



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

Elaboración de una mezcla asfáltica utilizando cenizas residuales de las piladoras y su efecto en las propiedades mecánicas-volumétricas

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil**

**Autor:**

Cortez Silva, Kelly Anabel

Jácome Andrade, Jurguen Anthony

**Tutor:**

Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza MsC

**Riobamba, Ecuador. 2023**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, **Kelly Anabel Cortez Silva**, con cédula de ciudadanía **172681758-6**, y **Jurguen Anthony Jácome Andrade**, con cédula de ciudadanía **220003649-5** autores del trabajo de investigación titulado: **“ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA UTILIZANDO CENIZAS RESIDUALES DE LAS PILADORAS Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS-VOLUMÉTRICAS”**, 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 2023.

Kelly Anabel Cortez Silva

C.I:172681758-6

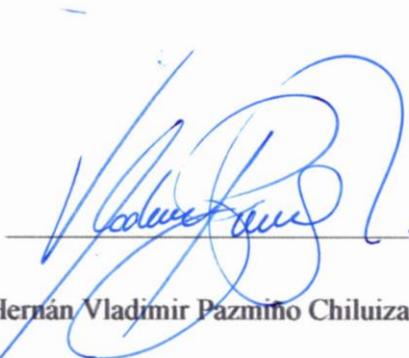
Jurguen Anthony Jácome Andrade

C.I:220003649-5

## DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, **Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiliza.MsC** catedrático adscrito a la Facultad de ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación “**ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA UTILIZANDO CENIZAS RESIDUALES DE LAS PILADORAS Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS-VOLUMÉTRICAS**”, bajo la autoría de **Kelly Anabel Cortez Silva** y **Jurguen Anthony Jácome Andrade**; 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 Chiliza, MsC

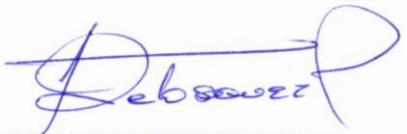
C.I:060312346-4

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA UTILIZANDO CENIZAS RESIDUALES DE LAS PILADORAS Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS-VOLUMÉTRICAS”** por **Kelly Anabel Cortez Silva**, con cédula de identidad número **172681758-6** y **Jurguen Anthony Jácome Andrade**, con cédula de identidad número **220003649-5**, bajo la tutoría de **Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiliza 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 a los 26 del mes de enero de 2024.

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



---

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



---

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



---

## CERTIFICADO ANTIPLAGIO



Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-08.15  
VERSIÓN 01: 06-09-2021

## CERTIFICACIÓN

Que, **Cortez Silva Kelly Anabel** con CC: **172681758-6** y **Jácome Andrade Jurguen Anthony** con CC: **220003649-5**, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "Elaboración de una mezcla asfáltica utilizando cenizas residuales de las piladoras y su efecto en las propiedades mecánicas", cumple con el 10 %, 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, 9 enero de 2024



Ing. Hernan Vladimir Pazmiño Chiluiza MSc  
**TUTOR(A)**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada:

A mis padres Verónica Andrade y Víctor Jácome por todo el esfuerzo que han hecho para que esto sea posible por darme la oportunidad de una educación digna, a mis abuelo/a Magdalena Balseca y Filiberto Andrade por su cariño de padres y sus consejos motivacionales se vea reflejado en los resultados de mis logros.

A mi tía/o Yolanda Jácome y Guillermo Guerrero por su apoyo incondicional, durante todo este proceso y ser parte fundamental para poder cumplir un logro más en mi vida.

A mi tío Mauricio Andrade por ser como un padre fundamental en mi niñez, a mis hermanas Janelith Jácome y Ailin Jácome por su cariño y por siempre estar junto a mí.

A toda mi familia por el cariño incondicional junto a su apoyo, por ser ese pilar fundamental en mi vida y a Dios por derrochar sobre mi persona y mi familia sus bendiciones.

*Jácome Andrade Jurguen Anthony*

La presente tesis va dedicada:

A mi madre Tatiana Silva quien fue mi principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, demostrando que siempre es importante la responsabilidad y el deseo de superación, pues ella es una mujer llena de virtudes y de gran corazón.

A mi padre Franklin Cortez por brindarme su apoyo durante este proceso, y así poder cumplir un logro más en mi vida.

A mis hermanas Estefanie Cortez y Doménica Cortez, quienes siempre han estado junto a mí, brindándome su apoyo incondicional, siendo fuentes de alegría, amor y motivación para cada día ser mejor.

A mi pareja Mauricio Tigse, que con sus consejos me ha ayudado afrontar los retos y adversidades que se me han presentado a lo largo de este proceso.

A toda mi familia, amigos que se presentaron en este trayecto, brindándome valiosas aportaciones que hicieron posible lograr este triunfo.

*Cortez Silva Kelly Anabel*

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer ante a Dios por permitirme seguir cumpliendo mis metas que a lo largo de mi vida me he ido trazando.

Mi agradecimiento a toda mi familia que siempre ha estado ahí especialmente a mis padres, Verónica y Víctor, mi tía/o Yolanda y Guillermo, por todas las veces que me han ayudado a lo largo de este proceso.

A mis amigos Mario, Michael, Ricardo, Joel, Luis, Fernanda, Kelly, Maite, Javier, Omar, Jheyson, Elías, entre muchas otras personas con quienes compartí en las aulas, estuvieron en todos los momentos de esta etapa universitaria, gracias a cada uno de ustedes por su amistad más que nada hicieron que esta etapa sea inolvidable.

A mis primos Andrés, Mauricio, Nicol, Martin por todas las veces que me brindaron su apoyo en esta etapa universitaria sea un momento inolvidable que me queda en mis recuerdos.

A mis hermanas Janelith y Ailin quiero agradecerlos por siempre estar a mi lado y hacer de mi mundo un lugar increíble.

A mis abuelos Filiberto, Magdalena, Piedad y Gloria por siempre desearme lo mejor en mi vida, por enseñarme el valor del esfuerzo, la humildad y por sobre todo el ser feliz.

A mi tutor Ing. Vladimir Pazmiño, quien con su conocimiento y su enseñanza permitió que este trabajo investigativo se desarrolle.

A todos los docentes que han formado parte de mi trayectoria universitaria, por las enseñanzas que me brindaron y que han contribuido enormemente en mi formación académica.

“Gracias”

*Jácome Andrade Jurguen Anthony*

## **AGRADECIMIENTO**

Al finalizar este proceso lleno de experiencias y nuevos conocimientos quiero agradecer principalmente a Dios por guiar mis pasos y darme fortaleza para sobrellevar cualquier adversidad.

Gracias a mis padres Tatiana Silva y Franklin Cortez por ser mi apoyo fundamental e incondicional en este proyecto y en toda mi vida, por siempre creer en mi y ser mi mayor ejemplo.

A mis hermanas Estefanie y Domenica que siempre han estado a mi lado para llenar mi vida de muchas locuras y apoyarme en todo momento.

A mi pareja Mauricio Tigse por ser un soporte fundamental, por sus consejos y por las trasnochadas que tenía que pasar por acompañarme para llegar a cumplir una meta más en mi vida.

A mis amigos Javier, Mario, Rene, Jurguen, Michael, Edison, Joel quienes se convirtieron en un apoyo incondicional, tanto en el trayecto universitario como personal y estuvieron presentes en los mejores momentos, así como también en las adversidades durante este proceso.

A mi tutor de tesis Ing. Vladimir Pazmiño, por su apoyo y confianza en mi proyecto. Ha sido un aporte valioso no solo en la elaboración de la tesis, sino también en mi formación académica.

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería Civil quienes con su preparación y esfuerzo forman profesionales de calidad.

***Kelly Anabel Cortez Silva***

## ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
TABLA DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1 Planteamiento del problema .....	17
1.2 Objetivos .....	18
1.2.1 Objetivo General .....	18
1.2.2 Objetivos Específicos.....	18
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 Materiales para el diseño de la mezcla asfáltica .....	19
2.1.1 Agregados pétreos .....	19
2.1.2 Agregado grueso .....	19
2.1.3 Agregado fino .....	20
2.1.4 Ligante.....	20
2.1.5 Filler.....	20
2.2 Ceniza de la cascarilla de arroz .....	20
2.2.1 Arroz.....	20
2.2.2 Cascarilla .....	20
2.2.3 Ceniza.....	20
2.2.4 Usos .....	21
2.2.5 Zonas productoras.....	21
2.2.6 Proceso de fabricación de la ceniza de la cascarilla de arroz .....	21
2.2.7 Propiedades de la ceniza de la cascarilla de arroz.....	22
2.3 Ensayos previos a la realización de la mezcla asfáltica.....	23

2.3.1	Ensayo y normas de los agregados pétreos .....	23
2.4	Propiedades complementarias.....	24
2.4.1	Pesos específicos y absorción agregado fino .....	24
2.4.2	Peso específico y absorción del 3/4. ....	24
2.4.3	Masa unitaria.....	24
2.4.4	Límites de Atterberg.....	24
2.5	Ensayos y normas del filler (ceniza de la cascarilla de arroz).....	25
2.5.1	Densidad específica.....	25
2.5.2	Granulometría .....	25
2.5.3	Masa Unitaria.....	25
2.5.4	Absorción .....	25
2.5.5	Medida del grado de acidez o alcalinidad.....	25
2.6	Diseño de mezcla asfáltica.....	25
2.6.1	Método Marshall .....	26
2.7	Propiedades que debe presentar la mezcla .....	26
2.7.1	Propiedades mecánicas .....	26
2.7.2	Propiedades volumétricas.....	26
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....		30
3.1	Diagrama metodológico .....	30
3.2	Enfoque de investigación .....	30
3.3	Tipo de investigación.....	31
3.4	Pregunta de investigación .....	31
3.5	Hipótesis.....	31
3.6	Variables.....	31
3.6.1	Variables independientes.....	31
3.6.2	Variables dependientes .....	31
3.7	Población y muestra .....	31
3.8	Técnica de recopilación de información .....	31
3.9	Caracterización de los agregados .....	32
3.9.1	Caracterización de agregados pétreos.....	32
3.10	Caracterización del filler (ceniza de las cascarillas de arroz).....	35
3.10.1	Granulometría de la ceniza .....	35
3.10.2	Peso específico y absorción de la ceniza de la cascarilla de arroz .....	35
3.10.3	Límites de Atterberg.....	36

3.11	Diseño de la Mezcla asfáltica.....	36
3.11.1	Mezcla asfáltica convencional .....	36
3.11.2	Diseño de la mezcla asfáltica modificada con ceniza de la cascarilla de arroz.....	36
	Preparación de las briquetas.....	37
3.12	Ensayos para mezclas asfálticas .....	37
3.12.1	Porcentaje de vacíos del agregado mineral.....	38
3.12.2	Peso Específico Densidad aparente (BULK).....	38
3.12.3	Ensayo de estabilidad y flujo Marshall .....	39
3.12.4	Densidad Teórica máxima (Rice).....	39
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		41
4.1	Resultados del diseño la mezcla asfáltica convencional .....	41
4.1.1	Resultados del ensayo de estabilidad y flujo.....	41
4.1.2	Resultados de % de vacíos y % VAM en mezcla asfáltica .....	41
4.2	Resultados del diseño de la mezcla asfáltica incluyendo ceniza de la cascarilla de arroz .....	42
4.2.1	Resultados peso específico Bulk y VAM .....	42
4.2.2	Resultados de estabilidad y flujo en briquetas.....	44
4.2.3	Resultados del ensayo de densidad máxima teórica RICE.....	45
4.2.4	Análisis de las propiedades de la mezcla asfáltica con ceniza de cascarilla de arroz .....	45
	DISCUSIÓN.....	47
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES .....		48
5.1	CONCLUSIONES.....	48
5.2	RECOMENDACIONES .....	48
BIBLIOGRAFÍA .....		49
ANEXOS .....		52

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Uso de la ceniza de la cascarilla de arroz .....	21
Tabla 2. Fabricación de la ceniza de la cascarilla de arroz.....	21
Tabla 3. Propiedades químicas de la ceniza de la cascarilla de arroz.....	22
Tabla 4. Propiedades químicas de la ceniza de la cascarilla de arroz.....	22
Tabla 5. Propiedades físicas de la ceniza de la cascarilla de arroz.....	22
Tabla 6. Especificaciones del ensayo Marshall .....	37
Tabla 7. % de vacíos del agregado mineral .....	38
Tabla 8. Dosificación de la mezcla asfáltica convencional .....	41
Tabla 9. Estabilidad y flujo de las briquetas .....	41
Tabla 10. % de Vacíos y % de VAM.....	41
Tabla 11. Dosificación de la mezcla asfáltica añadiendo rangos teóricos de ceniza.....	42
Tabla 12. Dosificación de la mezcla asfáltica añadiendo rangos teóricos de ceniza.....	42
Tabla 13. Resultados del peso específico Bulk y VAM con Ceniza al 2%.....	42
Tabla 14. Resultados del peso específico Bulk y VAM con Ceniza al 4%.....	43
Tabla 15. Resultados del peso específico Bulk y VAM con Ceniza al 6%.....	43
Tabla 16. Resultados del peso específico Bulk y VAM con Ceniza al 8%.....	43
Tabla 17. Resultados del peso específico Bulk y VAM con Ceniza al 10%.....	43
Tabla 18. Resultados del peso específico Bulk y VAM con Ceniza al 12%.....	44
Tabla 19. Estabilidad y Flujo con ceniza .....	44
Tabla 20. Promedios de Estabilidad y Flujo con ceniza .....	44
Tabla 21. Densidad máxima teórica Rice y % de Vacíos con Ceniza.....	45
Tabla 22. Ensayo de abrasión del agregado grueso .....	55
Tabla 23. Caras fracturas del agregado.....	55
Tabla 24. Caras planas y alargadas .....	55
Tabla 25. Granulometría del agregado 3/4 .....	56
Tabla 26. Granulometría del agregado 3/8 .....	56
Tabla 27. Granulometría de la arena.....	57
Tabla 28. Resultados de peso específico y absorción 3/4.....	58
Tabla 29. Peso específico y absorción del agregado 3/8 .....	58
Tabla 30. Peso específico y absorción de la arena.....	59
Tabla 31. Límite líquido del agregado fino .....	59
Tabla 32. Gravedad específica del filler (ceniza) .....	60
Tabla 33. Granulometría del filler (ceniza) .....	60
Tabla 34. Límite líquido del filler (ceniza).....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama metodológico .....	30
Figura 2. Elaboración de Briquetas .....	37
Figura 3. Ensayo de peso específico densidad aparente BULK .....	39
Figura 4. Ensayo de Estabilidad y flujo Marshall .....	39
Figura 5. Flujo de la mezcla con Ceniza .....	45
Figura 6. Estabilidad de la mezcla con Ceniza .....	46
Figura 7. % de Vacíos y % de VAM de la mezcla con Ceniza .....	46
Figura 8. Ensayo de Abrasión.....	52
Figura 9. Elaboración del ensayo de granulometría .....	52
Figura 10. Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso .....	52
Figura 11. Peso específico y absorción agregado fino .....	53
Figura 12. Límite líquido.....	53
Figura 13. Límite plástico.....	53
Figura 14. Granulometría del filler.....	53
Figura 15. Peso específico y absorción de la ceniza de la cascarilla de arroz.....	54
Figura 16. Límite líquido de la ceniza de arroz .....	54
Figura 17. Ensayo del límite plástico .....	54
Figura 18. Dosificación asfáltica de la empresa vial .....	54
Figura 19. Granulometría del agregado $\frac{3}{4}$ .....	56
Figura 20. Granulometría del agregado $\frac{3}{8}$ .....	57
Figura 21. Granulometría de la arena .....	58
Figura 22. Granulometría de la ceniza.....	61

