

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE: INGENIERÍA CIVIL



Trabajo de Integración Curricular

Tema:

“ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
CON FIBRA DE ABACÁ UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA DE PIFO Y
ASFALTO AC20”

Autor:

Vallejo Vega Gabriela Carolina

Director:

Ing. Jorge Albuja, M.Sc

QUITO, DICIEMBRE 2023

ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
CAPÍTULO 1	8
1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1 Planteamiento del problema.....	10
1.2 Justificación	11
1.3 Objetivos.....	12
1.3.1. Objetivo general.....	12
1.3.2. Objetivos específicos	12
CAPÍTULO 2	13
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	13
2.1 Pavimento flexible	13
2.2 Mezcla asfáltica	13
2.3 Mezcla asfáltica en caliente	13
2.4 Agregados Pétreos	13
2.4.1. Definición	13
2.4.2. Propiedades y características	14
2.4.3. Origen de los agregados.....	14
2.5 Cemento asfáltico	15
2.5.1. Definición	15
2.5.2. Propiedades y características	15
2.5.3. Viscosidad.....	16
2.5.4. Origen del cemento asfáltico	16
2.6 Abacá	17
2.6.1. Procedencia	17
2.6.2. Planta de Abacá	18
2.6.3. Fibra de abacá	19
2.6.4. Calidad de la fibra.....	19
2.6.5. Características	20
2.6.6. Zonas productoras	20
2.6.7. Producción	21
2.6.8. Fabricación de la fibra de abacá	21
2.6.9. USOS	22
2.6.10. Densidad de la fibra de abacá	23
2.6.11. Porcentaje de humedad	23
2.6.12. Tenacidad.....	23

2.6.13. Módulo elástico.....	24
2.6.14. Composición química	24
CAPÍTULO 3	25
3. ENSAYOS DE LOS MATERIALES	25
3.1 Caracterización de agregado pétreo	25
3.1.1. Granulometría (ASTM C136/C136M-19).....	25
3.1.2. Abrasión del agregado grueso en máquina de los ángeles (ASTM C131/C131M-14) ..	26
3.1.3. Equivalente de arena del agregado fino (ASTM D2419-14).....	27
3.1.4. Gravedad específica y porcentaje de absorción	27
• Agregado grueso (ASTM C127-15)	27
• Agregado fino (ASTM C128-15)	29
3.1.5. Resistencia a la acción de sulfatos	30
(ASTM C88/C88M-18)	30
3.2 Resultados de los ensayos	30
3.2.1. Granulometría	30
3.3 Caracterización de cemento asfáltico.....	33
CAPÍTULO 4	34
4. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.....	34
4.1 Método Marshall.....	34
4.1.1. Estabilidad	35
4.1.2. Flujo.....	36
4.2 Propiedades volumétricas para ensayo Marshall.....	36
4.2.1. Gravedad específica Bulk (Gmb)	36
4.2.2. Gravedad específica de la mezcla de agregados (Gsb).....	37
4.2.3. Gravedad específica efectiva (Gse).....	37
4.2.4. Gravedad específica máxima teórica	37
4.2.5. Gravedad específica máxima teórica (Gmm)	38
4.2.6. Vacíos en el agregado mineral (VAM).....	39
4.2.7. Porcentaje de vacíos (VA)	39
4.2.8. Vacíos llenos con asfalto (VAF).....	39
4.2.9. Contenido de asfalto absorbido por los agregados	40
4.2.10. Contenido efectivo de cemento asfáltico	40
4.2.11. Relación filler - betún	41
4.3 Diseño Mezcla Asfáltica Escogida	41
4.3.1. Mezclas Asfálticas en Caliente (HMA)	41
4.3.2. Mezclas asfálticas calientes con fibra de abacá	42

4.3.3. Resultados del método Marshall con fibra de abacá.....	44
CAPÍTULO 5	68
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	68
5.1 Comprobación del diseño escogido	68
5.2 Propiedades ensayo Marshall.....	68
5.2.1. Mezclas Asfálticas calientes con Fibra de abacá	69
5.3 Porcentaje óptimo de fibra de abacá	72
5.4 Comparación mezcla asfáltica con y sin fibra de abacá	75
CAPÍTULO 6	78
1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
1.1 Conclusiones	78
1.2 Recomendaciones	79
2. BIBLIOGRAFÍA	80
3. ANEXOS	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Localización HOLCIM-PIFO	15
Ilustración 2: Parámetros del asfalto	16
Ilustración 3: Localización Planta asfáltica Naranjo-López	17
Ilustración 4: Localización extracción fibra de abacá	18
Ilustración 5: Planta de abacá	18
Ilustración 6: Fibra de abacá	19
Ilustración 7: propiedades mecánicas y físicas de la fibra de abacá	20
Ilustración 8: Zonas de producción del abacá	20
Ilustración 9: Proceso de fabricación de la fibra de abacá	21
Ilustración 10: Fabricación fibra de abacá	22
Ilustración 11: Módulo elástico de la fibra de abacá	24
Ilustración 12: Composición química de la fibra de abacá	24
Ilustración 13: Especificaciones para la carga de máquina de Los Ángeles	26
Ilustración 14: Gradación	26
Ilustración 15: Curva Granulométrica Agregado Fino	30
Ilustración 16: Curva Granulométrica Agregado Intermedio 3/8"	31
Ilustración 17: Curva Granulométrica Agregado Intermedio 3/4"	31
Ilustración 18: Resumen caracterización del cemento asfáltico	33
Ilustración 19: Especificaciones de una mezcla asfáltica	35
Ilustración 20: Factor de corrección estabilidad	36
Ilustración 21: Muestras antes del ensayo Rice	38
Ilustración 22: Ensayo Rice	38
Ilustración 23: Porcentaje óptimo de diseño escogido	41
Ilustración 24: Curva granulométrica de la mezcla propuesta más 3% de fibra de abacá	43
Ilustración 25: %Fibra de abacá vs Estabilidad	69
Ilustración 26: % Fibra de abacá vs Densidad Bulk	69
Ilustración 27: % Fibra de abacá vs % Vacíos	70
Ilustración 28: %Fibra de abacá vs Flujo	70
Ilustración 29: %Fibra de abacá vs % VAM	71
Ilustración 30: %Fibra de abacá vs % VAF	71
Ilustración 31: Estabilidad vs fibra de abacá	72
Ilustración 32: Flujo vs %fibra de abacá	72
Ilustración 33: Va vs % fibra de abacá	73
Ilustración 34: V agr vs % fibra de abacá	73
Ilustración 35: VAM vs % fibra de abacá	74
Ilustración 36: VAF vs % fibra de abacá	74
Ilustración 37: Estabilidad VAF vs Presencia de fibra	75
Ilustración 38: Flujo vs VAF vs Presencia de fibra	75
Ilustración 39: Va vs VAF vs Presencia de fibra	76
Ilustración 40: V agr vs VAF vs Presencia de fibra	76
Ilustración 41: VAM vs Presencia de fibra	77
Ilustración 42: VAF vs Presencia de fibra	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla 1: Resumen Agregado Grueso 3/4"	32
Tabla 2: Resumen Agregado Intermedio 3/8"	32
Tabla 3: Resumen Agregado Fino	33
Tabla 4: Mezcla para el diseño más 3% de fibra de abacá.	42
Tabla 5: Porcentajes de agregados con diferentes porcentajes de fibra de abacá.	43
Tabla 6: Rice y Gravedad específica efectiva con diferentes porcentajes de fibra de abacá.....	43
Tabla 7: Ensayos método Marshall - WMA con fibra de abacá.....	45
Tabla 8: Mezclas HMA para tráfico pesado	68
Tabla 9: Comprobación del diseño con 6,16% de asfalt.....	68

