [%]</b>
¾	5000	4262.515	15
3/8	5000	3331.515	33

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

*Nota:* De acuerdo con la Norma INEN 860 el porcentaje de abrasión no puede ser mayor que el 40 %, y como observamos en la **Tabla 6** cumple con lo requerido, ya que para el agregado 3/4 tenemos una abrasión del 15 % y para el 3/8 del 33 %.

**4.1.2. Partículas Planas y Alargadas**

Se realizó el ensayo de acuerdo con la Norma ASTM D-4791 para el agregado 1/2 y 3/4, con sus respectivas cantidades como lo menciona la norma.

**Tabla 7.***Porcentaje de partículas planas y alargadas.*

<b>Tamaño [in]</b>	<b>Masa de ensayo [gr]</b>	<b>Caras Planas y Alargadas</b>	<b>Cantidad [gr]</b>	<b>Porcentaje [%]</b>
¾	5000	Ninguna	4767	95.34%
		Una o más	233	4.66%
½	2000	Ninguna	1803	90.15%
		Una o más	197	9.85%

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

*Nota:* Como se presenta en la **Tabla 7** tenemos el 4.66 % de partículas planas y alargadas para el agregado 3/4, mientras que para el 1/2 tenemos el 9.85 % de partículas. Según la norma no debe ser mayor que el 10 % por ende el ensayo está cumpliendo con la normativa.

**4.1.3. Caras Fracturadas**

Para determinar los resultados de este ensayo se empleó la Norma ASTM D-5821, donde nos detalla los requisitos que debe cumplir el ensayo.

**Tabla 8.***Resultados del ensayo de caras fracturadas.*

Tamaño [in]	Masa de ensayo [gr]	Caras Fracturadas	Cantidad [gr]	Porcentaje [%]
¾	2000	Ninguna	352	17.60%
		Una o más	1648	82.40%
3/8	300	Ninguna	56	18.67%
		Una o más	244	81.33%

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

*Nota:* De acuerdo con la norma mencionada cumple con el requerimiento que el porcentaje de caras fracturadas debe ser mayor al 80 % como podemos observar en la **Tabla 8.**

**4.1.4. Granulometría**

El presente ensayo se realizó para cada tipo de agregado, teniendo en cuenta la normativa INEN 696.

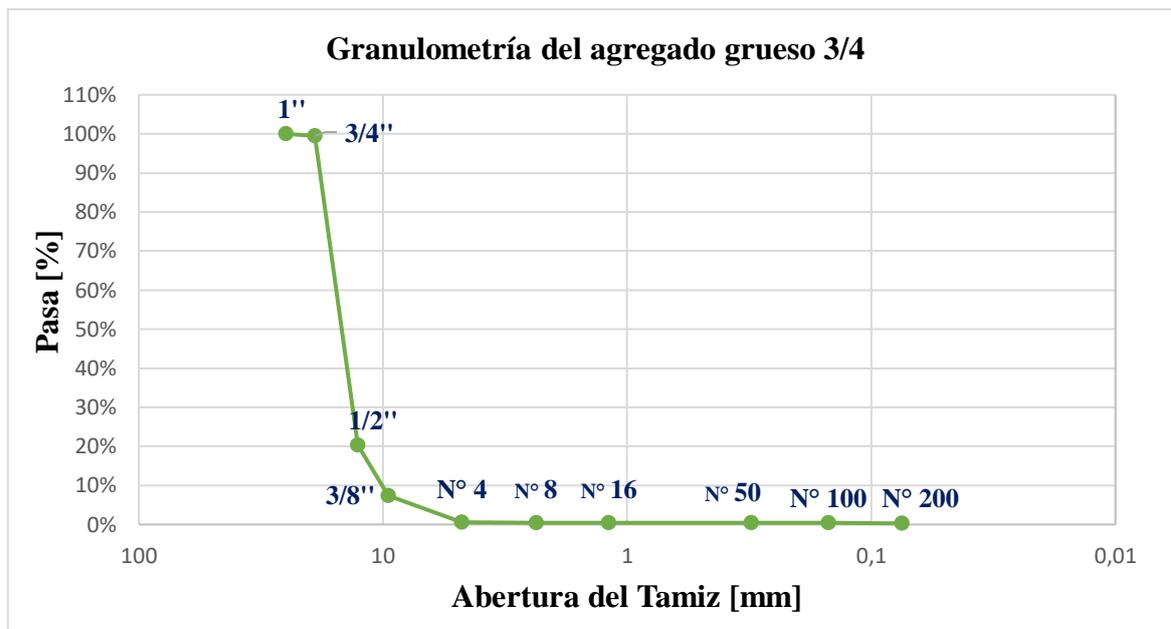
**Tabla 9.***Granulometría del agregado grueso 3/4.*

Tamices	mm	Retenido Parcial [kg]	Retenido Parcial [%]	Retenido Acumulado [%]	Pasa [%]
1"	25	0	0%	0%	100%
3/4"	19	0.022	1%	1%	99%
1/2"	12.7	3.16	79%	80%	20%
3/8"	9.5	0.516	13%	93%	7%
4	4.75	0.273	7%	99%	1%
8	2.36	0.004	0%	99%	1%
16	1.19	0.001	0%	100%	0%
50	0.31	0.001	0%	100%	0%
100	0.15	0.002	0%	100%	0%
200	0.075	0.005	0%	100%	0%
<b>Bandeja</b>		0.011	0%	100%	0%
<b>TOTAL</b>		3.995	100%		

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Figura 13.**

*Granulometría del agregado 3/4.*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Tabla 10.**

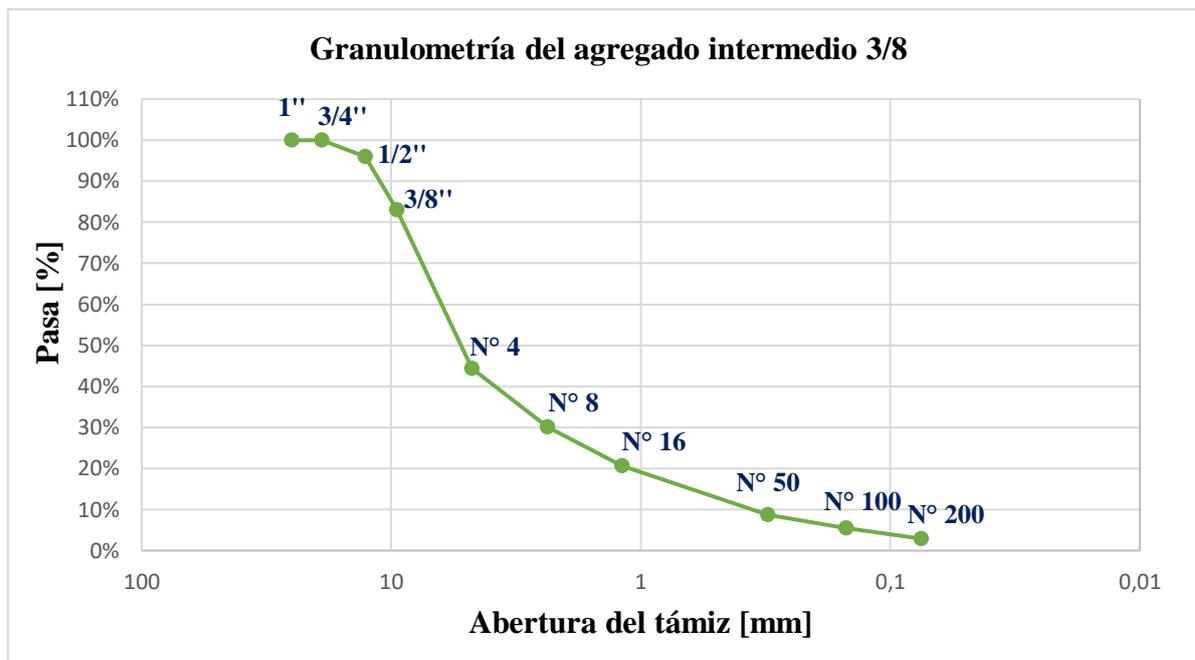
*Granulometría del agregado intermedio 3/8.*

Tamices	mm	Retenido Parcial [kg]	Retenido Parcial [%]	Retenido Acumulado [%]	Pasa [%]
1"	25	0	0%	0%	100%
3/4"	19	0	0%	0%	100%
1/2"	12.7	0.16	4%	4%	96%
3/8"	9.5	0.52	13%	17%	83%
4	4.75	1.544	39%	56%	44%
8	2.36	0.568	14%	70%	30%
16	1.19	0.379	9%	79%	21%
50	0.31	0.48	12%	91%	9%
100	0.15	0.129	3%	95%	5%
200	0.075	0.101	3%	97%	3%
Bandeja		0.116	3%	100%	0%
<b>TOTAL</b>		3.997	100%		

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Figura 14.**

*Granulometría del agregado 3/8.*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Tabla 11.**

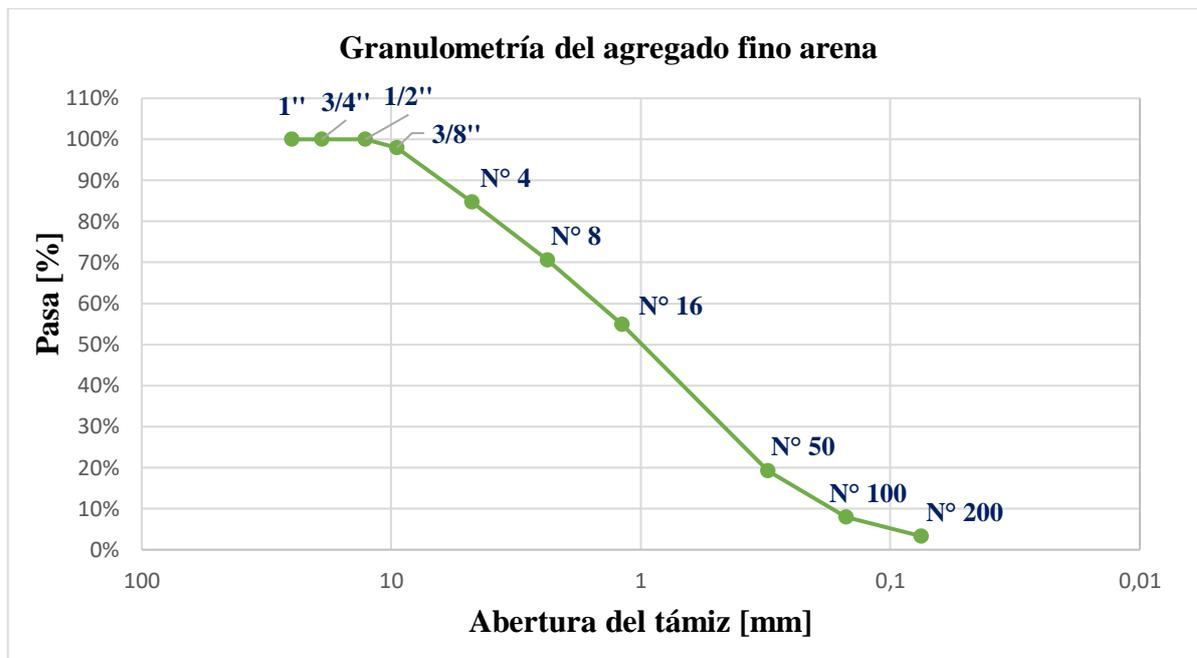
*Granulometría del agregado fino (Arena).*

Tamices	mm	Retenido Parcial [kg]	Retenido Parcial [%]	Retenido Acumulado [%]	Pasa [%]
1"	25	0	0%	0%	100%
3/4"	19	0	0%	0%	100%
1/2"	12.7	0	0%	0%	100%
3/8"	9.5	0.082	2%	2%	98%
4	4.75	0.527	13%	15%	85%
8	2.36	0.568	14%	29%	71%
16	1.19	0.624	16%	45%	55%
50	0.31	1.428	36%	81%	19%
100	0.15	0.45	11%	92%	8%
200	0.075	0.187	5%	97%	3%
<b>Bandeja</b>		0.131	3%	100%	0%
<b>TOTAL</b>		3.997	100%		

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Figura 15.**

*Granulometría del Agregado Fino.*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

#### 4.1.5. Peso Específico y Absorción

Se realizó el ensayo para los tres tipos de agregados como es el 3/4, 3/8 y el fino. Las normas que se utilizaron fueron la INEN 856 y la INEN 857.