## **TABLA DE ACRÓNIMOS**

**INEN:** Norma Ecuatoriana Vial

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

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

**INVIAS:** Instituto Nacional de Vías

**% Va:** Porcentaje de Vacíos de aire

**%VAM:** Vacíos del Agregado Mineral

**Gmm:** Gravedad específica Máxima Medida (RICE)

**ISO:** Organización Internacional de Normalización

**Gsb:** Gravedad específica neta para el agregado total

**Gse:** Gravedad específica efectiva del agregado

**Gasf:** Gravedad específica del asfalto

**Pb:** Contenido de asfalto con el cual desarrollo el ensayo

**Pba:** Asfalto absorbido

**Pbe:** Contenido de asfalto efectivo

**Gmb:** Gravedad específica neta de la mezcla

**AC-20:** Asfalto caliente con una viscosidad 20 con una temperatura de 60 °C

## RESUMEN

La presente investigación experimental propone analizar los factores volumétricos-mecánicos asociados a una mezcla asfáltica modificada, como una nueva alternativa para la infraestructura vial. Para ello se utilizó la cascarilla de arroz, residuo de gran escala resultante de la incineración en hornos del proceso agroindustrial de las piladoras en el país. El actual estudio se basa en una metodología cuantitativa, teniendo en cuenta las normas MOP e INEN para el desarrollo de los ensayos en laboratorios.

Se fabricaron 30 briquetas, variando los porcentajes en base a la relación filler/betún, para ello se utilizó la fórmula establecida por una constructora vial de la localidad y se le fue añadiendo diferentes dosificaciones de ceniza como el 2%,4%,6%,8%,10% y 12%, y así lograr encontrar la dosificación optima modificada.

Se evidencia los mejores resultados de la investigación en las propiedades volumétricas-mecánicas en la mezcla modificada del 6 % de ceniza, con una mayor estabilidad y con un menor flujo. Se concluye que, al utilizar ceniza de la cascarilla de arroz, en remplazo del filler como agregado ayuda a tener mejoras con respecto a los parámetros Marshall y obtener un porcentaje de vacíos dentro del rango de la normativa.

**Palabras claves:** Mezcla asfáltica, ceniza, Marshall, estabilidad, flujo.

## ABSTRACT

The present experimental research aims to analyze the volumetric-mechanical factors associated with a modified asphalt mixture as a new alternative for road infrastructure. Rice husk, a large-scale residue from the incineration process in rice mills in the country, was used. The study is based on a quantitative methodology, considering the MOP and INEN standards for laboratory testing. Thirty briquettes were produced, varying the percentages based on the filler/bitumen ratio using a formula established by a local road construction company. Different ash dosages, such as 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, and 12%, were added to find the optimal modified dosage. The best results in volumetric-mechanical properties were observed in the 6% ash-modified mixture, showing higher stability and lower flow. It is concluded that using rice husk ash as a replacement for filler improves Marshall parameters and achieves a void percentage within the regulatory range.

*Keywords:* Asphalt mixture, ash, Marshall, stability, flow.



JENNY ALEXANDRA  
FREIRE RIVERA

Reviewed by:  
Lic. Jenny Freire Rivera  
**ENGLISH PROFESSOR**  
C.C. 0604235036

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.**

La mezcla asfáltica está compuesta de agregados minerales, enlazados mediante un ligante asfáltico y mezclados de tal manera que los agregados pétreos queden cubiertos por asfalto. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el comportamiento funcional de la misma como pavimento (Padilla, 2004).

El aumento de la producción agrícola e industrial en el mundo viene de la mano de un incremento de residuos sólidos, mismo que tienen un tratamiento difícil y costoso y tiene efectos negativos para el medio ambiente, por tal motivo se han comenzado a utilizar estos residuos en varios entornos industriales. Durante los últimos años se ha comenzado a realizar investigaciones de cómo aprovechar estos residuos en el área de la construcción industrial, mismos que han sido puestos a prueba en los pavimentos, utilizando estos productos residuales como estabilizantes de suelos para la construcción de subrasante y capas de base. Ecuador al ser un país productor de arroz, presenta entre sus problemas el tratamiento de la ceniza de los desechos de las piladoras, dice que por cada cuatro toneladas que se produce de arroz, se tiene una tonelada de cáscara que requiere tratamiento.

Las carreteras de la zona 3 están expuestas a diversos factores externos y a las cargas del tránsito vehicular que posee su desempeño y vida útil, por tal motivo se busca la aplicación de nuevas dosificaciones, metodologías y la implementación de materiales residuales para la composición de una mezcla asfáltica, que ayuden al mejoramiento de sus propiedades mecánicas-volumétricas como también su valor económico.

En este estudio se busca desarrollar una mezcla asfáltica, adicionándole cierto porcentaje de residuos sólidos como las cenizas de los desechos de las piladoras, con el fin de elaborar una comparación entre una mezcla dosificada en base a la normativa convencional, y su efecto en la estabilidad, fluencia y relación volumétrica, al añadir la ceniza de la cascarilla de arroz.

Una vez realizado los ensayos se obtuvo que el porcentaje más eficiente de ceniza en la mezcla asfáltica es del 6% del porcentaje de asfalto, obteniendo una estabilidad mayor en un 42.96%, pero el flujo es menor en un 25.46%, y también un 4% de vacíos que cumple con el rango establecido por la norma.

Por lo que se puede concluir que añadir la ceniza de las piladoras de arroz mejora algunas de las propiedades mecánicas volumétricas de la mezcla asfáltica, así como también ayuda a motivar la economía circular.

### **1.1 Planteamiento del problema**

La capa de rodadura debe tener la capacidad de resistir cargas vehiculares y deformaciones admisibles, no siempre sucede debido al análisis deficiente de la estabilidad, flujo y relación volumétrica.

Por años se ha enfrentado un sin número de problemas constructivos con las carreteras, debido a las diferentes adversidades climáticas, la falta de homogeneidad de los materiales y la actualización de la normativa vigente en el ámbito de vías en el Ecuador, por lo que no siempre los proyectos suceden de manera óptima.

Por esta razón, se busca aplicar nuevos agregados que mejoren las propiedades mecánicas-volumétricas en la mezcla asfáltica. En este caso, se busca incluir la ceniza desechada de las piladoras que por sus características fisicoquímicas y sus dimensiones pueden reducir la cantidad de vacíos de la mezcla logrando así mejorar su durabilidad, convirtiendo la ceniza desechada de las piladoras, de un desecho a materia prima de la mezcla asfáltica. Logrando así fomentar la economía circular siendo “un modelo que se basa en el reciclaje, la reutilización y la reducción de los recursos naturales, que promueven el consumo y se generan residuos destinados a la contaminación ambiental sin un posterior tratamiento”(Arroyo, 2018).

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Elaborar una mezcla asfáltica utilizando las cenizas de desechos de las piladoras y su efecto en las propiedades mecánicas-volumétricas.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Establecer la influencia del uso de las cenizas de los desechos de las piladoras en las propiedades mecánicas-volumétricas de la mezcla asfáltica.
- Medir las características volumétricas, de forma como la absorción, densidad y PH.
- Formular una dosificación para diferentes contenidos de cenizas de los desechos de las piladoras vía seca y húmeda.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.**

### **2.1 Materiales para el diseño de la mezcla asfáltica**

#### **2.1.1 Agregados pétreos**

Son materiales granulares que se utilizan en la construcción de pavimentos para formar capa base y subbase. Estos materiales incluyen la grava, la arena y la piedra triturada que se combinan con asfalto para crear una superficie resistente y duradera para el tráfico vehicular.

La capa base es la capa inferior del pavimento y se encuentra directamente sobre el suelo subyacente. Su función principal es distribuir las cargas de los vehículos a través del suelo subyacente y proporcionar una superficie estable y sólida para el pavimento.

La capa base se compone típicamente de materiales granulares gruesos como la piedra triturada o la grava que se compactan para formar una superficie sólida.

La capa subbase se encuentra por encima de la capa base y se utiliza para mejorar aún más la capacidad de carga del pavimento.

La calidad de los agregados pétreos utilizados en la construcción de pavimentos es crítica para garantizar la durabilidad y la resistencia del pavimento. Los agregados deben ser duraderos y resistentes a la abrasión lo que significa que deben ser capaces de soportar el desgaste causado por el tráfico vehicular. También deben ser resistentes a la intemperie lo que significa que deben ser capaces de soportar los efectos del clima y las condiciones ambientales (Cantor, 2016).

#### **2.1.2 Agregado grueso**

Los agregados gruesos se refieren a los materiales de mayor tamaño que se utilizan como capa base o subbase en la estructura del pavimento.

Estos agregados que pueden ser piedras trituradas, grava o escoria se seleccionan cuidadosamente según su tamaño y características físicas para garantizar la resistencia y durabilidad. Generalmente los agregados gruesos tienen un tamaño que oscila entre 19 mm a 75 mm.

La función de los agregados gruesos en pavimento es proporcionar una base sólida y estable que distribuye las cargas del tráfico de manera uniforme, evitando la deformación y el hundimiento del pavimento. Los agregados gruesos ayudan a drenar el agua de la superficie del pavimento, evitando problemas de inundación y mejorando la seguridad vial (Ramírez et al., 2005).

### **2.1.3 Agregado fino**

Los agregados finos son aquellos que pasan por un tamiz de malla número 4 y quedan retenidos en un tamiz de malla número 200. Estos materiales incluyen arena, polvo de piedra, arcilla y otros materiales similares.

Son utilizados para rellenar los espacios vacíos entre los agregados gruesos. La calidad de los agregados finos es crucial para la resistencia y durabilidad del pavimento. La cantidad de agregado fino utilizada en la mezcla de pavimento puede variar dependiendo del tipo de pavimento y las condiciones específicas del sitio de construcción.

En general se recomienda una proporción de agregados finos del 25 % al 35 % del volumen total de la mezcla (Ochoa, 2018).

### **2.1.4 Ligante**

“Betún sólido, semisólido o líquido, de color entre negro o pardo oscuro, encontrado en depósitos naturales u obtenido artificialmente como un residuo del petróleo” (MOP, 2002).

### **2.1.5 Filler**

Según (Sarmiento & Rangel, 2010) el filler son elementos muy diminutos que pasan el Tamiz N°200, las cuales son añadidos a las mezclas asfálticas con el fin de que se disperse en ella, logrando así modificar sus propiedades mecánicas- volumétricas. Una de las principales modificaciones al aumentar el filler es lograr mayor rigidez, cohesión, endurecerlo y como consecuencia reducir su deformación.

## **2.2 Ceniza de la cascarilla de arroz**

### **2.2.1 Arroz**

El arroz es considerado un cereal básico en la alimentación humana, ya que es una extraordinaria fuente de vitaminas y minerales, mismo que proviene de una planta herbácea. Por ser un cereal muy ingerido por el ser humano existe una gran cantidad de empresas y personas dedicadas al cultivo del arroz.

### **2.2.2 Cascarilla**

La cascarilla es la capa fina y delicada que cubre diversas cosas, como es el caso de los granos de cereales, café y diversas semillas.

### **2.2.3 Ceniza**

La ceniza es el residuo inorgánico que resulta del proceso de combustión de todo tipo de materia orgánica. Por lo general, para este proceso se utiliza entre 500 y 600 °C (Márquez, 2014).

#### 2.2.4 Usos

Según (Bastidas & Ortiz, 2016) la cascarilla de arroz es utilizada como se indica en la tabla 1:

**Tabla 1.** *Uso de la ceniza de la cascarilla de arroz*

<b>Descripción</b>	<b>Porcentaje</b>
Industria florícola	35
Quemada dentro de las piladoras	35
Tirada en bordes de carreteras	7.5
Quemada en terrenos aislados	7.5
Quemada en los bordes de carreteras	5
Tirada en ríos	5
Llevada por el viento	5

Fuente: (Bastidas & Ortiz, 2016)

#### 2.2.5 Zonas productoras

Según el Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca, existen diversas zonas potenciales productoras de arroz como son San Carlos y Quevedo pertenecientes a la provincia de Los Dios, así como también Guayaquil ubicada en la provincia de Guayaquil, aportan 34.75% y 58.01% respectivamente (Jima & Morán, 2017).

Como consecuencia desechan toneladas exuberantes de cáscara de arroz.

#### 2.2.6 Proceso de fabricación de la ceniza de la cascarilla de arroz

El inicio de la obtención de la ceniza de la cascarilla de arroz empieza en el cultivo de arroz que trata de un cultivo tropical y subtropical, en regiones húmedas y climas templados. El arroz es un cereal básico en la dieta del ser humano. La cáscara de arroz es la capa que cubre el grano de arroz, que se lo retira para la molienda.

Para su obtención es necesario tener un buen almacenamiento y dar buen uso a la cáscara del arroz ya que si no puede provocar un gran impacto ambiental.