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Equivalente de arena	27
Ecuación 2: Gravedad específica Bulk	27
Ecuación 3: Gravedad específica saturada con superficie seca	28
Ecuación 4: Gravedad específica aparente	28
Ecuación 5: Porcentaje de absorción del agregado	28
Ecuación 6: Gravedad específica Bulk	29
Ecuación 7: Gravedad específica saturada con superficie seca	29
Ecuación 8: Gravedad específica aparente	29
Ecuación 9: Porcentaje de absorción	29
Ecuación 10: Gravedad Bulk	36
Ecuación 11: Gravedad específica de la mezcla	37
Ecuación 12: Gravedad específica efectiva	37
Ecuación 13: Gravedad específica máxima teórica	37
Ecuación 14: Gravedad Rice.....	38
Ecuación 15: Vacíos en el agregado mineral	39
Ecuación 16: Porcentaje de vacíos.....	39
Ecuación 17: Vacíos llenos con asfalto	39
Ecuación 18: Contenido de asfalto absorbido por los agregados	40
Ecuación 19: Contenido efectivo de cemento asfáltico	40
Ecuación 20: Relación filler/betún.....	41

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Los proyectos en ingeniería civil juegan un papel fundamental en el progreso de la sociedad al facilitar actividades productivas, con el sector vial siendo esencial para la movilización de productos y personas. La duración efectiva de un pavimento flexible se ve influenciada por diversos factores, como la calidad de los agregados, la calidad de la subrasante, la ejecución de las obras de construcción de manera apropiada, un diseño estructural preciso, la atención al mantenimiento y la excelencia en la composición asfáltica son factores determinantes.

En el contexto de las vías ecuatorianas con pavimento flexible, se ha observado a lo largo de los años un deterioro prematuro de las carpetas asfálticas, manifestado por fallas estructurales como ahuellamientos, fisuramiento y pérdidas de material. Este fenómeno puede atribuirse a factores como zonas de alta pluviosidad, aumento del tráfico previsto en el diseño y falta de mantenimiento.

Ante el crecimiento del tráfico, los costos de mantenimiento y la preocupación por el medio ambiente, se buscan alternativas para mejorar las características físico-mecánicas del pavimento flexible. La estrategia consiste en mejorar el rendimiento de las mezclas asfálticas mediante el uso de materiales alternativos, ya sean sintéticos o naturales, con el objetivo de reducir el impacto ambiental, minimizar los recursos necesarios para la producción y disminuir los costos.

En tiempos recientes, se han realizado investigaciones con el propósito de perfeccionar el rendimiento de las mezclas asfálticas a través de la incorporación de elementos que aumenten su resistencia. Entre estos elementos se encuentran varios tipos de fibras, tanto sintéticas como naturales, que han evidenciado ser efectivos en el fortalecimiento de la resistencia a fatiga y fractura en las mezclas asfálticas (Aliha et al., 2017).

En relación con las fibras naturales, estudios revisados sugieren que fibras obtenidas del coco, palmas y bagazo (residuo de caña) han sido eficaces como agregados de refuerzo para mezclas asfálticas. Estas fibras ofrecen un doble beneficio al mejorar la estructura del pavimento y al proporcionar una alternativa sostenible ambientalmente, al dar nuevo uso a materiales considerados desechos (Putman & Amirkhanian, 2004). Además, el uso de estas fibras presenta ventajas económicas al ser más asequibles que las fibras sintéticas (Castellanos & Suarez, 2020).

En este contexto, el presente proyecto de investigación propone la adición de fibra natural de abacá como agregado en una mezcla de pavimento, sometida a ensayos experimentales de briquetas con diferentes porcentajes de fibra. El objetivo es evaluar el efecto de la fibra de abacá en las propiedades de las mezclas asfálticas tradicionales, con la posibilidad de disminuir la cantidad de material pétreo requerido, incluso en proporciones mínimas.

Estas mezclas alteradas no se han explorado extensamente en la región, por ende, el objetivo de esta investigación es proporcionar datos experimentales sobre su rendimiento y propiedades. La investigación se enfoca en evaluar las repercusiones de las fibras en la mezcla asfáltica, partiendo de un diseño de pavimento con porcentaje óptimo de asfalto del 6,16%. Se utilizaron materiales de la mina de Pifo, con porcentajes específicos para los agregados 3/4, 3/8 y agregado fino. Se compararán los resultados obtenidos con fibra de abacá a tres diferentes porcentajes (0,25%, 0,5% y 1%). El propósito principal es fortalecer la durabilidad de la mezcla y disminuir la proporción de materiales pétreos por medio de la incorporación de fibras de abacá. La meta es conseguir asfaltos de calidad, respetuosos con el entorno y conservar las beneficiosas características de las mezclas asfálticas calientes.

Con el objetivo de asegurar datos precisos, se llevaron a cabo ensayos en los diversos materiales obtenidos de la cantera Holcim - Pifo, que incluyeron granulometría, ensayo de abrasión, equivalente de arena, resistencia a los sulfatos y gravedad específica.

Este proyecto de investigación busca ofrecer una nueva perspectiva sobre el uso de materiales alternativos en el ámbito vial, buscando mejorar el rendimiento de las mezclas asfálticas.

1.1 Planteamiento del problema

En años recientes, se ha realizado investigación en el campo de las mezclas asfálticas, explorando la incorporación de diversos materiales como alternativas para mejorar sus propiedades y características. Países como Chile y Colombia han destacado en este campo, siendo sus trabajos de investigación referenciales, mientras que en Ecuador estos temas son relativamente nuevos.

Una de las investigaciones más recientes sobre mezclas asfálticas modificadas es la disertación previa a la obtención del título de ingenieros civiles titulada "Diseño de una mezcla asfáltica incorporando fibra de abacá con cal como materiales de refuerzo al comportamiento Marshall", realizada por los autores Romero y Sánchez de la Universidad Nacional de Chimborazo en 2022. En este estudio, llevaron a cabo ensayos de estabilidad Marshall en un diseño de mezcla asfáltica al que agregaron cal y tres diferentes porcentajes de fibra de abacá (0,5%, 1% y 1,5%), obteniendo resultados positivos en el comportamiento de estabilidad de la mezcla (Romero y Sánchez, 2022).

El propósito de este trabajo es ampliar las fuentes bibliográficas relacionadas con estos temas en la nación, analizando cómo cambian las características de un diseño de mezcla asfáltica con la incorporación de fibra de abacá. Se busca así crear una alternativa más amigable con el medio ambiente en el área de la construcción vial.

El objetivo principal e interés de estas investigaciones se centran en la caracterización de la fibra de abacá, la observación de su comportamiento físico y mecánico. El trabajo de investigación de Romero y Sánchez sobre mezclas asfálticas con fibra de abacá proporciona información útil que se considera relevante para el presente tema de investigación.

1.2 Justificación

En la infraestructura vial de nuestro país, la demanda de pavimentos asfálticos está en constante aumento, y se observa un deterioro significativo en los pavimentos existentes, atribuido a condiciones climáticas y la calidad de los agregados empleados. El estudio propuesto tiene como objetivo explorar el uso de fibras de abacá en mezclas asfálticas, evaluando si estas adiciones pueden mejorar propiedades como estabilidad y flujo.

