



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

Título

“Diseño de una mezcla asfáltica incorporando fibra de abacá con cal como materiales de refuerzo al comportamiento Marshall”

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autores:

Romero Loayza Hugo Fabian
Sánchez Guerrero Marilyn Mireya

Tutor:

MgSc. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza.

Riobamba, Ecuador. 2022

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, Hugo Fabian Romero Loayza, con cédula de ciudadanía 070425647-8 y Marilyn Mireya Sánchez Guerrero, con cédula de ciudadanía 160071417-2, autores del trabajo de investigación titulado: “Diseño de una mezcla asfáltica incorporando fibra de abacá con cal como materiales de refuerzo al comportamiento Marshall”, certificamos que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra 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 de la obra referida será de nuestra entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 23 de noviembre del 2022.



Hugo Fabian Romero Loayza

C.C: 070425647-8



Marilyn Mireya Sánchez Guerrero

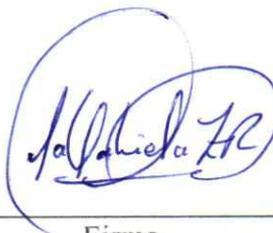
C.C: 160071417-2

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “Diseño de una mezcla asfáltica incorporando fibra de abacá con cal como materiales de refuerzo al comportamiento Marshall” presentado por Hugo Fabian Romero Loayza, con cédula de ciudadanía 070425647-8 y Marilyn Mireya Sánchez Guerrero, con cédula de ciudadanía 160071417-2, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 23 de noviembre del 2022.

Ing. María Gabriela Zúñiga
Rodríguez.MsC
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. Luis Enrique Villafuerte Bermúdez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. Jorge Eugenio Nuñez Vivar
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza
TUTOR



Firma

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “Diseño de una mezcla asfáltica incorporando fibra de abacá con cal como materiales de refuerzo al comportamiento Marshall” presentado por Hugo Fabian Romero Loayza, con cédula de ciudadanía 070425647-8 y Marilyn Mireya Sánchez Guerrero, con cédula de ciudadanía 160071417-2, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 23 de noviembre del 2022.

Ing. María Gabriela Zúñiga
Rodríguez.MsC
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. Luis Enrique Villafuerte Bermúdez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar MSC.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



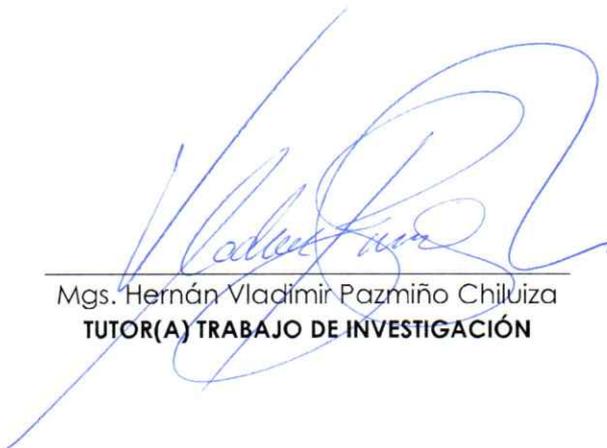
Firma



CERTIFICACIÓN

Que, **ROMERO LOAYZA HUGO FABIAN** con CC: **0704256478** y **SANCHEZ GUERRERO MARILYN MIREYA** con CC: **1600714172**, estudiantes de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **Diseño De Una Mezcla Asfáltica Incorporando Fibra De Abacá Con Cal Como Materiales De Refuerzo Al Comportamiento Marshall**, cumple con el 7%, 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, 21 días de agosto de 2022


Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza
TUTOR(A) TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mis padres Janeth Loayza y Fabian Romero, mis abuelitos en vida y los que en paz descansan, en general a toda mi familia por su amor, confianza y apoyo que me entregaron, ya que son quienes me han permitido hacer realidad mi gran sueño, convertirme en un profesional.

A mis hermanos Benyi y Lucas por estar a mi lado dispuestos a ayudarme en todo lo que sea posible y permitir que este trayecto sea más sencillo.

A mi novia Marelys quien me motivó y animó para concluir con éxito mi carrera universitaria.

A mis amigos que convirtieron este difícil propósito en un trayecto lleno de aventuras, experiencias y aprendizaje.

Hugo F. Romero L

DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico a mi familia, en especial a mis padres Maira Guerrero y Marcelo Sánchez, por todo el amor, confianza, apoyo y sacrificio que han puesto en mí, pues son quienes me han ayudado a hacer realidad mi más grande anhelo, realizarme como una profesional.

A mis hermanos Franklin, Katherin, Marjorie y Santiago por estar siempre dispuestos a ayudarme en todo lo que necesitara y por hacer que este proceso sea más sencillo.

A mi novio Pablo quien fue mi fortaleza y motivación día a día en el transcurso de mi carrera universitaria.

A mis amigos que son los que han hecho de este trayecto una aventura llena de experiencias y aprendizaje.

Marilyn M. Sánchez G

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por hacer esta meta realidad, por la salud y todo lo necesario que mis padres y yo necesitamos durante este largo recorrido.

A mis padres, Janeth Loayza y Fabian Romero por ser el pilar fundamental en mi vida y bríndame tanto el apoyo moral como el económico, cuidando que nada me haga falta en el transcurso de mi vida universitaria y permitirme cumplir mis metas y objetivos planteados.

A mi enamorada Marelys por ser mi confidente, por animarme y motivarme a cumplir mi sueño con firmeza cuando todo se ponía difícil, por ser mi fuerza, apoyo y compañía en este recorrido hasta el final.

A mis amigos Elías, Jefferson, Jennifer, Jilmar y todos los que desinteresadamente me brindaron su apoyo y amistad; y no dudaron en reforzar mis conocimientos cuando lo necesitaba, además agradecerles por todos los momentos y experiencias compartidas durante nuestra etapa estudiantil.

De igual manera mi compañera de tesis Marilyn, por su constancia y dedicación debido a que con su ayuda hizo que este trabajo de investigación sea posible.

Expreso mi agradecimiento a nuestro tutor de tesis Ing. Vladimir Pazmiño, por aclarar todas nuestras dudas, compartirnos sus conocimientos teóricos y prácticos, y guiarnos asertivamente en el desarrollo de esta investigación.

Finalmente agradezco a los técnicos del laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo, a la ingeniera Marcela Macías encargada de la empresa COVIPAL S.A. y a todas las personas que de una u otra manera contribuyeron con su ayuda y conocimientos para la elaboración de este proyecto.

Hugo F. Romero L

AGRADECIMIENTO

En primera instancia, agradezco a Dios por darme salud y guiarme durante este recorrido, quien ha hecho posible cumplir este logro.

A mis padres, Maira Guerrero y Marcelo Sánchez por ser el pilar fundamental en mi vida y bríndame tanto el apoyo moral como el económico, previendo que nada me falte a lo largo de mi carrera universitaria y así permitirme cumplir mis metas y objetivos anhelados.

A mi enamorado Pablo por ser mi confidente y paño de lágrimas, por animarme y motivarme a cumplir mis sueños con firmeza desde el principio hasta el fin, por ser mi fuerza, apoyo y compañía en el transcurso del camino.

A mis amigos Elías, Jefferson y Jennifer que desinteresadamente me brindaron su apoyo y amistad; y no dudaron en reforzar mis conocimientos cuando lo necesitaba, además agradecerles por todos los momentos y experiencias compartidas durante nuestra etapa estudiantil.

De igual manera mi compañero de tesis Hugo, por su constancia y dedicación debido a que con su ayuda hizo que este trabajo de investigación sea posible.

Expreso mi agradecimiento a nuestro tutor de tesis Ing. Vladimir Pazmiño, por aclarar todas nuestras dudas, compartirnos sus conocimientos teóricos y prácticos, y guiarnos asertivamente en el desarrollo de esta investigación.

Finalmente agradezco a los técnicos del laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo y a todas las personas que contribuyeron con sus conocimientos para la elaboración de este proyecto.

Marilyn M. Sánchez G

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	18
1.1 Planteamiento del problema	19
1.2 Objetivos	19
1.2.1 General.....	19
1.2.2 Específicos	19
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 Pavimento flexible.....	20
2.2 Mezcla Asfáltica.....	20
2.3 Tipos de mezclas asfálticas	20
2.3.1 Mezclas asfálticas en caliente	20
2.3.2 Mezclas asfálticas tibias o semicalientes	21
2.3.3 Mezclas asfálticas en frío.....	21
2.3.4 Mezclas abiertas o porosas.....	21
2.4 Materiales para el diseño de la mezcla asfáltica	21
2.4.1 Agregados Pétreos	21
2.4.2 Fibra Natural	25
2.4.3 Filler.....	29
2.4.4 Asfalto.....	30
2.4.5 Diseño de mezcla asfáltica.....	32
2.4.6 Método Marshall.....	32
2.4.7 Propiedades que debe presentar la mezcla.....	33
2.4.8 Propiedades volumétricas de la mezcla	34
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	36
3.1 Diagrama metodológico	36
3.2 Enfoque de investigación	36
3.3 Tipo de investigación	36
3.4 Pregunta de investigación.....	37
3.5 Hipótesis.....	37
3.6 Variables.....	37
3.6.1 Variables independientes	37
3.6.2 Variables dependientes	37

3.7	Población y muestra	37
3.8	Técnica de recolección de datos.....	37
3.9	Caracterización de los agregados	38
3.9.1	Caracterización de agregados pétreos	38
3.9.2	Caracterización de la fibra de abacá	49
3.9.3	Caracterización del filler.....	52
3.9.4	Diseño de la Mezcla asfáltica	54
3.9.5	Ensayos para mezclas asfálticas.....	57
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		62
4.1	Resultados de la caracterización de los agregados pétreos	62
4.1.1	Tenacidad.....	62
4.1.2	Resistencia a los sulfatos	62
4.1.3	Caras fracturadas.....	63
4.1.4	Partículas planas y alargadas	64
4.1.5	Granulometría	64
4.1.6	Peso específico y absorción	67
4.1.7	Límites de Atterberg	69
4.2	Resultados de la caracterización de la fibra	70
4.2.1	Densidad específica de la fibra	70
4.2.2	Densidad lineal de la fibra	70
4.2.3	Porcentaje de absorción de la fibra	71
4.3	Resultados de la caracterización de la cal	71
4.3.1	Masa unitaria.....	71
4.3.2	Granulometría de la Cal	72
4.4	Resultados de la caracterización del asfalto.....	73
4.5	Resultados del diseño la mezcla asfáltica convencional	74
4.5.1	Faja del diseño la mezcla asfáltica convencional	74
4.6	Resultados del diseño la mezcla asfáltica modificada con cal	76
4.6.1	Resultados de la mezcla asfáltica con cal	77
4.6.2	Análisis de las propiedades de la mezcla asfáltica con cal.....	79
4.7	Resultados del diseño la mezcla asfáltica modificada con cal más fibra de abacá	80

4.7.1	Resultados de la mezcla asfáltica con cal más fibra de abacá	81
4.7.2	Análisis de las propiedades de la mezcla asfáltica con cal y fibra de abacá. 83	
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES.....		84
5.1	Conclusiones	84
5.2	Recomendaciones.....	84
BIBLIOGRAFÍA		85
ANEXOS		88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de las mezclas asfálticas.....	20
Tabla 2. Técnicas para mezclas tibias.....	21
Tabla 3. Requisitos del agregado Grueso en Mezcla Asfáltica Densa.	22
Tabla 4. Requisitos del agregado fino en Mezcla Asfáltica Densa.....	22
Tabla 5. Fabricación de las fibras de abacá.	27
Tabla 6. Propiedades mecánicas y físicas de la fibra de abacá.	28
Tabla 7. Propiedades químicas de la fibra de abacá.	28
Tabla 8. Composición química en porcentaje del asfalto (Petroecuador EP).....	30
Tabla 9. Ensayos y especificaciones dados por las normas MOP-001F-2002 E INEN	32
Tabla 10. Población y muestras de la investigación	37
Tabla 11. Granulometría de las muestras de ensayo.....	38
Tabla 12. Especificaciones para la carga.	39
Tabla 13. Tamaño de la muestra del agregado grueso según su composición.	40
Tabla 14. Masa mínima de la muestra para el ensayo.	41
Tabla 15. Masa mínima de la muestra para el ensayo.	42
Tabla 16. “Composición granulométrica de agregados para mezcla asfáltica densa” ..	43
Tabla 17. “Tamaño de la muestra para ensayo de árido grueso”	44
Tabla 18. “Precisión del árido grueso y fino”	44
Tabla 19. Masa mínima de la muestra para el ensayo.	45
Tabla 20. Tamaños según los tamices necesarios para el ensayo.	47
Tabla 21. Especificaciones del ensayo Marshall.	57
Tabla 22. % de vacíos del agregado mineral.	57
Tabla 23. “Factores de corrección de la estabilidad según el volumen de la briqueta”. 58	
Tabla 24. Porcentaje de desgaste del agregado.....	62
Tabla 25. Resistencia a los sulfatos del agregado grueso.	62
Tabla 26. Resistencia a los sulfatos del agregado fino.	63
Tabla 27. Porcentaje de partículas con caras fracturadas.	63
Tabla 28. Porcentaje de partículas planas y alargadas.....	64
Tabla 29. Granulometría agregado grueso 3/4.....	64
Tabla 30. Granulometría agregado intermedio 3/8.....	65
Tabla 31. Granulometría agregado fino arena.	66
Tabla 32. Peso específico y absorción del agregado 3/4.	67
Tabla 33. Peso específico y absorción del agregado 3/8.	68
Tabla 34. Peso específico y absorción del agregado fino.	68
Tabla 35. “Ensayo de límite líquido”	69
Tabla 36. Densidad específica de la fibra de abacá.	70
Tabla 37. Ensayo de densidad lineal de la fibra.....	70
Tabla 38. Porcentaje de Absorción de la Fibra de Abacá.....	71
Tabla 39. Masa unitaria suelta y compactada de la cal.....	71

Tabla 40. Ensayo de la granulometría de la Cal	72
Tabla 41. Propiedades del asfalto con sus normativas y resultados.	73
Tabla 42. Fórmula de trabajo de planta asfáltica.	74
Tabla 43. Faja granulométrica de diseño.	74
Tabla 44. Estabilidad y flujo de las briquetas del diseño convencional.	75
Tabla 45. % de vacíos, % VAM y Gsb de la dosificación convencional.	76
Tabla 46. Determinación del porcentaje de cal mediante la relación filler/betún.....	76
Tabla 47. Dosificaciones de la mezcla asfáltica modificada con cal.	77
Tabla 48. Ensayo de peso específico Bulk y VAM con Cal	77
Tabla 49. Estabilidad y flujo de las briquetas con cal.....	78
Tabla 50. Densidad máxima teórica Rice (Gmm) y % de vacíos.	78
Tabla 51. Dosificación de la mezcla modificada con cal y fibra de abacá.	81
Tabla 52. Ensayo de peso específico Bulk (Gb) y VAM con Cal y Fibra.	81
Tabla 53. Estabilidad y flujo de las briquetas con cal y fibra de abacá.	82
Tabla 54. Densidad máxima teórica Rice (Gmm) y % de vacíos.	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Zonas de producción en el Ecuador.	26
Figura 2 Fabricación de las fibras de abacá.	27
Figura 3. Diagrama metodológico.	36
Figura 4. Ensayo de Abrasión.	39
Figura 5. Ensayo de resistencia del agregado al sulfato de magnesio.	41
Figura 6. Ensayo de caras fracturadas.	42
Figura 7. Ensayo de partículas planas y alargadas.	43
Figura 8. Tamices para el ensayo de granulometría.	45
Figura 9. “Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso”.	46
Figura 10. “Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino”.	47
Figura 11. “Ensayo del límite líquido”.	48
Figura 12. “Ensayo del límite plástico”	49
Figura 13. Fibra de abacá.	49
Figura 14. Determinación de la densidad específica de la fibra.	50
Figura 15. “Ensayo de densidad lineal de la fibra de abacá”	51
Figura 16. “Ensayo de % de absorción”	51
Figura 17. Cal hidratada.	52
Figura 18. “Ensayo de granulometría en la cal”	53
Figura 19. a) Masa unitaria suelta b) Masa unitaria compactada.	53
Figura 20. Dosificación para mezcla asfáltica de la planta COVIPAL.S. A	54
Figura 21. Longitud de la fibra de Abacá.	55
Figura 22. Elaboración de briquetas modificadas con cal.	56
Figura 23. Elaboración de briquetas modificadas con cal y fibra de abacá.	56
Figura 24. “Ensayo de peso específico Densidad aparente (Bulk)”	58
Figura 25. a) Briquetas preparadas en el baño María b) Briquetas colocadas en la prensa Marshall.	59
Figura 26. “Ensayo de densidad teórica máxima (Rice)”	60
Figura 27. Granulometría agregado grueso 3/4.	65
Figura 28. Granulometría agregado intermedio 3/8.	66
Figura 29. Granulometría agregado fino arena.	67
Figura 30. Límite Líquido.	69
Figura 31. "Curva granulométrica de la Cal"	72
Figura 32. Banda de trabajo 3/4" de la mezcla convencional.	75
Figura 33. Estabilidad y flujo de la mezcla modificada con cal.	79
Figura 34. Banda de trabajo 3/4" de la mezcla modificada con cal.	80
Figura 35. % de vacíos y % VAM de la mezcla modificada con cal.	80
Figura 36. Estabilidad y flujo de la mezcla modificada con cal y fibra de abacá.	83
Figura 37. % de vacíos y % VAM de la mezcla modificada con cal y fibra de abacá.	83

RESUMEN

El propósito del presente proyecto es proponer una alternativa para el mejoramiento de las propiedades de una mezcla asfáltica con fibra de abacá y cal como material alternativo. Para su desarrollo los materiales pétreos, asfalto y cal se obtuvieron en la provincia de Chimborazo mientras que la fibra de abacá se consiguió en la ciudad de Santo Domingo, a los cuales se realizaron su respectiva caracterización mediante ensayos de laboratorio para verificar el cumplimiento de la normativa. Determinadas las características de los materiales, se trabajó con un diseño previamente elaborado y empleado por la planta asfáltica COVIPAL, con la metodología de diseño Marshall, en donde se elaboraron y ensayaron varias briquetas por cada uno de los siguientes porcentajes de cal (1.5%, 2.5% y 3.1%) y tres con la adición de fibras de abacá en porcentajes de 0.5%, 1% y 1.5 % para el mismo contenido de cal y asfalto. Los resultados obtenidos en la investigación mostraron que la mezcla modificada con 2.5% de cal y 0.5% de fibra de abacá presentaron las mejores características, puesto que se dio un incremento en la estabilidad del 21,26% respecto a la mezcla tradicional y en el flujo se redujo el valor promedio de 13.9 in/100 de la mezcla convencional a un 13.67in/100. Al implementar fibra de abacá y cal en la mezcla asfáltica mejora la propiedad mecánica de estabilidad mientras que el porcentaje de vacíos excede los límites permitidos por la norma.

Palabras claves: abacá, cal, fibra, mezcla asfáltica, Marshall.

ABSTRACT

The purpose of this Project is to propose an alternative to improve the properties of an asphalt mixture with abaca fiber and lime as an alternative material.

For its development, the stone materials, asphalt and lime were obtained in the Chimborazo province, the abaca fiber acquired in Santo Domingo city, and their characterization was carried out through laboratory tests to verify regulatory compliance.

Once the characteristics of the materials were defined, we proceeded to work with a design previously prepared and used by COVIPAL's asphalt plant, with the Marshall design methodology, where several briquettes were prepared and tested for each of the following percentages of lime (1.5%, 2.5% and 3.1%) and three with the addition abaca fiber in percentages of 0.5%, 1% and 1.5% with the same content of lime and asphalt.

The results obtained in the research showed that the modified mixture of 2.5% lime and 0.5% abaca fiber had the best characteristics with a stability increase of 21.26% compared to the traditional mixture, and the flow rate reduced from the average value of 13.9 in/100 of the conventional mix to 13.67 in/100.

By implementing abaca fiber and lime in the asphalt mixture, the mechanical stability property improved, while the percentage of voids exceeded the limits allowed by the standard.

Keywords: Abaca, lime, fiber, asphalt mixture, Marshall.



Firmado electrónicamente por:
**DIANA CAROLINA
CHAVEZ GUZMAN**

Reviewed by:

Lcda. Diana Chávez

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 065003795-5

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La funcionalidad de un pavimento depende de la calidad de los materiales, las propiedades, la resistencia de la subrasante, el proceso constructivo, el buen diseño de la estructura, el mantenimiento del mismo y la calidad de la mezcla asfáltica, debido a que estos parámetros aportarán significativamente al incremento o disminución de su ciclo de vida.