**Tabla 2.** *Fabricación de la ceniza de la cascarilla de arroz*

<b>Proceso de fabricación de la ceniza de la cascarilla de arroz</b>
1. Cultivo de arroz
2. Separación del grano de arroz con la cáscara
3. Calcinación de la cáscara a una temperatura de 400°C - 800°C
4. Recepción de cascarilla
5. Almacenamiento de cascarilla
6. Tratamiento de agua
7. Centro de vapor
8. Bodega de ceniza

Fuente: (Bastidas & Ortiz, 2016)

## 2.2.7 Propiedades de la ceniza de la cascarilla de arroz

### Propiedades químicas

Según (Idalberto & Milena, 2008) indica que las propiedades químicas de la ceniza son:

**Tabla 3.** *Propiedades químicas de la ceniza de la cascarilla de arroz*

Descripción		Resultados (%)
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de silicio	80.33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de hierro	0.85
CaO	Óxido de calcio	1.24
MgO	Óxido de magnesio	0.43
SO <sub>3</sub>	Óxido de azufre	0.31
K <sub>2</sub> O	Óxido de potasio	1.87
Na <sub>2</sub> O	Óxido de sodio	0.33
ZnO	Óxido de zinc	0.04
MnO	Óxido de manganeso	0.59
Humedad		9.21
Pérdida al fuego		11.43

Fuente: (Idalberto & Milena, 2008)

**Tabla 4.** *Propiedades químicas de la ceniza de la cascarilla de arroz*

Descripción	Resultados (%)
Celulosa	30-45
Hemicelulosa	15-20
Lignina	20-25

Fuente: (Zambrano et al., 2021)

### Propiedades físicas

**Tabla 5.** *Propiedades físicas de la ceniza de la cascarilla de arroz*

Descripción	Ceniza
Gravedad específica	1.80
Superficie específica (cm <sup>2</sup> /g)	9.487
Finura (% pasa 325)	86.74

Fuente: (Idalberto & Milena, 2008)

## **2.3 Ensayos previos a la realización de la mezcla asfáltica**

### **2.3.1 Ensayo y normas de los agregados pétreos**

#### **Propiedad de origen**

Son características físicas, químicas y mineralógicas que se encuentran en los agregados que influyen en su calidad y uso en la construcción. Estas propiedades pueden variar según la fuente de origen del agregado ya sea de canteras naturales o de procesos artificiales.

Entre las propiedades de origen más importantes se encuentran la forma y textura de las partículas, la densidad, la porosidad, la resistencia a la abrasión y al impacto, la absorción de agua, la resistencia a la compresión (Macias & Sánchez, 2023).

#### **Desgaste**

Se refiere a la capacidad de los materiales utilizados para resistir las deformaciones y las grietas causadas por el tráfico y las cargas externas. Los materiales de revestimiento deben tener una resistencia adecuada al descaste y a la fatiga (Noguero & Miró, 2011).

#### **Durabilidad**

Se refiere a la capacidad de los materiales para resistir el deterioro causado por las condiciones ambientales y el tráfico durante un periodo determinado. Para esto los agregados utilizados en la construcción deben tener una resistencia mínima a la abrasión y una forma adecuada para asegurar una buena adherencia entre las partículas (Macias & Sánchez, 2023).

#### **Propiedades de consenso**

Se refieren a las características que deben tener los materiales pétreos utilizados en la construcción de carreteras para garantizar la calidad y durabilidad del pavimento (Cáceres, 2007).

#### **Caras fracturadas**

El ensayo consiste en la importancia de identificar y cuantificar estas caras en los materiales utilizados en la construcción. Las caras fracturadas pueden afectar negativamente la resistencia y durabilidad del pavimento lo que puede llevar a un mayor costo de mantenimiento y reparación a largo plazo (ASTM D5821, n.d.).

#### **Partículas planas y alargadas**

Este ensayo se basa en la medición de la proporción de partículas planas y alargadas presentes en una muestra de agregado grueso sea mayor a 5. Se realiza mediante el uso de un dispositivo llamado medidor de índice de forma que mide la relación entre el ancho y el espesor de las partículas. En el agregado puede tener un impacto negativo en la calidad de la mezcla ya que puede aumentar la probabilidad de fisuras y reducir su resistencia (Mérida, 2017).

## **Granulometría**

Se refiere a la distribución de tamaños de partículas en una muestra de agregado. El análisis granulométrico debe realizarse mediante tamices de diferentes tamaños y que los resultados deben expresarse en porcentajes acumulando que indican la cantidad de material que pasa por cada tamiz. Una granulometría adecuada es esencial para garantizar que la mezcla tenga la densidad, la resistencia y la durabilidad adecuadas (García et al., 2005).

### **2.4 Propiedades complementarias**

#### **2.4.1 Pesos específicos y absorción agregado fino**

El objetivo del ensayo es determinar las propiedades físicas del agregado el peso específico es una medida de la densidad del material y la absorción indica la cantidad de agua que el agregado puede absorber y retener, para ello la muestra representativa debe estar seco y sumergir en agua a temperatura ambiente durante un periodo de 24 horas con la ayuda del picnómetro se realiza el desarrollo del estudio (Albornoz, 2014).

#### **2.4.2 Peso específico y absorción del 3/4.**

Es una prueba utilizada para determinar las propiedades físicas. El peso específico del agregado grueso se refiere a la densidad del material y se calcula dividiendo la masa del agregado entre su volumen. Para el desarrollo del ensayo se utiliza el método de la canastilla, la muestra representativa debe estar seco y sumergir en agua a temperatura ambiente durante un periodo de 24 horas para realizar el ensayo (Albornoz, 2014).

#### **2.4.3 Masa unitaria**

Es una prueba utilizada para determinar la densidad de la muestra en relación a su volumen en condiciones suelta o compacta permitiendo calcular los vacíos en los áridos, determinar la calidad y la resistencia. Es importante realizar este ensayo correctamente siguiendo los procedimientos y estándares establecidos para obtener resultados precisos y confiables (Tierra, 2015).

#### **2.4.4 Límites de Atterberg**

Son una serie de pruebas utilizadas en geotecnia para determinar las propiedades de los suelos en relación con su contenido de humedad. Estas pruebas se basan en los cambios de consistencia que experimenta el suelo a medida que se le añade agua o se le quita (Universidad Tecnológica de Chile, 2014).

#### **Límite líquido**

Es el contenido de humedad en el cual el suelo cambia de un estado semisólido a un estado líquido. Se determina mediante el ensayo de la copa de Casagrande (Universidad Tecnológica de Chile, 2014).

### **Límite plástico**

Es el contenido de humedad en el cual el suelo cambia de un estado plástico a un estado semisólido. Se determina el ensayo del hilo de corte (Universidad Tecnológica de Chile, 2014).

## **2.5 Ensayos y normas del filler (ceniza de la cascarilla de arroz)**

### **2.5.1 Densidad específica**

**Norma:** (INEN 2527, 2010)

Ensayo en donde se relaciona el peso de volumen de un elemento a cierta temperatura y el peso de volumen del agua con las mismas condiciones. En este caso se utilizó el método del picnómetro.

### **2.5.2 Granulometría**

**Norma:** (INEN 696, 2011)

Método que permite clasificar las partículas de la ceniza de la cascarilla de arroz según su tamaño.

### **2.5.3 Masa Unitaria**

**Norma:** (INEN 858, 2010)

Proceso con el cual se determina el peso volumétrico del agregado en dos condiciones compactada y disgregada, logrando así calcular el contenido de vacíos en los áridos.

### **2.5.4 Absorción**

**Norma:** (ISO 3344, 2015)

Ensayo con el cual se determina el aumento de la masa del material al ser sumergido en agua durante 24 horas.

### **2.5.5 Medida del grado de acidez o alcalinidad**

Es una medida que permite verificar la acidez o alcalinidad de una solución disuelta, se mide en una escala que va desde 0 a 14, donde el 7 se considera como una sustancia neutra, por encima de 7 se considera alcalino y por debajo de 7 es un ácido (Jiménez et al., 2000).

## **2.6 Diseño de mezcla asfáltica**

Para el diseño óptimo de la mezcla asfáltica existen diversas metodologías, algunas que ya han sido puestos en práctica desde el pasado y otras que son recientes. Las más usadas son Marshall y el Hveem.

Para el presente trabajo de investigación se utilizará el método de diseño de Marshall ya que buscamos estudiar las propiedades mecánicas-volumétricas de la mezcla asfáltica y este método tiene como aspectos principales el estudio de la densidad, análisis de vacíos, estabilidad y flujo (Garnica et al., 2004).

### **2.6.1 Método Marshall**

El método de Marshall creada por Bruce Marshall tiene como objetivo principal encontrar una dosificación eficiente entre los agregados pétreos y el ligante asfáltico, con el fin de obtener una mezcla asfáltica en caliente con propiedades mecánicas-volumétricas que brinden calidad.

La metodología de Marshall es utilizada para mezclas asfálticas en caliente, donde se usen agregados con un tamaño máximo de 25mm o menor, caso contrario se utiliza el método modificado para agregados que tengan como máximo 38mm.

Para la elaboración de especímenes con el método de Marshall es necesario calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto y agregado en moldes de una altura de 64mm y de 102 mm de diámetro. Este método puede ser usado tanto en estudios de campo como de laboratorio. Los aspectos más importantes de diseño son la densidad, análisis de vacíos, la estabilidad y flujo de las briquetas compactadas (Garnica et al., 2004).

## **2.7 Propiedades que debe presentar la mezcla**

### **2.7.1 Propiedades mecánicas**

#### **Estabilidad y flujo**

Es la resistencia de la mezcla asfáltica a la deformación y desplazamiento provocado por las cargas de los vehículos. Para poder garantizar estabilidad depende mucho de la cohesión y fricción interna de las partículas del agregado y de la capacidad ligante del asfalto (Pedraz, 2018).

#### **Trabajabilidad**

Se puede definir como la complejidad con que la mezcla asfáltica se amolda y se compacta. Son poco trabajables, cuando tienen un alto contenido de filler y agregado grueso, ya que pueden segregarse o volverse muy rígidas lo que evita una adecuada compactación.

Para la trabajabilidad es necesario tener en cuenta que se debe controlar la temperatura de compactación, ya que si la mezcla esta fría tiende a volverse rígida (Ordoñez, 2014).

### **2.7.2 Propiedades volumétricas**

#### **Densidad**

Relación existente entre el peso de la mezcla por unidad de volumen. Esta característica no es esencial para el diseño de la mezcla, si no para controles de laboratorio. Entre mayor densidad se puede garantizar un mejor rendimiento (Ordoñez, 2014).

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

Es la relación de una medida de la densidad de un material con el agua se usa para determinar la calidad y la composición de los materiales (Toro, 2018).

$$\text{Gravedad específica Bulk} = \frac{A}{B - C}$$

**A:** Masa seca en el aire (gr).

**B:** Masa saturada (gr).

**C:** Masa en el agua (gr).

### **Gravedad específica Máxima Medida (Gmm)**

Es la relación que tiene entre la masa de un material y el volumen que ocupa en comparación con el agua (Toro, 2018).

Gmm (Toro, 2018)

$$\text{Gmm} = \frac{D}{(D + (E - F))}$$

**D:** Muestra (gr).

**E:** Picnómetro + Agua.

**F:** Picnómetro + Agua + Material.

### **Gravedad específica neta para el agregado total (Gsb)**

Es la relación entre la masa de los sólidos del agregado y el volumen total de los sólidos incluyendo los poros permeables y los vacíos (Toro, 2018).

Gsb (Toro, 2018)

$$\text{Gsb} = \frac{P_{i1} + P_{i2} + \dots + P_{iN}}{\frac{P_{i1}}{G_{si1}} + \frac{P_{i2}}{G_{si2}} + \dots + \frac{P_{iN}}{G_{siN}}}$$

**GsN:** Gravedad específica neta.

**Pi1, Pi2, PiN:** Porcentaje individuales.

**Gsi1, Gsi2, GsiN:** Gravedad específica neta individual.

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

Se define como la relación entre masa de los sólidos del agregado y el volumen de los sólidos sumergidos en un medio líquido generalmente agua (Toro, 2018).

Gse (Toro, 2018)

$$\text{Gse} = \frac{100 - Ca}{\frac{100}{Gmm} - \frac{Ca}{Gasf}} * Gasf$$

**Ca:** Contenido de asfalto.

**Gsa:** Gravedad específica del asfalto.

### **Asfalto absorbido (Pba)**

Se define como la cantidad de asfalto que se adhiere a la superficie de los agregados después de un proceso de mezclado y compactación (Toro, 2018).

Pba (Toro, 2018)

$$P_{ba} = 100 * \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} G_{se}} * G_b$$

**G<sub>se</sub>**: Gravedad específica efectiva del agregado.

**G<sub>sb</sub>**: Gravedad específica neta del agregado.

### **Contenido de asfalto efectivo (Pbe)**

Se define como el porcentaje de la masa de la mezcla (Toro, 2018).

Pbe (Toro, 2018)

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} * P_s$$

**P<sub>b</sub>**: Porcentaje de asfalto de la mezcla.

**P<sub>ba</sub>**: Asfalto absorbido.

**P<sub>s</sub>**: Porcentaje de agregado de la mezcla.

### **Vacíos de aire en la mezcla compactada (Va)**

Porcentaje de aire retenido en una mezcla asfáltica. Según (Ordoñez, 2014) el porcentaje óptimo de vacíos debe ser 3 a 5% en muestras de laboratorio, mientras que en el campo no se puede exceder más del 8% ya que se permite que se compacte de manera adecuada debido al tránsito.

El porcentaje de vacíos en una mezcla es una pieza fundamental para la determinación de durabilidad del pavimento. Cuando una mezcla tiene un bajo porcentaje de vacíos de aire causa la exudación, mientras que si es demasiado alto puede existir aberturas que sirven de libre circulación del agua y aire que es perjudicial para la mezcla ya que le provocara el deterioro (Pedraz, 2018).

Va (Pedraz, 2018)

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

**G<sub>mm</sub>**: Gravedad específica máxima en la mezcla.

**G<sub>mb</sub>**: Gravedad específica neta de la mezcla.

### **VAM**

Según (Ordoñez, 2014) el vacío en el agregado mineral es todo espacio usado por el asfalto efectivo y el aire retenido, en otras palabras, es el volumen que existen entre las partículas del agregado. El VMA viene estrechamente vinculado con el tamaño del agregado.