Se reconoce la necesidad de presentar enfoques innovadores en las mezclas asfálticas en caliente para la elaboración de carreteras duraderas y rentables, con el fin de mejorar la red vial. Estudios previos que comparan mezclas asfálticas en caliente con y sin fibra indican que las mezclas modificadas pueden tener una capacidad de resistencia similar en estabilidad y flujo, pero potencialmente mayor flexibilidad debido a la presencia de fibra. Considerando esto, el objetivo es incrementar la durabilidad de la mezcla asfáltica y disminuir la proporción de materiales pétreos con la incorporación de fibra de abacá., buscando obtener asfaltos de calidad con menos materiales, manteniendo las características de una mezcla asfáltica en caliente.

El presente trabajo realizará un análisis exhaustivo y una evaluación adecuada de los comportamientos de cada diseño de mezclas asfálticas, que incluyen la comprobación del diseño de mezcla asfáltica escogido y la mezcla asfáltica modificada con fibra de abacá de 20 mm de longitud. Las técnicas empleadas en el proceso de investigación ayudaran como respaldo y base para sugerir la implementación de nuevos materiales en la elaboración de mezclas asfálticas calientes.

El propósito fundamental de este estudio consiste en sugerir la incorporación de una nueva sustancia (fibra natural) en la mezcla asfáltica, en una cantidad adecuada que mejore las características mecánicas de la mezcla. Esto podría resultar en la producción de mezclas asfálticas más robustas y duraderas, contrarrestando los elementos agresivos que ocasionan el deterioro anticipado y rápido de las capas asfálticas.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Analizar el rendimiento y propiedades de las mezclas asfálticas en caliente incorporando fibra de abacá mediante el método Marshall.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar el desempeño de la mezcla asfáltica en caliente al variar los porcentajes de fibra de abacá.
- Comparar el rendimiento de las mezclas asfálticas calientes con y sin adición de fibra de abacá.
- Definir el porcentaje óptimo de fibra de abacá en la mezcla asfáltica caliente.

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Pavimento flexible

La estructura del pavimento flexible generalmente incluye una capa superficial compuesta de mezcla asfáltica, seguida de las capas base y subbase en orden. Estas capas descansan sobre la subrasante, que es el terreno natural. En conjunto, estas capas proporcionan una superficie cómoda y segura para la circulación vehicular, minimizando el desgaste provocado por el tráfico (Cedeño, 2014).

2.2 Mezcla asfáltica

Una mezcla asfáltica convencional se constituye mediante la mezcla uniforme de materiales pétreos y asfalto, y en ocasiones se contempla la incorporación de aditivos con el propósito de potenciar las características del compuesto (Delgado, 2020). Las propiedades de las mezclas asfálticas son: trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, resistencia a la fatiga, impermeabilidad, durabilidad, flexibilidad y estabilidad.

2.3 Mezcla asfáltica en caliente

Esta modalidad de mezcla se produce mediante el calentamiento previo de los agregados y el ligante bituminoso a temperaturas elevadas, típicamente entre 130 y 160°C. Está compuesta primordialmente por agregados gruesos bien graduados, dando como resultado una granulometría densa que se traduce en un contenido de vacíos de aire generalmente inferior al 6%. Este tipo de mezcla asfáltica es ampliamente empleada en el país (Jiménez, 2016).

2.4 Agregados Pétreos

2.4.1. Definición

Los materiales pétreos, constituidos por piedra triturada o natural, arena y relleno mineral, son esenciales en la preparación de la mezcla asfáltica en caliente. Estos agregados deben cumplir con criterios rigurosos: ser limpios, resistentes y duros, sin contenido orgánico, y excluir partículas planas y alargadas (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002).

2.4.2. Propiedades y características

El material pétreo debe someterse a ensayos de laboratorio, la elección apropiada de los agregados tiene un impacto importante en el desempeño del pavimento, ya que son responsables de resistir las cargas provocadas por el tráfico vehicular y de transferirlas a las demás capas. Además, la calidad de los agregados influye en la ocurrencia de problemas comunes como hundimientos, fatiga, deformación y daños causados por la humedad (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

Conforme con los requerimientos del MTOP-001F 2002 los materiales deben cumplir aspectos como:

- Deben estar compuestos por fragmentos angulosos o semiangulosos, con superficies rugosas, limpios, resistentes y duros. No deben contener material vegetal, ni un sobrante de partículas planas, alargadas o blandas, ni estar cubiertos de arcillas u otros materiales inadecuados (MTOP, 2002).
- Deben satisfacer requisitos de granulometría.
- Se debe considerar la capacidad de absorción, densidad y porosidad de los agregados.
- Es fundamental que los agregados sean compatibles con el asfalto utilizado en la mezcla.

2.4.3. Origen de los agregados

Los agregados empleados en las mezclas asfálticas deben cumplir con los criterios de granulometría establecidos por MTOP (2002), quienes clasifican los agregados en las siguientes categorías:

- **Agregado grueso:** Partículas que son recogidas en el tamiz N° 4 (4,75mm).
- **Agregado intermedio o arena:** Material que atraviese el tamiz N°4 (4.75 mm) pero quede atrapado por el tamiz N°200 (0.075 mm).
- **Polvo mineral o filler:** Material que pasa por el tamiz N° 200 (0.075 mm).

Estos materiales de 3/4 “, 3/8 “ y agregado fino fueron obtenidos de la planta de agregados HOLCIM – PIFO, la cual se ubica en la vía a Papallacta E-20 en Quito.



Ilustración 1: Localización HOLCIM-PIFO

Fuente: (Jácome y Paz, 2021)

2.5 Cemento asfáltico

2.5.1. Definición

El asfalto, una sustancia bituminosa de tonalidad negra, se compone de elementos que le confieren propiedades de consistencia, aglutinación y ductilidad. El aglutinante asfáltico es una sustancia derivada de los sobrantes de la destilación del petróleo crudo. Se presenta como un líquido pegajoso, negro y con viscosidad que varía según la temperatura. Además, desempeña el papel de ligante en las mezclas asfálticas según las especificaciones del MTOP (2002). Se utiliza comúnmente en la pavimentación de carreteras o como revestimiento impermeable para techos.

2.5.2. Propiedades y características

Las características y rasgos del aglutinante asfáltico deben ser evaluados por medio de pruebas de laboratorio conforme a las normativas establecidas por INEN o AASHTO, y deben estar en conformidad con los parámetros del MTOP indicados.

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

Ilustración 2: Parámetros del asfalto

Fuente: (MTOPI, 2002)

En cuanto a sus propiedades físicas, es esencial considerar varias características del asfalto para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras, según lo señala Araiza Armenta (2002). Estas propiedades incluyen: durabilidad, adhesión, cohesión, susceptibilidad térmica, endurecimiento y envejecimiento.

2.5.3. Viscosidad

La viscosidad a 60°C se emplea para la clasificación del cemento asfáltico, mientras que la viscosidad a 135 °C refleja la consistencia durante el proceso de mezcla y colocación. Es relevante subrayar que comprender la consistencia del asfalto a estas dos temperaturas es crucial para evaluar su idoneidad en el diseño.

2.5.4. Origen del cemento asfáltico

El asfalto empleado en este proyecto es clasificado como AC-20 según la normativa INEN 2515 y proviene de la planta asfáltica Naranjo – López, ubicada en el sector El Inga, Sangolquí en la vía a Pifo E-35.