En el Ecuador se ha podido observar que las carpetas asfálticas se deterioran prematuramente especialmente en zonas de alta pluviosidad, y los costos de mantenimiento resultan muy elevados ya que se opta por reemplazar el pavimento asfáltico por pavimento hidráulico, lo que genera un incremento en los costos, por lo que resulta buscar alternativas para el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del pavimento asfáltico.

En los últimos años se han desarrollado investigaciones para mejorar el comportamiento de mezclas asfálticas incorporando elementos que ayudan a aumentar su resistencia, dentro de los materiales empleados se encuentran la cal y distintos tipos de fibras, las cuales pueden ser sintéticas o naturales, mismas que han demostrado eficiencia en el aumento de la resistencia a la fatiga y a la fractura en la mezcla asfáltica (Aliha et al., 2017).

En cuanto a la cal Baldi et al. (2020) expone que usualmente ha sido utilizada en mezclas asfálticas como material para mejorar la propiedad de adherencia del agregado pétreo y el ligante bituminoso. Además, que en EE. UU algunos investigadores han determinado que el uso de la cal en mezclas asfálticas aumenta la vida útil del pavimento hasta un 38%, asimismo en Europa se ha demostrado que la adición de cal brinda resistencia al asfalto contra la humedad evitando su deterioro prematuro (Bermeo, 2021).

Respecto a la fibra, en los estudios revisados demuestran que los autores que han empleado fibras naturales provenientes del coco, de palmas y bagazo (residuo de caña) han demostrado ser buenos materiales de refuerzo para mezclas asfálticas, ya que permiten el mejoramiento de la carpeta asfáltica en una estructura de pavimento, convirtiéndolas en una alternativa sostenible ambientalmente, ya que se le está dando un nuevo uso a un material que podía ser considerado desecho (Putman & Amirkhanian, 2004). Adicionalmente, el uso de estos recursos presenta un beneficio económico ya que su costo es mucho menor que una fibra elaborada (sintéticas) (Castellanos & Suarez, 2020).

Por tal razón y con el objetivo de seguir la línea de investigación en el uso de fibras naturales y cal como materiales de refuerzo en mezclas asfálticas, en el presente proyecto se propone añadir fibra natural de abacá y cal como agregados de una mezcla de pavimento en un trabajo experimental, sometido a ensayos de briquetas en diferentes porcentajes para verificar y saber el efecto que estas inducen en la muestra respecto a las propiedades y características de las mezclas asfálticas tradicionales.

1.1 Planteamiento del problema

Las Infraestructuras viales en Ecuador, han enfrentado un sin número de afectaciones en el tiempo. Paralizaciones y colapsos de puentes y caminos que son consecuencia de eventos de riesgo sísmico, factores climáticos e incluso deficiencia en su diseño. Por décadas los gobiernos deben afrontar estos problemas con soluciones inmediatas (NEVI-12-2B-MTOP, 2012), el desordenado incremento del tránsito, la dependencia de la movilidad en vehículo a motor y el esparcimiento a gran escala de servicios obliga al país a indagar e innovar diferentes diseños de mezclas asfálticas con materiales alternativos que cumplan y mejoren las normativas requeridas en cuanto a propiedades físico-mecánicas (Reyes Rivera, 2019), este estudio se enfoca en el diseño de una mezcla asfáltica en caliente bajo el método Marshall implementando fibra de abacá y cal como agregados alternativos de la mezcla común.

1.2 Objetivos

1.2.1 General

- Implementación de fibra de abacá y cal, para el mejoramiento de las propiedades de una mezcla asfáltica mediante el método Marshall.

1.2.2 Específicos

- Diseñar una mezcla asfáltica con diferentes proporciones de abacá y cal como agregados.
- Determinar el porcentaje óptimo de fibra de abacá y cal en una mezcla asfáltica que cumpla los requisitos normativos.
- Determinar las propiedades de una mezcla asfáltica con un porcentaje de fibra de abacá y cal, mediante el método Marshall.
- Realizar una comparación entre una mezcla asfáltica con agregados tradicional y una mezcla asfáltica con porcentajes de agregados de fibra de abacá y cal.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 Pavimento flexible

El pavimento flexible está constituido comúnmente por una capa superficial elaborada con mezcla asfáltica, seguida por las capas base y sub base consecutivamente, tales capas se apoyan sobre la subrasante también conocida como terreno natural. Todas estas capas en complemento brindan una superficie cómoda y segura para la movilización y abrasión producida por el vehículo del usuario (Cedeño, 2014).

2.2 Mezcla Asfáltica

Una mezcla asfáltica común está compuesta por la combinación homogeneizada de materiales pétreos y asfalto, eventualmente es considerable añadir aditivos para mejorar las propiedades del compuesto (Delgado, 2020).

Las principales propiedades que se desean en las mezclas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.

Propiedades de las mezclas asfálticas.

Propiedades de las mezclas asfálticas
Resistencia bajo carga monotónica a tracción (Estabilidad)
Durabilidad
Impermeabilidad
Flexibilidad
Resistencia a la fatiga
Trabajabilidad
Resistencia al deslizamiento

Fuente: (Jiménez, 2016)

2.3 Tipos de mezclas asfálticas

Los tipos de mezclas asfálticas pueden ser clasificados en función de su textura o por las condiciones o propiedades para las que son diseñadas entre ellas tenemos las siguientes mezclas.

2.3.1 Mezclas asfálticas en caliente

Esta variedad de mezcla es realizada en condiciones de temperaturas elevadas, calentando previamente los agregados y el ligante bituminoso. Dicha temperatura oscila entre 130 y 160°C y está compuesta principalmente por agregados gruesos bien graduados generando una granulometría densa, lo que conlleva a un porcentaje de vacíos de aire menores al 6% generalmente. Esta variedad de mezcla es una de las más utilizadas en el país (Jiménez, 2016).

2.3.2 Mezclas asfálticas tibias o semicalientes

Este tipo de mezcla se describe como aquella que requiere menor temperatura que las mezclas en caliente. Estas temperaturas varían entre 100 y 135°C y para su implementación existen tres tipos de técnicas que buscan la reducción de la viscosidad del ligante clasificándose en tres categorías que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.

Técnicas para mezclas tibias.

Categorías de técnicas para mezclas tibias
Disminución de la viscosidad mediante aditivos orgánicos
Uso de asfaltos espumados
Empleo de aditivos químicos

Fuente: (Román, 2017)

2.3.3 Mezclas asfálticas en frío

Este tipo de mezcla no necesariamente debe tener un precalentamiento de los agregados, pueden ser utilizados con su temperatura y humedad natural y el ligante bituminoso puede ser precalentado a una temperatura no más de 60°C. De igual manera la compactación se realiza a temperatura ambiente y el proceso del aumento de resistencia de la mezcla suele denominarse maduración (Corrales, 2015).

2.3.4 Mezclas abiertas o porosas

Esta variedad de mezcla tiene la característica y capacidad de drenar, lo que facilita la evacuación del agua evitando el fenómeno de deslizamiento en la calzada. La composición de la mezcla, es decir sus agregados y ligante deben proporcionar un porcentaje de vacíos que oscile entre 15 y 20% del volumen total de la mezcla (Carvajal & Quishpi, 2018).

2.4 Materiales para el diseño de la mezcla asfáltica

2.4.1 Agregados Pétreos

También conocidos como partículas de roca o agregados minerales, los cuales constituyen un mayor porcentaje de una mezcla patrón (entre el 90 y el 95 por ciento en peso), es de material duro e inerte, razón por la cual sus características son muy importantes para la calidad final de la mezcla.

Para la obtención de agregados de diferentes tamaños generalmente se realiza un proceso de trituración, los cuales poseen una mejor adherencia según la forma del agregado triturado (López, 2017).

2.4.1.1 Agregado grueso

Se considera agregado grueso al material pétreo que es retenido por el tamiz No. 4, es decir que el tamaño de las partículas sea mayor a 4.75 mm, pueden ser de origen natural, obtenidos a través del tamizaje o procesados en plantas por trituración de rocas (Jiménez, 2016).

Estos agregados deben cumplir con los parámetros que se muestran a continuación (Ver Tabla 3).

Tabla 3.

Requisitos del agregado Grueso en Mezcla Asfáltica Densa.

NORMA	ENSAYO	CRITERIO %
INEN 860	Abrasión de los ángeles	≤40%
ASTM D 5821	Partículas fracturadas	≥80%
ASTM D 4791	Partículas planas y alargadas	≤10%
INEN 863	Desgaste a los sulfatos (Magnesio)	≤18%

Fuente: (MTO, 2013)

2.4.1.2 Agregado fino

Se considera como agregado fino al material que pasa el tamiz No. 4 y es retenido por el tamiz No. 200, generalmente se lo obtiene de la trituración de rocas, en canteras o en las orillas de los ríos (Jiménez, 2016).

Estos agregados deben cumplir con los parámetros que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4.

Requisitos del agregado fino en Mezcla Asfáltica Densa.

NORMA	ENSAYO	CRITERIO %
INEN 692	Plasticidad	≤4%
INEN 863	Desgaste a los sulfatos (Magnesio)	≤20%

Fuente: (MTO, 2013)

2.4.1.3 Ensayos y normas del agregado pétreo

2.4.1.3.1 Propiedades de origen

Son las características que presentan los agregados de acuerdo con la calidad del lugar de fuente, estas no definen valores críticos por lo que generalmente se califican en base a la experiencia local, es decir que dichas propiedades dependen regularmente del lugar de proveniencia de los mismos (Chimborazo, 2012).

Las propiedades a identificar son:

- Tenacidad
- Durabilidad (resistencia a los sulfatos)

2.4.1.3.1.1 Tenacidad

Norma:(INEN 860, 2011)

Se entiende por tenacidad de los agregados al porcentaje de masa que pierde el material al someterse al ensayo de abrasión de los Ángeles, el cual tiene como objetivo determinar la resistencia del agregado al aplastamiento y degradación mecánica durante la obtención, manipulación, almacenamiento, mezcla y compactación, considerando el porcentaje de aceptabilidad de acuerdo a la localidad (Toapanta, 2019).

2.4.1.3.1.2 Durabilidad

Norma:(INEN 863, 2011)

Se entiende por durabilidad a la solidez de los agregados cuando están sujetos a la acción de desgaste debido a agentes climáticos como humectación, secado, congelamiento y descongelamiento. Esta se determina a través del porcentaje de pérdida del material durante el ensayo de los agregados sometidos a la saturación en soluciones de sodio o magnesio (Toapanta, 2019).

2.4.1.3.2 Propiedades de consenso

Son aquellas características que están asociadas a la calidad de los agregados, las cuales garantizan un buen comportamiento de la mezcla en cuanto a resistencia y durabilidad.

Entre las propiedades de consenso se tienen:

- Caras fracturadas
- Partículas planas y alargadas.
- Granulometría.

Las propiedades antes mencionadas deben cumplir con niveles de calidad según el uso y nivel de tráfico que se requiera (Arévalo & Rodríguez, 2022).

2.4.1.3.2.1 Caras fracturadas

Norma: (ASTM-D5821, 2017)

Esta propiedad asegura la existencia de fricción interna de los agregados, misma que brinda resistencia a esfuerzos de corte y ahuellamiento.

El ensayo para garantizar dicha propiedad es el de “caras fracturadas o Angularidad de los agregados”, generalmente se analizan las partículas manualmente en donde se considera a una partícula fracturada si el área de la superficie que esta fracturada es mayor o igual al 25%, seguido se separa el material y se procede a determinar el porcentaje, en peso, del material que presente una o más caras fracturadas (Arévalo & Rodríguez, 2022).

2.4.1.3.2.2 Partículas planas y alargadas.

Norma:(ASTM-D4791, 2010)

Esta propiedad ayuda a conocer el agregado, desechar el material indeseable y evitar que la mezcla falle, debido a que los agregados que contienen un alto porcentaje de partículas planas y alargadas son susceptibles a quebrantarse al momento de aplicar presión.

Para determinar dicha propiedad se obtiene el porcentaje en peso de las partículas cuya relación entre las dimensiones máximas y mínimas del agregado sea mayor a 5 (Arévalo & Rodríguez, 2022).

2.4.1.3.2.3 Granulometría.

Norma:(INEN 696, 2011)

Esta propiedad ayuda a conocer la graduación de los materiales y garantizar que la distribución granulométrica cumpla con las especificaciones de diseño para una mezcla asfáltica debido a que los porcentajes del material granular hacen que se incremente o se disminuya las propiedades mecánicas y dinámicas de la misma (Chimborazo, 2012).

El ensayo a realizarse es la distribución por tamaños del material fino y grueso mediante el proceso de tamizado, en donde a una masa de muestra seca se la clasifica pasándola por una serie de tamices colocados desde el que tiene mayor abertura hasta el menor.

2.4.1.3.3 Propiedades complementarias

2.4.1.3.3.1 Pesos específico y absorción agregado fino

Norma:(INEN 856, 2010)

Este ensayo tiene como finalidad determinar la densidad del agregado fino (excluyendo el volumen de vacíos de las partículas), la gravedad específica y la absorción, para ello se debe saturar el material en agua por un periodo de 24 horas siguiendo el método gravimétrico con ayuda del picnómetro (Capa, 2017).

2.4.1.3.3.2 Pesos específico y absorción agregado grueso

Norma:(INEN 857, 2010)

Este ensayo determina la densidad relativa y la absorción del agregado grueso, excluyendo el volumen de vacíos de las partículas; como en el caso del agregado fino se debe saturar el material en agua por un periodo de 24 horas, siguiendo el método de la canastilla (Capa, 2017).

2.4.1.3.3.3 Masa unitaria

Norma:(INEN 858, 2010)

Mediante este método se determina el peso volumétrico del agregado en condición suelta y compacta con la finalidad de calcular los vacíos en los áridos.

2.4.1.3.3.4 Límites de Atterberg

Norma: INEN 691 y INEN 692

Permiten determinar los estados de consistencia del suelo en función de la humedad que pueda contener en sus poros.

El límite líquido es el contenido de humedad a partir de cual el suelo se comporta como un líquido viscoso, se determina por el método de Casagrande normalizado según la UNE 103-103-94.

El límite plástico es el contenido de humedad por debajo de la cual el suelo se comporta como un sólido, se determina según la UNE 103-104-94 (Bowles, 1985).

2.4.2 Fibra Natural

Las fibras naturales son filamentos o hebras que se encuentran en la naturaleza, generalmente pueden hilarse para formar hilos y tejidos, estas pueden clasificarse en fibras de origen animal (Glándulas sedosas o folículos pilosos), fibras de origen mineral (Amianto o metales) y fibras de origen vegetal (De fruto o semilla, de tallo o de hoja) mismas que son catalogadas como renovables, pues son extraídas de la naturaleza sin dañar el medio ambiente (Castellanos & Suarez, 2020).

Las fibras se pueden obtener directamente de la naturaleza, empresas textiles, fábricas de extracción de fibras o de residuos de algunas industrias, en cuales se puede llegar a conseguir bagazo de caña, cabuya, coco, tallos de yute, abacá, cascarilla de arroz, palma africana, entre otras. Las propiedades mecánicas de las fibras naturales están influenciadas por varios factores, incluido el grado de madurez, contenido de celulosa, orientación y tipo de fibra, asimismo la efectividad de los compuestos reforzados con fibras naturales está en función de la capacidad de transferir la fuerza de la matriz a la fibra, debido a que esto es muy relevante en la determinación de sus propiedades mecánicas (Castellanos & Suarez, 2020).

2.4.2.1 Fibra de Abacá

2.4.2.1.1 Planta

Según Calderón & Ortega (2020), el abacá también conocido como cáñamo de manila es una planta grande, pertenece a la familia Musácea y puede llegar a tener una longitud de 7 metros, tiene un parecido sorprendente con el banano, pero su principal diferencia es que los frutos que produce el plátano son comestibles mientras que el abacá no produce frutos, sin embargo, su potencial se encuentra en los troncos de las plantas de los cuales se extraen las fibras que son utilizadas con mayor impacto en la industria textil. En el Ecuador el cultivo de Abacá se ha posicionado en las ciudades de Santo Domingo, Esmeraldas y Quevedo.

2.4.2.1.2 Fibra

De acuerdo con Calderón & Ortega (2020), la fibra de abacá es también conocida por su origen como "cáñamo de Manila", está compuesta aproximadamente por un 77 % de celulosa y un 9 % de lignina. Ésta ha sido bien recibida debido a su alta resistencia mecánica y a su resistencia al daño por agua salada. Las fibras de mejor calidad son aquellas que presentan características finas, brillantes, de color habano claro y muy fuertes, generalmente estas se encuentran el cilindro central de la planta.

2.4.2.1.3 Usos

Las fibras de abacá se emplean en la industria de la salud, construcción, transporte, alimentos, hogar y consumo; su uso más frecuente radica en la producción de bolsas de té, y cabos debido a su gran resistencia a la tensión y que difícilmente se deteriora por la acción de la naturaleza, además se considera como materia prima para la elaboración de papel, pastas, servilletas, textiles, ropa, cortinas, entre otras (Calderón & Ortega, 2020).

2.4.2.1.4 Calidad de las fibras

En el Ecuador se obtienen cuatro clases de fibras con respecto a su calidad, estas dependen de la zona de extracción pues se identifican del exterior al interior, siendo la fibra interna la de mejor calidad. En cada planta se obtienen los porcentajes de calidad de la siguiente manera: 15% segunda clase, 35% tercera clase, 30% cuarta clase y 20 % quinta clase.

Las fibras de menor calidad son aquellas que se localizan en la parte exterior son las más gruesas, cortas y oscuras, generalmente presentan un color verde o rojizo negruzco, mientras se avanza en el interior del tallo se encuentran las más largas hasta llegar a las más claras, finalmente en el cilindro central del tallo se ubica la fibra de mejor calidad la cual es la más corta y blanca (Cárdenas, 2016).

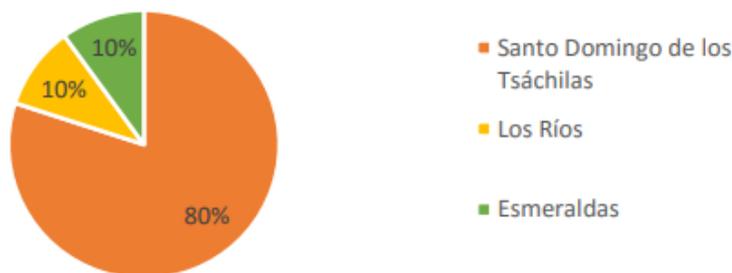
2.4.2.1.5 Zonas productoras

Calderón & Ortega (2020) indican que, en los datos obtenidos del MAGAP, “la información acerca de la producción de Abacá en los Sectores de Santo Domingo, Esmeraldas, Los Ríos, y en su defecto en otras zonas no delimitadas; no se encuentra documentada y publicada oficialmente por el INEC dado que son una estimación de cantidades obtenidas en encuesta por muestreo y los errores asociados pueden ser muy altos por lo que los datos sólo son referenciales más no son totalmente verídicos y comprobados mediante un registro”.

Figura 1

Zonas de producción en el Ecuador.

Producción de Abacá en Ecuador



Fuente: (Calderón & Ortega, 2020)

2.4.2.1.6 Proceso de fabricación de la fibra de Abacá

El cultivo se lo realiza en suelos de clima tropical húmedo con una temperatura entre 22-28 °C donde la planta aprovecha la mayor cantidad de nutrientes, una vez sembrada toma de 18 a 24 meses reproducirla y sus cosechas podrían ser en periodos de 2 a 4 meses según su cuidado laboral (Calderón & Ortega, 2020).

Desde la posición de la empresa Terranova Papers la obtención de las fibras de abacá consta del siguiente proceso:

Tabla 5.

Fabricación de las fibras de abacá.

Proceso de fabricación de las fibras de Abacá
1. Cosecha de Abacá
2. Separación de la corteza y el tronco proceso llamado “Tuxing”
3. Descortezado a mano.
4. Descortezado mecánico.
5. Secado a la intemperie.
6. Limpieza y clasificación.
7. Prensado y almacenamiento
8. “Celesa” o conocido como comercialización

Fuente: (TerranovaPapers, 2022)

Figura 2

Fabricación de las fibras de abacá.



Fuente: (TerranovaPapers, 2022)

2.4.2.1.7 Propiedades de la fibra de abacá

2.4.2.1.7.1 Propiedades mecánicas y físicas:

En la investigación realizada por Pilicita & Puluche (2022) indica que las propiedades mecánicas del abacá son:

Tabla 6.

Propiedades mecánicas y físicas de la fibra de abacá.

Propiedades mecánicas y físicas:
• Esfuerzo último a la tracción (MPa): 774.7 – 1261.3
• Módulo de elasticidad (GPa): 18.5 – 37.2
• Deformación unitaria (%): 3.10 – 4.27
• Absorción de agua (%): 8 – 10
• Densidad (g/cm ³): 1.3

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

2.4.2.1.7.2 Propiedades químicas:

En la investigación realizada por Pilicita & Puluche (2022)(Pilicita & Puluche, 2022) indica que las propiedades químicas de las fibras de abacá son:

Tabla 7.