**Tabla 12.**

*Resultados del peso específico y absorción de los agregados*

Ensayo	3/4"	3/8"	Arena
Densidad Relativa (Gravedad Especifica Bulk)	2.522	2.252	2.392
Densidad Relativa (Gravedad Especifica SSS)	2.590	2.421	2.535
Densidad Relativa Aparente (Gravedad Especifica Aparente)	2.705	2.710	2.792
Porcentaje de Absorción	2.685	7.510	5.977

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

## 4.2. Ensayos Realizados al Ligante Bituminoso.

El asfalto utilizado para el trabajo de investigación fue el AC-20, la empresa proveedora ya tiene realizados los ensayos necesarios en laboratorios de Petro Ecuador que han sido acreditados por el SAE, por lo tanto, no se vio necesario la realización de estos sabiendo que son resultados precisos y garantizados.

**Tabla 13.**

*Propiedades del ligante asfáltico*

Parámetro	Norma	Especificación		Resultado	Unidad de medida	U <sup>2</sup>
		Min.	Max.			
<b>Viscosidad Absoluta 140 °F (60°C)</b>	ASTM D2171_NTE INEN 810	160	240	180	Pas	±5%
<b>Viscosidad Cinemática 275 °F (135°C)</b>	ASTM D2171_NTE INEN 810/1981	300	-	358	mm <sup>2</sup> /s	±1.9%
<b>Penetración 77 °F (25 °C 100 G. 5s)</b>	ASTM D5_NTE INEN 918	60	-	78	Dmm	±4 dmm
<b>Punto de Inflamación</b>	ASTM D92_NTE INEN 808	232	-	286	°C	±5 °C
<b>Solubilidad en Tricloroetileno*</b>	ASTM D2042_NTE INEN 915	99	-	99.94	%P	-
<b>Residuo de ensayos de película fina en horno rotatorio*</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	-	-
<b>Viscosidad 60°C*</b>	ASTM D2171_NTE INEN 810	-	800	648	Pas	±N/A
<b>Ductibilidad 77 °F (25 °C) 5cm/min*</b>	ASTM D113_NTE INEN 916	50	-	65	Cm	-
<b>Gravedad API a 60 °F (25 °C) 5cm/min*</b>	ASTM D1298_NTE INEN 2319	REPORTE	REPORTE	7.1	°API	±N/A

<b>Densidad Relativa (15,6/15,6 °C)</b>	ASTM D1298_NTE INEN 2319	REPORTE	REPORTE	1.0209	-	±N/A
<b>Gravedad Específica 25/25 °C</b>	ASTM 70	REPORTE	REPORTE	1.010	-	±0.002
<b>Punto de ablandamiento*</b>	ASTM D36	-	-	48.2	°C	-
<b>Índice de penetración*</b>	ASTM D5	-1.5	1	-0.6	-	-
<b>Cambio de masa*</b>	ASTM D2872	-	1	-0.200	%P	-

*Nota:* Los ensayos marcados con (\*) NO se encuentran dentro del alcance de la acreditación SAE, °API, la **Tabla 13**. ha sido obtenida de (Petroecuador, 2016).

Sin embargo, por seguridad del manejo del asfalto se ha realizado el ensayo de punto de inflamación del asfalto siguiendo la normativa NTE INEN 808 obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 14.**

*Punto de inflamación del asfalto.*

<b>Muestra</b>	<b>Resultado [°C]</b>
N°1	283
N°2	276
N°3	290
<b>Promedio</b>	283

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

*Nota:* En la **Tabla 14**. se puede observar que el resultado del ensayo nos ha dado que el asfalto que vamos a trabajar tiene un punto de inflamación al llegar a 283°C

**Figura 16.**

*Ensayo del punto de inflamación en el asfalto.*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

### 4.3. Propiedades físico - químicas de la resina de higuera.

#### 4.3.1. Densidad:

$$\delta = \frac{27.5345 - 17.9412}{10.1901}$$

$$\delta = 0.91414 \left[ \frac{g}{ml} \right]$$

#### 4.3.2. Viscosidad:

**Tabla 15.**

*Procedimiento para obtener la viscosidad.*

142.48 minutos	145.32 minutos
<b>Viscosidad Cinemática</b>	
$v = k * t$	$v = k * t$
$v = 0.1 * 8548 \text{ seg}$	$v = 0.1 * 8719.2 \text{ seg}$
$v = 854.88 \text{ mm}^2/\text{seg}$	$v = 871.92 \text{ mm}^2/\text{seg}$
$v = 863.4 \text{ mm}^2/\text{seg}$	
<b>Viscosidad Dinámica</b>	
$n = v * \delta$	$n = v * \delta$
$n = 854.88 * 0.91414 \left[ \frac{g}{ml} \right]$	$n = 871.92 * 0.91414 \left[ \frac{g}{ml} \right]$
$n = 804.78 \text{ [m. Pa. s]}$	$n = 820.82 \text{ [m. Pa. s]}$
$n = 812.8 \text{ [m. Pa. s]}$	
RSD = 0.014 %	

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Tabla 16.**

*Resultados de las propiedades químicas de la resina de higuera.*

<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>
<b>Densidad</b>	0.9414	g/ml
<b>Viscosidad Dinámica</b>	812.8	m.Pa.s
<b>Viscosidad Cinemática</b>	863.4	mm <sup>2</sup> /s

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

**Figura 17.**

*Resultados del ensayo de densidad y viscosidad del aceite.*



*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

#### **4.3.3. Toxicidad.**

La materia prima de la resina de higuera debido a su composición química tiene un nivel de toxicidad significativo por lo que de acuerdo con la **Figura 1** se ha clasificado de la siguiente manera.

**Tabla 17.**

*Toxicidad de la resina de higuera*

	<b>Nivel de Toxicidad</b>
<b>Oral</b>	1
<b>Dermal</b>	3
<b>Inhalación</b>	5
<b>Total</b>	3 – Peligro

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

*Nota:* Se puede ver que la resina de higuera se encuentra en la categoría de peligro en nivel 3 al momento de su manipulación.

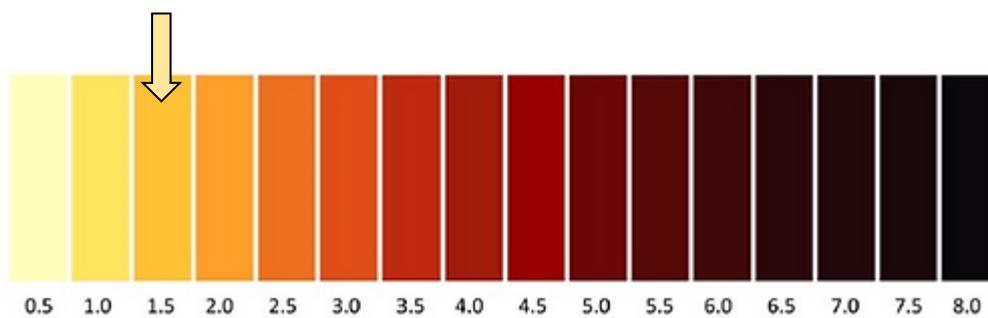
#### 4.3.4. Color

El color característico que obtuvimos al procesar la resina de la higuera es un color amarillento el cual es un indicativo que el proceso de extracción ha sido llevado a cabo de forma correcta.

Según la escala de color representada en la **Figura 18** el aceite se encuentra en el color 1.5

#### **Figura 18.**

*Escala de color.*



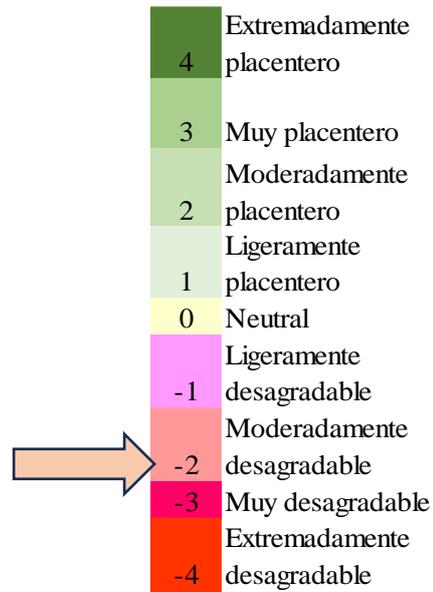
**Fuente:** (Saenz, 2013)

#### 4.3.5. Olor

El modificador empleado para esta investigación presentó un olor característico similar a papel húmedo, el cual resultó ser moderadamente desagradable (-2) al momento de ser manipulado.

## Figura 19.

*Cuantificación cualitativa del olor.*



**Fuente:** (ambientales, 2019)

*Nota:* Este olor puede ser clasificado a través de su intensidad como se observa en la *Figura 19*, cabe mencionar que esta percepción varía según la sensibilidad de las personas.

### 4.3.6. pH

Al realizar el ensayo el resultado que se obtuvo fue que la resina se encuentra con un PH de 6, es decir, es una sustancia neutra.

## Figura 20.

*Resultados del análisis del pH*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

#### 4.3.7. Punto de inflamación de la resina de higuera.

Por seguridad y peligro de inflamación al momento de mezclar el aceite con el asfalto se vio necesario la realización de este ensayo de laboratorio al aceite de higuera, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 18.**

*Punto de inflamación del aceite de higuera.*

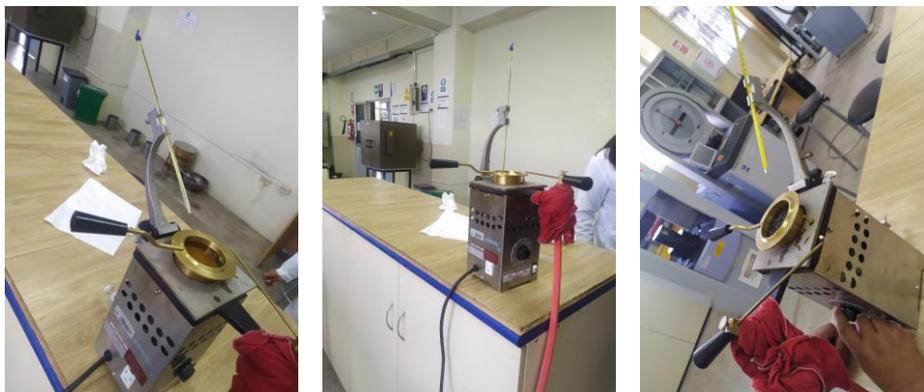
Muestra	Resultado [°C]
N°1	290
N°2	285
N°3	296
<b>Promedio</b>	290

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

*Nota:* Como se nota en la Tabla 18, el aceite de higuera tiene un punto de inflamación de 290°C.

**Figura 21.**

*Ensayo de punto de inflamación.*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

#### 4.4. Diseño de la mezcla asfáltica convencional.

Para saber la dosificación de la mezcla asfáltica convencional se ha tomado en cuenta una fórmula maestra que demuestra que cumple con todos los parámetros de control de calidad.

#### 4.4.1. Diseño de la estructura mineral óptima.

**Tabla 19.**

*Fórmula maestra óptima para la mezcla convencional.*

<b>Agregados</b>	<b>[%]</b>	<b>Masa [gr]</b>
¾"	24.4	292.8
3/8"	55.4	664.8
<b>Arena</b>	15.2	182.4
<b>Asfalto</b>	5	60
<b>Total</b>	100	1200

*Nota:* Estos valores han sido tomados de (COVIPAL.S.A., 2022), para garantizar su funcionamiento se ha utilizado 75 golpes de compactación en cada cara de la briqueta correspondiente a tráfico pesado.

#### 4.4.2. Faja del diseño de la mezcla asfáltica convencional.

De acuerdo con la granulometría del material y la dosificación propuesta se verifica que la combinación de los agregados se encuentra dentro de la curva de los límites mínimos y máximos que especifica la normativa.