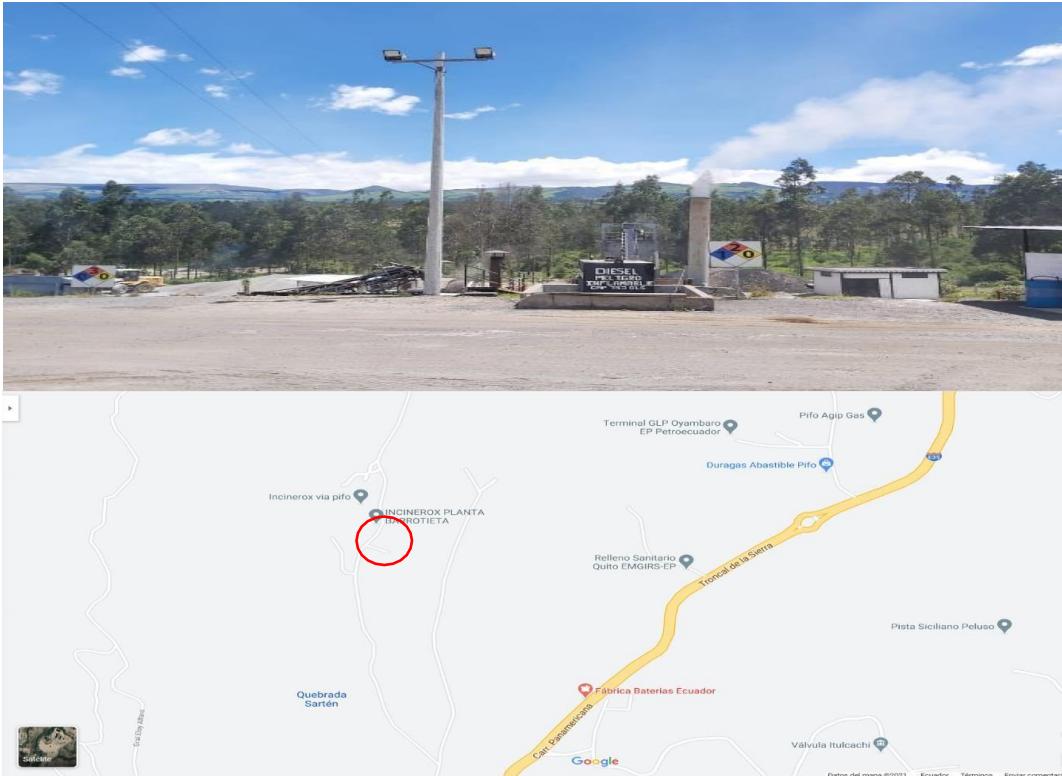


Ilustración 3: Localización Planta asfáltica Naranjo-López

Fuente: (Jácome y Paz, 2021)

2.6 Abacá

2.6.1. Procedencia

La fibra empleada en nuestro estudio se obtuvo de la parroquia de Monterrey, ubicada en el cantón La Concordia, en la provincia de Santo Domingo. Se recolectó de una finca identificada como S/N y localizada mediante coordenadas específicas.

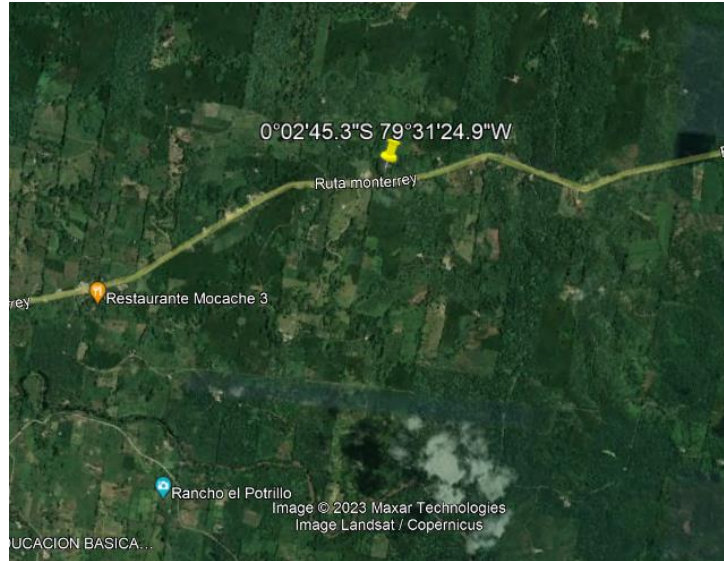


Ilustración 4: Localización extracción fibra de abacá

FUENTE: Google Earth Pro

2.6.2. Planta de Abacá

También conocido como "cáñamo de Manila", pertenece a la familia Musácea y puede alcanzar alturas de hasta 7 metros. Aunque comparte similitudes visuales con el banano, se distingue principalmente por la ausencia de frutos comestibles. Su valor radica en los troncos, de los cuales se extraen fibras ampliamente utilizadas en la industria textil. En Ecuador, el cultivo de abacá ha ganado prominencia en ciudades como Santo Domingo, Esmeraldas y Quevedo (Calderón y Ortega, 2020).



Ilustración 5: Planta de abacá

Fuente: (ASOCAE O.N.G.D, 2011)

2.6.3. Fibra de abacá

Conformada en su mayoría por un 77 % de celulosa y un 9 % de lignina, la fibra de abacá ha ganado reconocimiento gracias a su robusta resistencia mecánica y su capacidad para resistir los efectos dañinos del agua salada. Las fibras de calidad superior se distinguen por ser finas, brillantes, de un tono habano claro y poseer una resistencia notable, generalmente ubicadas en el cilindro central de la planta (Calderón y Ortega, 2020).



Ilustración 6: Fibra de abacá

Fuente: (Zambrano, 2013)

2.6.4. Calidad de la fibra

En Ecuador, se clasifican cuatro categorías de fibras según su calidad, y esta clasificación está vinculada a la región de extracción, siendo la fibra interna la de mayor calidad. Los porcentajes de calidad obtenidos de cada planta se distribuyen de la siguiente manera: 15 % para la segunda clase, 35 % para la tercera clase, 30 % para la cuarta clase y 20 % para la quinta clase. (Romero y Sánchez, 2022).

Las fibras de calidad inferior se encuentran en la parte exterior, siendo más gruesas, cortas y oscuras, con frecuencia exhiben colores verdosos o rojizos negruzcos. A medida que se avanza hacia el interior del tallo, las fibras se vuelven más largas y claras. En última instancia, en el cilindro central del tallo se localiza la fibra de mayor calidad, que es más corta y de color blanco (Cárdenas, 2016).

2.6.5. Características

La fibra de abacá es apreciada por su notoria resistencia mecánica, flotabilidad, capacidad para resistir el daño provocado por el agua salada y su longitud excepcional, que supera los 3 metros de longitud. En su corte transversal, las fibras presentan una forma poligonal con paredes celulares extremadamente delgadas (Ponce Molina, 2015).

Las propiedades mecánicas y físicas del abacá son:

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

Ilustración 7: propiedades mecánicas y físicas de la fibra de abacá

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

2.6.6. Zonas productoras

La información sobre la producción de abacá en los sectores de Santo Domingo, Esmeraldas, Los Ríos y otras zonas no especificadas no está documentada y publicada oficialmente por el INEC. Estos datos provienen de estimaciones basadas en encuestas por muestreo, y los errores asociados pueden ser significativos. Por lo tanto, estos datos se consideran referenciales y no están completamente verificados ni respaldados por un registro oficial (Calderón y Ortega, 2020).