Cuando el VMA es alto como consecuencia se tiene una mezcla más eficiente y duradera, caso contrario se tiene una que sea susceptible a la oxidación, lo que pone en riesgo la calidad del pavimento, pero puede ser beneficioso cuando de economía se trata.

$$\mathbf{VAM} = 100 - \frac{G_{mb} * P_s}{G_{sb}}$$

**VAM:** Vacíos en el agregado mineral.

**G<sub>sb</sub>:** Gravedad específica neta del total del agregado.

**G<sub>mb</sub>:** Gravedad específica neta de la mezcla.

**P<sub>s</sub>:** Contenido de agregado.

$$\mathbf{VAM} = 100 - V_{agre}$$

**V<sub>agre</sub>:** Volumen de agregado vs volumen total del agregado.

### **Contenido de asfalto**

Para definir el contenido de asfalto se puede clasificar en tres partes el contenido de asfalto efectivo, el contenido de asfalto óptimo y el contenido de asfalto total.

El contenido de asfalto efectivo es el total de betún usado en una mezcla asfáltica, menos la porción de asfalto el cual es absorbido por el agregado pétreo, también se puede decir que es la capa externa que cubre las partículas del agregado y es la misma que determina el comportamiento de la mezcla asfáltica.

Por otro lado, el contenido de asfalto óptimo se determina utilizando una fórmula de aproximación que se realiza a través de cualquier metodología ya sea Superpave o Marshall, una vez ya realizada la granulometría y determinada la capacidad de absorción de los agregados que se van a incluir a la mezcla asfáltica (Pedraz, 2018).

Para determinar el contenido de asfalto total existen diferentes rangos todo esto depende de las propiedades mecánicas-volumétricas que se busque satisfacer en un proyecto y de los diversos factores como la composición de la estructura, los agregados utilizados, el equipo usado para su elaboración, el clima, el tránsito, etc (Garnica et al., 2004).

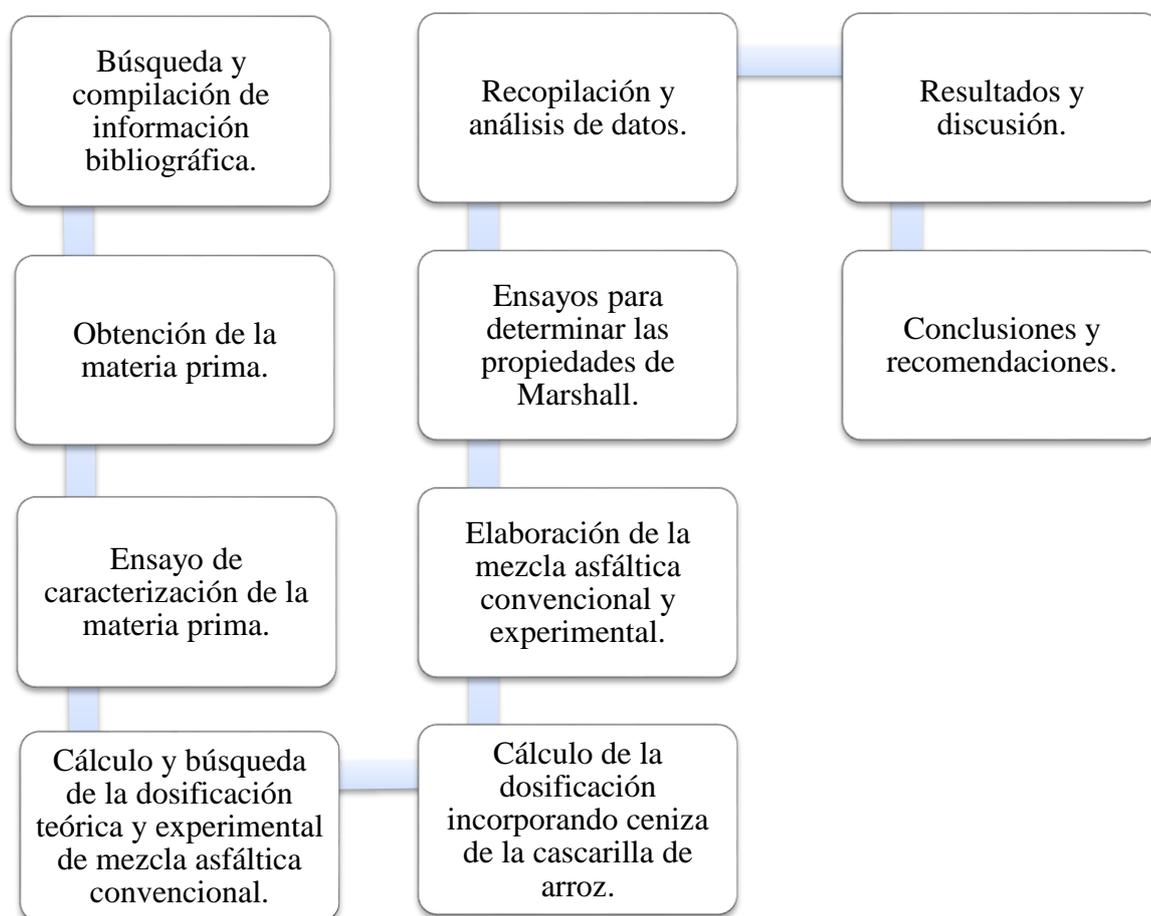
## CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

En esta parte del trabajo de investigación se explica la metodología aplicada, la misma que tiene como objetivo principal comparar una mezcla asfáltica convencional con una mezcla añadiéndole a su dosificación ceniza de cascarilla de arroz, basado en trabajos de laboratorio y fuentes de información existentes, en donde este aplicando el método de Marshall.

Para poder llegar a cumplir los objetivos descritos en el proyecto, se inició con una búsqueda minuciosa de información bibliográfica sobre la línea de investigación planteada hasta llegar a obtener sus resultados correspondientes, así como también las conclusiones y recomendaciones.

### 3.1 Diagrama metodológico

Figura 1. Diagrama metodológico



Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

### 3.2 Enfoque de investigación

Para realizar el presente proyecto de investigación se utilizó un enfoque de investigación cuantitativo, el cual se basa en la recolección y análisis de datos numéricos

tras haber realizado distintas prácticas de laboratorio, basadas en la utilización de normas ya existentes.

### **3.3 Tipo de investigación**

Esta investigación es de tipo experimental, exploratorio y cuantitativa, ya que busca determinar el comportamiento de las propiedades de Marshall en briquetas a las cuales se añadió un porcentaje de ceniza de cascarilla de arroz, partiendo de una dosificación exploratoria ya existente de parte de una empresa nacional. Dosificación convencional que permite elaborar y ensayar muestras de mezclas asfálticas utilizadas en campo. La misma que será utilizada para comparar con las muestras de mezclas asfálticas modificadas.

### **3.4 Pregunta de investigación**

¿La utilización de cenizas de desechos de las piladoras en una mezcla asfáltica produce algún efecto en sus propiedades mecánicas-volumétricas?

### **3.5 Hipótesis**

Una mezcla asfáltica utilizando ceniza de desechos de las piladoras produce algún efecto en sus propiedades mecánicas-volumétricas.

### **3.6 Variables**

#### **3.6.1 Variables independientes**

Las variables independientes de la investigación son el porcentaje de ceniza de desechos de las piladoras que se incluyen en la dosificación convencional de la mezcla asfáltica.

#### **3.6.2 Variables dependientes**

Las variables dependientes son los efectos que se produce en las propiedades mecánicas-volumétricas de la mezcla asfáltica.

### **3.7 Población y muestra**

La población y muestra de nuestro trabajo de investigación son las briquetas realizadas con diferentes porcentajes de ceniza de las cascarillas del arroz, en este caso se utilizó 5 muestras convencionales y 30 muestras utilizando cascarilla de los desechos de las piladoras, dando 35 briquetas.

### **3.8 Técnica de recopilación de información**

Para la recopilación y análisis de información ese utiliza distintas fuentes bibliográficas sobre la línea de investigación, seguido a eso se determinó las propiedades de los materiales utilizados en las mezclas asfálticas, es decir, los materiales pétreos, el asfalto y la ceniza o filler, con la ayuda de distintos ensayos de laboratorio como la tenacidad, durabilidad, caras fracturadas, partículas planas y alargadas, granulometría, límites de Atterberg, masa unitaria, pesos específicos y absorción. Basados en normativas existentes como INEN y ASTM.

Una vez determinada las características de los materiales, se procedió al cálculo de la dosificación teórica, misma que coincidió con la dosificación experimental de una empresa nacional. La cual se utilizó para realizar las briquetas incorporando la ceniza de la cascarilla de arroz y para concluir se determinó las propiedades mecánicas-volumétricas de las mezclas asfálticas.

### **3.9 Caracterización de los agregados**

Para la caracterización de materiales se realizó diferentes ensayos de laboratorio basados en normativas como AASHTO, INEN y ASTM, en donde se expone como deben ser ensayados, caracterizados y la ejecución de cada uno de los ensayos que se debe llevar a cabo.

El filler o ceniza de la cascarilla de arroz se obtuvo de la ciudad El Coca capital Puerto Francisco de Orellana, que se localiza al norte de la Región amazónica del Ecuador, y el ligante asfáltico es de tipo AC-20. Mientras que los materiales pétreos fueron facilitados por una empresa nacional, perteneciente a la ciudad de Riobamba, cerca de la cantera Cerro Negro.

#### **3.9.1 Caracterización de agregados pétreos**

##### **Desgaste**

El desgaste se lo realiza en el agregado pétreo de mayor dimensión basados en la normativa INEN 860, tomando en cuenta la granulometría del material y seguido seleccionar el tipo de gradación a utilizar, así como también las muestras.

##### **Procedimiento**

1. Como paso inicial se selección la degradación tipo B, ya que la mayor cantidad de material obtenido en la granulometría fue (3/4",1/2").
2. Se obtuvo una muestra del material en estudio, se tamizó hasta obtener 2500 gr, se lavó y se dejó en el horno aproximadamente 18 horas, hasta obtener una masa seca por completo.
3. En la máquina de los ángeles se colocó la muestra y el número de esferas seleccionado en este caso 11 esferas.
4. Una vez armada la maquina se procedió a dar 500 revoluciones con una rapidez de 30 -33 revoluciones por cada minuto.
5. Finalizado el ensayo el material obtenido filtra por el tamiz #12 y se pesa lo retenido.

##### **Caras fracturadas**

Para la realización de este ensayo se tomó en cuenta las consideraciones que están descritas en la norma ASTM-D5121.

### **Procedimiento**

1. Se obtuvo una muestra de material, se lavó y se colocó en el horno hasta obtener una masa constante.
2. Se obtuvo la muestra del material seco según lo seleccionado en la tabla 9
3. Se esparció el material en una bandeja grande, minuciosamente se fue observando cada una de las partículas del agregado tomando en cuenta si cumplen o no con los criterios de las caras fracturadas.
4. Se clasificó las partículas que contenían una o más caras fracturadas y las que no.
5. Se tomó el peso de cada una de ellas y finalmente se calculó el porcentaje de desgaste con la siguiente fórmula:

$$\% Cf = \frac{B}{A} * 100$$

**Cf:** Caras fracturadas

**A:** Peso de la muestra total del ensayo

**B:** Peso de los agregados con caras fracturadas

### **Partículas planas y alargadas**

Para la realización de este ensayo se tomó en cuenta las consideraciones que están descritas en la norma ASTM-D5821.

### **Procedimiento**

1. El ensayo inicia obteniendo una muestra de material, se lavó y se colocó en el horno hasta obtener una masa constante.
2. Se esparció el material en una bandeja grande, minuciosamente se fue observando cada una de las partículas del agregado y controlando sea mayor a 5.
3. Se dividió las partículas en dos grupos tanto planas, largas y las que no.
4. Se tomó el peso de cada una de ellas.

$$\% Ppa = \frac{E}{D} * 100$$

**D:** Muestra total del ensayo (gr)

**E:** Muestra con partículas planas y alargadas (gr)

### **Granulometría**

El ensayo de granulometría fue basado en la normativa MOP-001-F.

### **Procedimiento**

1. Se selecciona una muestra de cada material, se la seca al horno aproximadamente 12 horas.
2. Se obtuvo la cantidad requerida según la normativa del material seco.

3. A continuación, se realizó el tamizado y se fue anotando el peso que se retuvo en cada tamiz.
4. Se realiza los cálculos necesarios para finalmente obtener el porcentaje que pasa en cada tamiz y así poder obtener la dosificación teórica de la mezcla asfáltica.

### **Peso específico y absorción agregado grueso**

Para este ensayo se utilizó la norma INEN 857.

#### **Procedimiento**

1. Para la elaboración de este ensayo, se lavó completamente él y se lo dejo en remojo durante 24 horas, una vez pasado el tiempo se destiló el árido, secándolo con una franela seguida a eso se pesó la masa actual.
2. Se preparó la máquina, y se sumergió la canastilla para obtener el peso vacío de la misma.
3. Se tomó la muestra se la coloca y se la coloca en la canastilla y se la sumerge tomando en cuenta todo lo descrito en la normativa. Se registra su peso.

### **Peso específico y absorción agregado fino**

Para la elaboración del siguiente ensayo se utilizó el método gravimétrico.

#### **Procedimiento**

1. Se toma una porción de la muestra, se la lava dejándola todo tipo de impurezas fuera, se la remoja durante 24 horas, se retira el excedente de agua.
2. Con la ayuda de una bandeja y la estufa proporcionada en el laboratorio se secó el material, garantizando un secado homogéneo de toda la muestra del material.
3. Para verificar si el material ya está listo, se utilizó el cono con diámetro mayor en la superficie y se rellenó con la muestra superficialmente seca. Se realiza 25 golpes con la ayuda de la varilla. Se retira el cono de manera vertical y cuidadosamente, verificando que la muestra se desmorone de manera superficial y a continuación se registra el peso.
4. Se arma y se pesa el picnómetro seco y después picnómetro con agua.
5. Una vez realizado ese proceso la muestra a la cual se tomó el peso se la introduce en el picnómetro aforado, y se lo rota y lo agita hasta que se eliminen todas las partículas de aire.
6. Finalmente, se registra el peso del picnómetro más agua y el del picnómetro más agua y la muestra.