**Tabla 20.**

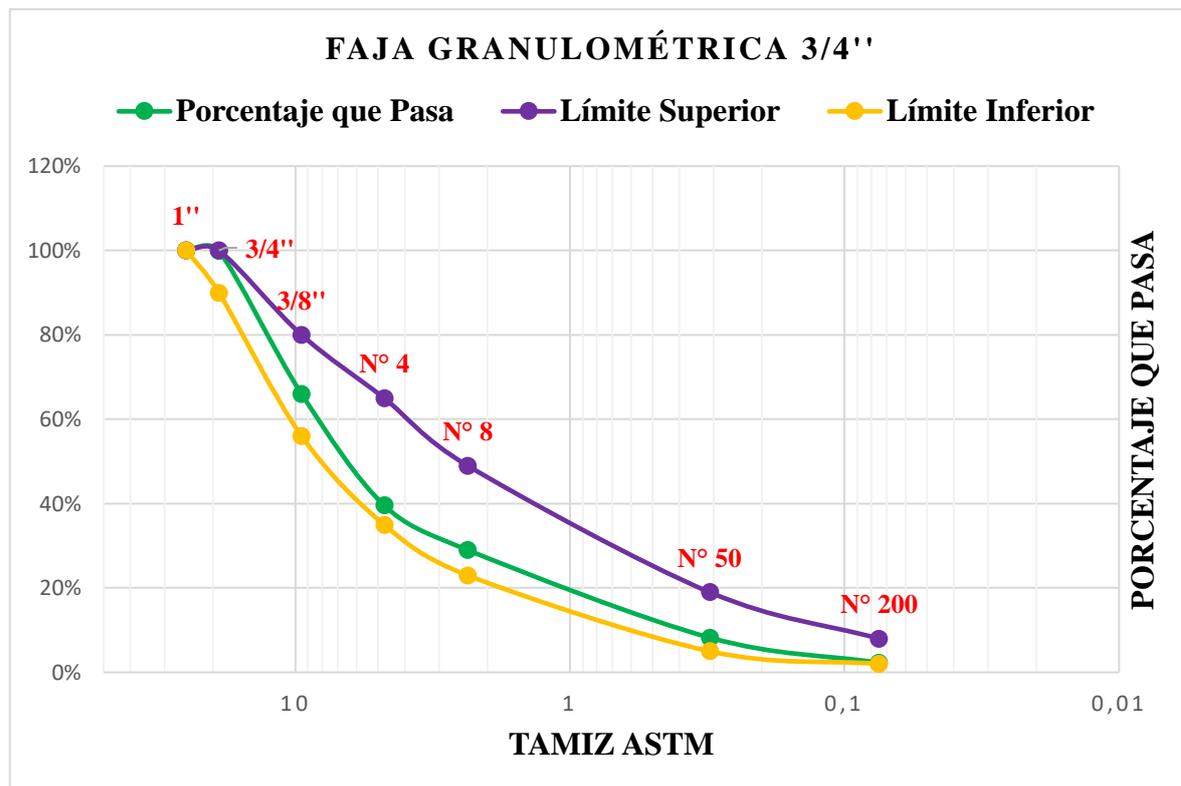
*Faja granulométrica.*

<b>Tamices</b>	<b>mm</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>Agregado Medio</b>	<b>Agregado Fino</b>	<b>Límite Superior</b>	<b>% Pasa Final</b>	<b>Límite Inferior</b>
<b>1"</b>	25	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>¾"</b>	19	99%	100%	100%	100%	100%	90%
<b>3/8"</b>	9.5	7%	83%	98%	80%	66%	56%
<b>4</b>	4.75	1%	44%	85%	65%	40%	35%
<b>8</b>	2.36	1%	30%	71%	49%	29%	23%
<b>50</b>	0.31	0%	9%	19%	19%	8%	5%
<b>200</b>	0.075	0%	3%	3%	8%	2%	2%

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Figura 22.**

*Faja granulométrica 3/4" de la mezcla total de los agregados.*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

#### 4.5. Diseño de la mezcla modificada con resina de higuera

Para realizar la dosificación de esta mezcla se fue variando el porcentaje de asfalto del 5%, es decir se redujo la cantidad en 4.5 %, 4%, 3.5%, 3%, 2.5%, 2%, 1.5%, 1 % y 0.5%, para luego completarla con un cierto porcentaje de aceite. Por ejemplo, se introdujo en la mezcla 4.5 % de asfalto y 0.5 % de resina de higuera. Cabe mencionar que la modificación solo se realizó en el asfalto ya que usamos la mezcla por vía húmeda, por ende, los porcentajes de la dosificación (fórmula maestra **Anexo 8**) no cambiaron. Tanto los agregados, el asfalto y la resina se trabajó con una temperatura de 160 °C como nos menciona la norma con la que se está trabajando.

**Tabla 21.**

*Dosificación para la mezcla modificada con el 0.5 % de resina.*

Agregados	Porcentaje	Cantidad [gr]
3/4"	24.4	292.80
3/8"	55.4	664.80
Arena	15.2	182.40
Asfalto	4.5	54

<b>Resina</b>	0.5	6
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1200</b>

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Tabla 22.**

*Dosificación para la mezcla modificada con el 1 % de resina.*

<b>Agregados</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Cantidad [gr]</b>
3/4"	24.4	292.80
3/8"	55.4	664.80
<b>Arena</b>	15.2	182.40
<b>Asfalto</b>	4	48
<b>Resina</b>	1	12
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1200</b>

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Tabla 23.**

*Dosificación para la mezcla modificada con el 1.5 % de resina.*

<b>Agregados</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Cantidad [gr]</b>
3/4"	24.4	292.80
3/8"	55.4	664.80
<b>Arena</b>	15.2	182.40
<b>Asfalto</b>	3.5	42
<b>Resina</b>	1.5	18
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1200</b>

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Tabla 24.**

*Dosificación para la mezcla modificada con el 2 % de resina.*

<b>Agregados</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Cantidad [gr]</b>
3/4"	24.4	292.80
3/8"	55.4	664.80
<b>Arena</b>	15.2	182.40
<b>Asfalto</b>	3	36
<b>Resina</b>	2	24
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1200</b>

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Tabla 25.**

*Dosificación para la mezcla modificada con el 2.5 % de resina.*

<b>Agregados</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Cantidad [gr]</b>
3/4"	24.4	292.80
3/8"	55.4	664.80

<b>Arena</b>	15.2	182.40
<b>Asfalto</b>	2.5	30
<b>Resina</b>	2.5	30
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1200</b>

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Tabla 26.** *Dosificación para la mezcla modificada con el 3 % de resina.*

<b>Agregados</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Cantidad [gr]</b>
3/4"	24.4	292.80
3/8"	55.4	664.80
<b>Arena</b>	15.2	182.40
<b>Asfalto</b>	2	24
<b>Resina</b>	3	36
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1200</b>

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Tabla 27.**

*Dosificación para la mezcla modificada con el 3.5 % de resina.*

<b>Agregados</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Cantidad [gr]</b>
3/4"	24.4	292.80
3/8"	55.4	664.80
<b>Arena</b>	15.2	182.40
<b>Asfalto</b>	1.5	18
<b>Resina</b>	3.5	42
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1200</b>

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Tabla 28.**

*Dosificación para la mezcla modificada con el 4 % de resina.*

<b>Agregados</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Cantidad [gr]</b>
3/4"	24.4	292.80
3/8"	55.4	664.80
<b>Arena</b>	15.2	182.40
<b>Asfalto</b>	1	12
<b>Resina</b>	4	48
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1200</b>

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Tabla 29.**

*Dosificación para la mezcla modificada con el 4.5 % de resina.*

<b>Agregados</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Cantidad [gr]</b>
3/4"	24.4	292.80
3/8"	55.4	664.80
<b>Arena</b>	15.2	182.40

<b>Asfalto</b>	0.5	6
<b>Resina</b>	4.5	54
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1200</b>

Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)

#### 4.5.1. Ensayo Marshall Estabilidad y Flujo

**Tabla 30.**

*Resultado de estabilidad y flujo de las mezclas modificadas*

<b>% De resina de higuera</b>	<b>Resistencia [lb]</b>	<b>Fluencia [1/100 plg]</b>
<b>0.5</b>	3290	11
<b>1</b>	2593	13
<b>1.5</b>	2784	12
<b>2</b>	3070	12
<b>2.5</b>	2202	11
<b>3</b>	2474	11
<b>3.5</b>	2243	15
<b>4</b>	3152	11
<b>4.5</b>	2389	11

Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)

*Nota:* Se realizó cinco briquetas por cada porcentaje de resina como se muestra en **Anexo 12.** pero en la **Tabla 30.** se muestra un promedio de los valores obtenidos, como podemos apreciar la mejor dosificación es la del 0.5 % de resina de acuerdo con la estabilidad.

#### 4.5.2. Porcentaje de Vacíos.

Para realizar este ensayo se usó la dosificación óptima que se obtuvo en el ensayo anterior y a continuación se presenta los resultados obtenidos.

**Tabla 31.**

*Densidad máxima teórica Gmm y % de vacíos.*

<b>Muestra</b>	<b>Código</b>	<b>Peso de la muestra [gr]</b>	<b>Peso del picnómetro + Agua [gr]</b>	<b>Peso del picnómetro + agua + material [gr]</b>	<b>Gmm</b>	<b>% de vacíos</b>
<b>0.5 % de resina</b>	M1	1169	8557	9235	2.38	4.73
	M2	1150	8557	9224	2.38	4.73
	M3	1134	8557	9215	2.38	4.79

Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)

*Nota:* Para mayor precisión se elaboró 3 briquetas con la dosificación óptima para este ensayo, dándonos como promedio un % de vacíos de 4.75 cumpliendo con lo que nos dice la normativa que debe estar en un rango de 3 a 5 %.

### 4.5.3. VAM

**Tabla 32.**

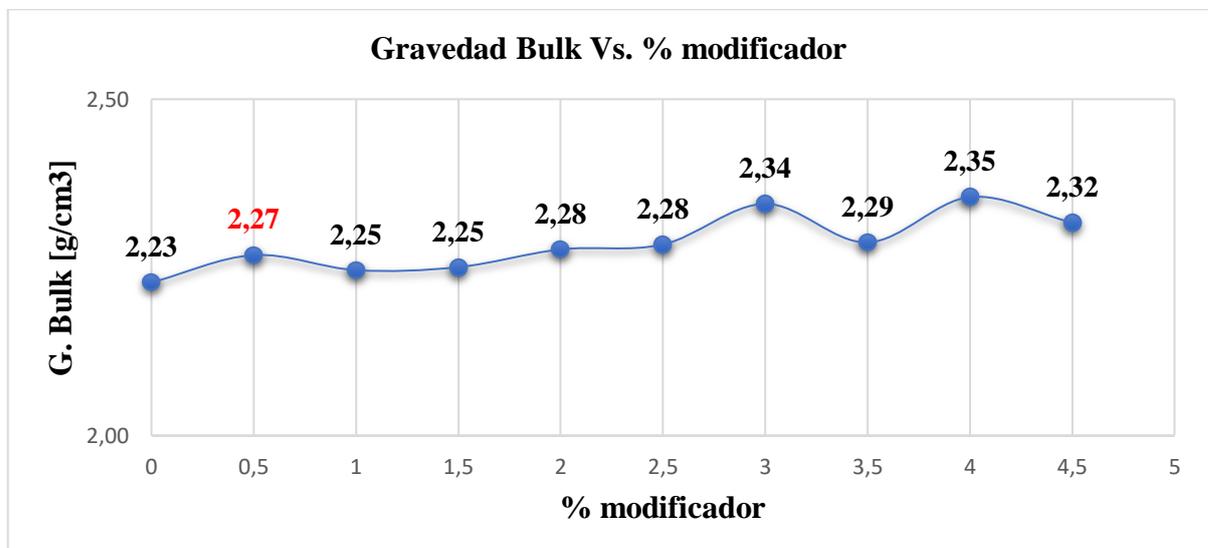
*Valores del VAM.*

Resina [%]	VAM [%]
0	13.24
0.5	13.79
1	14.40
1.5	15.24
2	18.52
2.5	19.27
3	18.16
3.5	17.36
4	14.01
4.5	19.14

**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Figura 23.**

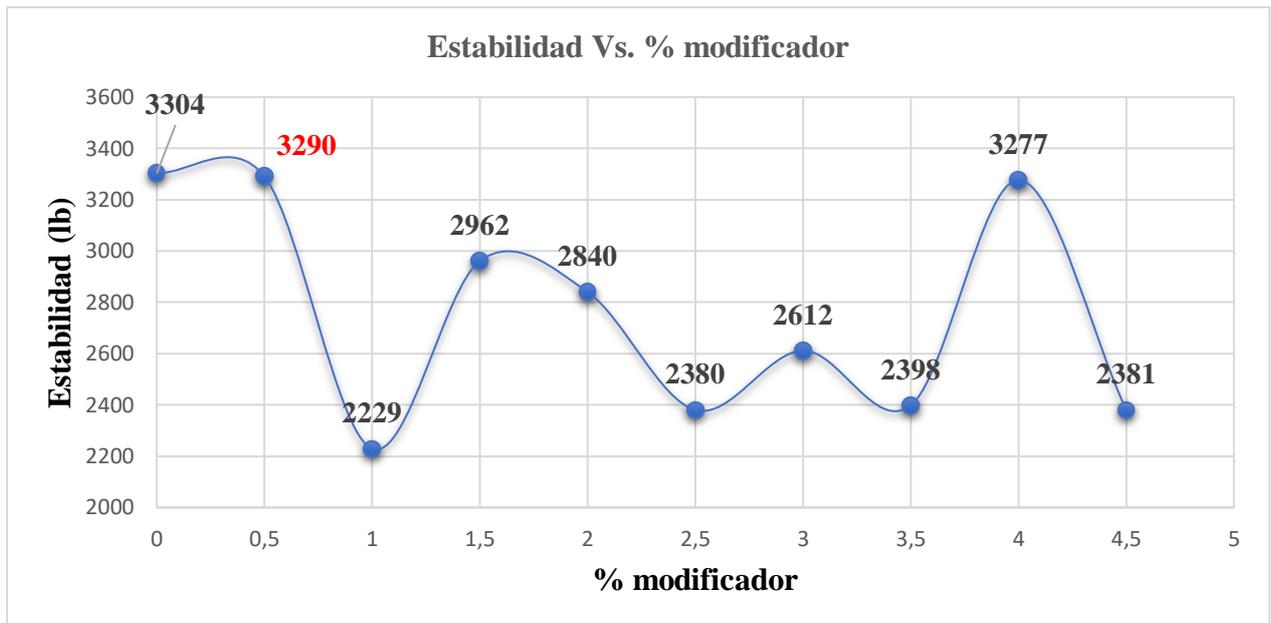
*Gravedad Bulk Vs. % modificador.*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Figura 24.**