Producción de Abacá en Ecuador

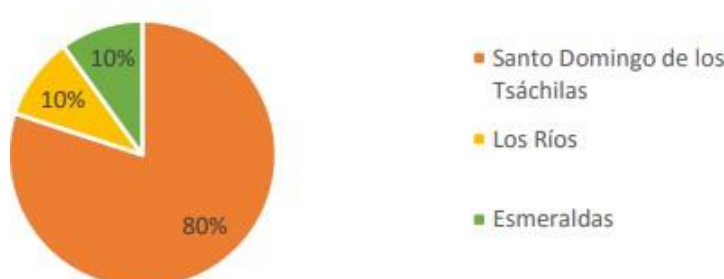


Ilustración 8: Zonas de producción del abacá

Fuente: (Calderón y Ortega, 2020).

2.6.7. Producción

EL tiempo de la plantación se encuentra mayormente determinada por la calidad del suelo y los cuidados proporcionados. Existen estimaciones que sugieren que las plantas de abacá pueden tener un rendimiento comercial continuo durante un período que oscila entre 15 y 25 años (Ponce Molina, 2015).

2.6.8. Fabricación de la fibra de abacá

La época de cosecha varía según la diversidad y está influenciada por diversos factores como las condiciones climáticas y las prácticas culturales. Por lo general, la primera cosecha se lleva a cabo entre 18 y 24 meses posterior a sembrar, momento conocido como el período ejemplar. Se sugiere que la cosecha se realice durante la formación de la inflorescencia para preservar la calidad de la fibra, evitando tanto cosechas prematuras como tardías (Quiñonez Intriago, 2021).

La siembra se lleva a cabo en suelos caracterizados por un clima tropical húmedo, con temperaturas oscilando entre 22 y 28 °C. Las cosechas pueden realizarse en intervalos de 2 a 4 meses, dependiendo del cuidado y manejo laboral adecuado (Calderón & Ortega, 2020).

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

Ilustración 9: Proceso de fabricación de la fibra de abacá

Fuente: (TerranovaPapers, 2022)



Ilustración 10: Fabricación fibra de abacá

Fuente: (TerranovaPapers, 2022)

2.6.9. USOS

En el siglo XIX, la fibra de abacá desempeñó un papel crucial al suministrar a los barcos, y su pulpa se destinó a la fabricación de cajas de manila robustas. Asimismo, la pulpa de abacá encontró aplicaciones en la producción de envolturas de embutidos, papel estampado, filtros de cigarrillos y bolsas de té. Incluso, se utilizó en la fabricación de papel moneda, como se refleja en el yen japonés que contiene 30% de abacá (Larico Larico, 2009).

El abacá, con su aspecto decorativo color natural, se integra armoniosamente en diversos diseños, adaptándose a la composición y estilo deseados según el entorno. Los muebles elaborados con esta fibra han demostrado ser protagonistas en ambientes relajados y frescos, fusionando elementos rústicos y clásicos de manera inspiradora (Larico Larico, 2009).

Las fibras de abacá tienen aplicaciones en diversas industrias, como la salud, construcción, transporte, alimentos, hogar y consumo. Su uso común incluye la fabricación de bolsas de té y cabos, aprovechando su alta resistencia a la tensión y su durabilidad contra las condiciones naturales. Además, se utiliza como materia prima en la producción de papel, pastas, servilletas, textiles, ropa, cortinas, entre otros usos (Calderón & Ortega, 2020).

2.6.10. Densidad de la fibra de abacá

De manera similar a otras fibras naturales, esta exhibe baja densidad atribuible a la conformación sus células las cuales son huecas, convirtiéndola en un espécimen idóneo para fabricar productos ligeros. De acuerdo con otras investigaciones, su densidad puede variar en el intervalo de 1,3 g/cm³ a 1,5 g/cm³, como referencia la densidad de la fibra de vidrio es el doble de la de abacá (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019).

El ensayo de densidad lineal o fineza de hilos y fibras permite obtener la densidad lineal (masa por unidad de longitud de hilo) de las fibras según la norma ISO 1889, 2009.

2.6.11. Porcentaje de humedad

El contenido de humedad de fibras naturales desempeña un papel crucial en tratamientos subsiguientes que benefician diversos sectores industriales al mejorar la adherencia y el procesamiento, influyendo en propiedades como resistencia mecánica, flexibilidad y elasticidad (Lopez, Sarmiento, Fajardo, Valarezo, & Zuluaga).

La fibra de abacá en su estado natural alcanza un porcentaje de humedad del 45%, y al exponerla al sol durante un periodo de 2 a 4 horas, este contenido disminuye al 8%. En el contexto de este estudio, se consideró un nivel de humedad de referencia de la fibra del 6.11% (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019).

2.6.12. Tenacidad

Este ensayo especifica el punto donde se registra la máxima fuerza en el gráfico que ilustra la relación entre la fuerza aplicada y la deformación. En este contexto, "fuerza" se denota la carga aplicada por unidad de área y "deformación" representa el porcentaje de elongación dividido para la longitud inicial de la fibra analizada (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019).

La fibra de abacá posee una tenacidad promedio de 52.54 cN/tex con una carga de rotura promedio de 21.4 N. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019).

2.6.13. Módulo elástico

Se refiere al esfuerzo necesario para inducir una cierta deformación en la fibra, siendo esencialmente la pendiente del gráfico esfuerzo/deformación en la región proporcional. Esta característica, conocida como módulo elástico, es de gran utilidad para la evaluación de la calidad de la fibra (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019).

Diámetro (μm)	Diámetro (m)	Elongación (mm/mm)	Fuerza de rotura (N)	Esfuerzo (Mpa)	Elástico (Gpa)
205	0,000205	0,01738	21,4	648,36	37,3

Ilustración 11: Módulo elástico de la fibra de abacá

Fuente: (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

2.6.14. Composición química

La composición de la fibra de abacá se presenta de la siguiente manera:

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

Ilustración 12: Composición química de la fibra de abacá

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

La celulosa presente en la fibra de abacá exhibe un elevado grado de polimerización, proporcionándole notables propiedades mecánicas, razón por la cual se clasifica como una fibra resistente (Salas Balseca, 2009).

CAPÍTULO 3

3. ENSAYOS DE LOS MATERIALES

El agregado perfecto posee el tamaño y la clasificación apropiados. Es robusto y resistente, compuesto por partículas cúbicas, casi equidimensionales, con porosidad relativamente baja. (Asphalt Institute, 2007).

3.1 Caracterización de agregado pétreo

Para crear un buen diseño, es esencial conocer las propiedades del agregado en sus formas gruesa y fina. En este sentido se han realizado cuatro pruebas clave para validar la elección del diseño, siguiendo las directrices establecidas por normas tanto nacionales (INEN) como internacionales (ASTM).

Para la comprobación del diseño de la mezcla asfáltica en caliente escogida y la elaboración de las briquetas adicionando la fibra de abacá se realizó los ensayos principales de material pétreo para el diseño de una mezcla asfáltica los cuales son: granulometría, desgaste por abrasión, equivalente de arena, resistencia a los sulfatos, gravedad específica y porcentaje de absorción.

3.1.1. Granulometría (ASTM C136/C136M-19)

Este procedimiento implica la evaluación de la distribución del tamaño de partículas de los agregados fino, medio y grueso utilizando el análisis granulométrico por tamices. Para llevar a cabo este análisis, se toma una cantidad específica de agregado seco y se pasa a través de una serie de tamices con diferentes tamaños, dispuestos en orden descendente, culminando en una bandeja receptora. (ASTM International, 2019).

Esta característica facilita la evaluación de la gradación de los materiales, asegurando que la distribución de tamaños cumpla con los requisitos de diseño para la mezcla asfáltica. Esto es crucial ya que los porcentajes de los componentes granulares influyen en las propiedades mecánicas y dinámicas de la mezcla (Chimborazo, 2012).