### **Límites de Atterberg**

Para la elaboración de este ensayo es necesario utilizar el dispositivo denominado Copa de Casagrande, el que tiene como objetivo principal determinar la fluencia de la muestra basado en la norma INEN 691. Gracias a este ensayo se puede determinar el contenido de agua que tiene la muestra, cuando este dentro de su comportamiento líquido y plástico.

## **Límite líquido**

### **Procedimiento**

1. Para elaborar este ensayo se toma un porcentaje de muestra se lo pesa y se prepara añadiéndole agua con la pipeta, se mezcla hasta conseguir una pasta no muy líquida ni seca.
2. Se coloca la muestra en el equipo cuidando de que el porcentaje de vacíos sea mínimo o nulo.
3. Una vez colocada la muestra y enrasada con la ayuda del acanalador se divide esta muestra en dos partes casi iguales y se empieza a darle vueltas con el manubrio de forma que a la muestra se le vaya dando golpes hasta que se unan las partes.
4. EL proceso se debe repetir ya sea aumentando agua o muestra hasta lograr que las paredes se una dentro de los: 15-25, 20-30, 25-35 golpes.

### **Límite plástico**

Para el límite líquido se utiliza la norma INEN 692, la misma que tiene como objetivo principal determinar el contenido de agua de la muestra cuando tenga un comportamiento entre plástico y sólido.

### **Procedimiento**

Para realizar el ensayo es necesario utilizar la muestra que entro en los 20-30 golpes, formar un cilindro con la pasta y rolarla con la yema de los dedos sobre la placa de vidrio hasta intentar alcanzar un rollo de 3mm de diámetro antes de su rotura.

## **3.10 Caracterización del filler (ceniza de las cascarillas de arroz)**

La ceniza de arroz utilizada en el presente trabajo de investigación fue adquirida en la ciudad del El Coca capital de Francisco de Orellana.

### **3.10.1 Granulometría de la ceniza**

Para el ensayo granulométrico aplicado en la ceniza de la cascarilla de arroz se utilizó la norma INEN 696, la misma que se aplicó para el ensayo del agregado fino.

### **Procedimiento**

1. Utilizando el horno se secó el material en estudio, durante aproximadamente 18 horas hasta obtener una masa constante.
2. Se obtuvo una muestra adecuada para el estudio. Se colocó en los tamices.
3. Una vez tamizada la muestra se registró el peso retenido en cada tamiz.

### **3.10.2 Peso específico y absorción de la ceniza de la cascarilla de arroz**

#### **Procedimiento**

1. Para comenzar el ensayo el agregado debe reposar saturado aproximadamente 16 horas antes de ensayar.
2. Secar el material de en nuestro caso utilizamos la estufa hasta que el material se seque de manera homogénea.

3. Con la ayuda del cono y el pisón se observa si el material este o no está listo para el ensayo, dándole los 25 golpes.
4. Se obtiene una muestra de 200 gr del material.
5. Llenamos el matraz de fondo con agua y registramos el peso.
6. Colocamos el material en el matraz y el agua, se remueve alrededor de 40 minutos para eliminar todo el aire.
7. Se registra el peso del material más agua eliminando los vacíos de aire.

### **3.10.3 Límites de Atterberg**

#### **Límite líquido**

Para la elaboración de este ensayo es necesario utilizar el dispositivo denominado Copa de Casagrande, el que tiene como objetivo principal determinar la fluencia de la muestra basado en la norma INEN 691. Gracias a este ensayo se puede determinar el contenido de agua que tiene la muestra, cuando este dentro de su comportamiento líquido y plástico. El procedimiento fue el mismo que se le realizo al árido fino.

#### **Límite plástico**

El ensayo tiene como objetivo determinar el porcentaje de humedad de un suelo. Este límite se define como el contenido de agua en el cual el suelo cambia de un estado plástico a un estado líquido en base a la normativa INEN 692.

#### **Procedimiento**

1. Se selecciona una muestra homogénea seca y tamizada.
2. Tomar una porción de la muestra y mezclarla con agua destilada hasta obtener una pasta homogénea.
3. Con la ayuda de un vidrio esmerilado se realiza 5 a 8 cilindros pequeños de 3 mm de diámetro.
4. Mida la longitud del hilo.
5. Calcule el promedio de las longitudes de hilo obtenidas y registre este valor como el límite plástico del suelo.
- 6.

### **3.11 Diseño de la Mezcla asfáltica**

#### **3.11.1 Mezcla asfáltica convencional**

En el diseño de la mezcla se consideró principalmente la fórmula maestra utilizada diariamente por la empresa vial puesto que los áridos fueron proporcionados por la empresa.

#### **3.11.2 Diseño de la mezcla asfáltica modificada con ceniza de la cascarilla de arroz**

Tomando como base la mezcla convencional se trabaja con el 5% de asfalto establecido por una constructora vial de la localidad, se analiza las cantidades de porcentajes de la mezcla maestra y se toma en cuenta el agregado de 3/8 para la disminución ya que contiene mayor porcentaje en la dosificación, se coloca los porcentajes de ceniza

establecidos de 2%,4%,6%,8%,10% y 12% en la disminución del agregado de 3/8 con el objetivo de tener la relación filler/betún para poder analizar lo teóricos de 0.2 a 1.2.

### Preparación de las briquetas

El desarrollo de las briquetas se basa en la norma ASTM D 6926.

1. Seleccionamos los materiales adecuados para la fabricación de las briquetas.
2. En cada porcentaje de las briquetas con ceniza se realizaron 5 de cada una teniendo en cuenta el peso de 1200 gr.
3. Se calienta los moldes en el horno a una temperatura de 140 °C.
4. Una vez seleccionados los materiales se procede a mezclar en proporción adecuada con una temperatura de 160 °C.
5. Se compacta las briquetas dando 75 golpes por cara para un tráfico pesado.
6. Controlamos la temperatura de 140 °C para cada briketa.
7. Se dejó enfriar los moldes entre 2 min a 4 min para la extracción de las briquetas.
8. Finalmente se elaboran un total de 30 briquetas para la verificación de sus comportamientos mecánicos y volumétricos con el contenido de ceniza.

Figura 2. Elaboración de Briquetas



Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

### 3.12 Ensayos para mezclas asfálticas

La verificación de las briquetas compactadas se revisa con las especificaciones de la norma MOP-001-F, 2002.

Tabla 6. Especificaciones del ensayo Marshall

Tipo de Trafico	Muy pesado		Pesado		Medio		Liviano	
Criterio Marshall	Min	Máx.	Min	Máx.	Min	Máx.	Min	Máx.
N° de golpes/cara	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	200	----	1800	----	1200	----	1000	2400
Flujo (pulg/100)		14	8	14	8	16	8	16
% de vacíos		5	3	5	3	5	3	5

Fuente: (MOP, 2002)

### 3.12.1 Porcentaje de vacíos del agregado mineral

Tabla 7. % de vacíos del agregado mineral

Tamaño Máximo del agregado en mm		VAM mínimo (%)		
Porcentaje		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

Fuente: (MOP, 2002)

### 3.12.2 Peso Específico Densidad aparente (BULK)

En el desarrollo del ensayo se basa de las recomendaciones de la norma ASTM D 1188.

#### Procedimiento

1. Se selecciona la muestra representativa a ensayar.
2. Se pesan las briquetas compactadas utilizando una balanza de precisión y se registra el valor obtenido de cada briqueta a ensayar.
3. Seleccionamos una bandeja con la capacidad de albergar toda la muestra a trabajar y se sumerge durante un 15 a 30 min.
4. Se extraen las muestras de la bandeja una vez pasado el periodo de 15 a 30 min con la ayuda de un paño se seca hasta lograr la condición de saturación superficialmente seco.
5. Se registra los pesos de la muestra en condiciones de saturación superficialmente seca.
6. Con la ayuda de la maquina implementada con balanza se coloca en la canastilla las briquetas y se sumergen.
7. Finalmente, se anota los pesos sumergidos de cada una de las briquetas ensayadas para realizar los cálculos correspondientes al ensayo.

**Figura 3.** *Ensayo de peso específico densidad aparente BULK*



Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

### 3.12.3 Ensayo de estabilidad y flujo Marshall

El ensayo realizado consiste en someter a las briquetas a una carga de compresión axial permitiendo evaluar la estabilidad y flujo de la muestra. Para el ensayo se basa de las recomendaciones de la norma ASTM 1559.

#### Procedimiento

1. Se coloca las briquetas en el equipo baño termostático a una temperatura a 60 °C por 30 min.
2. Se retira las briquetas del equipo baño termostático y secamos.
3. Se toma registro de medidas antes de colocar en la prensa Marshall.
4. Se coloca en la prensa Marshall para aplicar la carga a una velocidad de 2” /min hasta llegar al punto de rotura.
5. Finalmente anotamos las lecturas dado por la maquina Marshall.

**Figura 4.** *Ensayo de Estabilidad y flujo Marshall*



Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

### 3.12.4 Densidad Teórica máxima (Rice)

Es un parámetro utilizado para determinar la densidad máxima que se puede lograr en una mezcla asfáltica compactada. Para el ensayo se basa de las recomendaciones de la norma ASTM D2041 Y AASHTO T 209.

### **Procedimiento**

1. Seleccionamos la briqueta para el ensayo.
2. Con una estufa y una bandeja se disgrega la briqueta teniendo cuidado de no romper el agregado.
3. Se pesa el material una vez que se encuentre frío para registrar.
4. Se calibra el equipo y procurando que en el picnómetro no quede partículas de aire en su interior.
5. Se registra el peso del picnómetro calibrado.
6. Se introduce la muestra disgregada y se procede a colocar el agua en el picnómetro.
7. Con la ayuda de la bomba se elimina las partículas de aire y se anota el peso del picnómetro más agua y la muestra asfáltica.
8. Finalmente se realiza los cálculos respectivos y determinamos la densidad teórica máxima.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados del diseño la mezcla asfáltica convencional

Para realizar la mezcla asfáltica dosificada se partió de la dosificación de la mezcla convencional dada por (Noboa, 2022), como se puede ver en la tabla 15:

**Tabla 8.** *Dosificación de la mezcla asfáltica convencional*

<b>Dosificación de la mezcla asfáltica convencional</b>		
<b>Agregados</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Masa (gr)</b>
3/4"	24.40	292.80
3/8"	55.40	664.80
Arena	15.20	182.40
Asfalto	5.00	60.00
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1200</b>

Fuente: (Noboa, 2022)

#### 4.1.1 Resultados del ensayo de estabilidad y flujo

En el trabajo de investigación de (Noboa, 2022) se realizó 5 briquetas, las mismas que fueron ensayadas para determinar la estabilidad y el flujo como se detalla a continuación:

**Tabla 9.** *Estabilidad y flujo de las briquetas*

<b>Estabilidad y flujo de briquetas</b>			
<b>Dosificación:</b>		95% agregados, 5% asfalto	
<b>Código</b>	<b>Estabilidad (lb)</b>	<b>Flujo 1/100 (pulg)</b>	
1N	3462.00	14.1	
2N	3783.36	13.8	
3N	3327.00	13.6	
4N	4485.52	14.3	
5N	3320.64	13.7	
<b>Promedio</b>	<b>3675.704</b>	<b>13.9</b>	

Fuente: (Noboa, 2022)

#### 4.1.2 Resultados de % de vacíos y % VAM en mezcla asfáltica

**Tabla 10.** *% de Vacíos y % de VAM*

<b>% de vacíos y % VAM</b>				
<b>Dosificación:</b>		95% agregados, 5% asfalto		
<b>Código</b>	<b>Gsb (g/cm3)</b>	<b>Gmm (g)</b>	<b>%Vacíos</b>	<b>%VAM</b>
1N	2.386			11.906
2N	2.250			16.927
3N	2.345	2.472	5.624	13.439
4N	2.380			11.793
5N	2.296			15.237
<b>Promedio</b>				<b>13.860</b>

Fuente: (Noboa, 2022)

## 4.2 Resultados del diseño de la mezcla asfáltica incluyendo ceniza de la cascarilla de arroz

Para las dosificaciones de la mezcla asfáltica dosificadas se consideró la relación filler/betún entre rangos teóricos de 0.2 a 1.2 con valores bajos, medios y superiores, como se muestra a continuación.

**Tabla 11.** Dosificación de la mezcla asfáltica añadiendo rangos teóricos de ceniza

Dosificación de mezcla asfáltica con ceniza					
<b>Dosificación A1:</b> 93% agregado, 5% asfalto y 2% ceniza			<b>Dosificación D1:</b> 87% agregados, 5%asfalto y 8% ceniza		
¾	24.4%	292.8	¾	24.4%	292.8
3/8	53.4%	663.6	3/8	47.4%	660
Arena	15.2%	182.4	Arena	15.2%	182.4
Ceniza	2.0%	1.2	Ceniza	8.0%	4.8
Asfalto	5.0%	60	Asfalto	5.0%	60
<b>Dosificación B1:</b> 91% agregado, 5% asfalto y 4% ceniza			<b>Dosificación E1:</b> 85% agregados, 5%asfalto y 10% ceniza		
¾	24.4%	292.8	¾	24.4%	292.8
3/8	51.4%	662.4	3/8	45.4%	658.8
Arena	15.2%	182.4	Arena	15.2%	182.4
Ceniza	4.0%	2.4	Ceniza	10.0%	6
Asfalto	5.0%	60	Asfalto	5.0%	60

Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

**Tabla 12.** Dosificación de la mezcla asfáltica añadiendo rangos teóricos de ceniza

Dosificación de mezcla asfáltica con ceniza					
<b>Dosificación C1:</b> 89% agregado, 5% asfalto y 6% ceniza			<b>Dosificación F1:</b> 83% agregados, 5%asfalto y 12% ceniza		
¾	24.4%	292.8	¾	24.4%	292.8
3/8	49.4%	661.2	3/8	43.4%	657.5
Arena	15.2%	182.4	Arena	15.2%	182.4
Ceniza	6.0%	3.6	Ceniza	12.0%	7.2
Asfalto	5.0%	60	Asfalto	5.0%	60

Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

### 4.2.1 Resultados peso específico Bulk y VAM

**Tabla 13.** Resultados del peso específico Bulk y VAM con Ceniza al 2%

Peso específico Bulk y VAM (93% agregados, 5%asfalto y 2% ceniza)					
Código	Wa (gr)	Wss(gr)	Ww(gr)	Gb	% VAM
A1.1	1210.60	1222.00	677.90	2.22	21.69
A1.2	1147.30	1157.90	632.90	2.19	23.09
A1.3	1185.20	1192.70	659.70	2.22	21.74
A1.4	1195.00	1202.50	654.60	2.18	23.24
A1.5	1175.30	1185.90	648.90	2.19	22.97

Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

**Tabla 14. Resultados del peso específico Bulk y VAM con Ceniza al 4%**

<b>Peso específico Bulk y VAM (91% agregados, 5%asfalto y 4% ceniza)</b>					
<b>Código</b>	<b>Wa (gr)</b>	<b>Wss(gr)</b>	<b>Ww(gr)</b>	<b>Gb</b>	<b>% VAM</b>
B1.1	1188.00	1196.00	657.80	2.21	21.54
B1.2	1174.00	1189.00	655.40	2.20	21.79
B1.3	1201.00	1208.00	683.60	2.29	18.59
B1.4	1154.00	1163.00	653.90	2.27	19.43
B1.5	1194.00	1200.00	653.00	2.18	22.41

Fuente: (Cortez &amp; Jácome, 2023)

**Tabla 15. Resultados del peso específico Bulk y VAM con Ceniza al 6%**

<b>Peso específico Bulk y VAM (89% agregados, 5%asfalto y 6% ceniza)</b>					
<b>Código</b>	<b>Wa (gr)</b>	<b>Wss(gr)</b>	<b>Ww(gr)</b>	<b>Gb</b>	<b>% VAM</b>
C1.1	1158.40	1166.20	627.00	2.15	22.88
C1.2	1223.90	1232.20	679.70	2.22	20.48
C1.3	1205.30	1211.70	664.50	2.20	20.93
C1.4	1167.50	1175.30	638.80	2.18	21.88
C1.5	1198.20	1205.30	675.70	2.26	18.78

Fuente: (Cortez &amp; Jácome, 2023)

**Tabla 16. Resultados del peso específico Bulk y VAM con Ceniza al 8%**

<b>Peso específico Bulk y VAM (87% agregados, 5%asfalto y 8% ceniza)</b>					
<b>Código</b>	<b>Wa (gr)</b>	<b>Wss(gr)</b>	<b>Ww(gr)</b>	<b>Gb</b>	<b>% VAM</b>
D1.1	1171.80	1181.90	647.70	2.19	20.48
D1.2	1184.50	1193.40	662.40	2.23	19.14
D1.3	1176.10	1183.30	646.80	2.19	20.53
D1.4	1174.20	1182.60	643.90	2.18	20.98
D1.5	1183.80	1192.60	661.60	2.23	19.18

Fuente: (Cortez &amp; Jácome, 2023)

**Tabla 17. Resultados del peso específico Bulk y VAM con Ceniza al 10%**

<b>Peso específico Bulk y VAM (85% agregados, 5%asfalto y 10% ceniza)</b>					
<b>Código</b>	<b>Wa (gr)</b>	<b>Wss(gr)</b>	<b>Ww(gr)</b>	<b>Gb</b>	<b>% VAM</b>
E1.1	1174.30	1182.20	649.30	2.20	19.34
E1.2	1165.00	1172.40	644.00	2.20	19.30
E1.3	1168.50	1175.80	646.00	2.21	19.27
E1.4	1169.20	1176.80	652.00	2.23	18.45
E1.5	1185.60	1193.80	662.10	2.23	18.38

Fuente: (Cortez &amp; Jácome, 2023)

**Tabla 18. Resultados del peso específico Bulk y VAM con Ceniza al 12%**

<b>Peso específico Bulk y VAM (83% agregados, 5%asfalto y 12% ceniza)</b>					
<b>Código</b>	<b>Wa (gr)</b>	<b>Wss(gr)</b>	<b>Ww(gr)</b>	<b>Gb</b>	<b>% VAM</b>
F1.1	1172.60	1178.40	650.30	2.22	20.36
F1.2	1172.40	1183.50	648.40	2.19	21.41
F1.3	1181.90	1189.30	655.90	2.22	20.52
F1.4	1173.60	1184.90	653.10	2.21	20.84
F1.5	1186.50	1191.50	649.60	2.19	21.46

Fuente: (Cortez &amp; Jácome, 2023)

#### 4.2.2 Resultados de estabilidad y flujo en briquetas

Para obtener la estabilidad y flujo se realizó mezclas asfálticas modificadas con ceniza, 5 briquetas con cada uno de los rangos teóricos en estudio. Obteniendo así promedios de cada rango expuestos en la tabla 19.

**Tabla 19. Estabilidad y Flujo con ceniza**

<b>Estabilidad y flujo</b>					
<b>Código</b>	<b>Estabilidad (lb)</b>	<b>Flujo 1/100(in)</b>	<b>Código</b>	<b>Estabilidad (lb)</b>	<b>Flujo 1/100(in)</b>
A1.1	6514	15.3	C1.1	5557	13.8
A1.2	5506	8.8	C1.2	5980	16.6
A1.3	7133	11.4	C1.3	5570	14.2
A1.4	6052	13.5	C1.4	5827	16.1
A1.5	6358	10	C1.5	5632	14.3
B1.1	6145	15.2	D1.1	6894	13.7
B1.2	5514	17.4	D1.2	5816	11.2
B1.3	5420	10.9	D1.3	6063	16.4
B1.4	6869	13.9	D1.4	6572	13.1
B1.5	5598	12.3	D1.5	6283	12.5
E1.1	5630	13.2	F1.1	6565	9.8
E1.2	6927	11.2	F1.2	5162	13.2
E1.3	6720	5.8	F1.3	5939	14.6
E1.4	6500	10.7	F1.4	6127	9.14
E1.5	6451	10.9	F1.5	6003	14.7

Fuente: (Cortez &amp; Jácome, 2023)

**Tabla 20. Promedios de Estabilidad y Flujo con ceniza**

<b>Código</b>	<b>Estabilidad (lb)</b>	<b>Flujo 1/100(in)</b>
A	6312.6	11.8
B	5909.2	13.94
C	6445.6	10.36
D	5713.2	15
E	6325.6	13.38
F	5959.2	12.288

Fuente: (Cortez &amp; Jácome, 2023)

### 4.2.3 Resultados del ensayo de densidad máxima teórica RICE

Para realizar el ensayo de densidad máxima y teórica RICE, se seleccionó la dosificación modificada más eficiente, en este caso es la mezcla asfáltica con 6% de desechos de la piladoras la cual al ser sometida a estos ensayos dio como resultado lo siguiente.

**Tabla 21.** Densidad máxima teórica Rice y % de Vacíos con Ceniza

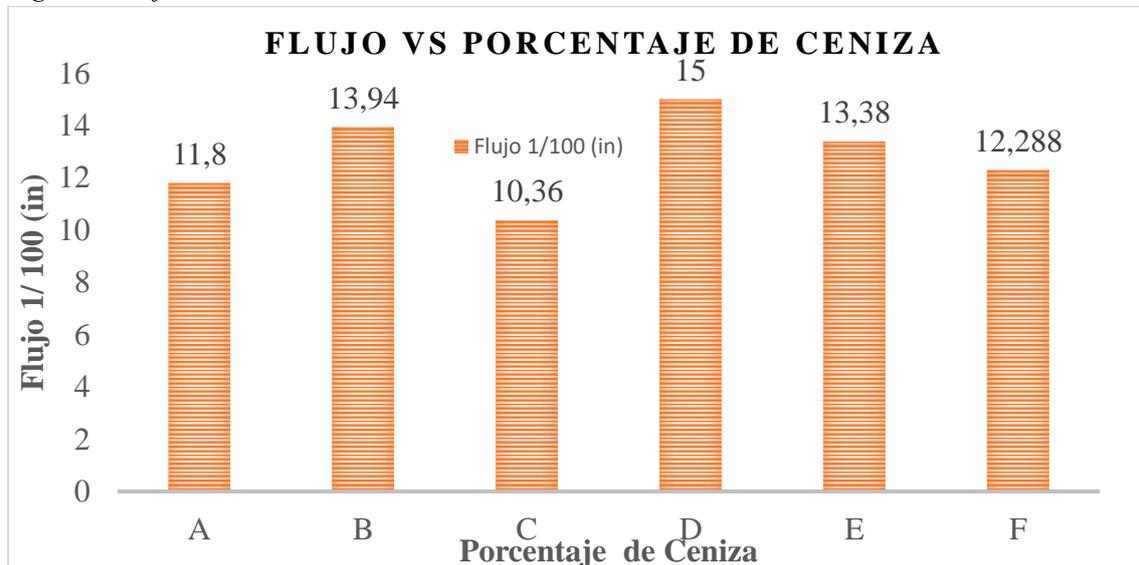
Densidad máxima teórica Gmm y % de vacíos 89% agregado, 5% asfalto y 6% ceniza					
Código	Peso de la muestra(gr)	Peso Picnómetro + Agua (gr)	Peso Picnómetro + Agua+ Material (gr)	Gmm	% vacíos
C1.1	1168	7313	7994.1	2.39	3.89%
C1.2	1164	7313	7991.1	2.39	4.16%

Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

### 4.2.4 Análisis de las propiedades de la mezcla asfáltica con ceniza de cascarilla de arroz

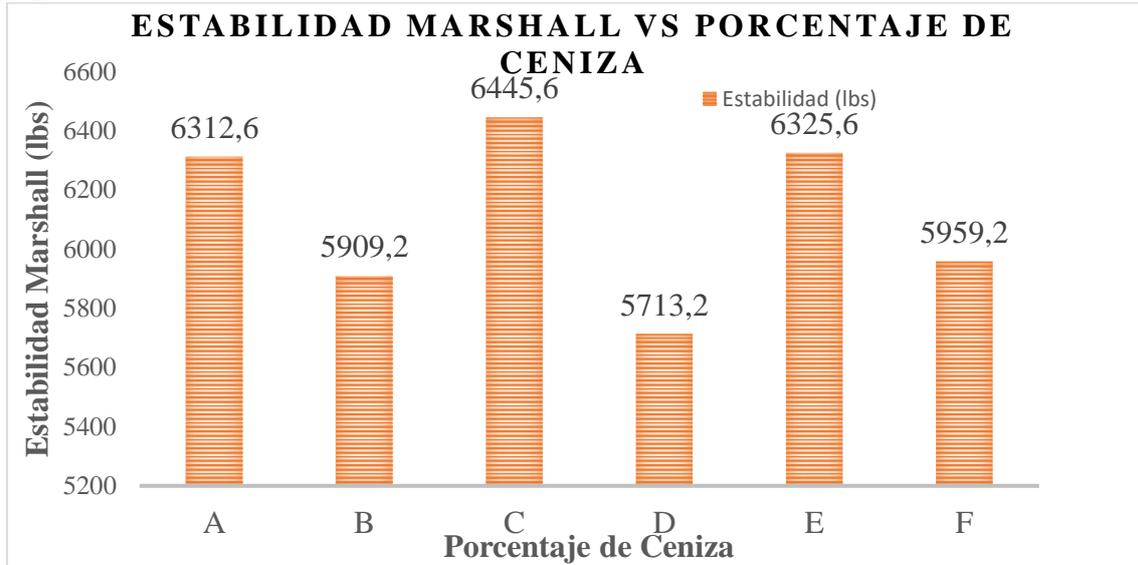
Los resultados obtenidos de la mezcla asfáltica con ceniza se identifican que la muestra modificada con el 6% de ceniza presenta mayor estabilidad y un menor flujo lo que significa tener poca deformación ver en la figura 5 y figura 6.

**Figura 5.** Flujo de la mezcla con Ceniza



Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

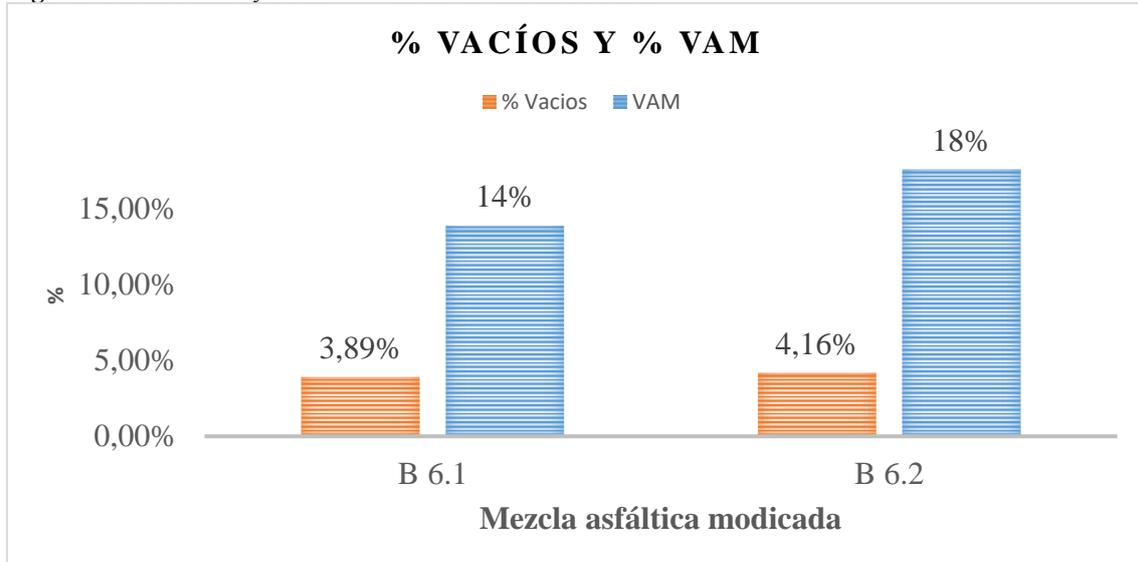
Figura 6. Estabilidad de la mezcla con Ceniza



Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

En comparación de las demás mezclas modificadas del 2%,4%,8%,10% y del 12% se toma como referencia la mezcla modificada del 6 % como se puede ver en la figura 7.

Figura 7. % de Vacíos y % de VAM de la mezcla con Ceniza



Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

## DISCUSIÓN

Considerando los resultados obtenidos de los ensayos en la investigación, que tiene como objetivo principal añadir la ceniza de cascarilla de arroz, para evaluar las propiedades mecánicas y volumétricas de la mezcla asfáltica modificada se tiene que:

Según (Mondragón, 2019), afirma que la cantidad de ceniza de cascarilla de arroz en los diseños de mezclas modificadas no puede exceder el 5% de ceniza. Sin embargo, se discrepa del porcentaje de adición óptimo que encontró, ya que en la investigación se alcanzó una mejora con el 6% de ceniza en la mezcla asfáltica modificada.