Propiedades químicas de la fibra de abacá.

Propiedades químicas
• Celulosa (%): 63 – 70.1
• Hemicelulosa (%): 20 – 21.8
• Pectina (%): 0.6
• Lignina (%): 5.7 – 6

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

2.4.2.1.8 Ensayos y normas de la fibra de Abacá

2.4.2.1.8.1 Densidad específica

Norma:(INEN 2527, 2010)

Este ensayo determina la densidad relativa de la fibra excluyendo el volumen de vacíos de las partículas mediante el método del picnómetro, saturando el material en agua por un periodo de 24 horas.

2.4.2.1.8.2 Densidad lineal

Norma:(ISO 1889, 2009)

Este ensayo permite obtener la densidad lineal (masa por unidad de longitud de hilo) de las fibras.

2.4.2.1.8.3 Absorción

Norma:(ISO 3344, 1997)

Este ensayo determina la absorción de la fibra saturando el material en agua por un periodo de 24 horas.

2.4.3 Filler

Filler es el material que pasa a través del tamiz N° 200 (0,075 mm) y generalmente se agrega a la mezcla como un complemento para cumplir con los requisitos de tamaño de partícula establecidos.

El filler al mezclarse con el asfalto aglomera los distintos elementos del árido proporcionando cohesión, éste mantiene fusionado el esqueleto mineral y es el responsable principal de la impermeabilidad y durabilidad de la mezcla (Benavides, 2016).

2.4.3.1 Cal

La cal es un material proveniente de la roca caliza (CaCO_3), siendo un producto muy común, abundante y económico, este material sirve como aglomerante y su proceso de producción parte de un ciclo, que comienza siendo una roca y pasa por un proceso de transformación para poder ser utilizada.

2.4.3.1.1 Cal viva

La cal viva o también conocida como óxido de calcio (CaO), se obtiene de la calcinación de la piedra caliza a temperaturas de 900 °C, su apariencia es un polvo blanco y se considera un producto químicamente inestable pues se caracteriza por ser altamente reactivo y presenta una afinidad alta por el agua.

2.4.3.1.1.1 Usos de la cal viva

Este material se emplea en la desinfección de pozos sépticos, en la estabilización de lodos residuales en las plantas de tratamiento de agua, encalado y desinfección de piscinas camaroneras y en la industria azucarera se aprovecha en el proceso de limpieza del jugo de caña (Horcalsa, 2021).

2.4.3.1.2 Cal hidratada

Cal hidratada comúnmente llamada cal apagada o denominada como hidróxido de cal, se obtiene a través del proceso de hidratación controlada del óxido de calcio (Horcalsa, 2021).

2.4.3.1.2.1 Usos de la cal hidratada

Este material principalmente se aplica en la industria de la construcción, pues se utiliza para la estabilización de suelos, elaboración de pinturas e impermeabilizantes, concretos o mezclas asfálticas. Asimismo, se emplea en la industria química para las mezclas

de pesticidas y en la agricultura para mejorar las características de los suelos agrícolas(Bermeo, 2021).

2.4.3.1.2.2 Importancia de la cal en mezclas asfálticas.

En la industria de la construcción la cal es muy importante debido a que genera propiedades únicas que benefician a las mezclas asfálticas de tres maneras principales: mejorando la resistencia al agrietamiento, mejorando la resistencia a la deformación permanente y reduciendo la tasa de rigidez a causa de la oxidación del material. También se considera un aditivo debido a que brinda propiedades al asfalto de resistir el daño por humedad, logrando un mayor tiempo de vida útil (Baldi et al., 2020).

2.4.3.2 Ensayos y normas de la cal

Granulometría

Norma: (INEN 696, 2011), ASTM D 242

Este ensayo permite determinar la distribución del tamaño de partículas presente en la cal.

2.4.3.2.1 Masa unitaria

Norma:(INEN 858, 2010)

Mediante este método se determina el peso volumétrico del agregado en condición suelta y compacta con la finalidad de calcular los vacíos en los áridos.

2.4.4 Asfalto

El asfalto (cemento asfáltico) es un material de color oscuro que puede variar de negro a un color pardo similar, ostenta propiedades ligantes y aglutinantes; está constituido por una variedad compleja de elementos y compuestos de los que sobresalen los hidrocarburos.

Tabla 8.

Composición química en porcentaje del asfalto (Petroecuador EP)

COMPUESTO %	DESDE	HASTA
Carbono	70	90
Hidrógeno	7,3	10,1
Azufre	0,56	9,5
Cenizas	0,06	1,25
Nitrógeno	0,05	7

Fuente: (D. Escobar, 2018)

Puede obtenerse del proceso de destilación del crudo (petróleo) o de manera natural, una vez adquirido debe sufrir un proceso de refinamiento para que este producto cumpla con los requerimientos y especificaciones AASSTHO para elaboración de mezclas asfálticas (Freire, 2018).

Propiedades químicas del asfalto

Asfáltenos: Dentro de la clasificación del ligante asfáltico se encuentran los asfaltenos este es un compuesto químico que le da la dureza y el color al ligante.

Máltenos: Esta propiedad química es de carácter viscoso que se compone de resinas y de aceites.

Resinas: Las resinas son el compuesto que otorga las características adherentes al ligante bituminoso, este químico presenta una tonalidad de color ámbar.

Aceites: Mediante los aceites el asfalto adquiere características que le permiten que sea trabajable y también que tenga consistencia, además esta propiedad es un medio de transporte para los asfáltenos y resinas.

Propiedades físicas del asfalto

Adhesión: Esta es la propiedad física que permite al agregado pétreo adherirse con el asfalto dentro de la mezcla.

Susceptibilidad térmica: Gracias a esta propiedad el asfalto puede pasar de su estado sólido a estado líquido, mediante una variación considerable de temperatura.

Endurecimiento o envejecimiento: Esta propiedad es consecuencia de varios agentes a los que el asfalto queda expuesto, tales como la humedad, los rayos ultra violeta, temperatura y las cargas generadas por el tránsito.

2.4.4.1 Ensayos y normas del Asfalto

Penetración

Norma: ASTM D5-97

Por medio de este ensayo es posible determinar la consistencia o la dureza del ligante bituminoso e indirectamente también su rigidez específicamente en parámetros de temperatura carga y tiempo.

Punto de inflamación

Norma: INVE-709

Este parámetro permite determinar la mínima temperatura con la que el material puede ser separado sin ningún riesgo de ignición en presencia de llama libre.

Tabla 9.*Ensayos y especificaciones dados por las normas MOP-001F-2002 E INEN*

ENSAYOS	60-70		85-100	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Betún original				
Penetración (25 °C, 100 gr, 5 s), mm/10.	60	70	85	100
Punto de ablandamiento A y B, °C.	48	57	45	53
Índice de penetración (*).	-1,5	+1,5	-1,5	+1,5
Ductilidad (25 °C, 5 cm/minuto), cm.	100	-	100	-
Contenido de agua (en volumen), %.	-	0,2	-	0,2
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	99	-	99	-
Punto de inflamación, Copa Cleveland, °C.	232	-	232	-
Densidad relativa, 25 °C/ 25 °C	1,00	-	1,00	-
Ensayo de la mancha (**)	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
Contenido de parafinas, %.	-	2,2	-	2,2
Ensayos al residuo del TFOT:				
Variación de masa, %.	-	0,8	-	1,0
Penetración, % de penetración original.	54	-	50	-
Ductilidad, cm	50	-	75	-
Resistencia al endurecimiento (***)	-	5,0	-	5,0

Fuente: (MOP-001-F, 2002).

2.4.5 Diseño de mezcla asfáltica

Existen varios métodos para la creación y diseño de mezclas asfálticas, los mismos que se pueden clasificar en tradicionales y nuevos. Dentro de los métodos tradicionales se encuentran el método Marshall y el método Hveen y en cuanto a los métodos nuevos están el Superpave y el método de alto desempeño con protocolo AMAAC siendo el método de diseño Marshall el seleccionado como método de interés particular para este trabajo. Ya que una de las virtudes de este método es la importancia que se asigna a las propiedades densidad/vacíos del material asfáltico (Chiquito & Torres, 2015).

2.4.6 Método Marshall

Este método originalmente fue desarrollado en el periodo de la segunda guerra mundial por Bruce Marshall. El propósito de este método es establecer el contenido óptimo de asfalto para una combinación determinada de agregados. Este método proporciona información sobre algunas propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacíos requeridos para el cumplimiento de la mezcla en su elaboración.

El método Marshall es aplicable para mezclas asfálticas en caliente con agregados de 25 mm o menor tamaño, de lo contrario para un agregado mayor a este se usará un molde de 6 pulgadas de diámetro. Este método puede ser utilizado para el diseño en laboratorio y también el control en campo de mezclas asfálticas en caliente.

El molde o espécimen utilizado en este método es estándar tiene una altura de 2 1/2" (64 mm) y un diámetro de 4" (102 mm). El procedimiento determinado para la ejecución de este método que consiste en calentar, mezclar y compactar el aglomerante se rige bajo las indicaciones de la norma (ASTM D 1559) (Chiquito & Torres, 2015).

2.4.7 Propiedades que debe presentar la mezcla

2.4.7.1 Estabilidad y flujo

La estabilidad también es conocida como resistencia a las deformaciones plásticas, debido a su capacidad a resistir deformación y desplazamiento que son producidas por las cargas resultantes del tránsito de vehículos.

Esta propiedad depende de dos factores importantes la fricción interna que a su vez depende de la textura superficial, la forma de la partícula y el tipo de asfalto, y la cohesión depende del contenido de asfalto, al incrementar el contenido de asfalto la cohesión también se incrementa, hasta alcanzar un valor óptimo, al sobrepasar este punto del contenido de asfalto óptimo se forma una lámina muy gruesa en las partículas lo que resulta de disminución de fricción entre partículas del agregado.

El flujo o también conocido como fluencia se refiere a la deformación vertical total resultado del sometimiento de la muestra a una carga total máxima. Un factor importante en el flujo es la cantidad de asfalto en la muestra, al incrementar este material la fluencia de la mezcla tiende a incrementar también.

2.4.7.2 Durabilidad

La durabilidad es la propiedad capaz de resistir condiciones perjudiciales externas como aire, agua, temperatura y tránsito, agentes que actúan perjudicialmente ante el asfalto provocando su envejecimiento. La finalidad de una buena mezcla asfáltica es que no sufra un excesivo envejecimiento. El espesor de la lámina de asfalto y los vacíos de aire son factores influentes en la durabilidad.

2.4.7.3 Flexibilidad

La flexibilidad es la capacidad de que la mezcla asfáltica pueda amoldarse, sin que se fisure o agriete, debido a los asentamientos y movimientos de la base y subrasante. Esta propiedad en ocasiones puede presentar conflictos con lo necesario para cumplir con la estabilidad.

2.4.7.4 Resistencia a la fatiga

Esta propiedad es la resistencia a los efectos de cargas que producen los vehículos. La fatiga produce un agrietamiento y la respuesta a este efecto está relacionada con el contenido y la rigidez del asfalto utilizado. Teniendo presente que los contenidos de asfalto muy altos producen que la mezcla asfáltica tienda a una deformación elástica y no a la fractura bajo los efectos de las cargas repetitivas.

2.4.7.5 Resistencia al deslizamiento

Es la capacidad de la mezcla a no perder la adherencia que existe entre la superficie de rodadura y el neumático del vehículo, en especial cuando la superficie de rodamiento esta humedecida, esta resistencia está relacionada con las características del agregado y el contenido de asfalto de la mezcla (Chiquito & Torres, 2015).

2.4.7.6 Impermeabilidad

Se dice que una capa de rodadura es impermeable al resistir el paso del aire y agua hacia el interior de la capa o que la atraviese. Esta capacidad está relacionada con el porcentaje de vacíos de aire de la mezcla. Algunas de las causas que por lo general hacen que la mezcla sea permeable son el bajo contenido de asfalto y la compactación inadecuada (Chiquito & Torres, 2015).

2.4.7.7 Trabajabilidad

Esta propiedad es el grado de dificultad en la que se puede colocar y compactar la mezcla. Algunos de los parámetros comunes por los cuales se dificulta esta actividad es el alto contenido de filler lo que hace que la mezcla se vuelva muy viscosa, otro de los parámetros es la temperatura con la que se trabaja y compacta la mezcla, al hacerlo con una temperatura alta la mezcla adquiere una textura blanda fácil de manipular (Chiquito & Torres, 2015).

2.4.8 Propiedades volumétricas de la mezcla

2.4.8.1 Densidad

La densidad de la mezcla es la relación entre el peso compactado de la mezcla por unidad de volumen. Una alta densidad es de gran importancia para que el pavimento final tenga un rendimiento duradero, esta característica es determinada en el laboratorio como patrón guía para controlar e identificar la mezcla de asfalto.

2.4.8.2 Gravedad Específica Bulk (Gsb)

La gravedad específica Bulk hace alusión a la relación existente entre el peso del aire de un volumen unitario del agregado (tomando en cuenta vacíos impermeables y permeables), con respecto a el peso en aire de volumen de agua libre de gas.

2.4.8.3 Gravedad Específica Máxima Medida (Gmm)

La gravedad específica máxima medida RICE o peso específico Rice se realiza con la mezcla asfáltica disgregada mediante la cual nos mostrará la cantidad de vacíos que la mezcla en cuestión tenga al momento de ser compactada (C. Escobar & Zumba, 2021).

2.4.8.4 Gravedad específica neta para el agregado total (Gsb)

Para el agregado que en su totalidad está constituido por varias fracciones separas tales como el filler, agregado fino y grueso, cada uno de ellos tiene su propia gravedad específica, por eso el resultado final es el total del agregado neto, el cual es el peso de una unidad de volumen de un material permeable (incluyendo vacíos permeables e impermeables) con respecto a una masa de igual densidad de volumen igual al de agua (Garnica et al., 2004).

2.4.8.5 Gravedad específica efectiva del agregado (Gse)

Es el peso de una unidad de volumen de un agregado que considera solamente el volumen de los poros permeables al agua no llenos con asfalto) con respecto a una masa de igual densidad de volumen igual al de agua (Bermeo, 2021).

2.4.8.6 Vacíos de aire

Esta característica en una mezcla asfáltica está referida a los espacios o bolsas de aire que se encuentran en los agregados recubiertos en la mezcla compactada final. Toda mezcla densa graduada debe tener cierta cantidad de vacíos con la finalidad de que se pueda dar una compactación futura adicional por efecto de las cargas vehiculares. Cierta porcentaje de vacíos es permitido en el rango de 3% y 5% en las muestras de laboratorio (Asphalt Institute, 1982).

2.4.8.7 Vacíos en el agregado mineral (VMA)

Este tipo de vacíos son los que existen entre las partículas dentro de la mezcla e incluyendo los espacios que ya están rellenos con asfalto, por consiguiente, el VMA es el espacio que el volumen efectivo de asfalto tiene para acomodarse y cuando el VMA es mayor, el espacio para el asfalto efectivo será mayor (Asphalt Institute, 1982).

2.4.8.8 Contenido de asfalto

La dosificación o proporción de asfalto utilizado en una mezcla es muy importante, misma que debe ser determinada en laboratorio, y consecuentemente esto debe ser contralado en obra. Los criterios que deben seguirse para el diseño del contenido de asfalto serán dictados por el método de diseño que sea seleccionado. Algunos de los factores de los cuales dependerá el contenido de asfalto son la granulometría y la absorción de los agregados.

2.4.8.9 Vacíos llenos de asfalto (VFA)

Este tipo de vacíos es el espacio intergranular que existe dentro de los agregados que se llenan de ligante asfáltico, en otras palabras, es el porcentaje por volumen de agregados minerales (VMA) en el que interfieren el aglomerante asfáltico y los vacíos de aire. El cálculo de los vacíos rellenos de asfalto (VFA) resulta de la sustracción de los vacíos de aire y de los vacíos del agregado mineral, y esto dividido para los vacíos del agregado mineral (Chiquito & Torres, 2015).

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

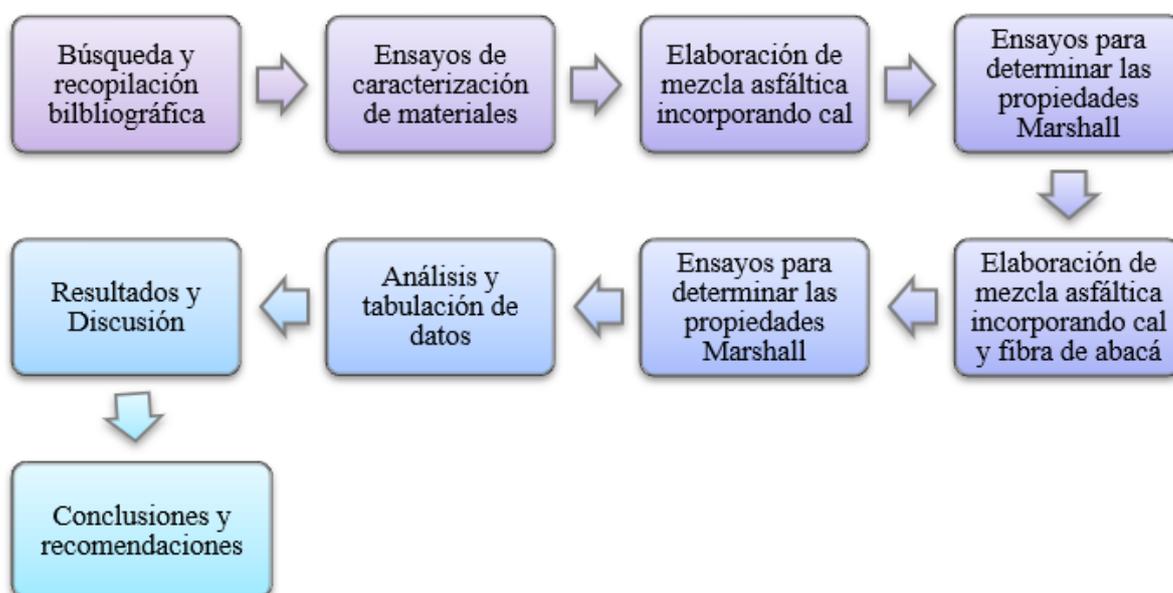
En el siguiente capítulo se describe la metodología aplicada en la investigación, la cual se basa en la comparación de una mezcla tradicional versus una mezcla asfáltica con fibra de abacá y cal, empleando el método Marshall; para ello se basará en fuentes de información existentes y trabajo experimental de laboratorio.

Con la finalidad de cumplir con el objetivo en estudio se ha descrito el procedimiento a seguir para el desarrollo del proyecto investigativo, partiendo desde la búsqueda y recopilación bibliográfica acerca del tema planteado hasta llegar a la conclusiones y recomendaciones obtenidas al finalizar la investigación.

3.1 Diagrama metodológico

Figura 3.

Diagrama metodológico.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

3.2 Enfoque de investigación

El presente enfoque de investigación se realizó de manera cuantitativa la cual consta del trabajo experimental que permite la recolección y el análisis de los valores numéricos que se obtienen de prácticas en laboratorio mediante la manipulación de variables dentro de condiciones normadas y controladas.

3.3 Tipo de investigación

Este trabajo de investigación es de tipo experimental, partiendo de un diseño exploratorio al basar nuestro punto de partida de la fórmula maestra de campo de la empresa COVIPAL S.A. formula tradicional que nos permite elaborar y ensayar muestras de briquetas habituales en campo y cuyos resultados de laboratorio servirán como punto de

comparación con las muestras de briquetas modificadas, en las que, variando la adición de fibra de abacá y cal en porcentaje, se determinará su comportamiento en la alteración de las propiedades Marshall.

3.4 Pregunta de investigación

¿La incorporación de fibra de abacá y cal en una mezcla asfáltica mejora sus propiedades Marshall?

3.5 Hipótesis

Una mezcla asfáltica incorporando fibra de abacá con cal mejora las propiedades Marshall.

3.6 Variables

3.6.1 Variables independientes

En nuestro trabajo investigativo las variables independientes corresponden al porcentaje de cal y porcentaje de fibra de abacá reemplazados en la fórmula maestra de la mezcla asfáltica.

3.6.2 Variables dependientes

Las variables dependientes corresponden a las propiedades Marshall como lo son: Estabilidad, flujo y propiedades volumétricas.

3.7 Población y muestra

Las briquetas realizadas con diferentes porcentajes de fibra de abacá y cal fueron definidas como población y muestra de este trabajo de investigación, en la Tabla 10 se puede distinguir la cantidad de muestras a realizar.

Tabla 10.