Este procedimiento es esencial en la planificación de una mezcla asfáltica, ya que determinará las proporciones de agregados que se emplearán en la confección de las muestras de briquetas.

3.1.2. Abrasión del agregado grueso en máquina de los ángeles (ASTM C131/C131M-14)

La capacidad del agregado para resistir el desgaste y la degradación se evalúa a través de su resistencia. Este aspecto es crucial, ya que los agregados están expuestos a compresiones y abrasiones adicionales durante el proceso de fabricación, colocación y compactación de la mezcla asfáltica. Es esencial que los agregados posean cierto nivel de dureza para enfrentar estas condiciones. Una resistencia al desgaste más alta se refleja en un porcentaje reducido de pérdida por abrasión, siendo esta una propiedad esencial en el diseño de pavimentos flexibles con mezcla asfáltica (Asphalt Institute, 2007).

Este procedimiento funciona como un medidor de calidad del material, porque examina su deterioro, que se produce por la interacción de procesos como abrasión, golpe y rotura dentro de un tambor de acero que rota y posee determinada cantidad de esferas de acero. La cantidad de esferas utilizadas se clasifica como gradación A, siguiendo la tabla correspondiente:

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

Ilustración 13: Especificaciones para la carga de máquina de Los Ángeles

Fuente: (ASTM C131, 2014)

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

Ilustración 14: Gradación

Fuente: (ASTM C131, 2014)

3.1.3. Equivalente de arena del agregado fino (ASTM D2419-14)

El propósito del ensayo es señalar las proporciones de finos, polvo de tamaño arcilloso o materiales plásticos presentes en el agregado fino. Este análisis permite conocer la limpieza mediante un índice relativo a la proporción de dichos materiales. Así, se identifican las variaciones en la calidad del agregado durante su fabricación o instalación, siendo un equivalente de arena elevado un signo de la alta calidad del material. (ASTM International, 2014).

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$SE = \frac{A}{B} * 100$$

Ecuación 1: Equivalente de arena

Donde:

A= Lectura de arena (Sedimento).

B= Lectura de arcilla (Suspensión).

3.1.4. Gravedad específica y porcentaje de absorción

Este proceso involucra la evaluación de la densidad relativa, también denominada gravedad específica, y la absorción de agregados pétreos. La densidad relativa, una medida sin dimensiones, se determina al comparar la masa del material con la masa de un volumen de agua equivalente al volumen de las partículas del material. Asimismo, puede expresarse como la relación entre la densidad de las partículas del agregado y la densidad del agua, siendo crucial para calcular el espacio que el agregado ocupa en la mezcla asfáltica. Respecto al porcentaje de absorción, indica la variación en la masa del material debido al agua contenida en los poros de sus partículas constituyentes. (ASTM International, 2015).

- **Agregado grueso (ASTM C127-15)**

La ASTM propone las siguientes fórmulas para calcular la gravedad específica y el porcentaje de absorción del agregado grueso:

Ge: Gravedad específica Bulk.

$$Ge = \frac{A}{B - C}$$

Ecuación 2: Gravedad específica Bulk

Ges: Gravedad específica saturada con superficie seca.

$$Ges = \frac{B}{B - C}$$

Ecuación 3: Gravedad específica saturada con superficie seca

Gea: Gravedad específica aparente.

$$Gea = \frac{A}{A - C}$$

Ecuación 4: Gravedad específica aparente

%Abs: Porcentaje de absorción del agregado.

$$\%Ab = \frac{B - A}{A} * 100$$

Ecuación 5: Porcentaje de absorción del agregado

Donde:

A= masa de la muestra de ensayo secada al horno, (gramos).

B= masa de la muestra de ensayo saturada con superficie seca, (gramos).

C= masa aparente de la muestra de ensayo saturada en agua, (gramos).

- **Agregado fino (ASTM C128-15)**

La ASTM C128-15 presenta procedimientos gravimétricos y volumétricos para el ensayo del agregado fino, y en este trabajo, se seguirá el método gravimétrico utilizando un picnómetro (ASTM International, 2015). Las ecuaciones propuestas son:

Ge: Gravedad específica Bulk.

$$Ge = \frac{A}{B + S - C}$$

Ecuación 6: Gravedad específica Bulk

Ges: Gravedad específica saturada con superficie seca.

$$Ges = \frac{S}{B + S - C}$$

Ecuación 7: Gravedad específica saturada con superficie seca

Gea: Gravedad específica aparente.

$$Gea = \frac{A}{B + A - C}$$

Ecuación 8: Gravedad específica aparente

%Ab: Porcentaje de absorción del agregado.

$$\%Ab = \frac{S - A}{A} * 100$$

Ecuación 9: Porcentaje de absorción

Donde:

A= masa de la muestra de ensayo secada al horno, (gramos).

B= masa del picnómetro lleno de agua, hasta la marca de calibración, (gramos).

C= masa del picnómetro lleno de la muestra y agua hasta la marca de calibración, (gramos).

S= masa de la muestra saturada con superficie seca, (gramos).

3.1.5. Resistencia a la acción de sulfatos (ASTMC88/C88M-18)

El propósito del ensayo es evaluar la durabilidad y el comportamiento del material frente a la exposición a condiciones climáticas adversas. Este proceso implica sumergir repetidamente el agregado en soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfatos de magnesio, seguido de ciclos de secado en horno para deshidratar la sal precipitada en los poros del material (ASTM International, 2018).