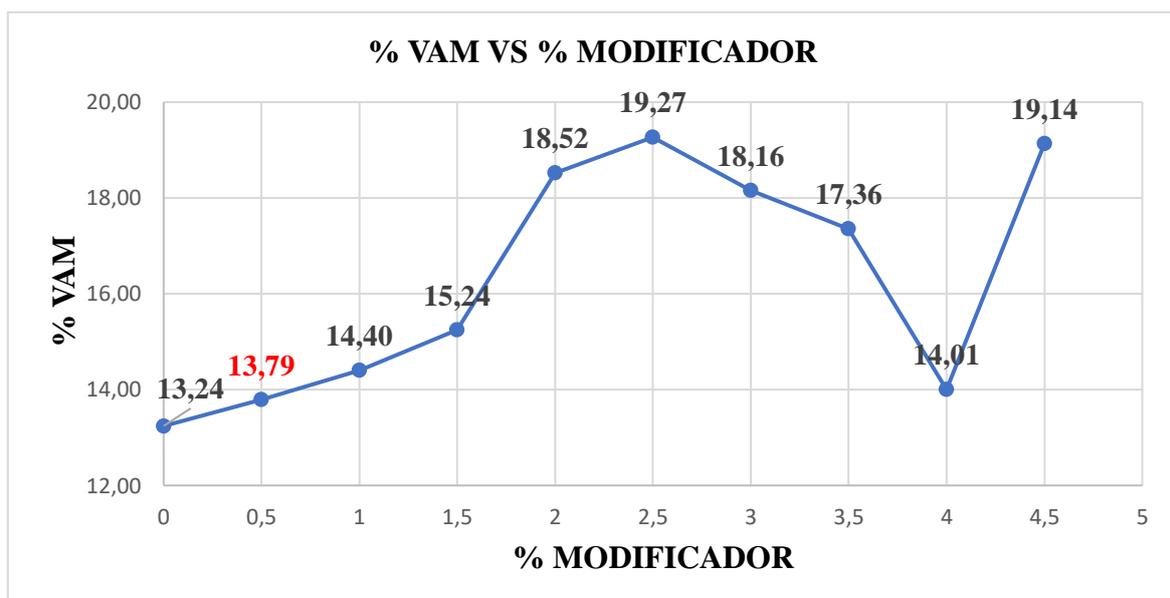
*Estabilidad vs. % modificador.*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Figura 25.**

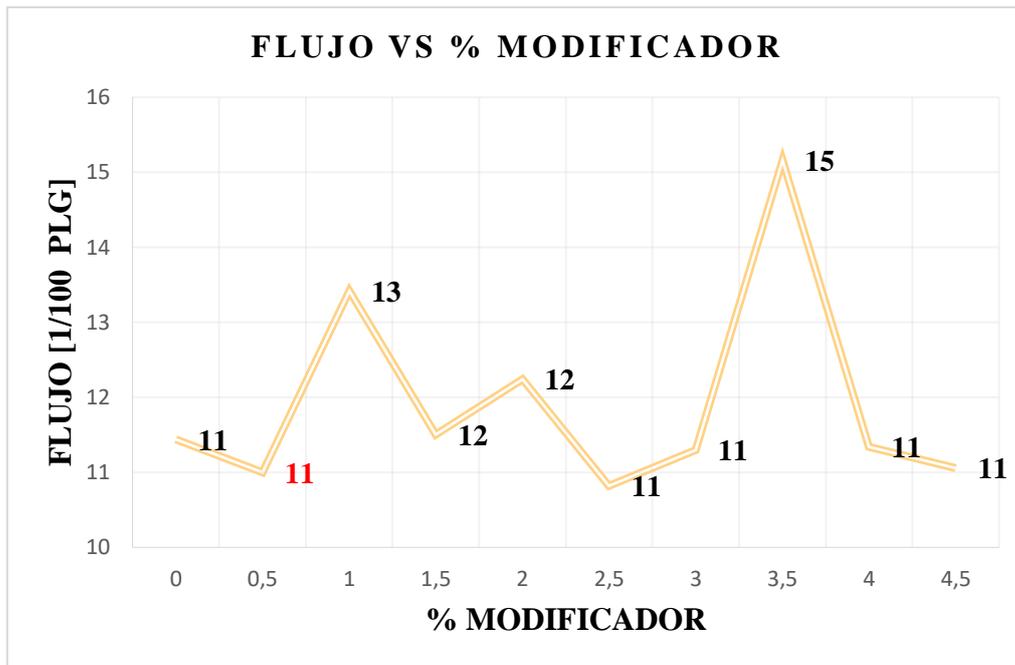
*% VAM vs. % modificador*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Figura 26.**

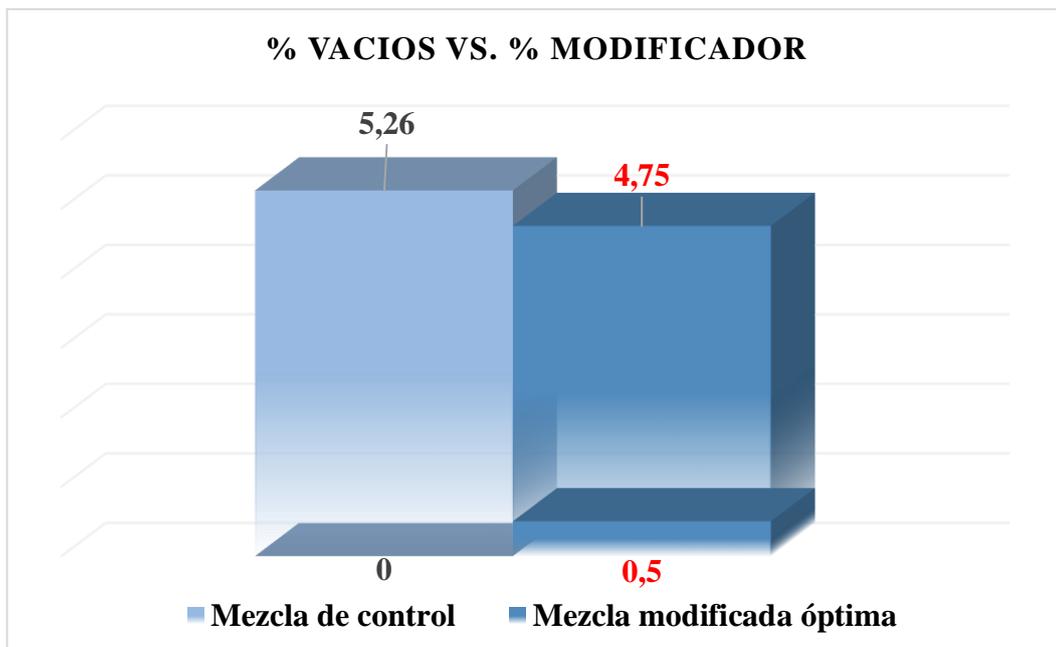
*Flujo Vs % modificador.*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Figura 27.**

*% Vacíos vs. % modificador.*

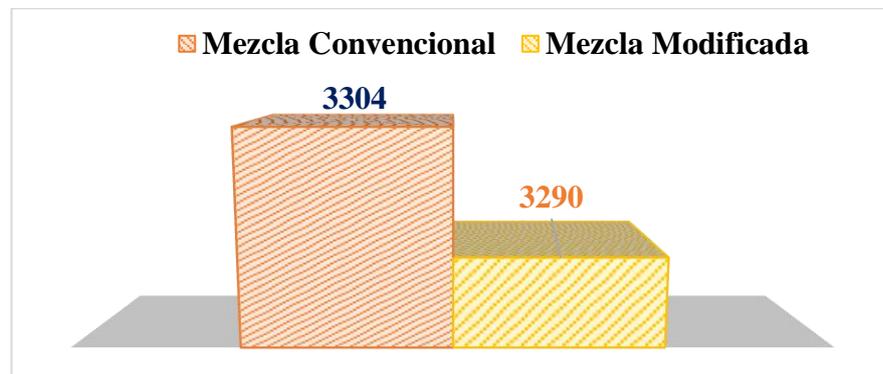


**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede observar que al implementar la resina de higuera a la mezcla se obtuvieron diferentes dosificaciones, de las cuales se optó por la que contiene 0.5 % de resina, debido a que tiene el valor más alto en cuanto a estabilidad, cabe mencionar que existe una diferencia de 14 lb entre las estabilidades tanto de la mezcla convencional como la de la mezcla modificada como se puede observar en la **Figura 28**. En fluencia las dos mezclas tienen un valor de 11 plg/100 que está dentro del rango que establece la norma (8-14 [plg/100]), mientras que el % Va para la mezcla modificada es de 4.75 % y para la mezcla convencional es de 5.26 %, es decir que la resina origina menos vacíos que la mezcla asfáltica convencional. Para el % VAM las dos mezclas cumplen con lo establecido en la norma que es de 12 a 14 % como podemos observar en la **Figura 29**.

**Figura 28.**

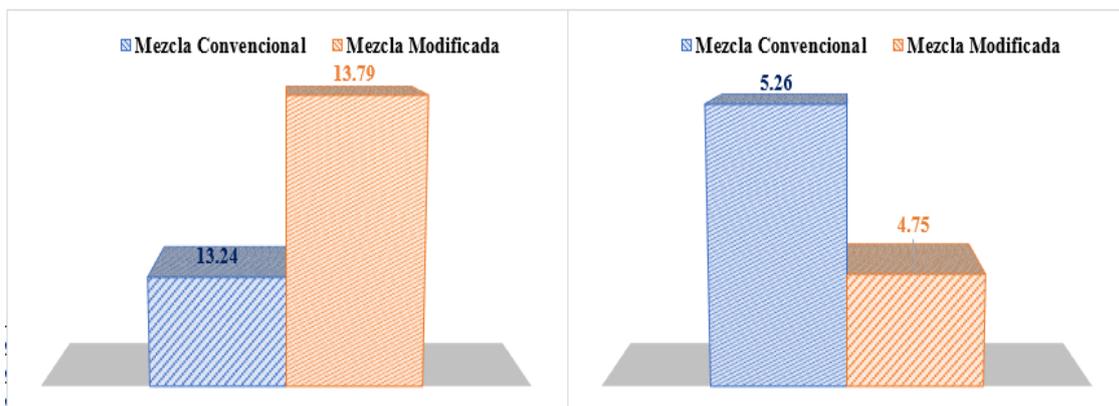
*Comparación de estabilidades.*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Figura 29.**

*Comparación de % Va y % VAM*



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

#### **4.6.Discusión:**

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos, cuyo propósito es analizar las variaciones en la resistencia de las mezclas diseñadas con bitúmenes asfálticos que incorporan un porcentaje de resina de higuierilla, se tiene que:

En las propiedades físicas – químicas de la resina de higuierilla se logró determinar la densidad de 0.94 [g/ml], la viscosidad cinemática de 863.4 [m.Pa.s]. Mientras que, (Salgado M. d., 2014) muestra en su investigación que la densidad de la resina es de 0.96 [g/ml], la viscosidad de 628.27 [m.Pa.s]. Al analizar los dos resultados en relación con la densidad, se observa que no existe una variación significativa entre ellos.