Población y muestras de la investigación

Muestras de investigación	
Descripción	N° de muestras
Muestra con cal	9
Muestra con fibra y cal	9
TOTAL, de muestras	18

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

3.8 Técnica de recolección de datos

El trabajo investigativo se desarrolló en su etapa inicial con la búsqueda y recopilación bibliográfica acerca de la temática, posteriormente para determinar las propiedades de los materiales se caracterizó tanto a los agregados pétreos como al filler (Cal) y fibra de abacá, en donde se realizaron ensayos en el laboratorio de tenacidad, durabilidad, caras fracturadas, partículas planas y alargadas, granulometría, pesos específicos y absorción, masa unitaria, densidad lineal y límites de Atterberg, bajo los lineamientos de las normativas ASTM, INEN e ISO según corresponda.

Seguido se realizó las mezclas asfálticas incorporando cal y fibra de abacá considerando la fórmula maestra propuesta en la investigación denominada “Diseño de una mezcla asfáltica adicionando mascarillas quirúrgicas desechables como material constitutivo” y finalmente se determinó las propiedades de estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos y porcentaje de vacíos en el agregado mineral según las normativas AASHTO Y ASTM.

3.9 Caracterización de los agregados

Los materiales a emplear en la elaboración de la mezcla asfáltica (muestra en estudio) deben ser analizados, caracterizados y puestos a prueba mediante diversos ensayos bajo requerimientos en condiciones normalizadas por normativas como ASTM, AASHTO, INEN e ISO, para que el espécimen sea de buena calidad.

Se utilizaron los agregados pétreos provenientes de la misma zona geográfica pertenecientes a la empresa COVIPAL.S.A. ubicada en la ciudad de Riobamba cerca de la cantera Cerro Negro, la cual con mucha amabilidad estuvieron dispuestos a colaborar con el material necesario para los ensayos de caracterización y elaboración de los especímenes de experimentación del presente trabajo.

El ligante asfáltico utilizado en este trabajo de titulación para optar al título de Ingeniero Civil es proveniente de la refinería de Esmeraldas adquirido por la misma empresa COVIPAL S.A y facilitado gratuitamente para su posterior implementación en la mezcla de estudio.

3.9.1 Caracterización de agregados pétreos

3.9.1.1 Tenacidad

Para determinar la tenacidad de los agregados se considera 4 gradaciones según la granulometría del material a ser ensayado, pues de esto depende la cantidad de esferas que se debe aplicar en el ensayo.

Tabla 11.

Granulometría de las muestras de ensayo.

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25,0	1 250 ± 25	---	---	---
25,0	19,0	1 250 ± 25	---	---	---
19,0	12,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
12,5	9,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
9,5	6,3	---	---	2 500 ± 10	---
6,3	4,75	---	---	2 500 ± 10	---
4,75	2,36	---	---	---	5 000 ± 10
	Total	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

Fuente: (INEN 860, 2011)

Tabla 12.

Especificaciones para la carga.

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: (INEN 860, 2011)

Procedimiento

1. Debido al material obtenido ($\frac{3}{4}$ ''; $\frac{1}{2}$ '') se ensayó con el método B, para ello se tamizó, se lavó y se dejó secar al horno de 16 a 18 horas hasta obtener una masa.
2. Seguido se colocó la proporción de muestra y número de esferas en la máquina de los ángeles según las tablas 11 y 12.
3. Posteriormente giramos la máquina 500 revoluciones a velocidad entre 30 r/min y 33 r/min.
4. Finalmente se retiró el material de la máquina, se tamizó por el tamiz N°12 y pesamos lo retenido en el mismo.

El porcentaje de desgaste se lo obtuvo a través de la siguiente ecuación:

$$\%Desgaste = \frac{P1 - P2}{P1} * 100$$

Donde:

P1: Peso antes del ensayo

P2: Peso seco retenido por el Tamiz N°12

Figura 4.

Ensayo de Abrasión.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

3.9.1.2 Durabilidad árido grueso

Este ensayo se realizó bajo los lineamientos de la norma (INEN 863, 2011) aplicando sulfato de magnesio y considerando el tamaño de la muestra según lo indica la siguiente tabla.

Tabla 13.*Tamaño de la muestra del agregado grueso según su composición.*

Fracción	Tamaño (Tamices con aberturas cuadradas)	Masa (g)
1	9,5 mm a 4,75 mm 19,0 mm a 9,5 mm	300 ± 5 1 000 ± 10
2	material consistente de: 12,5 mm a 9,5 mm 19,0 mm a 12,5 mm 37,5 mm a 19,0 mm	330 ± 5 670 ± 10 1 500 ± 50
3	material consistente de: 25,0 mm a 19,0 mm 37,5 mm a 25,0 mm 63 mm a 37,5 mm	500 ± 30 1 000 ± 50 5 000 ± 300
4	material consistente de: 50 mm a 37,5 mm 63 mm a 50 mm 75 mm a 63 mm 90 mm a 75 mm 100 mm a 90 mm	2 000 ± 200 3 000 ± 300 7 000 ± 1 000 7 000 ± 1 000 7 000 ± 1 000
5	material consistente de: 75 mm a 63 mm 90 mm a 75 mm 100 mm a 90 mm	7 000 ± 1 000 7 000 ± 1 000 7 000 ± 1 000

Fuente:(INEN 863, 2011)**Procedimiento**

1. Se lavó y secó el material hasta obtener una masa constante.
2. Luego se preparó la solución de sulfato de magnesio 48 horas antes de su uso, disolviendo 350 g del sulfato por litro de agua.
3. Seguido se sumergió las muestras en la solución (de 16 horas a 18 horas) de manera que se cubran totalmente los agregados y tapando los recipientes para evitar la evaporación y la adición de sustancias extrañas.
4. Posteriormente se drenaron las muestras por 15 min y se colocaron en el horno a una temperatura de 110°C de 2 a 4 horas hasta que la masa sea constante.
5. Se enfriaron las muestras a temperatura ambiente y posteriormente se sumergieron nuevamente en la solución, repitiendo el proceso de inmersión hasta obtener los 5 ciclos.
6. Al completar el ciclo final, el material se lavó con agua a 43°C con el fin de eliminar completamente el sulfato. (Se considera que la muestra no contiene sales cuando la solución de cloruro de Bario no reacciona con el agua del lavado).
7. Luego para determinar la pérdida del material se tamizó por los mismos tamices que se utilizaron previo a la inmersión.

Figura 5.

Ensayo de resistencia del agregado al sulfato de magnesio.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

3.9.1.3 Caras fracturadas

Para determinar la cantidad de muestra del ensayo se tomó en consideración lo que indica la Tabla 14.

Tabla 14.

Masa mínima de la muestra para el ensayo.

Tamaño nominal	Masa mínima de ensayo (gr)
9.5 mm [3/8"]	200
12.5 mm [1/2"]	500
19.0 mm [3/4"]	1 500
25.0 mm [1"]	3 000
37.5 mm [1 1/2 "]	7 500

Fuente:(ASTM-D5821, 2017)

Procedimiento

1. Se lavó y secó el material hasta obtener una masa constante.
2. Luego se determinó y registró la masa de la muestra seca.
3. Se extendió la muestra seca en un área grande, seguido se inspeccionó cuidadosamente cada partícula para verificar si cumple con los criterios de caras fracturadas.
4. Se separó las partículas que contenían una o más caras fracturadas y se registró la masa.

El porcentaje de desgaste se lo obtuvo a través de la siguiente ecuación:

$$\%Caras\ fracturadas = \frac{B}{A} * 100$$

Donde:

A: Peso de la muestra del ensayo

B: Peso del material con caras fracturadas

Figura 6.

Ensayo de caras fracturadas.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

3.9.1.4 Partículas planas y alargadas

Para determinar la cantidad de muestra para el ensayo se tomó en consideración lo que indica la Tabla 15.

Tabla 15.

Masa mínima de la muestra para el ensayo.

Tamaño nominal	Masa mínima de ensayo (gr)
9.5 mm [3/8"]	1 000
12.5 mm [1/2"]	2 000
19.0 mm [3/4"]	5 000
25.0 mm [1"]	10 000
37.5 mm [1 1/2 "]	15 000

Fuente:(ASTM-D4791, 2010)

Procedimiento

1. Se lavó y secó el material hasta obtener una masa constante, luego se determinó y registró la masa de la muestra seca.
2. Se extendió la muestra seca en un área grande, seguido se midió cada partícula verificando que la relación larga/espesor sea mayor a 5 para considerarlas partículas planas y alargadas.
3. Se separó las partículas que se consideró partículas planas y alargadas y se registró la masa.

El porcentaje de partículas planas y alargadas se determinó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{Partículas planas y alargadas} = \frac{B}{A} * 100$$

Donde:

A: Peso de la muestra del ensayo y **B:** Peso del material con partículas planas y alargadas

Figura 7.

Ensayo de partículas planas y alargadas.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

3.9.1.5 Granulometría

El agregado fue tamizado de tal manera que la granulometría se ubique dentro de los límites requeridos para una mezcla asfáltica densa en caliente (Ver Tabla 16).

Tabla 16.

“Composición granulométrica de agregados para mezcla asfáltica densa”

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾"	½"	3/8"	Nº4
1" (25.4 mm.)	100	--	--	--
¾" (19.0 mm.)	90 - 100	100	--	--
½" (12.7 mm.)	--	90 - 100	100	--
3/8" (9.50 mm.)	56 - 80	--	90 - 100	100
Nº 4 (4.75 mm.)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
Nº 8 (2.36 mm.)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
Nº 16 (1.18 mm.)	--	--	--	40 - 80
Nº 30 (0.60 mm.)	--	--	--	25 - 65
Nº 50 (0.30 mm.)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
Nº 100 (0.15 mm.)	--	--	--	3 - 20
Nº 200 (0.075 mm.)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Fuente: (MOP-001-F, 2002)

Tabla 17.*“Tamaño de la muestra para ensayo de árido grueso”*

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, en mm (pulgadas).	Tamaño de la muestra del ensayo Mínimo (kg)
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Fuente: (INEN 696, 2011)

Para el tamaño de la muestra del árido fino según la norma INEN 696 la cantidad mínima debe ser de 300 g, la desviación que se muestra en la Tabla 18 hace referencia a ensayos con una cantidad de árido fino de 500 g.

Tabla 18.*“Precisión del árido grueso y fino”*

	Porcentaje total de material pasante	Desviación estándar (1s), % ^A	Rango aceptable de dos resultados (d2s), % ^A	
Árido grueso. ^B Precisión para un solo operador	< 100 ≥ 95	0,32	0,9	
	< 95 ≥ 85	0,81	2,3	
	< 85 ≥ 80	1,34	3,8	
	< 80 ≥ 60	2,25	6,4	
	< 60 ≥ 20	1,32	3,7	
	< 20 ≥ 15	0,96	2,7	
	< 15 ≥ 10	1,00	2,8	
	< 10 ≥ 5	0,75	2,1	
	< 5 ≥ 2	0,53	1,5	
	< 2 > 0	0,27	0,8	
	Precisión multilaboratorio	< 100 ≥ 95	0,35	1,0
		< 95 ≥ 85	1,37	3,9
		< 85 ≥ 80	1,92	5,4
		< 80 ≥ 60	2,82	8,0
< 60 ≥ 20		1,97	5,6	
< 20 ≥ 15		1,60	4,5	
< 15 ≥ 10		1,48	4,2	
< 10 ≥ 5		1,22	3,4	
Árido fino: Precisión para un solo operador	< 100 ≥ 95	0,26	0,7	
	< 95 ≥ 60	0,55	1,6	
	< 60 ≥ 20	0,83	2,4	
	< 20 ≥ 15	0,54	1,5	
	< 15 ≥ 10	0,36	1,0	
	< 10 ≥ 2	0,37	1,1	
	< 2 > 0	0,14	0,4	
	Precisión multilaboratorio	< 100 ≥ 95	0,23	0,6
		< 95 ≥ 60	0,77	2,2
		< 60 ≥ 20	1,41	4,0
		< 20 ≥ 15	1,10	3,1
		< 15 ≥ 10	0,73	2,1
		< 10 ≥ 2	0,65	1,8
		< 2 > 0	0,31	0,9

^A Estos números representan los límites (1s) y (d2s) respectivamente, descritos en la norma ASTM C 670.
^B La precisión estimada basada en áridos con un tamaño máximo nominal de 19,0 mm.

Fuente: (INEN 696, 2011)

Procedimiento

1. Se dejó secar el material en el horno de 16 a 18 horas hasta obtener una masa constante.
2. Seguido se tomó la proporción de muestra según sea lo requerido.
3. Luego se realizó el tamizado y se registró el peso retenido en cada tamiz.
4. Finalmente se obtienen los porcentajes que pasan, los cuales serán utilizados para la dosificación de la mezcla asfáltica.

Figura 8.

Tamices para el ensayo de granulometría.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

3.9.1.6 Peso específico y absorción agregado grueso

Para estimar la porción de muestra necesaria del ensayo se basó en lo que indica la Tabla 19.

Tabla 19.

Masa mínima de la muestra para el ensayo.

Tamaño nominal	Masa mínima de ensayo (gr)
9.5 mm [3/8"]	1 000
12.5 mm [1/2"]	2 000
19.0 mm [3/4"]	5 000
25.0 mm [1"]	10 000
37.5 mm [1 1/2 "]	15 000

Fuente: (INEN 857, 2010)

Procedimiento

1. Se lavó el árido y se sumergió por 24 horas, cumplido el tiempo se filtró el agua y se secó las partículas con una franela, seguido se registró el peso.

2. Luego se tomó el peso de muestras sumergida en agua con el uso de la canastilla adaptada a la balanza.
3. Finalmente se dejó secar la muestra en el horno para obtener el peso seco.

Figura 9.

“Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso”.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

3.9.1.7 Pesos específico y absorción agregado fino

Mediante el método gravimétrico se realizó el ensayo de peso específico y absorción del árido fino, con el siguiente procedimiento:

Procedimiento

1. Se lavó el árido y se sumergió por 24 horas, cumplido el tiempo se filtró el exceso de agua y se secó las partículas esparciéndolas en una bandeja plana, usando una corriente moderada de aire mediante una secadora de cabello, garantizando un secado homogéneo.
2. Se realizó la prueba del cono con el diámetro de mayor dimensión en la superficie, y se relleno con la muestra superficialmente seca. Con ayuda de la varilla se golpeó suavemente un total de 25 golpes. A continuación, se levantó el cono verticalmente con cuidado verificando que la muestra obtenga un desmoronamiento superficial, registrando el peso.
3. Una vez registrado el peso introducir la muestra directamente en el picnómetro aforado y pesado previamente, se elimina las partículas de aire rotando el picnómetro con cuidado.
4. Se registra una vez más el peso de la muestra en el picnómetro más el agua. Posteriormente se retira la muestra del picnómetro y se lleva al horno para finalmente conseguir el peso de la muestra seca.

Figura 10.

“Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino”.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

3.9.1.8 Durabilidad árido fino

Este ensayo de durabilidad se realizó al someter la muestra del árido a una serie de ciclos de exposición y secado del espécimen sumergido en una solución de sulfato de magnesio, para esta muestra se utiliza el material pasante del tamiz de 9,5mm, la cantidad debe ser de al menos 100 g de cada uno de los tamaños que se muestran en la tabla 20.

Tabla 20.

Tamaños según los tamices necesarios para el ensayo.

Fracción	Pasante del tamiz	Retenido en el tamiz
1	600 μm	300 μm
2	1,18 mm	600 μm
3	2,36 mm	1,18 mm
4	4,75 mm	2,36 mm
5	9,5 mm	4,75 mm

Fuente: (INEN 863, 2011)

Procedimiento

1. Se lavó la muestra sobre el tamiz de 300 μm y secó el material hasta obtener una masa constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
2. Una vez la muestra está seca, se procede a separarla de acuerdo a los tamices expuestos en la tabla 20 con una cantidad mínima de 100 g por tamiz.
3. Luego se preparó la solución de sulfato de magnesio 48 horas antes de su uso, disolviendo 350 g del sulfato por litro de agua.
4. Seguido se sumergió las muestras en la solución (de 16 horas a 18 horas) de manera que se cubran totalmente los agregados y tapando los recipientes para evitar la evaporación y la adición de sustancias extrañas.

5. Posteriormente se drenaron las muestras por 15 min y se colocaron en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ de 2 a 4 horas hasta que la masa sea constante.
6. Se enfriaron las muestras a temperatura ambiente y posteriormente se sumergieron nuevamente en la solución, repitiendo el proceso de inmersión hasta obtener los 5 ciclos.
7. Al completar el ciclo final, el material se lavó con agua a 43°C con el fin de eliminar completamente el sulfato. (Se considera que la muestra no contiene sales cuando la solución de cloruro de Bario no reacciona con el agua del lavado).
8. Luego para determinar la pérdida del material se tamizó por los mismos tamices que se utilizaron previo a la inmersión.

3.9.1.9 Límites de Atterberg

3.9.1.9.1 Límite líquido

Por medio de este ensayo es posible determinar el contenido de agua que tiene el árido, esto se realiza dentro del límite entre su comportamiento líquido y plástico, por medio de un dispositivo llamado Copa de Casagrande con el que, se establece la fluencia de la muestra con un determinado número de golpes en condiciones normalizadas según la INEN 691.

Figura 11.

“Ensayo del límite líquido”.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

Procedimiento

1. Se pesa y prepara la muestra incrementando agua con la ayuda de una pipeta y con una espátula se mezcla hasta conseguir una pasta homogénea, llevar la pasta al equipo mecánico extendiéndola con cuidado de que no se queden burbujas de aire en el interior de la muestra.
2. Con el acanalador se parte en dos la muestra y se procede a dar vueltas al manubrio realizando los golpes teniendo en cuenta la cantidad de golpes hasta que las dos paredes formadas por el acanalador se unan.
3. Repetir iterativamente el ciclo incrementando o secando la muestra hasta lograr que las paredes del espécimen se unan con un número específico de golpes dentro de los rangos: 15-25, 20-30, 25-35.

3.9.1.9.2 Límite plástico

Este ensayo consiste en rolar gradualmente la muestra con la finalidad de evaporar el agua hasta que el espécimen se fisura o empieza a disgregarse bajo condiciones normalizadas según la INEN 692 para determinar el contenido de agua del árido en el límite entre su comportamiento plástico y sólido.

Figura 12.

“Ensayo del límite plástico”



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

Procedimiento

Se pesa y prepara la muestra incrementando agua con la ayuda de una pipeta y con una espátula se mezcla hasta conseguir una pasta homogénea, formar un cilindro con la pasta en las manos para posteriormente rolarla con la punta de los dedos en la placa de vidrio hasta intentar alcanzar un rollo de 3 mm de diámetro antes de su rotura.

3.9.2 Caracterización de la fibra de abacá

La fibra a emplearse en el trabajo investigativo se adquirió en la “Cooperativa de producción industrial abacá - Ecuador” ubicada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, en una presentación de atados con una longitud promedio de 2,5 m. (Ver figura 13).

Figura 13.

Fibra de abacá.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

3.9.2.1 Densidad específica

Para determinar la densidad específica de la fibra de abacá se sigue los lineamientos contemplados en la norma (INEN 2527, 2010), cuyo proceso se describe a continuación.

Procedimiento

1. Se tomó una madeja de fibra cuyo diámetro sea 25mm y su peso este entre 0.5 y 1 gramo.
2. Luego se saturó la muestra en agua por 24 horas y se registró su peso en una balanza de 0.01g de aproximación.
3. Posteriormente se tomó el peso de las muestras sumergidas en agua (eliminando el exceso de aire) mediante el uso de la canastilla adaptada a la balanza con un vaso de precipitación.

Figura 14.

Determinación de la densidad específica de la fibra.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

3.9.2.2 Densidad lineal

Bajo los criterios y recomendaciones de la ISO:1889 se determina la densidad lineal (masa por unidad de longitud de hilo) de la fibra de abacá mediante el siguiente procedimiento.

Procedimiento

1. De la madeja principal de fibra se toman 5 hilos para formar una pequeña madeja de una longitud de 1.5 m.
2. Se realiza el mismo procedimiento para un total de 5 muestras de la misma longitud.
3. Para registrar el peso de cada muestra se enrolla cada madeja para que sea posible posicionarla en la balanza.
4. Una vez con los datos se procede a calcular la densidad dividiendo el peso de la madeja entre la longitud.

Figura 15.

“Ensayo de densidad lineal de la fibra de abacá”



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

3.9.2.3 Absorción

Este ensayo se realiza bajo los requerimientos normalizados por la ISO 3344:1997 para determinar el porcentaje de absorción de la fibra de abacá mediante el siguiente procedimiento.