Al analizar las propiedades físicas y químicas de la ceniza de los desechos de las piladoras se obtuvo que la gravedad específica es de 1.75 gramos, y el pH es igual a 7 considerado como sustancia neutra, permitiendo usar como un material aceptable para el diseño. Al comparar con el trabajo realizado por (Mondragón, 2019), quien según su investigación muestra que la gravedad específica es de 1.806 gramos, resultados que están dentro de la norma ASTM C-618, donde menciona que la gravedad específica debe ser menor a 3.03 gramos para un buen diseño.

Se comparte la opinión de (Larrea Saldaña, 2023), pues se observa notables mejoras de las propiedades mecánicas y volumétricas al incluir la ceniza como parte del agregado en la mezcla asfáltica modificada en caliente, sus resultados obtenidos en la investigación fueron el 4.7% de vacíos, estabilidad de 3783.793 lbs y un flujo 12.3 1/100 in.

En nuestra investigación al incorporar la ceniza de cáscara de arroz en la mezcla asfáltica, se encontró que si hay mejoras en las propiedades mecánicas y volumétricas, dando como resultados del 4 % de vacíos, estabilidad de 6445,6 lbs y un flujo de 10,36 1/100 in.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES**

- Para la elaboración de este trabajo experimental se elaboró 6 diferentes dosificaciones, partiendo de la fórmula convencional y agregando diferentes porcentajes de ceniza, manteniendo como base el 5% de asfalto basado en la fórmula presentada por una constructora vial de la localidad. Para las dosificaciones de las mezclas asfálticas se seleccionó un rango de relación filler/betún de 0.2 a 1.2. Donde se obtuvo que la más eficiente fue la del 0.6.
- Una vez realizado los ensayos en la mezcla asfáltica dosificada y al compararla con la mezcla convencional se obtuvo una estabilidad de 6445 lb y un flujo de 10.36 1/100 in demostrando que adicionar ceniza en la dosificación mejora su estabilidad en casi 42.96%, y el flujo se reduce en un 25.46%, valores que están dentro del rango admisible expuesto en la normativa.
- Comparando las propiedades volumétricas entre la mezcla dosificada y convencional se puede decir que el porcentaje de vacíos de la mezcla con ceniza es de 4%, mientras que la convencional es de 5% teniendo así un mejoramiento de casi un 28.45%. Por otro lado, el VAM o vacíos del agregado mineral también presenta una diferencia significativa ya que la mezcla dosificada tiene un promedio de 16%, mientras que la otra es de 13.85%. Concluyendo que pese a su leve diferencia la mezcla asfáltica dosificada cumple con la normativa y puede ser aplicada en procesos constructivos de carreteras.
- Para la elaboración de la mezcla asfáltica modificada se utilizó la vía seca ya que se obtuvo mejor adherencia entre los agregados pétreos, el ligante y la ceniza. Ya que al usar la vía húmeda el ligante y la ceniza no lograron homogeneizarse lo que puede causar inconvenientes para la elaboración de la mezcla asfáltica.

### **5.2 RECOMENDACIONES**

- Trabajar con ceniza puede ser perjudicial para la salud debido a que es un material muy fino para eso es necesario tener en cuenta la utilización de equipos de protección adecuada.
- Se recomienda realizar un estudio de costo-beneficio acerca del uso de los desechos de las piladoras en mezclas asfálticas.
- Se puede realizar un análisis de factibilidad en empresas encargadas de la elaboración de asfaltos y examinar la posibilidad de utilizar la ceniza de la cascarilla en la mezcla asfáltica, experimentándolo en tramos de vías.

## BIBLIOGRAFÍA

Albornoz, Y. (18 de Mayo de 2014). *LABORATORIO PESO ESPECÍFICO*. Obtenido de LABORATORIO PESO ESPECÍFICO : <https://pavimentosulacivil.files.wordpress.com/2018/01/prc3a1ctica-nc2b0-31-1-peso-especifico-y-absorcion-de-agregados-fino.pdf>

Bandini, P. (5 de Junio de 2011). *Rubberizedasphalt*. Obtenido de Rubberizedasphalt: [https://www-archive.env.nm.gov/wp-content/uploads/sites/24/2018/04/RubberizedAsphaltConcretePavementsInNM\\_Final.pdf](https://www-archive.env.nm.gov/wp-content/uploads/sites/24/2018/04/RubberizedAsphaltConcretePavementsInNM_Final.pdf)

Cáceres Morales, C. A. (2007). Diseño de mezclas asfálticas. *Diseño de mezclas asfálticas, Estado del Arte*, 33.

Cantor, G. (13 de Septiembre de 2016). *UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS*. Obtenido de UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS.: [http://uniminuto-dspace.scimago.es:8080/bitstream/10656/4576/1/TE.PRO\\_CantorGionvanyAndres\\_2016.pdf](http://uniminuto-dspace.scimago.es:8080/bitstream/10656/4576/1/TE.PRO_CantorGionvanyAndres_2016.pdf)

César García Andreu, J. M. (8 de Mayo de 2005). *Diário da República Série I*. Obtenido de Diário da República Série I: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10998/3/Pr%C3%A1ctica%20N%C2%BA%203%20\\_Granulometria%20I\\_.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10998/3/Pr%C3%A1ctica%20N%C2%BA%203%20_Granulometria%20I_.pdf)

Chile, U. T. (3 de Abril de 2014). *INACAP*. Obtenido de INACAP: [https://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/alumno/Construccion/G01\\_Limites\\_de\\_Atterberg.pdf](https://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/alumno/Construccion/G01_Limites_de_Atterberg.pdf)

Comunicaciones, M. d. (12 de Julio de 2013). *Google Academico*. Obtenido de Google Academico: [https://cdn-web.construccion.org/normas/files/tecnicas/Manual\\_Suelos\\_Pavimentos.pdf](https://cdn-web.construccion.org/normas/files/tecnicas/Manual_Suelos_Pavimentos.pdf)

D5821, A. (19 de Marzo de 2019). *Lanamme*. Obtenido de Lanamme: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/ensayos/1-agregados/1.18.pdf>

Educativa, Á. d. (23 de Junio de 2023). *Gobierno de Canarias*. Obtenido de Gobierno de Canarias : [https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/mediateca/ecoescuela/?attachment\\_id=8325](https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/mediateca/ecoescuela/?attachment_id=8325)

Garnica, P. (2005). Secretaría De Comunicaciones Y Transportes. *SCI*, 1-105.

Gonzalez, S. M. (9 de Febrero de 2001). *Google Academico*. Obtenido de Google Academico : [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60526351/2416949-MANUAL-DE-ENSAYOS-PARA-PAVIMENTOS20190908-17431-1xo7w9m-libre.pdf?1567968043=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DUNIVERSIDAD\\_NACIONAL\\_DE\\_INGENIERIA.pdf&Expires=1697918027&Signature=CZw5](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60526351/2416949-MANUAL-DE-ENSAYOS-PARA-PAVIMENTOS20190908-17431-1xo7w9m-libre.pdf?1567968043=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DUNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_INGENIERIA.pdf&Expires=1697918027&Signature=CZw5)

Gordon, J. D. (12 de Marzo de 2023). *Universidad Católica Del Ecuador*. Obtenido de Universidad Católica Del Ecuador: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/21242/12.1%20TESIS%20MACIAS%20Y%20S%20c%81NCHEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Jacqueline, T. (12 de Octubre de 2015). *Escuela Politécnica Nacional* .  
Obtenido de Escuela Politécnica Nacional :  
<file:///C:/Users/GT%20ECUADOR/Downloads/CD-6426.pdf>

Larrea Saldaña, M. L. (15 de Marzo de 2023). *Universidad Señor de Sipan*.  
Obtenido de Universidad Señor de Sipan:  
[file:///C:/Users/GT%20ECUADOR/Downloads/Larrea%20Salda%C3%B1a,%20Maiky%20Leonardo%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/GT%20ECUADOR/Downloads/Larrea%20Salda%C3%B1a,%20Maiky%20Leonardo%20(2).pdf)

Laura, I. (7 de Diciembre de 2005). *Universidad De Costa*. Obtenido de  
Universidad De Costa:  
<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/888/2005-laura-05.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martinez, G. (2018). Thirteen Years of Continuous Development in Crumb Rubber Modified Asphalt Mixtures in Bogota: Achieving Pavement Sustainability [Trece años de continuo desarrollo con mezclas asfálticas modificadas con Grano de Caucho Reciclado en Bogotá: Logrando sosteni. *Revista Ingenieria de Construccion*, 41-50.

Mondragón, S. L. (18 de Octubre de 2019). *Universidad César Vallejo*.  
Obtenido de Universidad César Vallejo:  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/52874/Mondrag%C3%B3n\\_PE-Sevillano\\_LW-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/52874/Mondrag%C3%B3n_PE-Sevillano_LW-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

MOP. (12 de Enero de 2002). *Obras publicas*. Obtenido de Obras publicas:  
[https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR\\_Chimborazo\\_Cumanda\\_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf)

Noboa, D. B. (12 de Julio de 2022). *Universidad Nacional de Chimborazo*.  
Obtenido de Universidad Nacional de Chimborazo:  
<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/9474/1/Noboa%20C.%20Dom%C3%A9nica%20B.%20%282022%29%20Dise%C3%B1o%20de%20una%20mezcla%20asf%C3%A1ltica%20adicionando%20mascarillas%20quirurgicas%20desechables%20como%20material%20constitutivo.pdf>

Noguera, A. H. (6 de Mayo de 2011). *Revista ingeniería de construcción*.  
Obtenido de Revista ingeniería de construcción:  
<https://www.scielo.cl/pdf/ric/v26n2/art06.pdf>

Ochoa Tapia, L. M. (2018). Evaluación de la influencia del vidrio reciclado molido como reductor de agregado fino para el diseño de mezclas de concreto en pavimentos urbanos. *USS*, 136.

Tierra, E. G. (12 de Noviembre de 2015). *UNACH*. Obtenido de UNACH:  
[https://www.academia.edu/34894765/DETERMINACION\\_DE\\_LA\\_MASA\\_UNITARIA\\_DE\\_LOS\\_AGREGADOS\\_FINO\\_Y\\_GRUESO](https://www.academia.edu/34894765/DETERMINACION_DE_LA_MASA_UNITARIA_DE_LOS_AGREGADOS_FINO_Y_GRUESO)

Toro, Y. A. (13 de Julio de 2018). *Instituto Mexicano del Transporte* .  
Obtenido de Instituto Mexicano del Transporte :  
<https://imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnicapt516.pdf>

ULLOA CALDERÓN, A. (14 de Enero de 2011). *PITRA*. Obtenido de PITRA:

<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/364/15.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Villota Posso, H. (17 de Junio de 2014). *Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas*. Obtenido de Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3216?show=full>

Y, P. P. (18 de Abril de 2017). *LABORATORIO PRÁCTICA N° 4*. Obtenido de LABORATORIO PRÁCTICA N° 4: <https://pavimentosulacivil.files.wordpress.com/2018/01/prc3a1ctica-nc2b0-4-partc3adculas-planas-y-alargadas.pdf>

Yucely, A. (9 de Marzo de 2014). *LABSP*. Obtenido de LABSP: <https://pavimentosulacivil.files.wordpress.com/2018/01/prc3a1ctica-nc2b0-31-2-peso-especifico-y-absorcic3b3n-del-agregado-grueso.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO 1.-Evidencias de los ensayos previos a la elaboración de la mezcla asfáltica

**Figura 8.** *Ensayo de Abrasión*



Fuente:(Cortez & Jácome, 2023)

**Figura 9.** *Elaboración del ensayo de granulometría*



Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

**Figura 10.**  
*Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso*



Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

**Figura 11.** *Peso específico y absorción agregado fino*



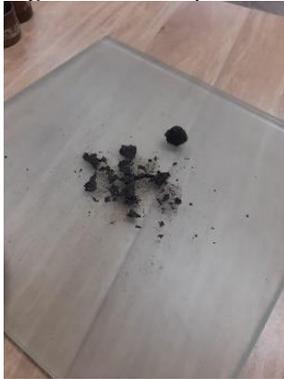
Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

**Figura 12.** *Límite líquido*



Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

**Figura 13.** *Límite plástico*



Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

**Figura 14.** *Granulometría del filler*



Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

**Figura 15.** *Peso específico y absorción de la ceniza de la cascarilla de arroz*



Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

**Figura 16.** *Límite líquido de la ceniza de arroz*



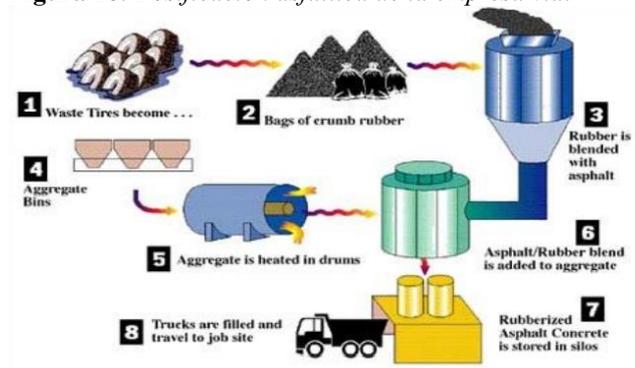
Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

**Figura 17.** *Ensayo del límite plástico*



Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

**Figura 18.** *Dosificación asfáltica de la empresa vial*



Fuente: (Bandini, 2011)

**ANEXO 2.-** Resultados de los ensayos previos a la elaboración de la mezcla asfáltica convencional y dosificada.

### Resultados de la caracterización de los agregados pétreos

#### Desgaste

**Tabla 22.** Ensayo de abrasión del agregado grueso

<i>Ensayo de abrasión del agregado grueso</i>				
Abertura del tamiz		Muestra	Tamiz	Desgaste
Pas	Retien	a	#12	
a (in)	e (in)	(gr)	(gr)	(%)
3/4	1/2	2500	3416	31.69
1/2	3/8	2500		

Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

#### Caras fracturadas

**Tabla 23.** Caras fracturadas del agregado

Caras Fracturadas				
Tamaño	Muestra	#Caras	Cantidad	Porcentaje
o (pulg)	ra (gr)	as	d (gr)	(%)
3/4	2000	0	334	16.70%
		> 0	1666	83.30%
3/8	300	0	42	14.00%
		> 0	258	86.00%

Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

#### Partículas planas y alargadas

**Tabla 24.** Caras planas y alargadas

Caras Planas y Alargadas				
Tamaño	Muestra	#Caras	Cantidad	Porcentaje
ño (pulg)	ra (gr)	as	d (gr)	(%)
3/4	5000	0	4869	97.38%
		> 0	131	2.62%
1/2	2000	0	1853.2	92.66%
		> 0	146.8	7.34%

Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

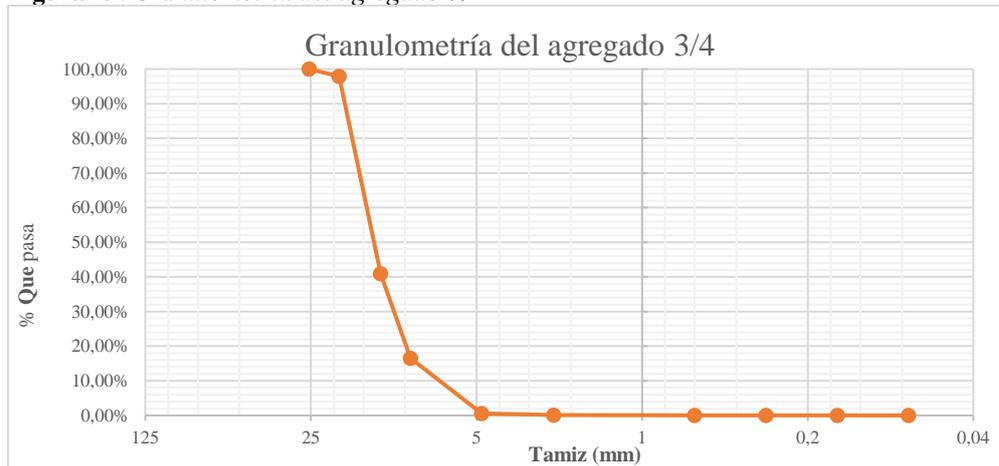
## Granulometría

Tabla 25. Granulometría del agregado 3/4

Granulometría del Agregado 3/4					
Tamiz	Apertura del Tamiz (mm)	Masa Retenida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1"	25.4	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19	42	2.10%	2.10%	97.90%
1/2"	12.7	1139	56.95%	59.05%	40.95%
3/8"	9.5	489	24.45%	83.50%	16.50%
Nº4	4.75	318	15.90%	99.40%	0.60%
Nº8	2.36	10	0.50%	99.90%	0.10%
Nº30	0.6	1	0.05%	99.95%	0.05%
Nº50	0.3	0.4	0.02%	99.97%	0.03%
Nº100	0.15	0.3	0.02%	99.99%	0.01%
Nº200	0.075	0.2	0.01%	100.00%	0.00%
<b>Bandeja</b>		0.1	0.00%	100.00%	0.00%

Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

Figura 19. Granulometría del agregado 3/4



Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

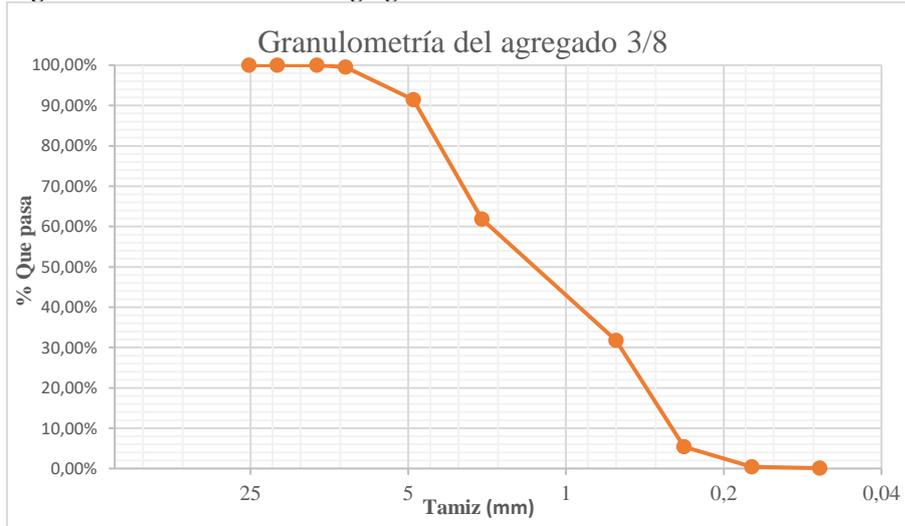
## Granulometría

Tabla 26. Granulometría del agregado 3/8

Granulometría del Agregado 3/8					
Tamiz	Apertura del Tamiz (mm)	Masa Retenida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1"	25.4	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.7	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.5	10	0.50%	0.50%	99.50%
Nº4	4.75	161	8.05%	8.55%	91.45%
Nº8	2.36	592	29.60%	38.15%	61.85%
Nº30	0.6	601	30.05%	68.20%	31.80%
Nº50	0.3	528	26.40%	94.60%	5.40%
Nº100	0.15	99	4.95%	99.55%	0.45%
Nº200	0.075	7	0.35%	99.90%	0.10%
<b>Bandeja</b>		2	0.10%	100.00%	0.00%

Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

**Figura 20.** Granulometría del agregado 3/8



Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

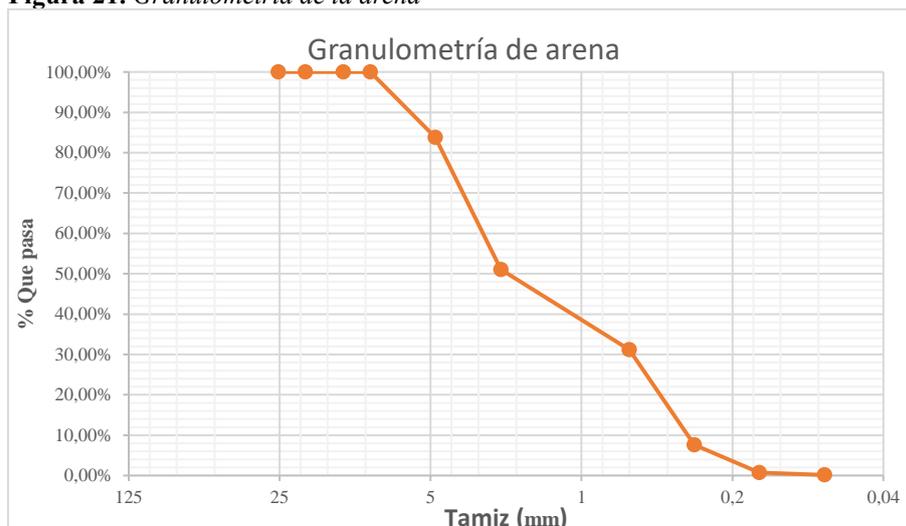
## Granulometría

**Tabla 27.** Granulometría de la arena

Granulometría de la Arena					
Tamiz	Apertura del Tamiz (mm)	Masa Retenida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1"	25.4	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.7	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.5	0	0.00%	0.00%	100.00%
N°4	4.75	324	16.20%	16.20%	83.80%
N°8	2.36	655	32.75%	48.95%	51.05%
N°30	0.6	397	19.85%	68.80%	31.20%
N°50	0.3	471	23.55%	92.35%	7.65%
N°100	0.15	139	6.95%	99.30%	0.70%
N°200	0.075	11	0.55%	99.85%	0.15%
<b>Bandeja</b>		3	0.15%	100.00%	0.00%

Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

**Figura 21. Granulometría de la arena**



Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

### Peso específico y absorción

**Tabla 28. Resultados de peso específico y absorción 3/4**

<b>Peso específico y absorción del 3/4</b>		
Variable	Descripción	Peso (gr)
A	Masa de la muestra seca al horno	2991
B	Masa se la muestra saturada con superficie seca (SSS)	3010
C	Masa de la muestra sumergida	1863
<b>Densidad y absorción del agregado 3/4</b>		
Densidad relativa (gravedad específica Bulk) (SH) (gr/cm <sup>3</sup> )	$A/(B-C)$	2.61
Densidad Relativa (gravedad específica SSS) (gr/cm <sup>3</sup> )	$S/(B-C)$	2.62
Densidad Relativa Aparente (gravedad específica aparente) (gr/cm <sup>3</sup> )	$A/(A-C)$	2.65
Absorción %	$((B-A)/A)*100$	0.63

Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

**Tabla 29. Peso específico y absorción del agregado 3/8**

<b>Peso específico y absorción del agregado 3/8</b>		
Variable	Descripción	Peso (gr)
A	Masa de la muestra seca al horno	1995
B	Masa se la muestra saturada con superficie seca (SSS)	2016.2
C	Masa de la muestra sumergida	1241
S	Masa de la muestra saturada superficialmente seca	
<b>Densidad y absorción del agregado 3/8</b>		
Densidad relativa (gravedad específica Bulk) (SH) (gr/cm <sup>3</sup> )	$A/(B-C+S)$	2.57
Densidad Relativa (gravedad específica SSS) (gr/cm <sup>3</sup> )	$S/(B-C+S)$	2.60
Densidad Relativa Aparente (gravedad específica aparente) (gr/cm <sup>3</sup> )	$A/(A-C-S)$	2.65
Absorción %	$((S-A)/A)*100$	1.063

Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

**Tabla 30. Peso específico y absorción de la arena**

<b>Peso específico y absorción de la arena</b>		
<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Peso (gr)</b>
A	Masa de la muestra seca al horno	497
B	Masa se la muestra saturada con superficie seca (SSS)	1232.1
C	Masa de la muestra sumergida	1538
S	Masa de la muestra saturada superficialmente seca	500
<b>Densidad y absorción de la arena</b>		
Densidad relativa (gravedad específica Bulk) (SH) (gr/cm <sup>3</sup> )	$A/(B-C+S)$	2.561
Densidad Relativa (gravedad específica SSS) (gr/cm <sup>3</sup> )	$S/(B-C+S)$	2.576
Densidad Relativa Aparente (gravedad específica aparente) (gr/cm <sup>3</sup> )	$A/(A-C-S)$	2.601
Absorción %	$((S-A)/A)*100$	0.604

Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

### **Límites de Atterberg**

#### **Límite Líquido**

**Tabla 31. Límite líquido del agregado fino**

<b>Ensayo del límite líquido del agregado fino</b>								
<b>Muestra</b>	<b>Peso Tara (gr)</b>	<b>Peso tara + material (gr)</b>	<b>Materia l (gr)</b>	<b>Peso tara + material seco (gr)</b>	<b>Materi al Seco (gr)</b>	<b>Numero de golpes</b>	<b>Peso del agua</b>	<b>Contenid o de humedad</b>
B7	14.7	26.7	12	24.2	9.5	10	2.5	20.83%
G1	14.9	29	14.1	26.1	11.2	10	2.9	20.57%
E7	14.3	27.1	12.8	24.6	10.3	18	2.5	19.53%
R3	14.9	25.1	10.2	23.1	8.2	18	2	19.61%
V14	14.2	24.5	10.3	22.4	8.2	30	2.1	20.39%
KC	14.3	20.8	6.5	19.5	5.2	30	1.3	20.00%
<b>Límite líquido</b>								<b>20.15%</b>

Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

#### **Límite Plástico**

Una vez realizado los ensayos se puede determinar que al trabajar con arena de río no posee arcilla por lo que definitivamente el límite plástico en este caso es igual a 0.

**Resultados de la caracterización de la ceniza de la cascarilla de arroz**  
**Gravedad específica**

**Tabla 32.** *Gravedad específica del filler (ceniza)*

<b>Gravedad específica de la ceniza</b>		
<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad (gr)</b>
Mmws	Masa del matraz + agua + suelo	666.8
Mmv	Masa del matraz + agua	658.4
Ms	Masa seca	19.9
Mt	Masa del matraz	157.3
Msb	Masa seca +bandeja	231.7
Mb	Masa bandeja	211.8
K	Factor de corrección (temperatura del ensayo)	0.999666
<b>Gravedad específica</b>		
GS	Gravedad específica de la ceniza	1.730

Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

**Granulometría de la ceniza**

**Tabla 33.** *Granulometría del filler (ceniza)*

<b>Granulometría de la ceniza</b>					
<b>Tamiz</b>	<b>Apertura del Tamiz (mm)</b>	<b>Masa Retenida (gr)</b>	<b>% Retenido</b>	<b>% Retenido Acumulado</b>	<b>% Pasa</b>
1"	25.4	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.7	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.5	0	0.00%	0.00%	100.00%
N°4	4.75	0	0.00%	0.00%	100.00%
N°10	2.36	0.007	1.40%	1.40%	98.60%
N°40	0.6	0.36	72.00%	73.40%	26.60%
N°100	0.3	0.09	18.00%	91.40%	8.60%
N°100	0.15	0.042	8.40%	99.80%	0.20%
	<b>Bandeja</b>	0.001	0.20%	100.00%	0.00%

Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

**Figura 22.** Granulometría de la ceniza



Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

### Límites de Atterberg

#### Límite líquido

**Tabla 34.** Límite líquido del filler (ceniza)

Ensayo del límite líquido de la ceniza								
Muestra	Peso Tara (gr)	Peso tara + material (gr)	Material (gr)	Peso tara + material seco (gr)	Material Seco (gr)	Numero de golpes	Peso del agua	Contenido de humedad
G2	14.4	20.3	5.9	16.3	1.9	10	4	67.80%
L1	14.1	20.1	6	16.1	2	10	4	66.67%
10	14.8	21.7	6.9	17.1	2.3	15	4.6	66.67%
G1	14.9	20.7	5.8	17	2.1	15	3.7	63.79%
P3	18.4	24.9	6.5	21.1	2.7	30	3.8	58.46%
E5	14.8	21	6.2	17.4	2.6	30	3.6	58.06%
A6	14.7	21.9	7.2	17.6	2.9	40	4.3	59.72%
G4	17.3	23	5.7	19.5	2.2	40	3.5	61.40%
Límite líquido								62.82%

Fuente: (Cortez & Jácome, 2023)

#### Límite plástico

El límite plástico de la ceniza es igual a cero.