(Dávila Velandia & Magaldi Manotas, 2018) sostienen que al elaborar briquetas con aceite de cocina al 2 % después de su compactación a 75 golpes, estas briquetas tienden a deshacerse al desencofrarlas. No obstante, en el actual estudio se evidencia que al aplicar el 3.5 % al 4.5% de resina al momento de desmoldar conserva su forma, sin embargo, después de la aplicación de la carga estas se deshacen de manera inmediata.

Según (Cutti, 2019) nos da a conocer una investigación en la cual utiliza aceite de palma para las mezclas asfálticas, en la que contribuye con los siguientes resultados, en la estabilidad tiene un valor de 2697.36 [lb], 4.15 % de vacíos y un flujo de 9 [pulg]. Mientras que en la presente investigación que se está realizando se obtuvo una estabilidad de 3290 [lb], 4.75 % de vacíos y un flujo de 11 [pulg]. Se destaca notablemente que la resina de higuierilla muestra una mejora en las propiedades de las mezclas asfálticas en comparación con el aceite de palma, según los resultados mencionados.

Cabe mencionar que no existen investigaciones donde utilizan la resina de higuierilla para la elaboración de briquetas, como se muestra anteriormente hay fuentes bibliográficas que contribuyen con resultados donde utilizan aceites vegetales.

## 5. CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones.

- El proceso de extracción de la resina es de vital importancia ya que al ser realizado por nosotros desde la recolección de la materia prima hasta la obtención final del óleo se garantiza la pureza y las propiedades de este sin alteración alguna.
- Al momento de incorporar el óleo de higuierilla con el asfalto se observó su alta compatibilidad ya que se obtuvo una mezcla totalmente homogénea, debido a su composición química.
- Después de analizar el comportamiento que tienen las briquetas modificadas al ser sometidas al ensayo de estabilidad y fluencia se pudo notar que las muestras que contienen resina de 0.5 a 3% mantienen su compactación después del ensayo, mientras que las briquetas que tienen resina de 3.5 a 4.5% se desmoronan completamente, razón por la cual estas no pueden ser aplicables al tráfico pesado en la actualidad.
- En este trabajo investigativo se llegó a aplicar solo el 0.5% de asfalto en la dosificación obteniendo buenos resultados en el ensayo Marshall siendo la resina un buen modificador compatible del asfalto, sin embargo, por motivos de adherencia no es recomendable disminuir de manera drástica el asfalto empleado en bitúmenes.
- La dosificación óptima encontrada en esta investigación fue de 95% agregados, 4.5% de asfalto y 0.5% de resina de la higuierilla, debido a que presentó buenos resultados en el ensayo Marshall en la cual se analizaron 45 muestras.
- La dosificación utilizada tuvo un resultado de estabilidad de 3290 lb, la cual excede con lo mínimo establecido por la norma (1800 lb), al igual que el porcentaje de vacíos obtenido para la mezcla asfáltica modificada es de 4.75 %, es decir que se encuentra dentro de los límites que menciona la norma (3% a 5%).
- Al tener una mejora en el porcentaje de vacíos ayuda con la disminución de la filtración de agua y aire en el mismo, aumentando el tiempo de vida de la capa asfáltica.

## **5.2.Recomendaciones.**

- Debido a su nivel medio de toxicidad se recomienda tener cuidado al momento de manipular la materia prima y evitar contacto directo con los ojos y la boca.
- Elaborar mezclas asfálticas modificadas llevando a cabo proceso distinto de extracción de la resina de la higuera al propuesto en este tema de investigación, para analizar si esto influye en los resultados que se obtiene al realizar el ensayo Marshall y en sus demás propiedades.
- Es recomendable realizar las mezclas asfálticas en un lugar cerrado para evitar la pérdida de material volátil de los agregados y conservar la temperatura de los agregados y asfalto a 160°C.
- Se recomienda realizar un análisis de la influencia de los aceites vegetales en el resultado de la adherencia con los diferentes tipos de agregados y su comportamiento dentro de las mezclas asfálticas convencionales y/o recicladas a procesos de resistencia a la acción de la humedad y efectos de congelamiento.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- ambientales, G. d. (2019). *Metodo para el monitoreo de olores ofensivos*. Obtenido de <https://olores.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/03/Metodo-para-el-Monitoreo-de-Olores-Ofensivo.pdf>
- AMIFAC. (2009). (232). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/358287126/Poster-NOM-232>
- Asphalt Institute. (1982). *Principios-De-Construccion-De-Pavimentos-De-MezclaAsfalticas*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/66112307/MS-22-Principios-de-Construccion-de-Pavimentos-de-Mezcla-Asfalticas>
- Bobadilla, A. I. (2020). *Comparación de los métodos American Association Of State Highway and Transportation Officials (AASHTO-1993) - (MECHANICAL EMPIRICAL PAVEMENT DESIGN GUIDE M-EPDG AASHTO 2008)*. Obtenido de pdf: <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3818/52346.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Brayan. (31 de Mayo de 2021). *Agregado Fino - Resumen*. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/509963936/AGREGADO-FINO-RESUMEN>
- Cutti, E. (2019). *ACEITES VEGETALES PARA REDUCCIÓN DE TEMPERATURA DE MEZCLA Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS PARA EL DISEÑO DE LA AV. LEONCIO PRADO CHILCA - HUANCAYO 2019*. Obtenido de [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6968/T010\\_45592399\\_T.pdf?sequence=1](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6968/T010_45592399_T.pdf?sequence=1)
- Dávila Velandia, M. L., & Magaldi Manotas, P. M. (2018). *EFFECTO DEL ACEITE RECICLADO DE COCINA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MD-19 (60-70)*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/6d1c8169-5a42-488b-bbf6-967ebbf86f9a/content>
- Forigua Orjuela, J. E., & Pedraza Díaz, E. (2014). *Diseño de mezclas asfálticas modificadas mediante la adición de desperdicios plásticos*. Obtenido de Repositorio de la Universidad Católica de Colombia: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/8c22d15c-b4d1-4abe-acb5-cdec02f493b/content>
- Garnica, P., Delgado, H., Gómez Lopez, J. A., Alonso Romero, S., & Alarcón Orta, H. A. (2004). *ASPECTOS DEL DISEÑO VOLUMÉTRICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS*. Obtenido de SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES DEL INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE: <file:///C:/Users/WinUser/Downloads/pt246.pdf>
- Garnica, P., Flores, M., Gomez, A., & Delgado, H. (2005). *CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS*. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt267.pdf>
- Hernandes, P. (04 de Septiembre de 2018). *Análisis de la densidad del aceite: cuándo y por qué hacerlo*. Obtenido de ALS: <https://www.alsglobal.com/es/News-and-publications/2022/06/anlisis-de-la-densidad-del-aceite-cundo-y-por-qu>



- Orlando, J. F., Zambrano, L. A., & Zambrano, F. (2022). EL CULTIVO DE LA HIGUERILLA (*RICINUS COMMUNIS* L.) Y SU SITUACIÓN ACTUAL EN EL ECUADOR. *Paideia XXI*, 12. Obtenido de <https://doi.org/10.31381/paideiaxxi.v12i2.5103>
- Petroecuador. (2016). *ESTADISTICAS CEMENTO ASFALTO GRADO DE VISCOSIDAD*. Obtenido de <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/AC-20-GRADO-DE-VISCOSIDAD-2016.pdf>
- Reyes, F. (2007). *Mezclas asfálticas modificadas con un elastómero (caucho) y un plastómero (tiras de bolsas de leche con asfalto 80-100)*. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/2063/2026>
- Romero, H., & Sánchez, M. (2022). “*Diseño de una mezcla asfáltica incorporando fibra de abacá con cal como materiales de refuerzo al comportamiento Marshall*”. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/9948/1/ROMERO%20H-SANCHEZ%20M%20Dise%c3%b1o%20de%20una%20mezcla%20asf%c3%a1tica%20incorporando%20fibra%20de%20abac%c3%a1%20con%20cal%20como%20materiales%20de%20refuerzo.pdf>
- Saenz, N. (18 de Enero de 2013). *Metodo de Prueba ASTM D 1500*. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/doc/120910437/metodo-de-prueba-ASTM-D-1500>
- Salazar, L. G. (2015). *Efectos del agua atrapada en mezclas asfálticas, fase 2*. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/428/Efecto%20del%20agua%20atrapada%20en%20mezclas%20asf%c3%a1lticas%20en%20caliente%20Fase%202-%20Guillermo%20Lor%c3%ada.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Salgado, D. A., & Navarrete, S. A. (2019). *Diseño de mezcla asfáltica en frío como alternativa para el bacheo de pavimentos flexibles con*. Obtenido de PDF: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18645/1/T-UCE-0011-ICF-132.pdf>
- Salgado, M. d. (2014). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y FITOQUÍMICAS DEL ACEITE DE RICINO GENERADO EN SEMILLAS DE ECOTIPOS AUTÓCTONOS DE HIGUERILLA (*Ricinus communis*), EN TUNGURAHUA Y MANABÍ*”. Obtenido de file:///D:/Carol/Downloads/BQ%2069.pdf
- Salinas de León, F., Castillo Quiroz, D., Castillo Reyes, F., Morales Martínez, T., Rodríguez de la Garza, J., & Ríos González, L. (2020). Extracción de aceite de la semilla de *Ricinus communis* L. asistida por ultrasonido. *Bio Ciencias*, 6. Obtenido de <https://revistabiociencias.uan.edu.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/433/pdf>

## ANEXOS

### Anexo 1. Proceso para el ensayo de granulometría.



*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

### Anexo 2. Proceso para el ensayo de peso específico y absorción.



*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

### Anexo 3. Proceso para el ensayo de abrasión.



*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

**Anexo 4. Proceso para mezclas asfálticas**



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Anexo 5. Proceso para el ensayo Ge Bulk.**



**Fuente:** (Inca & Peñafiel, 2023)

**Anexo 6. Ensayo de Estabilidad y Flujo.**



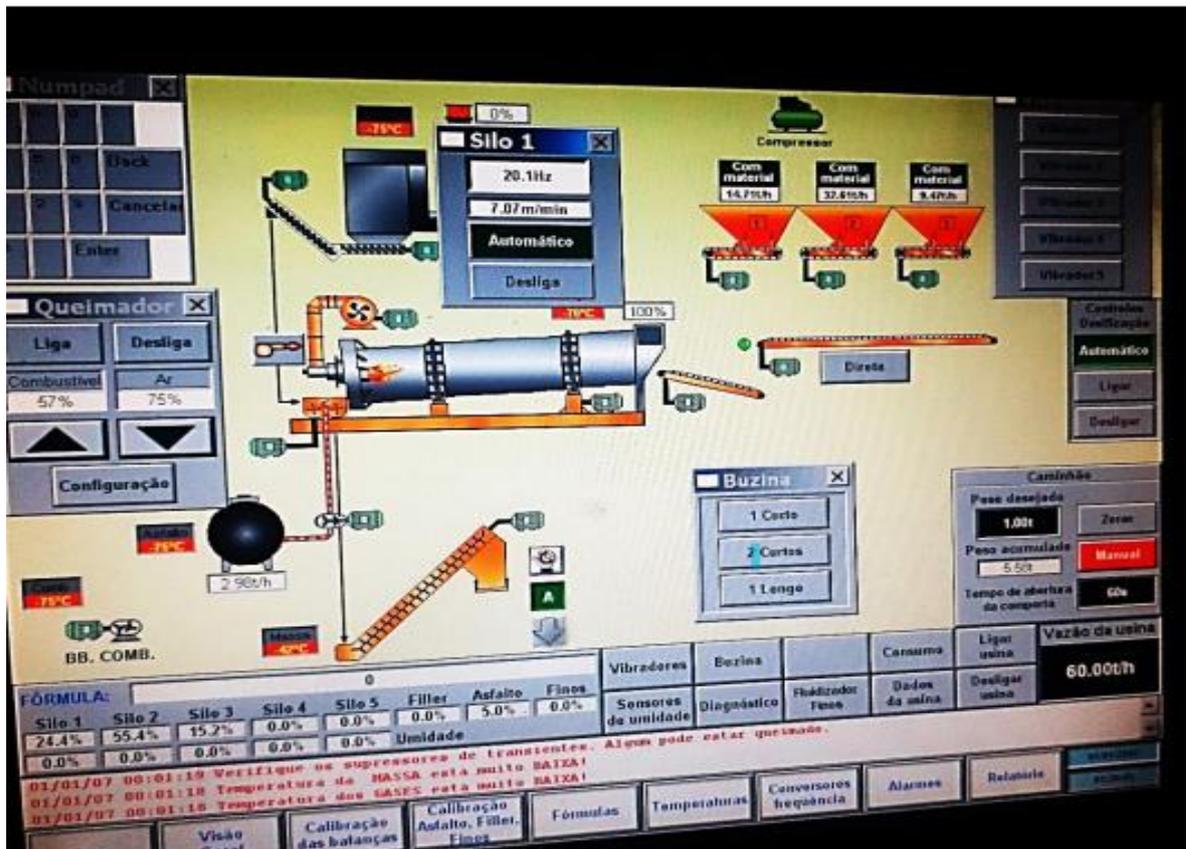
*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