Procedimiento

1. Se elaboraron 5 madejas de muestras cortándolos a una longitud de 5 cm.
2. Se almacenaron las muestras en 5 taras para secarlas al horno a una temperatura constante de 50°C por un periodo de 24 horas.
3. Mediante una balanza analítica de alta precisión tras transcurrir las 24 horas de secado en el horno, se pesaron las muestras con una precisión de 0.0001 g.
4. Una vez registrados los pesos de las muestras se procede a sumergir cada una en agua durante otras 24 horas.
5. Transcurrido el tiempo de sumersión se drena el exceso de agua y se seca con un paño absorbente la superficie de la muestra hasta conseguir la condición para el peso sss (peso saturado superficialmente seco).
6. Finalmente se llevan las muestras a la balanza para registrar los pesos y realizar los cálculos respectivos en donde, el % de absorción es igual a la resta del peso sss y el peso seco, dividido entre el peso seco.

Figura 16.

“Ensayo de % de absorción”



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

3.9.3 Caracterización del filler

La cal hidratada utilizada en el diseño fue adquirida en la empresa denominada “Agrocalizas” ubicada en el sector Calpi de la provincia Chimborazo (ver figura 17).

Debido al déficit de filler del resto de agregados en estudio se optó por utilizar la cal pasante por el tamiz N°200 como el faltante del filler necesario para cumplir con las fórmulas maestras, y la relación filler/betún.

Figura 17.

Cal hidratada.



		1	2
N Total:	%	0.12	0.12
P 205	%	0.106	0.156
K 20	ppm	91.77	588.18
Ca	%	52.24	47.13
Mg	%	0.30	0.38
Mn	ppm	77.22	150.94
Fe	%	0.33	0.85
Cu	ppm	0.38	1.88
Zn	ppm	28.98	94.33

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

3.9.3.1 Granulometría de la cal

Para el ensayo de granulometría de la cal se toma una muestra representativa no menor a 300 g en referencia a la norma INEN 696 como semejante a un árido fino, siguiendo el presente procedimiento.

Procedimiento

1. Se dejó secar el material en el horno de 16 a 18 horas hasta obtener una masa constante.
2. Seguido se tomó la proporción de muestra según sea lo requerido.
3. Luego se realizó el tamizado y se registró el peso retenido en cada tamiz.
4. Finalmente se obtienen los porcentajes que pasan, los cuales serán utilizados para la dosificación del filler en la mezcla asfáltica.

Figura 18.

“Ensayo de granulometría en la cal”



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

3.9.3.2 Masa unitaria

El procedimiento se lo llevó a cabo según lo especificado en la norma INEN 858 y se lo describe a continuación.

Procedimiento

1. Para calibrar el recipiente se utilizó una balanza de precisión 0.1g, donde se pesó el molde vacío, seguido se añadió agua hasta llenarlo y se registraron los pesos.
2. Para determinar la masa suelta se colocó el molde dentro de una bandeja cuadrada y se llenó el molde con cal a una altura menor o igual a 5 cm posteriormente con ayuda de una varilla de acero se enrasó y se quitó el excedente de cal, finalmente llevamos a la balanza y registramos su peso.
3. La masa compacta se determinó colocando el molde dentro de la bandeja cuadrada, luego se vació cal en el molde hasta el 1/3 de su capacidad, seguido con una varilla de 5/8" se golpeó 25 veces la muestra, luego se repitió el proceso añadiendo cal un tercio más de su capacidad, en el último ciclo de agregó el material sobrepasando un poco su capacidad, se compactó nuevamente con 25 golpes y se quitó el excedente enrasando, finalmente llevamos a la balanza y registramos su peso.

Figura 19.

a) Masa unitaria suelta b) Masa unitaria compactada.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

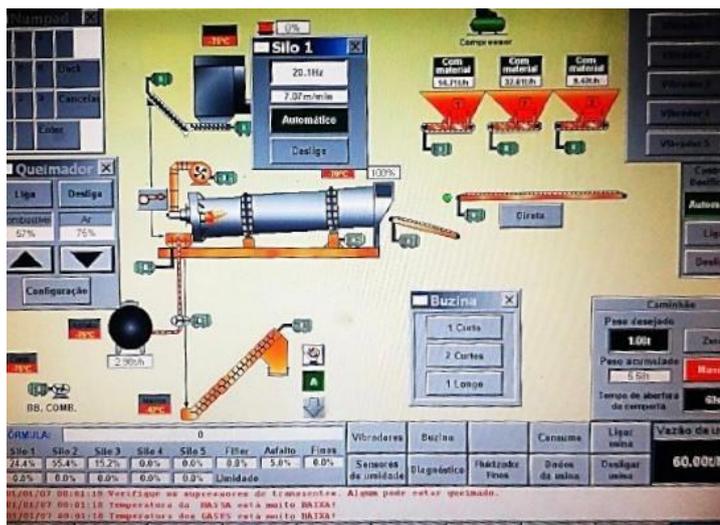
3.9.4 Diseño de la Mezcla asfáltica

3.9.4.1 Mezcla asfáltica convencional

Para el diseño de la mezcla asfáltica se procedió a tomar como punto de partida la fórmula maestra empleada a diario por la planta asfáltica de la empresa COVIPAL. S.A. puesto que el ligante asfáltico y los agregados pétreos fueron proporcionados por la misma.

Figura 20.

Dosificación para mezcla asfáltica de la planta COVIPAL.S. A



Fuente: (Noboa, 2022)

3.9.4.2 Diseño de la Mezcla asfáltica Modificada con cal

Partiendo del diseño de la mezcla convencional se trabajó con el porcentaje óptimo de asfalto del 5% , se consideró disminuir el agregado 3/8 en la fórmula maestra, dado que dicho material corresponde al agregado con mayor porcentaje en la dosificación , particularmente presentó cantidades altas de partículas finas en su granulometría y al realizar la combinación de agregados para la mezcla se obtuvo la cantidad de 0.39% del material pasante del tamiz N°200 lo cual fue considerado como filler, por esta razón se fue añadiendo porcentajes de cal en 1,5%, 2,5% y 3,1% al filler ya obtenido de los agregados con la finalidad de que la relación filler/betún se encuentre dentro del rango de 0.8 a 1.2.

3.9.4.3 Diseño de la Mezcla asfáltica Modificada con cal y fibra de abacá

Para elaborar una mezcla asfáltica incorporando fibra de abacá y posteriormente hacer los ensayos para determinar las propiedades Marshall, fue necesario establecer el tamaño en el que serán añadidas las fibras.

En la investigación realizada por Ferreira da Costa y colaboradores demostraron que las mezclas asfálticas presentaron mejores características al añadir fibras de pseudotallo de la planta de plátano con una longitud de 20 mm en comparación a una mezcla tradicional (Ferreira da Costa et al., 2020).

Por otro lado, Bejarano & Caicedo (2017) en su trabajo investigativo denominado “Análisis del comportamiento físico-mecánico de la mezcla asfáltica tipo MDC.19 con fibra

natural de caña de azúcar” determinaron que el contenido óptimo utilizando fibras de bagazo de caña fue de 0.5% debido a que presentaron un incremento tanto en estabilidad y flujo respecto a una mezcla convencional.

Teniendo en cuenta lo mencionado en los párrafos anteriores, en nuestro trabajo investigativo se decidió trabajar con la fibra a una longitud de 2 cm (ver figura 21) y para la dosificación de las briquetas se partió del contenido de 0.5% de fibra incrementando 0.5% hasta llegar a 1.5%.

Además, se consideró sustituir el agregado 3/4 por la fibra de abacá en la fórmula maestra, dado que la longitud a colocarse de la fibra se asemeja al tamaño nominal del agregado en mención y adicional a esto se consideró alterar a este mismo elemento con la intención de no disminuir los finos de la fórmula maestra ya que al alterar uno de los agregados finos la muestra corría el riesgo de convertirse en un espécimen demasiado pedroso e inclusive con mayor porcentaje de vacíos alejándose de los requerimientos que debería tener una mezcla asfáltica.

Figura 21.

Longitud de la fibra de Abacá.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

3.9.4.4 Preparación de las briquetas

Este procedimiento se llevó a cabo bajo los lineamientos de la norma a ASTM D 6926.

1. Para cada porcentaje de cal se realizan tres briquetas, procurando que el peso de cada probeta sea de 1200 gr.
2. Se calentaron en una estufa los agregados y el asfalto a una temperatura de 160°C para posteriormente mezclarlos, en la prensa de compactación.
3. También se calentó los moldes a una temperatura de 140 °C para que al momento de colocar la mezcla esta se encuentre en condiciones óptimas y se mantenga la temperatura de compactación normada.
4. Obtenida la mezcla homogénea se compactaron las briquetas a una temperatura de 140 °C con un total de 75 golpes por cara, al considerar que será para un tráfico pesado.
5. Finalmente se dejó enfriar los moldes para extraer las briquetas y posteriormente realizar los ensayos correspondientes.

Se elaboraron un total de 9 briquetas para verificar su comportamiento y encontrar el contenido óptimo de cal.

Figura 22.

Elaboración de briquetas modificadas con cal.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

Figura 23.

Elaboración de briquetas modificadas con cal y fibra de abacá.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

3.9.5 Ensayos para mezclas asfálticas

Las briquetas compactadas deben ser ensayadas para verificar que cumpla con las especificaciones que se menciona en la norma (MOP-001-F, 2002).

Tabla 21.

Especificaciones del ensayo Marshall.

Tipo de Tráfico	Muy pesado		Pesado		Medio		Liviano	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
N° de golpes/ cara	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	2200	-----	1800	-----	1200	-----	1000	2400
Flujo (pulg. /100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacíos	3	5	3	5	3	5	3	5
% Vacíos agregados						Ver tabla 22		

Fuente: (MOP-001-F, 2002)

Requisitos para el porcentaje de vacíos del agregado mineral.

Tabla 22.

% 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-001-F, 2002)

3.9.5.1 Peso Específico Densidad aparente (“BULK”)

Para realizar este ensayo se utilizaron las recomendaciones y requerimientos establecidos por la norma ASTM D 1188 bajo el siguiente procedimiento.

Procedimiento

1. Se registran los pesos de todas las briquetas compactadas y extraídas de su molde.
2. Luego se preparó una bandeja de gran dimensión con la capacidad de albergar todas las muestras y que puedan sumergirse totalmente durante un periodo de tiempo de 15 a 30 min.
3. Una vez pasado el periodo de sumersión se extraen las muestras de la bandeja y con un paño absorbente se seca la briqueta hasta lograr la condición de saturado superficialmente seco, para así registrar el peso del total de especímenes.

- Finalmente, con la ayuda de la máquina implementada con balanza, canastilla para contener la briqueta y canasta de agua para la sumersión de la misma se obtienen los pesos sumergidos de cada una de las briquetas para realizar los cálculos pertinentes.

Figura 24.

“Ensayo de peso específico Densidad aparente (Bulk)”



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

3.9.5.2 Ensayo de Estabilidad y flujo Marshall

Este ensayo se realiza para determinar la resistencia de la briqueta a la deformación bajo condiciones de carga en la prensa Marshall, para ello se debe seguir el procedimiento según norma ASTM D 1559 que se detalla a continuación, además se debe tomar en cuenta los factores de corrección de la estabilidad según el volumen de la briqueta (ver tabla 23).

Tabla 23.

“Factores de corrección de la estabilidad según el volumen de la briqueta”

Volumen briqueta (cm ³)	Factor de corrección	Volumen briqueta (cm ³)	Factor de corrección
200-213	5.56	421-431	1.39
214-225	5.00	432-443	1.32
226-237	4.55	444-456	1.25
238-250	4.17	457-470	1.19
251-264	3.85	471-482	1.14
265-276	3.57	483-495	1.09
277-289	3.33	496-508	1.04
290-301	3.03	509-522	1.00
302-316	2.78	523-535	0.96
317-328	2.5	536-546	0.93
329-340	2.27	547-559	0.89
341-353	2.08	560-573	0.86
354-367	1.92	574-585	0.83
368-379	1.79	586-598	0.81
380-392	1.67	599-610	0.78
393-405	1.56	611-625	0.76
406-420	1.47		

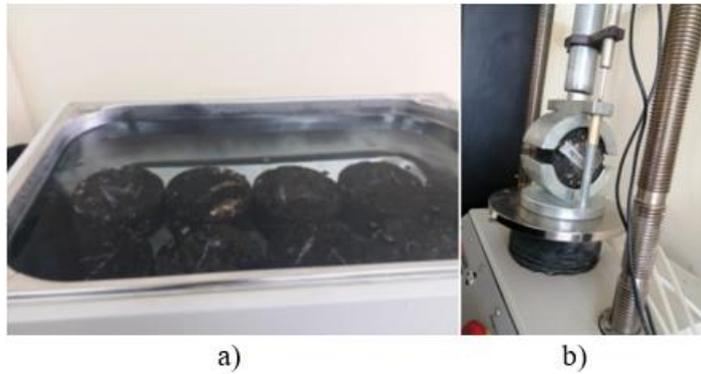
Fuente: ASTM D 2726

Procedimiento

1. Para determinar el volumen de las briquetas tomamos sus medidas y registramos.
2. Colocamos las briquetas en el baño María a 60°C por 30 min.
3. Removemos las briquetas del baño, secamos y colocamos en la prensa Marshall para aplicar la carga a una velocidad de 2" /min hasta que se produzca la rotura.
4. Finalmente se registra la estabilidad y flujo tomadas de las lecturas proporcionadas por la máquina Marshall.

Figura 25.

a) Briquetas preparadas en el baño María b) Briquetas colocadas en la prensa Marshall.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022).

3.9.5.3 Densidad Teórica máxima (Rice)

El ensayo de densidad teórica máxima se realiza bajo la normativa ASTM D 2041 y AASHTO T 209, el procedimiento realizado para determinar esta característica se expone a continuación.

Procedimiento

1. Con la ayuda de una estufa y una bandeja plana se disgrega la briqueta con cuidado de no romper el agregado, una vez disgregado el material se deja enfriar el material para registrar su peso.
2. Se calibra el equipo y se toma el peso del picnómetro con agua, procurando que no quede ninguna partícula de aire en su interior esto con la ayuda del vibrador mecánico y la bomba de vacíos.
3. Una vez registrado el peso del picnómetro calibrado con agua, se desaloja el picnómetro para introducir la muestra disgregada, se procede a incrementar el agua en el picnómetro y se eliminan las partículas de aire con la ayuda de la bomba.
4. Finalmente se registra el peso del picnómetro más agua y la muestra de mezcla asfáltica, para realizar los cálculos respectivos y determinar la densidad teórica máxima (Rice).

Figura 26.

“Ensayo de densidad teórica máxima (Rice)”



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

3.9.5.4 Gravedad específica efectiva del agregado (G_{se})

La gravedad específica del agregado se determinó mediante la siguiente expresión:

$$G_{se} = \frac{100 - P_b}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_{asf}}} * G_{asf}$$

Dónde:

G_{mm} = Gravedad específica máxima medida de la mezcla.

P_b = Porcentaje de asfalto en la mezcla.

G_{asf} = Gravedad específica del asfalto.

3.9.5.5 Gravedad específica neta del agregado (G_{sb})

La gravedad específica neta del agregado se determinó mediante la siguiente expresión:

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_N}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_N}{G_N}}$$

Dónde:

G_{sb} = gravedad específica neta para el agregado total

P_1, P_2, P_n = porcentajes individuales por masa de agregado

G_1, G_2, G_n = gravedad específica neta individual del agregado

3.9.5.6 Asfalto absorbido

El porcentaje de asfalto absorbido se obtiene mediante la ecuación que se muestra a continuación:

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

Dónde:

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado.

Gsb= Gravedad específica bulk de agregado total.

Gasf= Gravedad específica del asfalto.

3.9.5.7 Contenido de asfalto efectivo **Pbe**

Para determinar el asfalto efectivo de la mezcla se empleó la siguiente ecuación:

$$Pbe = Pb - \frac{Pba}{100} * Ps$$

Dónde:

Pb= Porcentaje de asfalto en la mezcla.

Pba= Asfalto absorbido.

Ps= Porcentaje de agregado en la mezcla.

3.9.5.8 Vacíos de aire

El contenido del porcentaje de vacíos de aire presentes en la mezcla asfáltica compactada se determinó con la siguiente ecuación:

$$Va = 100 * \frac{Gmm - Gb}{Gmm}$$

Dónde:

Gb= Peso específico bulk de las briquetas.

Gmm= Gravedad específica máxima medida de la mezcla.

3.9.5.9 Vacíos en el agregado mineral (VMA)

Los vacíos en el agregado mineral se determinaron mediante la siguiente expresión:

$$Vam = 100 - Vagre$$

Dónde:

Vagre= volumen de agregado vs volumen total

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras la determinación de las características de los materiales pétreos, cal, ligante y fibra de abacá se realizaron las mezclas asfálticas en diferentes dosificaciones. El presente capítulo expone los resultados de los ensayos realizados en este trabajo tanto de los materiales por individual como de la mezcla asfáltica ya compactada, para así determinar las características y propiedades Marshall de una mezcla asfáltica modificada y compararla con una mezcla convencional de campo utilizada por la planta asfáltica.

4.1 Resultados de la caracterización de los agregados pétreos

4.1.1 Tenacidad

Tabla 24.

Porcentaje de desgaste del agregado.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA			
		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	26/05/2022		
Norma:	INEN 860	Realizado por:	Romero & Sánchez		
Masa analizada:	5000 gramos	Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño		
ABRASIÓN AGREGADO GRUESO					
Abertura del tamiz		Muestra	Tamiz N°12	Desgaste	
Pasa (in)	Retiene (in)	(gr)	(gr)	%	
3/4	1/2	2500	3972	20,56	
1/2	3/8	2500			

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

El desgaste del material corresponde al 20.56 % sin superar el 40% máximo permitido.

4.1.2 Resistencia a los sulfatos

Tabla 25.

Resistencia a los sulfatos del agregado grueso.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO					
		FACULTAD DE INGENIERÍA					
		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	05/07/2022 al 09/07/2022				
Norma:	INEN 860	Realizado por:	Romero & Sánchez				
Masa analizada:	5000 gramos	Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño				
SOLIDEZ DEL AGREGADO GRUESO USANDO SULFATO DE MAGNESIO							
Tamiz	Masa inicial		Masa final	Pérdida real		Pérdida corregida	Sumatoria de pérdida
(in)	(gr)	(%)	(gr)	(gr)	(%)	%	(%)
3/4 - 1/2	670	51,54	620,29	49,71	7,42	3,82	
1/2 - 3/8	330	25,38	304,1	25,9	7,85	1,99	6,35
3/8 - Nro 4	300	23,08	293,1	6,9	2,30	0,53	

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

Tabla 26.*Resistencia a los sulfatos del agregado fino.*

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	05/07/2022 al 09/07/2022				
Norma:	INEN 860	Realizado por:	Romero & Sánchez				
Masa analizada:	500 gramos	Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño				
SOLIDEZ DEL AGREGADO GRUESO USANDO SULFATO DE MAGNESIO							
Tamiz (in)	Masa inicial (gr)	Masa final (%)	Masa final (gr)	Pérdida real (gr)	Pérdida real (%)	Pérdida corregida (%)	Sumatoria de pérdida (%)
3/8 - #4	100	20	93,1	6,9	6,90	1,38	
#4 - #8	100	20	93,4	6,6	6,60	1,32	
#8 - #16	100	20	88,7	11,3	11,30	2,26	13,66
#16- #30	100	20	87,9	12,1	12,10	2,42	
#30 - #50	100	20	68,6	31,4	31,40	6,28	

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

El desgaste bajo la acción de sulfato de magnesio no supera el porcentaje máximo permitido del 18%, por lo que se considera que el agregado en la mezcla asfáltica tendrá un adecuado comportamiento a la intemperie.

4.1.3 Caras fracturadas

Tabla 27.*Porcentaje de partículas con caras fracturadas.*

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	06/06/2022	
Norma:	ASTM D 5821	Realizado por:	Romero & Sánchez	
Masa analizada:	Correspondiente a cada tamaño	Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño	
CARAS FRACTURADAS				
Tamaño (in)	Muestra (gr)	Caras Fracturadas	Cantidad (gr)	Porcentaje%
3/4	2001	cero	320	15,99%
		una o más	1681	84,01%
3/8	300	cero	35	11,67%
		una o más	264	88,00%

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

De acuerdo al ensayo realizado se tiene que el porcentaje de caras fracturadas es del 84.01 % para el agregado grueso y 88.00% el agregado medio, lo cual indica que el árido cumple con el requerimiento mínimo del 80% y que tendrá una buena adherencia en la mezcla.

4.1.4 Partículas planas y alargadas

Tabla 28.