3.2 Resultados de los ensayos

3.2.1. Granulometría

- Agregado fino

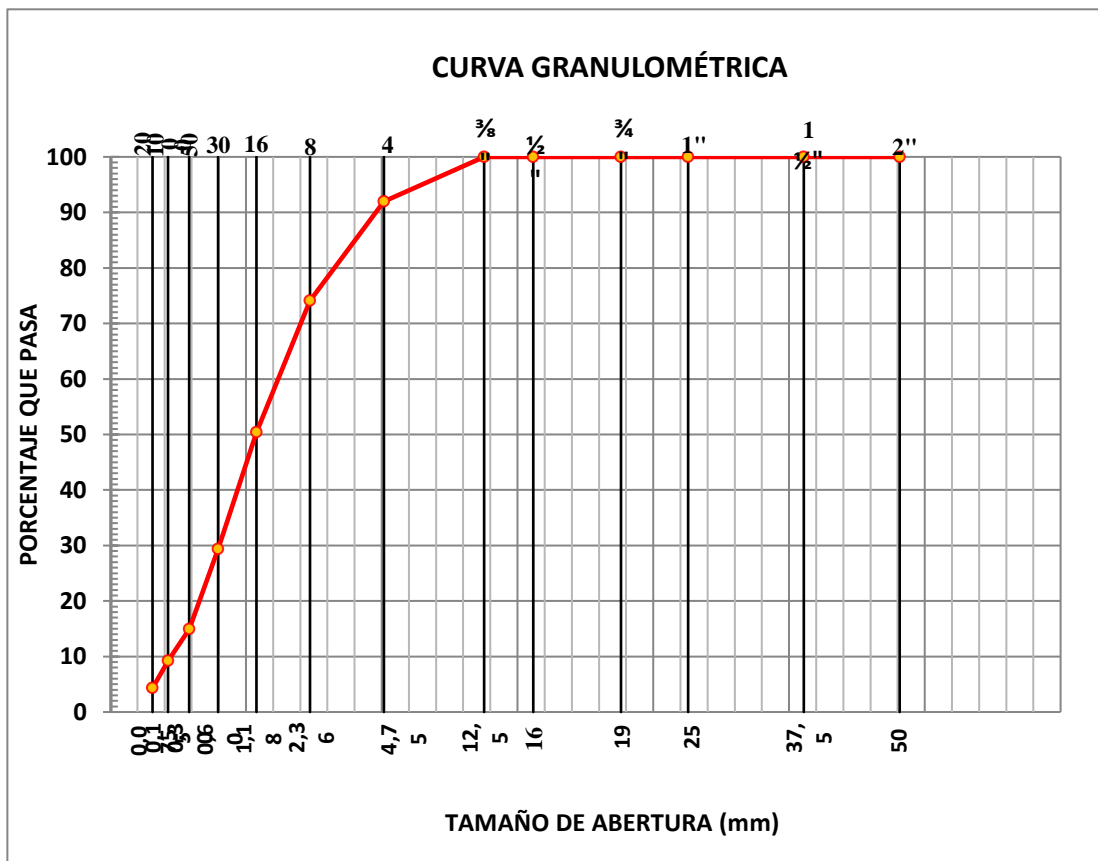


Ilustración 15: Curva Granulométrica Agregado Fino

En las siguientes tablas se puede apreciar el resumen de los resultados obtenidos en los ensayos realizados a los agregados de material pétreo.

Material Grueso 3/4						
Norma	Ensayo	Valor	U	Límites		Cumple
				Mín.	Máx.	
ASTM C127	Gravedad específica Bulk (Ge)	2.63	g/cm ³	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica saturada con superficie seca (Ges)	2.67	g/cm ³	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica aparente (Gea)	2.74	g/cm ³	-	-	-
ASTM C127	Porcentaje de absorción (%Abs)	1.44	g/cm ³	-	-	-
ASTM C131	Abrasión	31.5	%	-	40	SI
ASTM C88	Durabilidad a los sulfatos	2	%	-	18	SI

Tabla 1: Tabla 1: Resumen Agregado Grueso 3/4"

Material Medio 3/8						
Norma	Ensayo	Valor	U	Límites		Cumple
				Mín.	Máx.	
ASTM C127	Gravedad específica Bulk (Ge)	2.56	g/cm ³	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica saturada con superficie seca (Ges)	2.60	g/cm ³	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica aparente (Gea)	2.66	g/cm ³	-	-	-
ASTM C127	Porcentaje de absorción (%Abs)	1.42	g/cm ³	-	-	-
ASTM C88	Durabilidad a los sulfatos	2	%	-	18	SI

Tabla 2: Resumen Agregado Intermedio 3/8"

Material Fino						
Norma	Ensayo	Valor	U	Límites		Cumple
				Mín.	Máx.	
ASTM C127	Gravedad específica Bulk (Ge)	2.42	g/cm ³	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica saturada con superficie seca (Ges)	2.50	g/cm ³	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica aparente (Gea)	2.62	g/cm ³	-	-	-
ASTM C127	Porcentaje de absorción (% Abs)	3.16	g/cm ³	-	-	-
ASTM C89	Equivalente de arena	87	%	50	-	SI
ASTM C88	Durabilidad a los sulfatos	2	%	-	18	SI

Tabla 3: Resumen Agregado Fino

3.3 Caracterización de cemento asfáltico

En el caso del cemento asfáltico para este trabajo se va a utilizar un asfalto AC-20, el cual tiene la misma procedencia que el del diseño escogido, por lo tanto, se presenta a continuación el resumen de las características de este componente para realizar la comprobación del diseño.

Asfalto AC20							
Ensayo	Valor	U.	Límites		Cumplimiento		Normativa
			Mín.	Máx.	SI	NO	
Gravedad específica	1.015	-	-	-	-	-	ASTM D70
Penetración	91	dmm	60	-	x	-	ASTM D5
Punto de ablandamiento	48	°C	-	-	-	-	ASTM D36
Punto de inflamación	232	°C	232	-	x	-	ASTM D92
Punto de combustión	238		-	-	-	-	ASTM D92
Viscosidad absoluta	200	Pa.s	160	240	x	-	ASTM D2171
Viscosidad cinemática	364	Pa.s	300	-	x	-	ASTM D2170
Residuo de ensayos de película fina en horno rotatorio							
Cambio de masa	0.026	%	-	-	-	-	ASTM D2872
Ductilidad	63.65	cm	50	-	x	-	ASTM D113
Viscosidad	715	Pa.s	-	1000	x	-	ASTM D2171

Ilustración 18: Resumen caracterización del cemento asfáltico

Fuente: (Jácome y Paz, 2021)

CAPÍTULO 4

4. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

4.1 Método Marshall

El Ingeniero Bruce Marshall ideó el método Marshall para el diseño de mezclas asfálticas, especialmente diseñado para mezclas de asfalto denso y aplicable exclusivamente a mezclas asfálticas en caliente con agregados que tengan un tamaño máximo nominal de 1 pulgada (25 mm). Este proceso encuentra aplicación principal en diseños de laboratorio y control de calidad (Asphalt Institute, 2007).

Es crucial alcanzar una mezcla exacta tanto del agregado pétreo como del asfalto en una composición de asfalto en caliente. Este proceso tiene como objetivo evaluar las propiedades físicas y comprender el comportamiento de la mezcla cuando se transforma en un pavimento finalizado. Hay diversos procesos para calcular las cantidades idóneas de agregado y asfalto, siendo el método Marshall el más prevalente mundialmente.

Este enfoque, como se destacó anteriormente, busca determinar cuál de los porcentajes de fibra de abacá utilizados es el apto para cumplir con las especificaciones de pavimento flexible. Asimismo, brinda detalles de las características de una mezcla, niveles de vacíos que deben ajustarse a los intervalos requeridos para la elaboración de superficies de rodamiento (Asphalt Institute, 1992).

En la implementación práctica, este procedimiento implica el uso de briquetas estandarizadas, que tienen una altura de 63.5 milímetros (2 ½ pulgadas) y un diámetro de 102 milímetros (4 pulgadas). Estas briquetas se preparan y ensayan conforme a las directrices de la norma ASTM D 1559, que detalla los métodos de preparación, calentamiento, mezcla, compactación y ensayo de las briquetas. Los principales parámetros determinados a través del ensayo Marshall incluyen el peso específico total, la estabilidad y flujo, densidad y la relación de vacíos. (Anguas et al., 2005).

Las pautas de la MTOP 2002 especifican que, en zonas con tráfico muy pesado, la estabilidad debe ser de al menos 2200 lb, y para áreas con tráfico pesado, la estabilidad debe ser de al menos 1800 lb. De manera similar, se fija un mínimo flujo de 8 y un máximo de 14 para ambas situaciones.

TABLA 405.5.4

TIPO DE TRAFICO	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
CRITERIOS MARSHALL	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
No. De Golpes/Cara	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	2200	----	1800	----	1200	----	1000	2400
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacíos en mezcla								
- Capa de Rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5
- Capa Intermedia	3	8	3	8	3	8	3	8
- Capa de Base	3	9	3	9	3	9	3	9
% Vacíos agregados	VER TABLA 405-5.5							
Relación filler/betún	0.8	1.2	0.8	1.2				
% Estabilidad retenida luego 7 días en agua temperatura ambiente								
- Capa de Rodadura	70	----	70	----				
- Intermedia o base	60	----	60	----				

Ilustración 19: Especificaciones de una mezcla asfáltica

Fuente: (MTO, 2002)

4.1.1. Estabilidad

La estabilidad, también denominada resistencia a las deformaciones plásticas, se refiere a la capacidad de resistir deformaciones y desplazamientos causados por las cargas generadas por el tráfico vehicular. Esta propiedad está influenciada por los factores cruciales: la fricción interna, que también se ve afectada por la textura superficial, la forma de las partículas y el tipo de asfalto; y la cohesión, que está relacionada con el contenido de asfalto. (Romero y Sánchez, 2022).