**Anexo 7. Proceso para el ensayo de porcentajes de Vacíos.**



*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

Anexo 8. *Fórmula Maestra utilizada para las mezclas asfálticas.*



Fuente: (Noboa, 2022)

**Anexo 9.** Cálculos del peso específico y absorción de los agregados.

*Peso Específico Agregado 3/4*

 <p><b>ENSAYO:</b> <b>REALIZADO POR:</b> <b>TUTOR:</b> <b>UBICACIÓN:</b> <b>MASA ANALIZADA:</b></p>	<p><b>Universidad Nacional de Chimborazo</b> <b>Facultad de Ingeniería</b> <b>Carrera de Ingeniería Civil</b> <b><i>Peso Específico y Absorción Agregado 3/4</i></b> Inca Erika &amp; Peñafiel Marcia Ing. Vladimir Pazmiño UNACH 3000 gr</p>		
<b><u>TABULACIÓN DE DATOS</u></b>			
<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
A	Masa en aire de la muestra seca al horno	gr	2955.64
B	Masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca	gr	3035
C	Masa aparentemente en agua de la muestra saturada	gr	1863.03
<b><u>DENSIDADES</u></b>			
<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
SH	Densidad Relativa (Gravedad Especifica Bulk)	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.522
SSS	Densidad Relativa (Gravedad Especifica SSS)	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.590
SSS	Densidad Relativa Aparente (Gravedad Especifica Aparente)	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.705
<b><u>ABSORCIÓN</u></b>			
<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Ab %	Porcentaje de Absorción	%	2.685

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

*Peso Específico Agregado 3/8*

	<b>Universidad Nacional de Chimborazo</b> <b>Facultad de Ingeniería</b> <b>Carrera de Ingeniería Civil</b>		
<b>ENSAYO:</b> <b>REALIZADO POR:</b> <b>TUTOR:</b> <b>UBICACIÓN:</b> <b>MASA ANALIZADA:</b>	<p style="text-align: center;"><i>Peso Específico y Absorción Agregado 3/8</i></p> <p style="text-align: center;">Inca Erika &amp; Peñafiel Marcia                  Ing. Vladimir Pazmiño                  UNACH                  2000 gr</p>		
<b><u>TABULACIÓN DE DATOS</u></b>			
<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
A	Masa en aire de la muestra seca al horno	gr	1892.85
B	Masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca	gr	2035
C	Masa aparentemente en agua de la muestra saturada	gr	1194.34
<b><u>DENSIDADES</u></b>			
<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
SH	Densidad Relativa (Gravedad Especifica Bulk)	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.252
SSS	Densidad Relativa (Gravedad Especifica SSS)	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.421
SSS	Densidad Relativa Aparente (Gravedad Especifica Aparente)	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.710
<b><u>ABSORCIÓN</u></b>			
<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Ab %	Porcentaje de Absorción	%	7.510

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

*Peso Específico de la Arena*

 <p><b>ENSAYO:</b> <b>REALIZADO POR:</b> <b>TUTOR:</b> <b>UBICACIÓN:</b> <b>MASA ANALIZADA:</b></p>	<p><b>Universidad Nacional de Chimborazo</b> <b>Facultad de Ingeniería</b> <b>Carrera de Ingeniería Civil</b> <i>Peso Específico y Absorción Agregado 3/4</i> Inca Erika &amp; Peñafiel Marcia Ing. Vladimir Pazmiño UNACH 500 gr</p>		
<b><u>TABULACIÓN DE DATOS</u></b>			
<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
A	Masa de la muestra seca al horno	gr	471.8
B	Masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de	gr	1245
C	Masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca	gr	1547.8
S	Masa de la muestra saturada superficialmente seca	gr	500
<b><u>DENSIDADES</u></b>			
<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
SH	Densidad Relativa (Gravedad Especifica Bulk)	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.392
SSS	Densidad Relativa (Gravedad Especifica SSS)	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.535
SSS	Densidad Relativa Aparente (Gravedad Especifica Aparente)	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.792
<b><u>ABSORCIÓN</u></b>			
<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Ab %	Porcentaje de Absorción	%	5.977

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

Anexo 10. Cálculo de las partículas planas y alargadas.

		<b>Universidad Nacional de Chimborazo</b> <b>Facultad de Ingeniería</b> <b>Carrera de Ingeniería Civil</b>			
<b>ENSAYO:</b> <b>REALIZADO POR:</b> <b>TUTOR:</b> <b>UBICACIÓN:</b> <b>MASA ANALIZADA:</b>		<b>Partículas Planas y Alargadas</b> Inca Erika & Peñafiel Marcia Ing. Vladimir Pazmiño UNACH			
<b><u>TABULACIÓN DE DATOS</u></b>					
Tamaño [in]	Masa de ensayo [gr]	Caras Planas y Alargadas	Cantidad [gr]	Porcentaje [%]	Verificación (<= 10 %)
3/4	5000	Ninguna	4767	95.34%	Cumple
		Una o más	233	4.66%	
1/2	2000	Ninguna	1803	90.15%	Cumple
		Una o más	197	9.85%	

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

Anexo 11. Cálculo de Caras Fracturadas

		<b>Universidad Nacional de Chimborazo</b> <b>Facultad de Ingeniería</b> <b>Carrera de Ingeniería Civil</b>			
<b>ENSAYO:</b> <b>REALIZADO POR:</b> <b>TUTOR:</b> <b>UBICACIÓN:</b> <b>MASA ANALIZADA:</b>		<b>Caras Fracturadas</b> Inca Erika & Peñafiel Marcia Ing. Vladimir Pazmiño UNACH			
<b><u>TABULACIÓN DE DATOS</u></b>					
Tamaño [in]	Masa de ensayo [gr]	Caras Fracturadas	Cantidad [gr]	Porcentaje [%]	Verificación (>= 80 %)
3/4	2000	Ninguna	352	17.60%	Cumple
		Una o más	1648	82.40%	
3/8	300	Ninguna	56	18.67%	Cumple
		Una o más	244	81.33%	

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

Anexo 12. Cálculo Marshall.

Mezcla asfáltica de control.

	Universidad Nacional de Chimborazo Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil	
<b>ENSAYO:</b> ENSAYO MARSHALL <b>REALIZADO POR:</b> Inca & Peñafiel <b>TUTOR:</b> Ing. Vladimir Pazmiño <b>UBICACIÓN:</b> UNACH <b>MASA ANALIZADA:</b> 1200 kg		

Fecha		Código	Dosificación	Dimensionaes		Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso de la Briqueta			Ge Bulk (g/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad			Flujo	
Muestra	Ensayo			h (cm)	d (cm)		Seco (g)	Agua (g)	SSS (g)		Lectura (lb)	FC	Corregido (lb)	Lectura (plg)	1/100 (plg)
				M1	95 % de agregado - 5 % de asfalto - 0 % de aceite de higuerrilla		6.410	10.250	528.927		1162	654.7	1170	2.255	3252
		M2	6.460	10.330		541.406	1142	630.9	1152	2.192	3365	0.93	3129.45	0.1	10
		M3	6.380	10.390		540.931	1145	640	1153	2.232	3695	0.93	3436.35	0.144	14.4
		M4	6.530	10.240		537.778	1157	652.2	1169	2.239	3510	0.93	3264.3	0.132	13.2
		M5	6.370	10.300		530.767	1149	642.5	1160	2.220	3715	0.96	3566.4	0.096	9.6

Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)

Mezcla modificada con 0.5 % de resina.

	Universidad Nacional de Chimborazo Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil	
<b>ENSAYO:</b> ENSAYO MARSHALL <b>REALIZADO POR:</b> Inca Erika & Peñafiel Marcia <b>TUTOR:</b> Ing. Vladimir Pazmiño <b>UBICACIÓN:</b> UNACH <b>MASA ANALIZADA:</b> 1200 kg		

Fecha		Código	Dosificación	Dimensionaes		Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso de la Briqueta			Ge Bulk (g/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad			Flujo	
Muestra	Ensayo			h (cm)	d (cm)		Seco (g)	Agua (g)	SSS (g)		Lectura (lb)	FC	Corregido (lb)	Lectura (plg)	1/100 (plg)
				M1	95 % de agregado - 4.5 % de asfalto - 0.5 % de resinade higuerrilla		6.715	10.093	537.197		1153	645.8	1161	2.238	3067
		M2	6.488	10.200		530.112	1193	675	1199	2.277	3618	0.96	3473.28	0.139	13.9
		M3	6.348	10.140		512.588	1166	666.5	1171	2.311	3620	1	3620	0.109	10.9
		M4	7.033	10.185		572.957	1166	660.1	1192	2.192	2989	0.86	2570.54	0.121	12.1
		M5	6.315	10.220		518.042	1187	682.1	1193	2.323	3934	1	3934	0.115	11.5

Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)

Mezcla modificada con 1 % de resina.

		Universidad Nacional de Chimborazo Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil													
		ENSAYO: REALIZADO POR: TUTOR: UBICACIÓN: MASA ANALIZADA:						ENSAYO MARSHALL Inca Erika & Peñafiel Marcia Ing. Vladimir Pazmiño UNACH 1200 kg							
<b>1 % de resina de higuerrilla</b>															
Fecha		Código	Dosificación	Dimensionaes		Volumen (cm3)	Peso de la Briqueta			Ge Bulk (g/cm3)	Estabilidad			Flujo	
Muestra	Ensayo			h (cm)	d (cm)		Seco (g)	Agua (g)	SSS (g)		Lectura (lb)	FC	Corregido (lb)	Lectura (plg)	1/100 (plg)
13/09/2023	15/09/2023	M1	95 % de agregado - 4 % de asfalto-1% de resina de higuerrilla	6.865	10.275	569.238	1158	649.3	1178	2.190	2120	0.86	1823.2	0.165	16.5
		M2		6.503	10.218	533.162	1162	655.3	1172	2.249	2158	0.96	2071.68	0.096	9.6
		M3		6.695	10.280	555.682	1169	653	1178	2.227	2551	0.89	2270.39	0.145	14.5
		M4		6.430	10.275	533.169	1185	675.1	1191	2.297	2561	0.96	2458.56	0.132	13.2
		M5		6.638	10.248	547.432	1195	673.8	1201	2.267	2831	0.89	2519.59	0.133	13.3

Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)

Mezcla modificada con 1.5 % de resina.

		Universidad Nacional de Chimborazo Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil													
		ENSAYO: REALIZADO POR: TUTOR: UBICACIÓN: MASA ANALIZADA:						ENSAYO MARSHALL Inca Erika & Peñafiel Marcia Ing. Vladimir Pazmiño UNACH 1200 kg							
<b>1.5 % de resina de higuerrilla</b>															
Fecha		Código	Dosificación	Dimensionaes		Volumen (cm3)	Peso de la Briqueta			Ge Bulk (g/cm3)	Estabilidad			Flujo	
Muestra	Ensayo			h (cm)	d (cm)		Seco (g)	Agua (g)	SSS (g)		Lectura (lb)	FC	Corregido (lb)	Lectura (plg)	1/100 (plg)
18/09/2023	21/09/2023	M1	95 % de agregado - 3.5 % de asfalto - 1.5 % de resina de higuerrilla	6.760	10.208	553.191	1172	653.7	1186	2.202	3308	0.89	2944.12	0.118	11.8
		M2		6.640	10.158	538.061	1186	669.6	1196	2.253	3070	0.93	2855.1	0.1	10
		M3		6.650	10.143	537.281	1185	667.4	1192	2.259	3268	0.93	3039.24	0.125	12.5
		M4		6.428	10.208	525.982	1179	669.6	1185	2.288	3311	0.96	3178.56	0.107	10.7
		M5		6.535	10.145	528.230	1170	657.2	1177	2.251	2907	0.96	2790.72	0.125	12.5

Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)

Mezcla modificada con 2 % de resina.