Porcentaje de partículas planas y alargadas.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIRÍA CIVIL			
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	06/06/2022		
Norma:	ASTM D 4791	Realizado por:	Romero & Sánchez		
Masa analizada:	Correspondiente a cada tamaño	Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño		
PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS					
Tamaño (in)	Muestra (gr)	Caras Planas y alargadas	Cantidad (gr)	Porcentaje%	
1/2	2000	cero	1864,7	93,24%	
		una o más	135,3	6,77%	
3/4	5000	cero	4808	96,16%	
		una o más	192	3,84%	

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

El porcentaje de partículas planas y alargadas corresponde al 6.77% al agregado intermedio y el 3.84% al agregado grueso, valores inferiores al 10% que indica la especificación, así que es considerando un material adecuado para la mezcla.

4.1.5 Granulometría

Tras aplicar la norma INEN 696 se obtuvieron las siguientes granulometrías:

Tabla 29.

Granulometría agregado grueso 3/4.

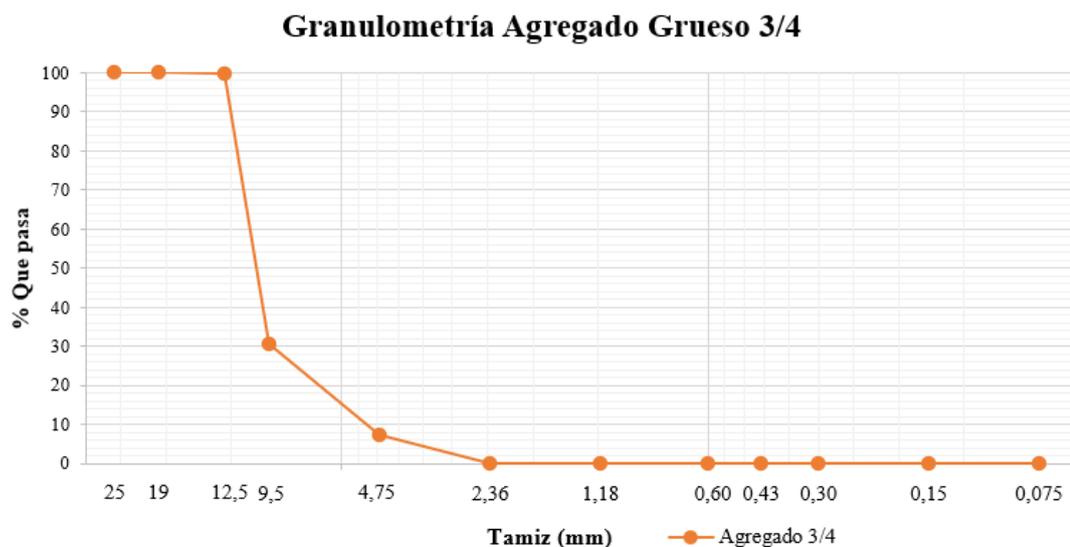
		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIRÍA CIVIL			
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	12/07/2022		
Norma:	INEN 696	Realizado por:	Romero & Sánchez		
Masa analizada:	5000 gramos	Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño		
GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO 3/4					
Tamiz (in)	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Peso ret. Acumulado (g)	% Retenido	%Pasa
1	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4	19,00	20,00	20,00	0,40	99,60
1/2	12,50	3443,00	3463,00	69,26	30,74
3/8	9,50	1177,00	4640,00	92,80	7,20
Nro. 4	4,75	356,00	4996,00	99,92	0,08
Nro. 8	2,36	0,00	4996,00	99,92	0,08
Nro. 16	1,18	0,00	4996,00	99,92	0,08
Nro. 30	0,60	0,00	4996,00	99,92	0,08

Nro. 40	0,43	0,00	4996,00	99,92	0,08
Nro. 50	0,30	1,20	4997,20	99,94	0,06
Nro. 100	0,15	0,00	4997,20	99,94	0,06
Nro. 200	0,075	0,70	4997,90	99,96	0,04
Fondo	0	0	4997,90	100	0

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

Figura 27.

Granulometría agregado grueso 3/4.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

Tabla 30.

Granulometría agregado intermedio 3/8.

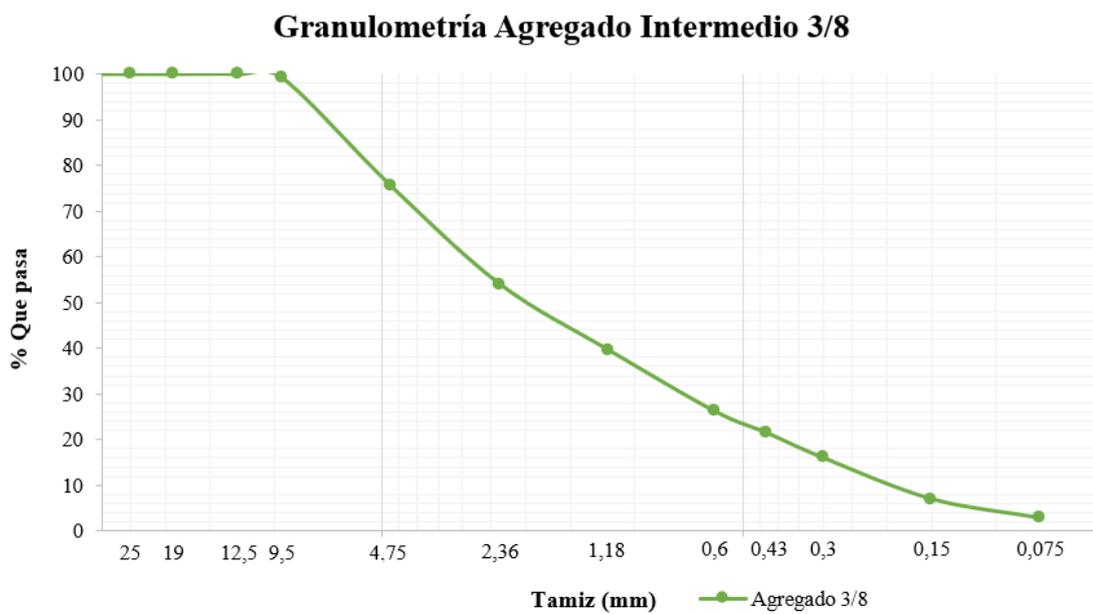
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO				
FACULTAD DE INGENIERÍA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo: 12/07/2022			
Norma:	INEN 696	Realizado por: Romero & Sánchez			
Masa analizada:	2000 gramos	Tutor: Ing. Vladimir Pazmiño			
GRANULOMETRÍA AGREGADO INTERMEDIO 3/8					
Tamiz (in)	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Peso ret. Acumulado (g)	% Retenido	%Pasa
1	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,50	15,00	15,00	0,75	99,25
Nro. 4	4,75	472,00	487,00	24,35	75,65
Nro. 8	2,36	433,00	920,00	46,00	54,00
Nro. 16	1,18	288,00	1208,00	60,40	39,60
Nro. 30	0,60	268,00	1476,00	73,80	26,20
Nro. 40	0,43	95,00	1571,00	78,55	21,45
Nro. 50	0,30	109,00	1680,00	84,00	16,00

Nro. 100	0,15	181,00	1861,00	93,05	6,95
Nro. 200	0,075	83,00	1944,00	97,20	2,80
Fondo	0	42,00	1986,00	100	0

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

Figura 28.

Granulometría agregado intermedio 3/8.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

Tabla 31.

Granulometría agregado fino arena.

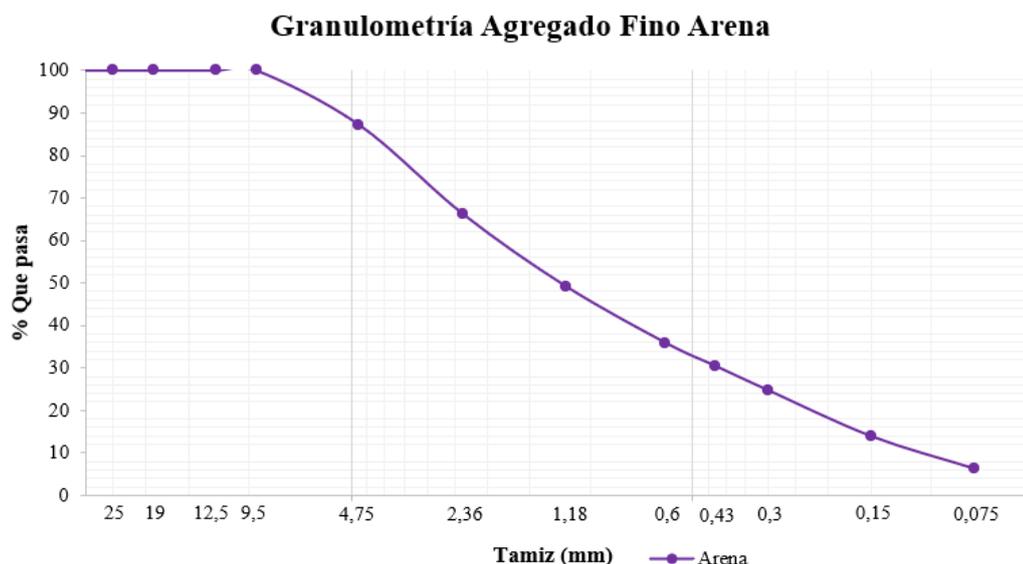
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	12/07/2022		
Norma:	INEN 696	Realizado por:	Romero & Sánchez		
Masa analizada:	500 gramos	Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño		
GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO ARENA					
Tamiz (in)	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Peso ret. Acumulado (g)	% Retenido	%Pasa
1	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nro. 4	4,75	64,00	64,00	12,80	87,20
Nro. 8	2,36	105,00	169,00	33,80	66,20
Nro. 16	1,18	85,00	254,00	50,80	49,20
Nro. 30	0,60	67,00	321,00	64,20	35,80
Nro. 40	0,43	27,00	348,00	69,60	30,40
Nro. 50	0,30	29,00	377,00	75,40	24,60

Nro. 100	0,15	54,00	431,00	86,20	13,80
Nro. 200	0,075	38,00	469,00	93,80	6,20
Fondo	0	26,00	495,00	100	0

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

Figura 29.

Granulometría agregado fino arena.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

4.1.6 Peso específico y absorción

Tabla 32.

Peso específico y absorción del agregado 3/4.

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	06/06/2022
Norma:	INEN 857	Realizado por:	Romero & Sánchez
Masa analizada:	3000 gramos	Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO 3/4			
Variable	Definición	Peso (gr)	
A	Masa de la muestra seca al horno	2985	
B	Masa de la muestra Saturada con superficie Seca (SSS)	3015	
C	Masa de la muestra sumergida	1861,1	
DENSIDADES Y ABSORCIÓN			
Densidad Relativa (gravedad específica Bulk) (SH) (gr/cm ³)	A/(B - C)	2,59	
Densidad Relativa (gravedad específica SSS) (gr/cm ³)	B/(B - C)	2,61	
Densidad Relativa Aparente (gravedad específica aparente) (gr/cm ³)	A/(A - C)	2,66	
Absorción %	((B-A)/A)*100	1,01	

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

Tabla 33.*Peso específico y absorción del agregado 3/8.*

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	06/06/2022
Norma:	INEN 857	Realizado por:	Romero & Sánchez
Masa analizada:	2000 gramos	Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO 3/8			
Variable	Definición	Peso (gr)	
A	Masa de la muestra seca al horno	1993	
B	Masa de la muestra Saturada con superficie Seca (SSS)	2015	
C	Masa de la muestra sumergida	1235	
DENSIDADES Y ABSORCIÓN			
Densidad Relativa (gravedad específica Bulk) (SH) (gr/cm ³)	$A/(B - C)$	2,56	
Densidad Relativa (gravedad específica SSS) (gr/cm ³)	$B/(B - C)$	2,59	
Densidad Relativa Aparente (gravedad específica aparente) (gr/cm ³)	$A/(A - C)$	2,63	
Absorción %	$((B-A)/A)*100$	1,10	

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)**Tabla 34.***Peso específico y absorción del agregado fino.*

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	06/06/2022
Norma:	INEN 856	Realizado por:	Romero & Sánchez
Masa analizada:	500 gramos	Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN ARENA			
Variable	Definición	Peso (gr)	
A	Masa de la muestra seca al horno	498	
B	Masa de la muestra Saturada con superficie Seca (SSS)	1236,3	
C	Masa de la muestra sumergida	1544,8	
DENSIDADES Y ABSORCIÓN			
Densidad Relativa (gravedad específica Bulk) (SH) (gr/cm ³)	$A/(B - C)$	2,60	
Densidad Relativa (gravedad específica SSS) (gr/cm ³)	$B/(B - C)$	2,61	
Densidad Relativa Aparente (gravedad específica aparente) (gr/cm ³)	$A/(A - C)$	2,63	
Absorción %	$((B-A)/A)*100$	0,4016	

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

4.1.7 Límites de Atterberg

4.1.7.1 Límite líquido

Tabla 35.

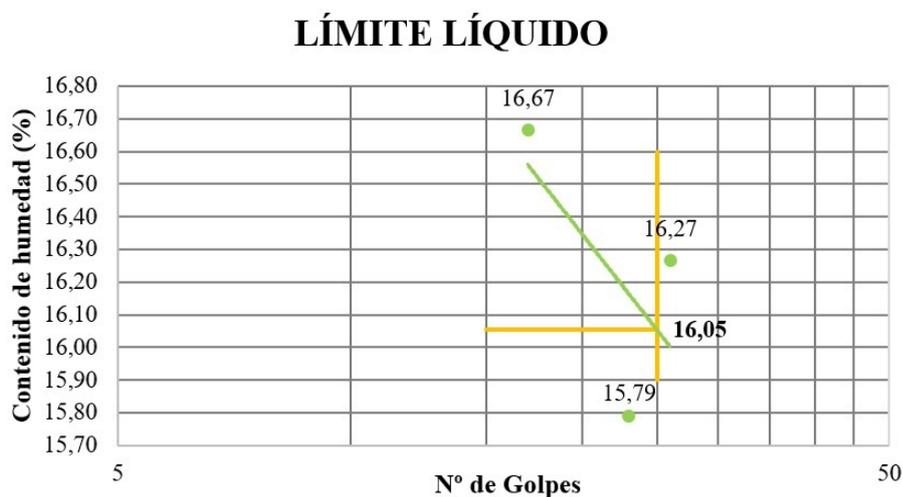
“Ensayo de límite líquido”

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		 FACULTAD DE INGENIERÍA UNACH					
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	09/06/2022				
Norma:	INEN 692	Realizado por:	Romero & Sánchez				
Masa analizada:	100 gramos	Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño				
LÍMITE LÍQUIDO							
Muestra	Peso Tara (g)	Peso con muestra húmeda (g)	Peso con muestra seca (g)	# Golpes	Peso del agua	Peso suelo seco	Contenido de humedad
1	14.8	42.8	38.8	17	4	24	16.67
2	14.2	31.8	29.4	23	2.4	15.2	15.79
3	14.4	38.7	35.3	26	3.4	20.9	16.27
Límite líquido							16.11%

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

Figura 30.

Límite Líquido



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

4.1.7.2 Límite plástico

El límite plástico en este caso de estudio es igual a 0 esto es debido a que el suelo con el que se trabaja es arena de río por lo que no presenta arcillas en su composición.

4.2 Resultados de la caracterización de la fibra

4.2.1 Densidad específica de la fibra

Tabla 36.

Densidad específica de la fibra de abacá.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	14/06/2022		
Norma:	INEN 2527	Realizado por:	Romero & Sánchez		
Masa analizada:	Correspondiente a c/u	Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño		
DENSIDAD ESPECÍFICA DE LA FIBRA					
Muestra	D (gr)	H (gr)	(W+H) (gr)	PI (gr/cm ³)	PF (gr/cm ³)
1	0,6323	20,1	20,25	1	1,31
2	0,6581	20,1	20,27	1	1,35
3	0,9517	20,1	20,38	1	1,42
4	0,767	20,1	20,30	1	1,35
5	0,7572	20,1	20,35	1	1,49
Media (g/cm³)					1,38
Desviación Estándar (%)					0,072
Coefficiente de Variación (%)					5,17
FÓRMULAS					
Densidad aparente de la fibra en (gr/cm ³)			PF		
Densidad del líquido (gr/cm ³)			PI		
Peso del espécimen acondicionado (gr)			D		
Peso sumergido de la canastilla (gr)			H		
Peso sumergido de la canastilla + el espécimen (gr)			(W+H)		
$PF = \frac{D * PI}{D + H - (W + H)}$					

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

4.2.2 Densidad lineal de la fibra

Tabla 37.

Ensayo de densidad lineal de la fibra

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	14/06/2022
Norma:	INEN 2527	Realizado por:	Romero & Sánchez
Masa analizada:	Correspondiente a c/u	Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño
DENSIDAD LINEAL DE LA FIBRA			
Muestra	Peso (gr)	Longitud (cm)	Densidad (g/km)
1	0,3876	150,00	258,40
2	0,3650	150,00	243,33
3	0,3658	150,00	243,87
4	0,3849	150,00	256,60
5	0,2881	150,00	192,07

Media (g/km)	238,85
Desviación Estándar (%)	27,070
Coefficiente de Variación (%)	11,33

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

4.2.3 Porcentaje de absorción de la fibra

Tabla 38.

Porcentaje de Absorción de la Fibra de Abacá.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA			
		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:			
Norma:	INEN 872	Realizado por:	Romero & Sánchez		
Masa analizada:	Correspondiente a c/u	Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño		
Porcentaje de Absorción de la Fibra de Abacá					
Muestra	Peso Seco (gr)	Peso SSS (gr)	% Absorción		
A	0.0498	0.0881	76.91		
B	0.0520	0.0903	73.66		
C	0.0515	0.0898	74.45		
D	0.0490	0.0873	78.17		
E	0.0512	0.0895	74.81		
			Media (%)	75.60	
			Desviación Estándar (%)	1.87	
			Coefficiente de Variación (%)	2.48	

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

4.3 Resultados de la caracterización de la cal

4.3.1 Masa unitaria

Tabla 39.

Masa unitaria suelta y compactada de la cal.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA			
		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	15/06/2022		
Norma:	INEN 858	Realizado por:	Romero & Sánchez		
		Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño		
MASA UNITARIA DE LA CAL					
	Masa del molde (gr)	Volumen del molde (cm³)	Mole + muestra (g)	Masa de la muestra (gr)	Masa unitaria (gr/cm³)
Suelta	3136	2961,61	5580	24444	0,825
Compacta	3136	2961,61	5709	2573	0,869

FÓRMULAS

Masa del agregado (gr)	MA	
Masa del molde + agregado(gr)	MT	$MA = MT - MM$
Masa del molde (gr)	MM	
Volumen del molde (cm ³)	VM	$MU = \frac{MA}{WM}$
Masa Unitaria del agregado (gr/ cm ³)	MU	

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

4.3.2 Granulometría de la Cal

Tabla 40.

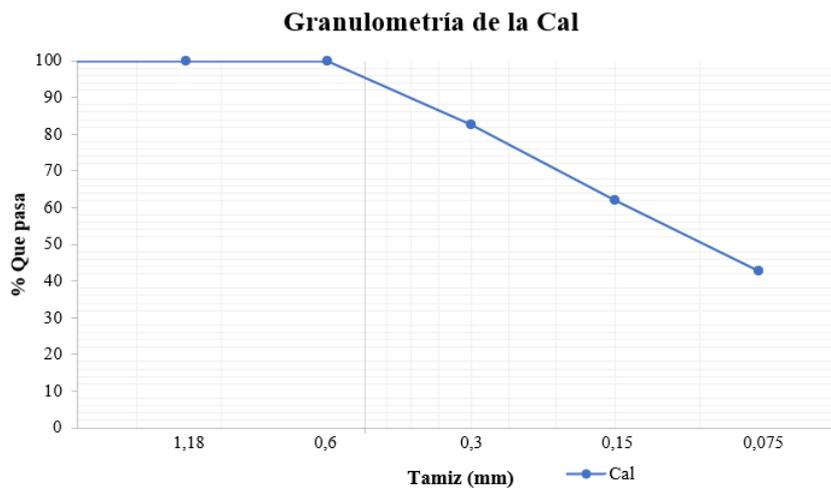
Ensayo de la granulometría de la Cal

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIRÍA CIVIL			
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	12/07/2022		
Norma:	INEN 696	Realizado por:	Romero & Sánchez		
Masa analizada:	500 gramos	Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño		
GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO ARENA					
Tamiz (in)	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Peso ret. Acumulado (g)	% Retenido	%Pasa
Nro. 50	0,30	17,30	17,30	17,56	82,44
Nro. 100	0,15	20,30	37,60	38,17	61,83
Nro. 200	0,075	18,80	56,40	57,26	42,74
Fondo	0	42,10	98,50		

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

Figura 31.

"Curva granulométrica de la Cal"



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

4.4 Resultados de la caracterización del asfalto

Tabla 41.

Propiedades del asfalto con sus normativas y resultados.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO				
FACULTAD DE INGENIERÍA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:				
Norma:	Según corresponda	Realizado por:		Petro Ecuador		
Masa analizada:	AC-20	Tutor:		Ing. Vladimir Pazmiño		
Resultados de la Caracterización del Asfalto						
Parámetro	Norma	Especificación		Resultado	Unidad de medida	U2
		Mín.	Max.			
Viscosidad Absoluta 140 °F (60°C)	ASTM D2171_NTE INEN 810	160	240	180	Pas	±5 %
Viscosidad Cinemática 275 °F (135°C)	ASTM D2171_NTE INEN 810/1981	300	-	358	mm ² /s	±1,9 %
Penetración 77 °F (25 °C 100 G. 5s)	ASTM D5_NTE INEN 918	60	-	78	Dmm	±4 dmm
Punto de Inflamación	ASTM D92_NTE INEN 808	232	-	286	°C	±5 °C
Solubilidad en Tricloroetileno*	ASTM D2042_NTE INEN 915	99	-	99.94	%P	-
Residuo de ensayos de película fina en horno rotatorio*	N/A	N/A	N/A	N/A	-	-
Viscosidad 60°C*	ASTM D2171_NTE INEN 810	-	800	648	Pas	±N/A
Ductibilidad 77 °F (25 °C) 5cm/min*	ASTM D113_NTE INEN 916	50	-	65	Cm	-
Gravedad API a 60°F (25 °C) 5cm/min*	ASTM D1298_NTE INEN 2319	REPORTE	REPORTE	7.1	°API	±N/A
Densidad Relativa (15,6/15,6 °C)	ASTM D1298_NTE INEN 2319	REPORTE	REPORTE	1,0209	-	±N/A
Gravedad Específica 25/25 °C	ASTM 70	REPORTE	REPORTE	1,010	-	±0,002
Punto de ablandamiento*	ASTM D36	-	-	48,2	°C	-
Índice de penetración*	ASTM D5	-1.5	1	-0,6	-	-
Cambio de masa*	ASTM D2872	-	1	-0,200	%P	-

Fuente: (COVIPAL.S.A., 2022)

4.5 Resultados del diseño la mezcla asfáltica convencional

Para el diseño de la mezcla asfáltica convencional se tomó la fórmula maestra utilizada por la empresa COVIPAL S.A. misma que se muestra en la tabla 42.

Tabla 42.

Fórmula de trabajo de planta asfáltica.

Agregados	%	Masa (gr)
3/4"	24.4	292.80
3/8"	55.4	664.80
Arena	15.2	182.40
Asfalto	5	60.00
Total	100	1200

Fuente: (COVIPAL.S.A., 2022)

4.5.1 Faja del diseño la mezcla asfáltica convencional

En base a la granulometría del material y a la dosificación propuesta se verifica que la combinación de los agregados se encuentre dentro de las curvas de los límites mínimos y máximos que especifica la normativa en la tabla 16.

Tabla 43.

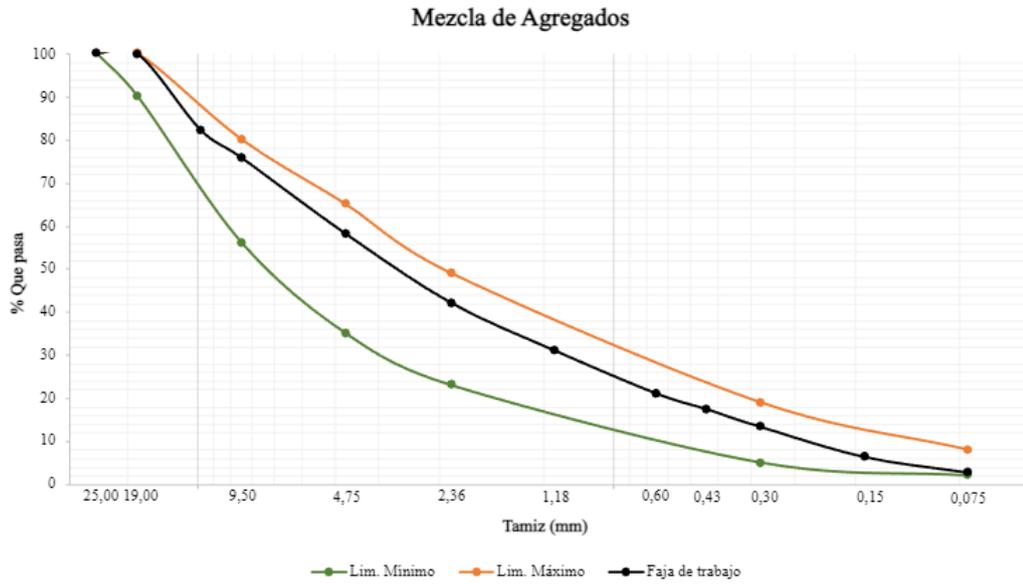
Faja granulométrica de diseño.

Denominación del Tamiz		% Que pasa en Peso			Observación
(mm)	ASTM	Valor Min.	Fórmula Maestra	Valor Max.	
25	1"	-	100.00	100	CUMPLE
19	3/4"	90	99.9	100	CUMPLE
12.5	1/2"	-	82.2	-	CUMPLE
9.5	3/8"	56	75.7	80	CUMPLE
4.75	N°4	35	58.1	65	CUMPLE
2.36	N°8	23	42.1	49	CUMPLE
1.18	N°16	-	31	-	CUMPLE
0.60	N°30	-	21	-	CUMPLE
0.43	N°40	-	17.4	-	CUMPLE
0.30	N°50	5	13.3	19	CUMPLE
0.15	N°100	-	6.3	-	CUMPLE
0.075	N°200	2	2.6	8	CUMPLE

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

Figura 32.

Banda de trabajo 3/4" de la mezcla convencional.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

Como se aprecia en la tabla 43 y la figura 32 el diseño de la mezcla convencional cumple con los límites máximos y mínimos requeridos para una mezcla asfáltica densa 3/4".

4.5.1.1 Resultados del ensayo de estabilidad y flujo.

Tabla 44.

Estabilidad y flujo de las briquetas del diseño convencional.

Briquetas dosificación convencional					
Fecha		Código	Dosificación	Estabilidad (lb)	Flujo 1/100 (pulg)
Muestra	Ensayo				
11/02/2022	12/02/2022	1N	95% agregados 5% asfalto	3462	14,1
		2N		3783,36	13,8
		3N		3327	13,6
		4N		4485,52	14,3
		5N		3320,64	13,7

Fuente: (Noboa, 2022)

4.5.1.2 Resultados de % de vacíos y % VAM

Tabla 45.

% de vacíos, % VAM y Gsb de la dosificación convencional.

Dosificación	Código	Briquetas dosificación convencional		%Vacíos*	%VAM
		Gsb (g/cm ³)	Gmm (g)		
95% agregados – 5% asfalto	1N	2,386			11,9057
	2N	2,250			16,9274
	3N	2,345	2,472	5,6239	13,4391
	4N	2,389			11,7934
	5N	2,296			15,2367

*El %vacíos fue calculado con un promedio de Gmm de todas las muestras

Fuente: (Noboa, 2022)

Los resultados fueron obtenidos del trabajo de investigación denominado “Diseño de una mezcla asfáltica adicionando mascarillas quirúrgicas desechables como material constitutivo”, elaborado por Noboa (2022), puesto que se utilizaron los agregados y el asfalto de la misma empresa.

4.6 Resultados del diseño la mezcla asfáltica modificada con cal

El cálculo de la cantidad de cal a empezarse en la dosificación de la mezcla se realizó considerando la densidad máxima teórica de 2.4305, obteniendo tres porcentajes mediante la relación filler/ betún con la finalidad de obtener el comportamiento de la mezcla con los valores: inferior, intermedio y superior del rango 0.8-1.2 como se muestra en la tabla 46.

Tabla 46.

Determinación del porcentaje de cal mediante la relación filler/betún.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Ubicación:	UNACH	Realizado por:	Romero & Sánchez		
		Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño		
RELACIÓN FILLER/BETÚN					
Relación f/a 0.8		Relación f/a 0.9		Relación f/a 1.2	
Pbe	4,28	Pbe	4,28	Pbe	4,28
% pasa #200	2	% pasa #200	2	% pasa #200	2
% cal	1,5	% cal	2,5	% cal	3,1
% filler	3,5	% filler	4,5	% filler	5,1
f/a	0,818	f/a	1,052	f/a	1,192
FÓRMULAS					
Porcentaje de asfalto efectivo			Pbe	$f/a = \frac{\% \text{ filler}}{Pbe}$	
Porcentaje que pasa el tamiz N°200			% filler		

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

Tabla 47.*Dosificaciones de la mezcla asfáltica modificada con cal.*

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
DOSIFICACIONES DE LA MEZCLA CON CAL							
Dosificación	filler/betún		3/4	3/8	Arena	Cal	Asfalto
5% Asfalto, 93.5% Agregados 1.5% cal	0.8	%	24.4	53.9	15.2	1.5	5
		Masa (gr)	292,8	646,8	182,4	18	60
5% Asfalto, 92.5% Agregados 2.5% cal	0.9	%	24.4	52.9	15.2	1.5	5
		Masa (gr)	292,8	634,8	182,4	30	60
5% Asfalto, 91,9% Agregados 3,1% cal	1.2	%	24.4	52.3	15.2	1.5	5
		Masa (gr)	292,8	627,6	182,4	37,2	60

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)**4.6.1 Resultados de la mezcla asfáltica con cal****4.6.1.1 Resultados peso específico bulk y VAM con Cal****Tabla 48.***Ensayo de peso específico Bulk y VAM con Cal*

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	15/07/2022				
Norma:	ASTM D 1188	Realizado por:	Romero & Sánchez				
		Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño				
Peso Específico Bulk y VAM							
Dosificación	Código	Wa (gr)	Wss (gr)	Ww (gr)	Gb	VAM	
5% Asfalto, 93.5% Agregados 1.5% cal	B1.1 B1.2 B1.3	1180,70 1191,90 1181,50	1182,40 1192,10 1182,70	692,50 704,20 692,20	2,410 2,443 2,409	12,955 11,769 13,002	
5% Asfalto, 92.5% Agregados 2.5% cal	B2.1 B2.2 B2.3	1185,60 1154,50 1187,90	1187,20 1155,20 1188,80	695,10 680,80 697,40	2,409 2,434 2,417	12,793 11,604 12,840	
5% Asfalto, 91,9% Agregados 3,1% cal	B3.1 B3.2 B3.3	1195,10 1193,20 1182,70	1196,70 1194,90 1183,90	699,50 700,90 691,10	2,404 2,415 2,400	12,690 11,501 12,738	

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

4.6.1.2 Resultados del ensayo de estabilidad y flujo.

Tabla 49.

Estabilidad y flujo de las briquetas con cal.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	18/07/2022	
Norma:	ASTM D 1559	Realizado por:	Romero & Sánchez	
		Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño	
ESTABILIDAD Y FLUJO				
Dosificación	Código	Estabilidad (lb)	Flujo 1/100 (in)	Estabilidad* (lb)
5% Asfalto,	B1.1	2933,00	9,00	3050,32
93.5% Agregados	B1.2	3242,00	4,00	3112,32
1.5% cal	B1.3	2933,00	8,00	2933,00
5% Asfalto,	B2.1	2776,00	6,00	2887,04
92.5% Agregados	B2.2	2548,00	9,00	2777,32
2.5% cal	B2.3	3391,00	12,00	3526,64
5% Asfalto,	B3.1	2869,00	8,00	2869,00
91,9% Agregados	B3.2	2315,00	12,00	2315,00
3,1% cal	B3.3	2918,00	13,00	3034,72

Nota: Estabilidad* significa estabilidad corregida.

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

4.6.1.3 Resultados ensayo de densidad máxima teórica (RICE) con Cal

Tabla 50.

Densidad máxima teórica Rice (Gmm) y % de vacíos.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	25/07/2022			
Norma:	ASTM D 2041	Realizado por:	Romero & Sánchez			
		Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño			
Densidad máxima teórica Gmm y % de Vacíos						
Muestra	Código	Peso de la muestra (Kg)	Peso Picnómetro + Agua (Kg)	Peso Picnómetro + agua + material (Kg)	Rice (Gmm)	%Vacíos
1,5% Cal	B2,1	1.173	15.812	16,517	2,51	3,42
2,5 % Cal	B2,2	1.147	15.812	16,505	2,53	4,21
3,1 % Cal	B3,3	1.177	15.812	16,518	2,50	3,71

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

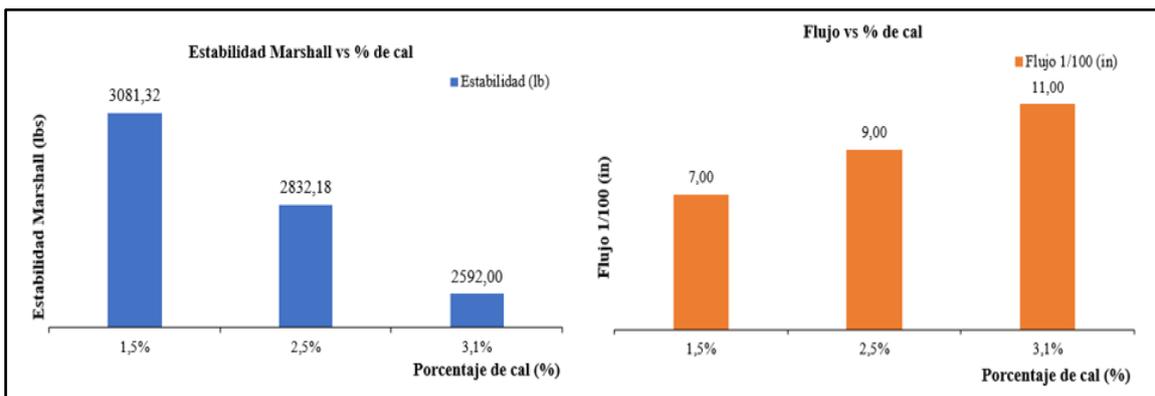
4.6.2 Análisis de las propiedades de la mezcla asfáltica con cal.

En base al análisis de resultados se identifica que la muestra con 1,5% de cal presenta la mayor estabilidad, pero el menor flujo, es decir poca deformación. La muestra con 3,1% tiene la menor estabilidad y el mayor flujo, demostrando demasiada deformación. Y la muestra con 2,5% de cal obtuvo una estabilidad mayor que la de 3,1% pero similar a la de 1,5%, en cuanto al flujo el espécimen de 2,5% obtuvo un resultado promedio entre la mezcla con 1,5% y la mezcla con 3,1% de cal (ver figura 33), es por esto que la muestra considerada con mejor comportamiento es la de 2,5% de cal debido a que cumple con una buena estabilidad y flujo manteniéndose hacia el centro del rango de relación filler/betún, además la curva granulométrica se encuentra dentro de las curvas de los límites mínimos y máximos que especifica la normativa ver figura 34.

Los valores del porcentaje de vacíos y el porcentaje de vacíos del agregado mineral (VAM) figura 35 de todas las muestras se encuentran dentro de los requerimientos normados como se muestran en las tablas 21 y 22.

Figura 33.

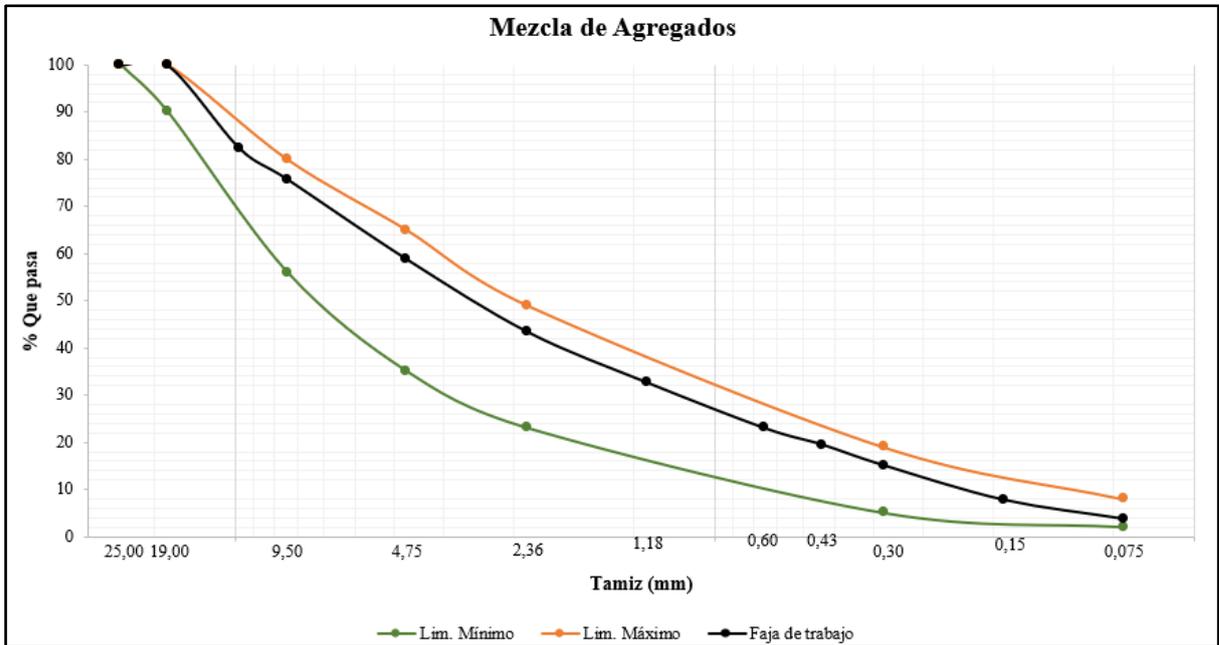
Estabilidad y flujo de la mezcla modificada con cal.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

Figura 34.

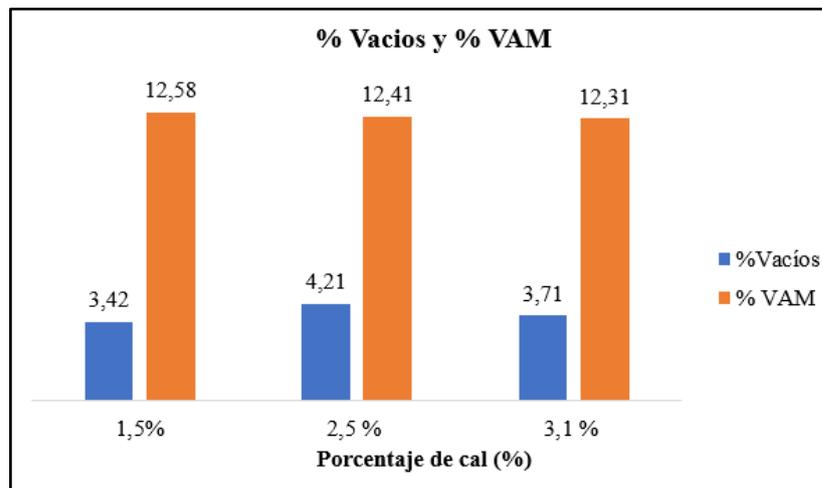
Banda de trabajo 3/4" de la mezcla modificada con cal.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

Figura 35.

% de vacíos y % VAM de la mezcla modificada con cal.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

4.7 Resultados del diseño la mezcla asfáltica modificada con cal más fibra de abacá

Una vez analizados los resultados en las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de cal se toma como nueva fórmula maestra la que contiene 2,5% de cal, tomando en consideración que esta fórmula se encuentra en un intermedio del rango de la relación filler/betún, además de dar como resultado una buena estabilidad y flujo. Según lo expuesto en la metodología del presente trabajo, se llegó a las dosificaciones que se muestra en la tabla 51.

Tabla 51.

Dosificación de la mezcla modificada con cal y fibra de abacá.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
DOSIFICACIONES DE LA MEZCLA CON CAL + FIBRA DE ABACÁ							
Dosificación		3/4	3/8	Arena	Cal	Fibra	Asfalto
5% Asfalto, 92% Agregados 2.5% cal, 0.5% Fibra	% Masa (gr)	23,9 286,8	52,9 634,8	15,2 182,4	2,5 30	0,5 6	5 60
5% Asfalto, 91.5 % Agregados 2.5% cal, 1% Fibra	% Masa (gr)	23,4 280,8	52,9 634,8	15,2 182,4	2,5 30	1 12	5 60
5% Asfalto, 91% Agregados 2.5% cal, 1.5% Fibra	% Masa (gr)	22,9 274,8	52,9 634,8	15,2 182,4	2,5 30	1,5 18	5 60

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

4.7.1 Resultados de la mezcla asfáltica con cal más fibra de abacá

4.7.1.1 Resultados peso específico bulk y VAM con Cal y Fibra

Tabla 52.