		<b>Universidad Nacional de Chimborazo</b> <b>Facultad de Ingeniería</b> <b>Carrera de Ingeniería Civil</b> <b>ENSAYO: ENSAYO MARSHALL</b> <b>REALIZADO POR: Inca Erika &amp; Peñafiel Marcia</b> <b>TUTOR: Ing. Vladimir Pazmiño</b> <b>UBICACIÓN: UNACH</b> <b>MASA ANALIZADA: 1200 kg</b>													
		<b>2 % de resina de higuerrilla</b>													
Fecha		Código	Dosificación	Dimensiones		Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso de la Briqueta			Ge Bulk (g/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad			Flujo	
Muestra	Ensayo			h (cm)	d (cm)		Seco (g)	Agua (g)	SSS (g)		Lectura (lb)	FC	Corregido (lb)	Lectura (plg)	1/100 (plg)
19/09/2023	21/09/2023	M1	95 % de agregado - 3 % de asfalto - 2 % de resina de higuerrilla	6.650	10.178	540.996	1157	647.5	1173	2.202	2165	0.93	2013.45	0.101	10.1
		M2		6.128	10.195	500.205	1171	675.6	1174	2.350	3047	1.04	3168.88	0.137	13.7
		M3		6.3675	10.1875	519.032	1199	683.7	1200	2.322	3625	1	3625	0.121	12.1
		M4		6.5375	10.205	534.721	1169	659.6	1174	2.273	2883	0.96	2767.68	0.127	12.7
		M5		6.7025	10.2075	548.486	1169	656.6	1179	2.238	2950	0.89	2625.5	0.126	12.6

Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)

Mezcla modificada con 2.5 % de resina.

		<b>Universidad Nacional de Chimborazo</b> <b>Facultad de Ingeniería</b> <b>Carrera de Ingeniería Civil</b> <b>ENSAYO: ENSAYO MARSHALL</b> <b>REALIZADO POR: Inca Erika &amp; Peñafiel Marcia</b> <b>TUTOR: Ing. Vladimir Pazmiño</b> <b>UBICACIÓN: UNACH</b> <b>MASA ANALIZADA: 1200 kg</b>													
		<b>2.5 % de resina de higuerrilla</b>													
Fecha		Código	Dosificación	Dimensiones		Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso de la Briqueta			Ge Bulk (g/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad			Flujo	
Muestra	Ensayo			h (cm)	d (cm)		Seco (g)	Agua (g)	SSS (g)		Lectura (lb)	FC	Corregido (lb)	Lectura (plg)	1/100 (plg)
22/09/2023	26/09/2023	M1	95 % de agregado - 2.5 % de asfalto - 2.5 % de resina de higuerrilla	6.545	10.230	537.961	1154	661.2	1161	2.309	2460	0.93	2287.8	0.067	6.6
		M2		6.665	10.213	545.952	1170	662.1	1180	2.259	2176	0.93	2023.68	0.142	14.2
		M3		6.578	10.265	544.338	1154	658	1167	2.267	2528	0.93	2351.04	0.086	8.6
		M4		6.738	10.263	557.308	1153	659.1	1166	2.275	2882	0.89	2564.98	0.124	12.4
		M5		6.518	10.198	532.302	1161	664.5	1167	2.310	2784	0.96	2672.64	0.123	12.3

Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)

Mezcla modificada con 3 % de resina.

		Universidad Nacional de Chimborazo Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil													
		ENSAYO: REALIZADO POR: TUTOR: UBICACIÓN: MASA ANALIZADA:		ENSAYO MARSHALL Inca Erika & Peñafiel Marcia Ing. Vladimir Pazmiño UNACH 1200 kg											
<b>3 % de resina de higuerrilla</b>															
Fecha		Código	Dosificación	Dimensiones		Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso de la Briqueta			Ge Bulk (g/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad			Flujo	
Muestra	Ensayo			h (cm)	d (cm)		Seco (g)	Agua (g)	SSS (g)		Lectura (lb)	FC	Corregido (lb)	Lectura (plg)	1/100 (plg)
25/09/2023	26/09/2023	M1	95 % de agregado - 2 % de asfalto - 3 % de resina de higuerrilla	6.258	10.193	510.566	1190	692.2	1186	2.410	2870	1	2870	0.1	10
		M2		6.150	10.188	501.303	1161	679.2	1156	2.435	3588	1.04	3731.52	0.077	7.7
		M3		6.875	10.185	560.125	1172	673.8	1187	2.284	2591	0.86	2228.26	0.129	12.9
		M4		6.943	10.263	574.265	1162	672.6	1178	2.299	2728	0.83	2264.24	0.124	12.4
		M5		6.818	10.203	557.350	1160	670.4	1176	2.294	2209	0.89	1966.01	0.135	13.5

Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)

Mezcla modificada con 3.5 % de resina.

		Universidad Nacional de Chimborazo Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil													
		ENSAYO: REALIZADO POR: TUTOR: UBICACIÓN: MASA ANALIZADA:		ENSAYO MARSHALL Inca Erika & Peñafiel Marcia Ing. Vladimir Pazmiño UNACH 1200 kg											
<b>3.5 % de resina de higuerrilla</b>															
Fecha		Código	Dosificación	Dimensiones		Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso de la Briqueta			Ge Bulk (g/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad			Flujo	
Muestra	Ensayo			h (cm)	d (cm)		Seco (g)	Agua (g)	SSS (g)		Lectura (lb)	FC	Corregido (lb)	Lectura (plg)	1/100 (plg)
03/10/2023	05/10/2023	M1	95 % de agregado - 1.5 % de asfalto - 3.5 % de resina de higuerrilla	6.680	10.203	546.109	1198	685	1210	2.282	2764	0.93	2570.52	0.139	13.9
		M2		6.723	10.170	546.088	1175	675	1188	2.290	2315	0.93	2152.95	0.209	20.9
		M3		6.910	10.198	564.359	1166	672.2	1181	2.292	2128	0.89	1893.92	0.132	13.2
		M4		6.768	10.198	552.721	1178	673.8	1189	2.286	2876	0.86	2473.36	0.106	10.6
		M5		6.620	10.173	538.026	1185	678.4	1197	2.285	3120	0.93	2901.6	0.172	17.2

Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)

Mezcla modificada con 4 % de resina.

		Universidad Nacional de Chimborazo Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil													
		ENSAYO: REALIZADO POR: TUTOR: UBICACIÓN: MASA ANALIZADA:		ENSAYO MARSHALL Inca Erika & Peñafiel Marcia Ing. Vladimir Pazmiño UNACH 1200 kg											
<i>4 % de resina de higuerrilla</i>															
Fecha		Código	Dosificación	Dimensionaes		Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso de la Briqueta			Ge Bulk (g/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad			Flujo	
Muestra	Ensayo			h (cm)	d (cm)		Seco (g)	Agua (g)	SSS (g)		Lectura (lb)	FC	Corregido (lb)	Lectura (plg)	1/100 (plg)
07/10/2023	13/10/2023	M1	95 % de agregado - 1 % de asfalto - 4 % de resina de higuerrilla	6.305	10.205	515.705	1159	668.9	1160	2.360	3554	1	3554	0.098	9.8
		M2		6.115	10.260	505.570	1158	677	1164	2.378	3883	1.04	4038.32	0.143	14.3
		M3		6.265	10.283	520.246	1193	692.7	1195	2.375	3784	0.96	3632.64	0.138	13.8
		M4		6.728	10.280	558.380	1183	683.5	1197	2.304	2883	0.89	2565.87	0.105	10.5
		M5		6.318	10.195	515.715	1157	669.9	1161	2.356	2594	1	2594	0.083	8.3

Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)

Mezcla modificada con 4.5 % de resina.

		Universidad Nacional de Chimborazo Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil													
		ENSAYO: REALIZADO POR: TUTOR: UBICACIÓN: MASA ANALIZADA:		ENSAYO MARSHALL Inca Erika & Peñafiel Marcia Ing. Vladimir Pazmiño UNACH 1200 kg											
<i>4.5 % de resina de higuerrilla</i>															
Fecha		Código	Dosificación	Dimensionaes		Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso de la Briqueta			Ge Bulk (g/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad			Flujo	
Muestra	Ensayo			h (cm)	d (cm)		Seco (g)	Agua (g)	SSS (g)		Lectura (lb)	FC	Corregido (lb)	Lectura (plg)	1/100 (plg)
16/10/2023	18/10/2023	M1	95 % de agregado - 0.5 % de asfalto - 4.5 % de resina de higuerrilla	6.128	10.273	507.838	1176	687.1	1178	2.396	2827	1.04	2940.08	0.151	15.1
		M2		6.690	10.233	550.148	1167	668.4	1181	2.277	2064	0.89	1836.96	0.153	15.3
		M3		6.290	10.170	510.955	1136	652.8	1149	2.289	2580	1	2580	0.048	4.8
		M4		6.388	10.188	520.662	1113	639.7	1123	2.303	2214	1	2214	0.121	12.1
		M5		6.255	10.063	497.427	1174	679.4	1186	2.317	2242	1.04	2331.68	0.08	8

Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)

Anexo 13. Cálculos del ensayo de vacíos en el agregado mineral.

 Universidad Nacional de Chimborazo Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil					
<b>ENSAYO:</b>	<i>% de vacios en los minerales VAM</i>				
<b>REALIZADO POR:</b>	Inca & Peñafiel				
<b>TUTOR:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño				
<b>UBICACIÓN:</b>	UNACH				
<b>MASA ANALIZADA:</b>	1200 Kg				
<b><u>TABULACIÓN DE DATOS</u></b>					
<b><u>DATOS INICIALES</u></b>					
Peso Especifico 3/4 (gr)	2.705	% Agregado 3/4	25.68		
Peso Especifico 3/8 (gr)	2.710	% Agregado 3/8	58.32		
Peso Especifico Arena (gr)	2.792	% Agregado Arena	16		
<b><u>DATOS GRAVEDAD BULK</u></b>					
M1	M2	M3	M4	M5	% Agrega
2.255	2.192	2.232	2.239	2.220	95.000
<b><u>PESO ESPECIFICO PROMEDIO DEL AGREGADO</u></b>					
Gagregado		2.721390206			
<b><u>PORCENTAJE DEL VOLUMEN DEL AGREGADO</u></b>					
M1		78.719			
M2		76.503			
M3		77.915			
M4		78.153			
M5		77.507			
<b><u>PORCENTAJE DE VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL VAM</u></b>					
M1		13.281			
M2		12.497			
M3		12.085			
M4		13.847			
M5		14.493			

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

		<b>Universidad Nacional de Chimborazo</b> <b>Facultad de Ingeniería</b> <b>Carrera de Ingeniería Civil</b>					
<b>ENSAYO:</b>	<i>% de vacios en los minerales VAM</i>						
<b>REALIZADO POR:</b>	Inca & Peñafiel						
<b>TUTOR:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño						
<b>UBICACIÓN:</b>	UNACH						
<b>MASA ANALIZADA:</b>	1200 Kg						
<b><u>TABULACIÓN DE DATOS</u></b>							
<b><u>DATOS INICIALES</u></b>							
Peso Especifico 3/4 (gr)	2.705	% Agregado 3/4		25.68			
Peso Especifico 3/8 (gr)	2.710	% Agregado 3/8		58.32			
Peso Especifico Arena (gr)	2.792	% Agregado Arena		16			
<b><u>DATOS GRAVEDAD BULK</u></b>							
M1	M2	M3	M4	M5	% Agrega		
2.238	2.277	2.311	2.311	2.323	95.000		
<b><u>PESO ESPECIFICO PROMEDIO DEL AGREGADO</u></b>							
Gagregado			2.721390206				
<b><u>PORCENTAJE DEL VOLUMEN DEL AGREGADO</u></b>							
M1		78.124					
M2		79.477					
M3		80.681					
M4		80.681					
M5		81.105					
<b><u>PORCENTAJE DE VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL VAM</u></b>							
M1		13.876					
M2		13.523					
M3		14.319					
M4		13.319					
M5		13.895					

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

<b><i>1 % de aceite de higuera</i></b>					
<b><i>DATOS INICIALES</i></b>					
<b>Peso Especifico 3/4 (gr)</b>	2.705	<b>% Agregado 3/4</b>	25.68		
<b>Peso Especifico 3/8 (gr)</b>	2.710	<b>% Agregado 3/8</b>	58.32		
<b>Peso Especifico Arena (gr)</b>	2.792	<b>% Agregado Arena</b>	16		
<b><i>DATOS GRAVEDAD BULK</i></b>					
<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>% Agrega</b>
2.190	2.249	2.227	2.297	2.267	95.000
<b><i>PESO ESPECIFICO PROMEDIO DEL AGREGADO</i></b>					
<b>Gagregado</b>		2.721390206			
<b><i>PORCENTAJE DEL VOLUMEN DEL AGREGADO</i></b>					
<b>M1</b>	76.460				
<b>M2</b>	78.506				
<b>M3</b>	77.730				
<b>M4</b>	80.184				
<b>M5</b>	79.127				
<b><i>PORCENTAJE DE VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL VAM</i></b>					
<b>M1</b>	14.540				
<b>M2</b>	16.494				
<b>M3</b>	12.270				
<b>M4</b>	14.816				
<b>M5</b>	13.873				