Ensayo de peso específico Bulk (Gb) y VAM con Cal y Fibra.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	03/08/2022				
Norma:	ASTM D 1188	Realizado por:	Romero & Sánchez				
		Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño				
Peso Específico Bulk y VAM							
Dosificación	Código	Wa (gr)	Wss (gr)	Ww (gr)	Gb	VAM	
5% Asfalto, 92% Agregados 2.5% cal, 0.5% Fibra	BF1 BF1.1 BF1.1.1	1172,00 1179,20 1181,80	1172,70 1179,40 1182,80	680,30 686,20 689,70	2,380 2,391 2,397	13,416 13,026 12,816	
5% Asfalto, 91.5 % Agregados 2.5% cal, 1% Fibra	BF2 BF2.1 BF2.1.1	1187,10 1182,60 1182,30	1187,90 1184,00 1184,10	664,50 665,70 664,10	2,268 2,282 2,274	17,103 16,605 16,898	
5% Asfalto, 91% Agregados 2.5% cal, 1.5% Fibra	BF3 BF3.1 BF3.1.1	1170,80 1194,90 1180,90	1171,30 1198,40 1183,40	673,20 641,00 652,30	2,351 2,144 2,223	16,233 23,603 20,706	

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

4.7.1.2 Resultados del ensayo de estabilidad y flujo.

Tabla 53.

Estabilidad y flujo de las briquetas con cal y fibra de abacá.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	04/08/2022	
Norma:	ASTM D 1559	Realizado por:	Romero & Sánchez	
		Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño	
ESTABILIDAD Y FLUJO				
Dosificación	Código	Estabilidad (lb)	Flujo 1/100 (in)	Estabilidad* (lb)
5% Asfalto,	BF1	4020,00	27,00	4180,80
92% Agregados	BF1.1	4093,00	8,00	4461,37
2.5% cal, 0.5% Fibra	BF1.1.1	4547,00	6,00	4728,88
5% Asfalto,	BF2	4635,00	26,00	4820,40
91.5 % Agregados	BF2.1	3976,00	6,00	3816,96
2.5% cal, 1% Fibra	BF2.1.1	3420,00	14,00	3283,20
5% Asfalto,	BF3	4199,00	18,00	3905,07
91% Agregados	BF3.1	4789,00	6,00	4980,56
2.5% cal, 1.5% Fibra	BF3.1.1	3763,00	20,00	3349,07

Nota: Estabilidad* significa estabilidad corregida.

Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

4.7.1.3 Resultados ensayo de densidad máxima teórica (RICE) con Cal y Fibra

Tabla 54.

Densidad máxima teórica Rice (Gmm) y % de vacíos.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Ubicación:	UNACH	Fecha de ensayo:	04/08/2022			
Norma:	ASTM D 2041	Realizado por:	Romero & Sánchez			
		Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño			
Densidad máxima teórica Gmm y % de Vacíos						
Muestra	Código	Peso de la muestra (Kg)	Peso Picnómetro + Agua (Kg)	Peso Picnómetro + agua + material (Kg)	Rice (Gmm)	%Vacíos
0,5 % Fibra	BF1	1,185	15.812	16,552	2,663	10,28
1 % Fibra	BF2	1,157	15.812	16,526	2,612	12,91
1.5 % Fibra	BF3	1,179	15.812	16,557	2,717	17,57

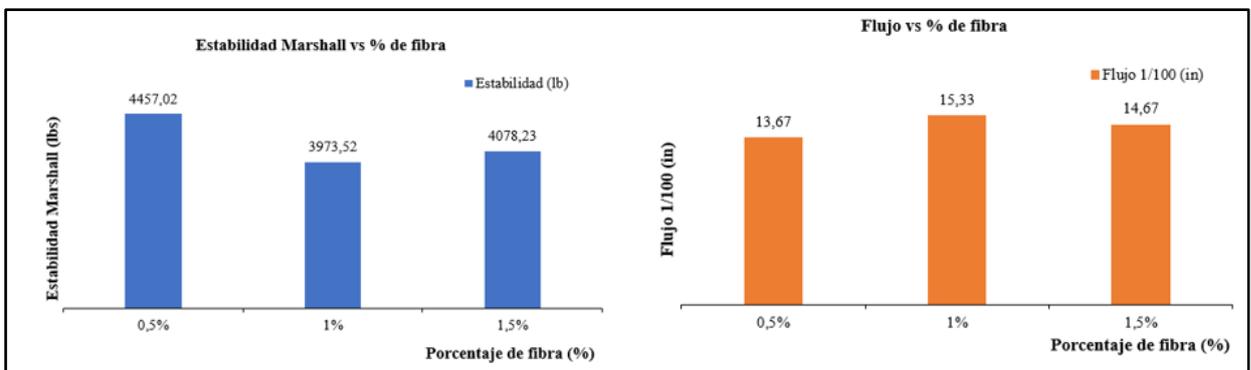
Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

4.7.2 Análisis de las propiedades de la mezcla asfáltica con cal y fibra de abacá.

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede visualizar en la figura 36 que al implementar fibra de abacá en la mezcla la estabilidad aumenta en comparación a las muestras elaboradas con cal, en donde la muestra con 0,5 % de fibra tiene el mejor comportamiento, puesto que obtuvo el valor más alto en cuanto a estabilidad y el valor del flujo como el valor del % VAM se encuentran dentro del rango permitido que establece la norma (8-14 in/100) y (12-14%) respectivamente. Sin embargo, el porcentaje de vacíos presente en la mezcla de todos los especímenes excede el límite requerido en las especificaciones de la norma.

Figura 36.

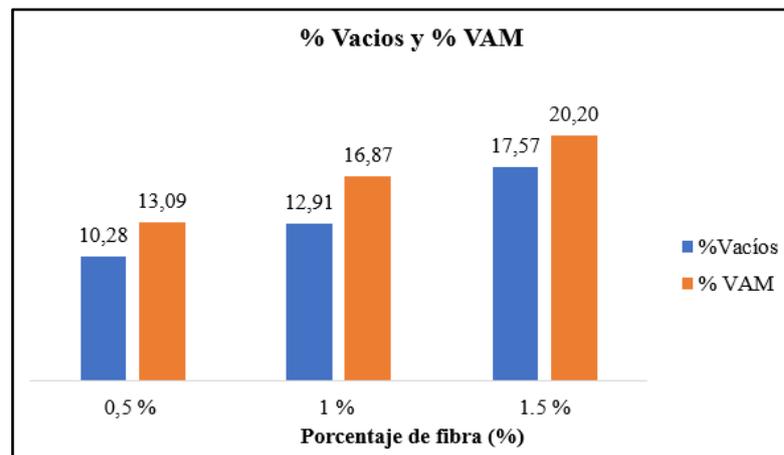
Estabilidad y flujo de la mezcla modificada con cal y fibra de abacá.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

Figura 37.

% de vacíos y % VAM de la mezcla modificada con cal y fibra de abacá.



Fuente: (Romero & Sánchez, 2022)

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se elaboraron 6 diferentes fórmulas 3 incrementando cal y 3 incrementando cal y fibra en la fórmula maestra original, todas estas 6 muestras con diferentes porcentajes de agregados pétreos, pero manteniendo el 5% de asfalto de la fórmula original.

Partiendo del rango de la relación filler/betún de 0.8 a 1.2 las tres dosificaciones con cal se lograron del límite inferior de 0.8, un límite intermedio de 0.9 y el límite superior de 1.2. Se pudo apreciar que al incrementar el porcentaje de cal el flujo del espécimen de trabajo también incrementa, sin embargo, la estabilidad es inversamente proporcional, al incrementar cal la estabilidad se va reduciendo.

Las tres dosificaciones con fibra y cal se obtuvieron partiendo de la muestra intermedia con cal resultado de la relación 0.9 filler/betún e incrementado la fibra desde un 0.5% a 1% y 1.5% de fibra, al comparar todas las muestras analizadas anteriormente, el adicionar fibra en la mezcla aumenta el flujo en todas las dosificaciones. Sin embargo, la trabajabilidad de la mezcla es inversamente proporcional al incremento de fibra esto es resultado de la cantidad y longitud de las fibras por eso a mayor cantidad y longitud de fibra menor es la trabajabilidad de la mezcla.

Una vez analizado el comportamiento de todas las dosificaciones e interpretado que sucede con el incremento de los materiales de refuerzo se obtiene que el espécimen óptimo con cal es el de 2.5% de cal de la relación 0.9 filler/betún ya que presenta un mejor resultado de estabilidad con 2832 lb y flujo de 9 in/100 ajustado a los requerimientos normativos para un tráfico pesado en donde la estabilidad mínima es de 1800lb y el flujo debe estar comprendido entre el rango de 8 a 14.

La muestra óptima modificada con cal y fibra resulta del espécimen con 2.5% de cal y 0.5% de fibra obteniendo una estabilidad de 4457lb superando considerablemente a la estabilidad mínima de 1800lb y un flujo de 13.67 in/100 dentro del rango normativo, demostrando que el adiconamiento de fibra incrementa las propiedades de estabilidad en un 21,26%.

Finalmente podemos concluir que, de acuerdo con los ensayos experimentales realizados, la adición de fibras de abacá y cal incrementan las propiedades de estabilidad y flujo, no obstante porcentajes elevados de fibra reversan sus ventajas y la convierte en un agente disociador del agregado.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda trabajar en un espacio cerrado para que no haya pérdida de material y temperatura por el viento.

Considerar el tratamiento de la fibra natural por ejemplo recubrir con parafina u otro método, no por su vida útil sino por la absorción que este material tiene.

Realizar un estudio de factibilidad de implementar estos elementos en campo, analizando su puesta en marcha económicamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Aliha, M. R. M., Razmi, A., & Mansourian, A. (2017). The influence of natural and synthetic fibers on low temperature mixed mode I + II fracture behavior of warm mix asphalt (WMA) materials. *Engineering Fracture Mechanics*, 182, 322–336. <https://doi.org/10.1016/J.ENGFRACMECH.2017.06.003>
- Arévalo, J., & Rodríguez, J. (2022). *Diseño de una mezcla asfáltica permeable con agregados minerales de la zona*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Asphalt Institute. (1982). Principios-De-Construcción-De-Pavimentos-De-Mezcla-Asfálticas_Compress. In *Administración Federal de Autopistas*.
- ASTM-D4791. (2010). *Método estándar de prueba para la determinación de partículas planas, alargadas o planas y alargadas de agregado grueso*. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
- ASTM-D5821. (2017). *Método estándar de prueba para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas o trituradas en agregados gruesos*. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
- Baldi, A., Elizondo, A., & Kikut, K. (2020). *Beneficios del uso de cal hidratada en mezclas asfálticas: Revisión del estado del arte*. <https://doi.org/10.15517/iv.v22i39.41618>
- Bejarano, J. F., & Caicedo, C. F. (2017). *Análisis del comportamiento físico-mecánico de la mezcla asfáltica tipo MDC.19 con fibra natural de caña de azúcar*. Universidad católica de Colombia.
- Benavides, M. A. (2016). *Efecto de la variación de la relación polvo / asfalto sobre la durabilidad de mezclas asfálticas*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Bermeo, D. (2021). *Diseño de mezcla asfáltica en caliente modificada mediante la adición de cal hidratada por vía seca* (Issue 1). Universidad Central del Ecuador.
- Bowles, J. E. (1985). *Manual de laboratorio de suelos e Ingeniería Civil*. Libros Mc Graw-hill.
- Calderón, A., & Ortega, M. (2020). *Análisis de los factores que intervienen en las exportaciones ecuatorianas de la subpartida 5305.00.11.00 "Fibras de Abacá en bruto."* Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Capa, K. (2017). *"Análisis del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica abierta con la adición de fibras de acero."* Universidad Técnica de Ambato.
- Cárdenas, J. (2016). *Análisis de factibilidad de la exportación de la fibra natural de abacá hacia el Reino Unido*. Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.
- Carvajal, A., & Quishpi, O. (2018). *Diseño de pavimento asfáltico poroso para el aeropuerto Mariscal La Mar de Cuenca*. Universidad de Cuenca.
- Castellanos, M. C., & Suarez, J. I. (2020). *Protocolo de estudio de mezclas asfálticas densas modificadas con fibras de palma estera y guerregue*. Universidad Católica de Colombia.
- Cedeño, J. (2014). *Propuesta de Metodología complementaria a los diseños de Pavimentos según AASHTO 93*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Chimborazo, W. (2012). *Diseño de mezclas asfálticas mediante el método SUPERPAVE*. Universidad de Cuenca.
- Chiquito, A., & Torres, F. (2015). *Diseño de mezcla asfáltica en caliente empleando*

- agregados de la cantera San Vicente de Colonche y del Río San Rafael de la provincia de Santa Elena utilizando el método Marshall.* Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Corrales, T. (2015). *Escuela politécnica nacional.* Escuela Politécnica Nacional.
- Delgado, H. (2020). *Diseño de mezclas asfálticas densas en caliente en función del nivel de tránsito* (No. 602).
<https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt602.pdf>
- Escobar, C., & Zumba, O. (2021). *Incorporación de plástico reciclado vía seca en mezcla asfáltica caliente utilizando agregados pétreos del cantón Guamote.* UNACH.
- Escobar, D. (2018). *Comportamiento fisicoquímico del asfalto producido en la Refinería Esmeraldas modificado con polímero.* Universidad Central del Ecuador.
- Ferreira da Costa, L., Grangeiro de Barros, A., Lopes Lucena, L. C. de F., & Lopes Lucena, A. E. de F. (2020). Asphalt mixture reinforced with banana fibres. *Https://Doi.Org/10.1080/14680629.2020.1713866*, 22(8), 1881–1893.
<https://doi.org/10.1080/14680629.2020.1713866>
- Freire, K. (2018). *Uso de vidrio molido en las mezclas asfálticas, con el propósito de reducir la contaminación* [Pontificia Universidad Católica del Ecuador].
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/15089/TESIS-MEZCLAASFALTICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Garnica, P., Delgado, H., Gómez, J., Alonso, S., & Alonso, H. (2004). *Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas.*
<https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt246.pdf>
- Horcalsa. (2021). *¿Cuál es la diferencia entre cal viva y cal hidratada?* .
<https://www.horcalsa.com/blog/cual-es-la-diferencia-entre-cal-viva-y-cal-hidratada/>
- INEN 2527. (2010). *Textiles. Identificación de fibras. Ensayos Cualitativos.* Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 696. (2011). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso.* Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 856. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.* Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 857. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso.* Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 858. (2010). *Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.* Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 860. (2011). *Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles.* Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 863. (2011). *Áridos. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio.* Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- ISO 1889. (2009). *Determinación de densidad lineal.* Norma Internacional.
- ISO 3344. (1997). *Reinforcement products - Determination of moisture content.* Norma Internacional.
- Jiménez, C. (2016). *Análisis Comparativo de la Estabilidad y la Deformación del Pavimento*

- Asfáltico con Fibras Celulosas y Pavimento Asfáltico Tradicional*. Universidad Técnica de Ambato.
- López, R. (2017). *Mejoramiento de la Carpeta Asfáltica a Base de Escoria Siderúrgica para Pavimentos Flexibles (Mezcla Asfáltica)*. Universidad Politécnica Salesiana.
- MOP-001-F. (2002). *Ministerio de Transporte y obras Publicas MTOP - 001-F 2002*. 772. http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013_ConcursoPublico_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf
- NEVI-12-2B-MTOP. (2012). Volumen N°2 – Libro B Norma Para Estudios Y Diseño Vial. *Ministerio De Transporte Y Obras Públicas Del Ecuador, N°2-LibroB*, 644.
- Noboa, D. (2022). *Diseño de una mezcla asfáltica adicionando mascarillas quirúrgicas desechables como material constitutivo*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Pilicita, C., & Puluche, V. (2022). *Estudio del módulo de rotura en mezclas de hormigón con fibra de abacá para pavimento rígido considerando tránsito de Riobamba*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Putman, B. J., & Amirkhanian, S. N. (2004). Utilization of waste fibers in stone matrix asphalt mixtures. *Resources, Conservation and Recycling*, 42(3), 265–274. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2004.04.005>
- Reyes Rivera, L. M. (2019). Análisis comparativo diseño de mezclas asfáltica método Marshall tradicional vs permeable con agregados de la cantera del río San Luis. *Zaguan.Unizar.Es, October*, 0–70.
- Toapanta, A. (2019). *Utilización de vidrio pulverizado y material pétreo de la cantera de Guayllabamba en el mejoramiento de mezclas asfálticas en caliente con asfalto Ac-20, mediante la metodología SUPERPAVE*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

ANEXOS

EP - PETROECUADOR
 INFORME DE RESULTADOS



Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con
 Acreditación No. SAE LEN 13-002.

GERENCIA: GERENCIA DE REFINACION REFERENCIA: PROPRO # 08 (2021-10-21)
 ORGANIZACIÓN: M01_REFINERÍA ESMERALDAS PRODUCTO ANALIZADO: 0280 ASFALTO AC-20
 INFORME NO. M01-1049-2021 CODIGO MUESTRA: ECC-21-1778

DATOS CLIENTE	
NOMBRE	JEFE DE CONTROL Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN (ING. ALEJANDRO CAMACHO)
DIRECCIÓN	Km 7 1/2 Antigua Vía Atacames.
TELÉFONO	062994000 (85070 85074)
SOLICITADO POR	ING. VICTOR GARCIA - ESP. DE PROGRAMACION DE LA PRODUCCION

DATOS DE LA MUESTRA			
ORIGEN DE LA MUESTRA	AO-V15	HORA TOMA DE MUESTRA	00:00:47
FECHA DE TOMA DE MUESTRA	2021/10/22	FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	2021/10/22
CANTIDAD DE MUESTRA	1500 ml	HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	00:15:11
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	2021/10/22	PUNTO DE MUESTREO	AFORO DE TANQUE
LUGAR TOMA DE MUESTRA	ASFALTOS		

DATOS DE ANÁLISIS			
TEMPERATURA AMBIENTE	23.8 °C	PRESION BAROMETRICA	101.0 kPa
HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE	65.6 %HR	FECHA FINALIZACION DE LOS ENSAYOS	2021/10/22 05:45:47
FECHA DE INICIO DE LOS ENSAYOS	2021/10/22 00:20:12		
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME	2021/10/22		

RESULTADOS							
PARÁMETRO	MÉTODO		ESPECIFICACIÓN ⁽¹⁾		RESULTADO	UNIDAD DE MEDIDA	U ⁽²⁾
	ASTM_INEN	INTERNO	MÍN.	MÁX.			
VISCOSIDAD ABSOLUTA 140 °F (60 °C)	ASTM D2171_NTE INEN 810	V03.06.01.03-T-22	160	240	180,0	Pa s	±5 %
VISCOSIDAD CINEMÁTICA 275 °F (135 °C)	ASTM D2170_NTE INEN 810/1981	V03.06.01.03-T-23	300	-	358,0	mm ² /s	±1.9 %
PENETRACIÓN 77 °F (25 °C 100 G. 5s)	ASTM D5_NTE INEN 918	V03.06.01.03-T-20	80	-	78	dmm	±4 dmm
PUNTO DE INFLAMACION	ASTM D92_NTE INEN 808	V03.06.01.03-T-21	232	-	286	°C	±5 °C
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO*	ASTM D2042_NTE INEN 916	V03.06.01.03-T-31	99	-	99,94	%P	-
RESIDUO DE ENSAYOS DE PELICULA FINA EN HORNO ROTATORIO*	N/A	V03.06.01.03-T-30	N/A	N/A	N/A	-	-
VISCOSIDAD 60°C*	ASTM D2171_NTE INEN 810	V03.06.01.03-T-22	-	800	648,0	Pa s	±N/A
DUCTILIDAD 77 °F (25 °C) 5cm/min*	ASTM D113_NTE INEN 916	V03.06.01.03-T-24	50	-	65,0	cm	-
GRAVEDAD API A 60 °F (15.6 °C)	ASTM D1298_NTE INEN 2319	V03.06.01.03-T-04	REPORTE	REPORTE	7,1	*API	±N/A
DENSIDAD RELATIVA (15.8/15.8°C)	ASTM D1298_NTE INEN 2319	V03.06.01.03-T-04	REPORTE	REPORTE	1,0209	-	±N/A
GRAVEDAD ESPECÍFICA 25/25 °C	ASTM 70	V03.06.01.03-T-57	REPORTE	REPORTE	1,010	-	±0.002
PUNTO DE ABLANDAMIENTO*	ASTM D36		-	-	48.2	°C	-
INDICE DE PENETRACION*	ASTM D5		-1.5	1	-0,6	-	-
CAMBIO DE MASA*	ASTM D2872	V03.06.01.03-T-30	-	1	-0,200	%P	-
*API OBSERVADO: 14.385							
TEMPERATURA OBSERVADA: 93.4 °C							
OBSERVACIONES:							

Anexo 1. Propiedades del ligante bituminoso AC-20.

Fuente: (Noboa, 2022)