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

<u>1.5 % de aceite de higuera</u>					
<u>DATOS INICIALES</u>					
Peso Especifico 3/4 (gr)	2.705	% Agregado 3/4	25.68		
Peso Especifico 3/8 (gr)	2.710	% Agregado 3/8	58.32		
Peso Especifico Arena (gr)	2.792	% Agregado Arena	16		
<u>DATOS GRAVEDAD BULK</u>					
M1	M2	M3	M4	M5	% Agrega
2.202	2.253	2.259	2.288	2.251	95.000
<u>PESO ESPECIFICO PROMEDIO DEL AGREGADO</u>					
Gagregado		2.721390206			
<u>PORCENTAJE DEL VOLUMEN DEL AGREGADO</u>					
M1	76.86062883				
M2	78.65051962				
M3	78.85384082				
M4	79.85501188				
M5	78.57463537				
<u>PORCENTAJE DE VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL VAM</u>					
M1	16.1393712				
M2	14.34948				
M3	15.1461592				
M4	16.1449881				
M5	14.4253646				

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

<b><i>2 % de aceite de higuera</i></b>					
<b><i>DATOS INICIALES</i></b>					
<b>Peso Especifico 3/4 (gr)</b>	2.705	<b>% Agregado 3/4</b>	25.68		
<b>Peso Especifico 3/8 (gr)</b>	2.710	<b>% Agregado 3/8</b>	58.32		
<b>Peso Especifico Arena (gr)</b>	2.792	<b>% Agregado Arena</b>	16		
<b><i>DATOS GRAVEDAD BULK</i></b>					
<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>% Agrega</b>
2.202	2.350	2.322	2.273	2.238	95.000
<b><i>PESO ESPECIFICO PROMEDIO DEL AGREGADO</i></b>					
<b>Gagregado</b>		2.721390206			
<b><i>PORCENTAJE DEL VOLUMEN DEL AGREGADO</i></b>					
<b>M1</b>	76.859				
<b>M2</b>	82.018				
<b>M3</b>	81.068				
<b>M4</b>	79.332				
<b>M5</b>	78.117				
<b><i>PORCENTAJE DE VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL VAM</i></b>					
<b>M1</b>	17.141				
<b>M2</b>	17.982				
<b>M3</b>	18.932				
<b>M4</b>	19.668				
<b>M5</b>	18.883				

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

<b><i>2.5 %de aceite de higuera</i></b>					
<b><i>DATOS INICIALES</i></b>					
<b>Peso Especifico 3/4 (gr)</b>	2.705	<b>% Agregado 3/4</b>	25.68		
<b>Peso Especifico 3/8 (gr)</b>	2.710	<b>% Agregado 3/8</b>	58.32		
<b>Peso Especifico Arena (gr)</b>	2.792	<b>% Agregado Arena</b>	16		
<b><i>DATOS GRAVEDAD BULK</i></b>					
<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>% Agrega</b>
2.309	2.259	2.267	2.275	2.310	95.000
<b><i>PESO ESPECIFICO PROMEDIO DEL AGREGADO</i></b>					
<b>Gagregado</b>		2.721390206			
<b><i>PORCENTAJE DEL VOLUMEN DEL AGREGADO</i></b>					
<b>M1</b>	80.60135536				
<b>M2</b>	78.86289915				
<b>M3</b>	79.14451358				
<b>M4</b>	79.40352886				
<b>M5</b>	80.65456281				
<b><i>PORCENTAJE DE VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL VAM</i></b>					
<b>M1</b>	19.39864464				
<b>M2</b>	18.1371009				
<b>M3</b>	19.8554864				
<b>M4</b>	19.5964711				
<b>M5</b>	19.34543719				

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

<b><i>3 % de aceite de higuera</i></b>					
<b><i>DATOS INICIALES</i></b>					
<b>Peso Especifico 3/4 (gr)</b>	2.705	<b>% Agregado 3/4</b>	25.68		
<b>Peso Especifico 3/8 (gr)</b>	2.710	<b>% Agregado 3/8</b>	58.32		
<b>Peso Especifico Arena (gr)</b>	2.792	<b>% Agregado Arena</b>	16		
<b><i>DATOS GRAVEDAD BULK</i></b>					
<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>% Agrega</b>
2.410	2.435	2.284	2.299	2.294	95.000
<b><i>PESO ESPECIFICO PROMEDIO DEL AGREGADO</i></b>					
<b>Gagregado</b>		2.721390206			
<b><i>PORCENTAJE DEL VOLUMEN DEL AGREGADO</i></b>					
<b>M1</b>	84.12569469				
<b>M2</b>	85.00192494				
<b>M3</b>	79.72118614				
<b>M4</b>	80.26083585				
<b>M5</b>	80.09099917				
<b><i>PORCENTAJE DE VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL VAM</i></b>					
<b>M1</b>	15.87430531				
<b>M2</b>	14.99807506				
<b>M3</b>	20.27881386				
<b>M4</b>	19.73916415				
<b>M5</b>	19.90900083				

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

<b><i>3.5 % de aceite de higuera</i></b>					
<b><i>DATOS INICIALES</i></b>					
<b>Peso Especifico 3/4 (gr)</b>	2.705	<b>% Agregado 3/4</b>	25.68		
<b>Peso Especifico 3/8 (gr)</b>	2.710	<b>% Agregado 3/8</b>	58.32		
<b>Peso Especifico Arena (gr)</b>	2.792	<b>% Agregado Arena</b>	16		
<b><i>DATOS GRAVEDAD BULK</i></b>					
<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>% Agrega</b>
2.282	2.290	2.292	2.286	2.285	95.000
<b><i>PESO ESPECIFICO PROMEDIO DEL AGREGADO</i></b>					
<b>Gagregado</b>		2.721390206			
<b><i>PORCENTAJE DEL VOLUMEN DEL AGREGADO</i></b>					
<b>M1</b>	79.65816585				
<b>M2</b>	79.95641055				
<b>M3</b>	79.99894055				
<b>M4</b>	79.81825407				
<b>M5</b>	79.76614905				
<b><i>PORCENTAJE DE VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL VAM</i></b>					
<b>M1</b>	18.3418342				
<b>M2</b>	17.0435895				
<b>M3</b>	17.0010594				
<b>M4</b>	17.1817459				
<b>M5</b>	17.233851				

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

<b><i>4 % de aceite de higuera</i></b>					
<b><i>DATOS INICIALES</i></b>					
<b>Peso Especifico 3/4 (gr)</b>	2.705	<b>% Agregado 3/4</b>	25.68		
<b>Peso Especifico 3/8 (gr)</b>	2.710	<b>% Agregado 3/8</b>	58.32		
<b>Peso Especifico Arena (gr)</b>	2.792	<b>% Agregado Arena</b>	16		
<b><i>DATOS GRAVEDAD BULK</i></b>					
<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>% Agrega</b>
2.360	2.378	2.375	2.304	2.356	95.000
<b><i>PESO ESPECIFICO PROMEDIO DEL AGREGADO</i></b>					
<b>Gagregado</b>		2.721390206			
<b><i>PORCENTAJE DEL VOLUMEN DEL AGREGADO</i></b>					
<b>M1</b>	82.38464784				
<b>M2</b>	83.00655426				
<b>M3</b>	82.9105991				
<b>M4</b>	80.4224102				
<b>M5</b>	82.24248279				
<b><i>PORCENTAJE DE VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL VAM</i></b>					
<b>M1</b>	13.6153522				
<b>M2</b>	13.9934457				
<b>M3</b>	14.0894009				
<b>M4</b>	14.5774898				
<b>M5</b>	13.7575172				

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

<b><i>4.5 % de aceite de higuera</i></b>					
<b><i>DATOS INICIALES</i></b>					
<b>Peso Especifico 3/4 (gr)</b>	2.705	<b>% Agregado 3/4</b>	25.68		
<b>Peso Especifico 3/8 (gr)</b>	2.710	<b>% Agregado 3/8</b>	58.32		
<b>Peso Especifico Arena (gr)</b>	2.792	<b>% Agregado Arena</b>	16		
<b><i>DATOS GRAVEDAD BULK</i></b>					
<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>% Agrega</b>
2.396	2.277	2.289	2.303	2.317	95.000
<b><i>PESO ESPECIFICO PROMEDIO DEL AGREGADO</i></b>					
<b>Gagregado</b>		2.721390206			
<b><i>PORCENTAJE DEL VOLUMEN DEL AGREGADO</i></b>					
<b>M1</b>	83.62710784				
<b>M2</b>	79.4739945				
<b>M3</b>	79.91979463				
<b>M4</b>	80.39168971				
<b>M5</b>	80.89761149				
<b><i>PORCENTAJE DE VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL VAM</i></b>					
<b>M1</b>	16.37289216				
<b>M2</b>	20.5260055				
<b>M3</b>	20.08020537				
<b>M4</b>	19.60831029				
<b>M5</b>	19.10238851				

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

**Anexo 14. Cálculo del ensayo de porcentaje de Vacíos**

Porcentaje de Vacíos con el 0 % de resina

		<b>Universidad Nacional de Chimborazo</b> <b>Facultad de Ingeniería</b> <b>Carrera de Ingeniería Civil</b>			
<b>ENSAYO:</b> <b>REALIZADO POR:</b> <b>TUTOR:</b> <b>UBICACIÓN:</b>		<b>% de vacios rice</b> Inca Erika & Peñafiel Marcia Ing. Vladimir Pazmiño UNACH			
<b><i>TABULACIÓN DE DATOS</i></b>					
<b>Nombre</b>	<b>Simbología</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>		
Peso de la muestra	A	1185	gramos		
Peso del picnómetro + agua	B	8557	gramos		
Peso del picnómetro + agua+material	C	9238	gramos		
Peso específico BULK	Prom Ge bulk	2.227510158			
<b><i>RICE</i></b>					
<b>RICE</b>		2.351190476			
<b><i>% VACIOS</i></b>					
<b>% vacios</b>		5.260327477			

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*

Porcentaje de Vacíos con el 0.5 % de resina

		<b>Universidad Nacional de Chimborazo</b> <b>Facultad de Ingeniería</b> <b>Carrera de Ingeniería Civil</b>			
<b>ENSAYO:</b> <b>REALIZADO POR:</b> <b>TUTOR:</b> <b>UBICACIÓN:</b>		<i>% de vacios rice</i> Inca & Peñafiel Ing. Vladimir Pazmiño UNACH			
<b><u>TABULACIÓN DE DATOS</u></b>					
<b>Nombre</b>		<b>Simbología</b>		<b>Valor</b>	
Peso de la muestra		A		1169	
Peso del picnómetro + agua		B		8557	
Peso del picnómetro + agua+material		C		9235	
Peso específico BULK		Prom Ge bulk		2.268274986	
<b><u>RICE</u></b>					
RICE				2.380855397	
<b><u>% VACIOS</u></b>					
% vacios				4.72856986	

Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)



**Universidad Nacional de Chimborazo**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Carrera de Ingeniería Civil**



**ENSAYO:**  
**REALIZADO POR:**  
**TUTOR:**  
**UBICACIÓN:**

*% de vacios rice*  
 Inca & Peñafiel  
 Ing. Vladimir Pazmiño  
 UNACH

**TABULACIÓN DE DATOS**

Nombre	Simbología	Valor	Unidad
Peso de la muestra	A	1150	gramos
Peso del picnómetro + agua	B	8557	gramos
Peso del picnómetro + agua+material	C	9224	gramos
Peso específico BULK	Prom Ge bulk	2.268274986	
<b><u>RICE</u></b>			
RICE		2.380952381	
<b><u>% VACIOS</u></b>			
% vacios		4.73245057	

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*



Universidad Nacional de Chimborazo

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

*% de vacios rice*

Inca & Peñafiel

Ing. Vladimir Pazmiño

UNACH



**ENSAYO:**

**REALIZADO POR:**

**TUTOR:**

**UBICACIÓN:**

**TABULACIÓN DE DATOS**

Nombre	Simbología	Valor	Unidad
Peso de la muestra	A	1134	gramos
Peso del picnómetro + agua	B	8557	gramos
Peso del picnómetro + agua+material	C	9215	gramos
Peso específico BULK	Prom Ge bulk	2.268274986	
<b><u>RICE</u></b>			
<b>RICE</b>		2.382352941	
<b><u>% VACIOS</u></b>			
<b>% vacios</b>		4.78845736	

*Fuente: (Inca & Peñafiel, 2023)*