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		

Ilustración 20: Factor de corrección estabilidad

Fuente: ASTM D 2726

4.1.2. Flujo

El flujo, también denominado fluencia, se define como la deformación vertical total que experimenta la muestra cuando está sometida a una carga total máxima. Un aspecto crucial en el fenómeno del flujo es la proporción de asfalto en la muestra, ya que un aumento en la cantidad de este componente tiende a resultar en un aumento en la fluencia de la mezcla (Romero y Sánchez, 2022).

4.2 Propiedades volumétricas para ensayo Marshall

4.2.1. Gravedad específica Bulk (Gmb)

$$Gmb = \frac{A}{B - C}$$

Ecuación 10: Gravedad Bulk

Donde:

Wa = Peso seco en aire

Wss = Peso saturado con superficie seca

Ww = Peso sumergido en agua

4.2.2. Gravedad específica de la mezcla de agregados (Gsb)

$$Gsb = \frac{100}{\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \dots + \frac{Pn}{Gn}}$$

Ecuación 11: Gravedad específica de la mezcla

Donde:

P1.n = Porcentajes de la mezcla

G1.n = Gravedad específica Bulk de cada material

4.2.3. Gravedad específica efectiva (Gse)

$$Gse = \frac{Ps}{\frac{100}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}}$$

Ecuación 12: Gravedad específica efectiva

Donde:

Ps= porcentaje de agregado en la mezcla.

Pb= Porcentaje del cemento asfáltico utilizado en la mezcla.

Gmm= Gravedad específica máxima teórica de la mezcla.

Gb= Gravedad específica del cemento asfáltico.

4.2.4. Gravedad específica máxima teórica

$$Gmt = \frac{100}{\frac{Ps}{Gsb} + \frac{Pb}{Gasf}}$$

Ecuación 13: Gravedad específica máxima teórica

Donde:

Ps = Porcentaje de agregado en la mezcla

Gsb = Gravedad específica Bulk del agregado total

Pb = Porcentaje de asfalto en la mezcla

Gasf = Gravedad específica del asfalto

4.2.5. Gravedad específica máxima teórica (Gmm)

$$G_{mm} = \frac{A}{A + D - E}$$

Ecuación 14: Gravedad Rice

Donde:

A= Peso muestra seca en aire.

D= Peso recipiente más agua a 25° C.

E= Peso recipiente, más agua, más la muestra.



Ilustración 21: Muestras antes del ensayo Rice



Ilustración 22: Ensayo Rice

4.2.6. Vacíos en el agregado mineral (VAM)

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}}$$

Ecuación 15: Vacíos en el agregado mineral

Donde:

P_s = Porcentaje de agregado presente en la mezcla.

G_{mb} = Gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica compactada.

G_{sb} = Gravedad específica de la mezcla de agregados.

4.2.7. Porcentaje de vacíos (VA)

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

Ecuación 16: Porcentaje de vacíos

Donde:

V_a = Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada.

G_{mb} = Gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica compactada.

G_{mm} = Gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica suelta.

4.2.8. Vacíos llenos con asfalto (VAF)

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - P_a}{VMA}$$

Ecuación 17: Vacíos llenos con asfalto

Donde:

VFA= Porcentaje de vacíos llenos de asfalto en la mezcla compactada.

VMA= Porcentaje de vacíos entre los agregados en la mezcla compactada.

P_a = Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada.

4.2.9. Contenido de asfalto absorbido por los agregados

$$P_{ba} = 100 \times \frac{(G_{se} - G_{sb})}{(G \times G_{sb})} \times G_b$$

Ecuación 18: Contenido de asfalto absorbido por los agregados

Donde:

P_{ba} = Porcentaje de asfalto absorbido por los agregados.

G_{se} = Gravedad específica efectiva de los agregados.

G_{sb} = Gravedad específica de la mezcla de agregados.

G_b = Gravedad específica del asfalto.

4.2.10. Contenido efectivo de cemento asfáltico

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

Ecuación 19: Contenido efectivo de cemento asfáltico

Donde:

P_{be} = Porcentaje efectivo de asfalto en la mezcla.

P_{ba} = Porcentaje de asfalto absorbido por los agregados.

P_b = Porcentaje total de asfalto presente en la mezcla.

P_s = Porcentaje total de agregados presentes en la mezcla.

4.2.11. Relación filler - betún

$$f/a = \frac{\% \text{pasa tamiz \#200}}{P_{be}}$$

Ecuación 20: Relación filler/betún

Donde:

f/a= Relación filler/asfalto

P_{be}= Porcentaje efectivo de asfalto en la mezcla.

4.3 Diseño Mezcla Asfáltica Escogida

4.3.1. Mezclas Asfálticas en Caliente (HMA)

Basándose en el diseño de mezcla asfáltica en caliente obtenida en el trabajo de disertación de los autores Jácome y Paz de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador en el año 2021, se procede a utilizar el diseño de pavimento con su porcentaje óptimo de asfalto del 6,16%, utilizando agregados de la mina de Pifo los cuales son 25% para los agregados 3/4 y 3/8 y de un 50% para el agregado fino.

PORCENTAJE DE ASFALTO	
Estabilidad	6,08%
Densidad Bulk	6,01%
% de Vacíos	6,40%
% Óptimo de Asfalto	6,16%

Ilustración 23: Porcentaje óptimo de diseño escogido

Fuente: (Jácome y Paz, 2021)

4.3.2. Mezclas asfálticas calientes con fibra de abacá

Se propone la introducción de fibra de abacá en el material intermedio de 3/8" de la mezcla para evaluar los porcentajes óptimos de cada tipo de agregado en la mezcla. Se plantea la incorporación de 0,25%, 0,5% y 1% de fibra de abacá para determinar cuál de estos porcentajes sigue las condiciones especificadas por el procedimiento Marshall.

Es esencial mencionar que la fibra ha sido previamente cortada en filamentos de 2 cm de longitud y se incorporará en la mezcla de acuerdo con su peso. Con todos estos elementos en cuenta, se inicia la preparación de las combinaciones planeadas para cada proporción de fibra de abacá.

DISEÑO DE LA MEZCLA (PARA ADICIONAR FIBRA)												
MALLA		1"	3/4 "	1/2 "	3/8"	N° 4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°100	N°200
ABERTURA	(mm)	25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
ESPECIFICACIÓN	MÍN	100	90	90	56	35	23	---	---	5	---	2
	MÁX	100	100	100	80	65	49	---	---	19	---	8
AGREGADO A	(ARENA) 50%	100	100,0	100	100,0	92,00	74,08	50,4	29,34	14,9	9,26	4,3
AGREGADO B	(INTER.) 25%	100,0	100,0	100,0	85,8	57,8	39,0	25,2	15,5	10,9	8,0	5,2
AGREGADO C	GRUESO 25%	100,0	90,0	65,5	31,2	7,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,09	0,08
MEZCLA AGREGADOS		100,0	97,5	-	79,3	62,3	46,9	-	-	10,2	6,7	3,5

Tabla 4: Mezcla para el diseño más 3% de fibra de abacá.

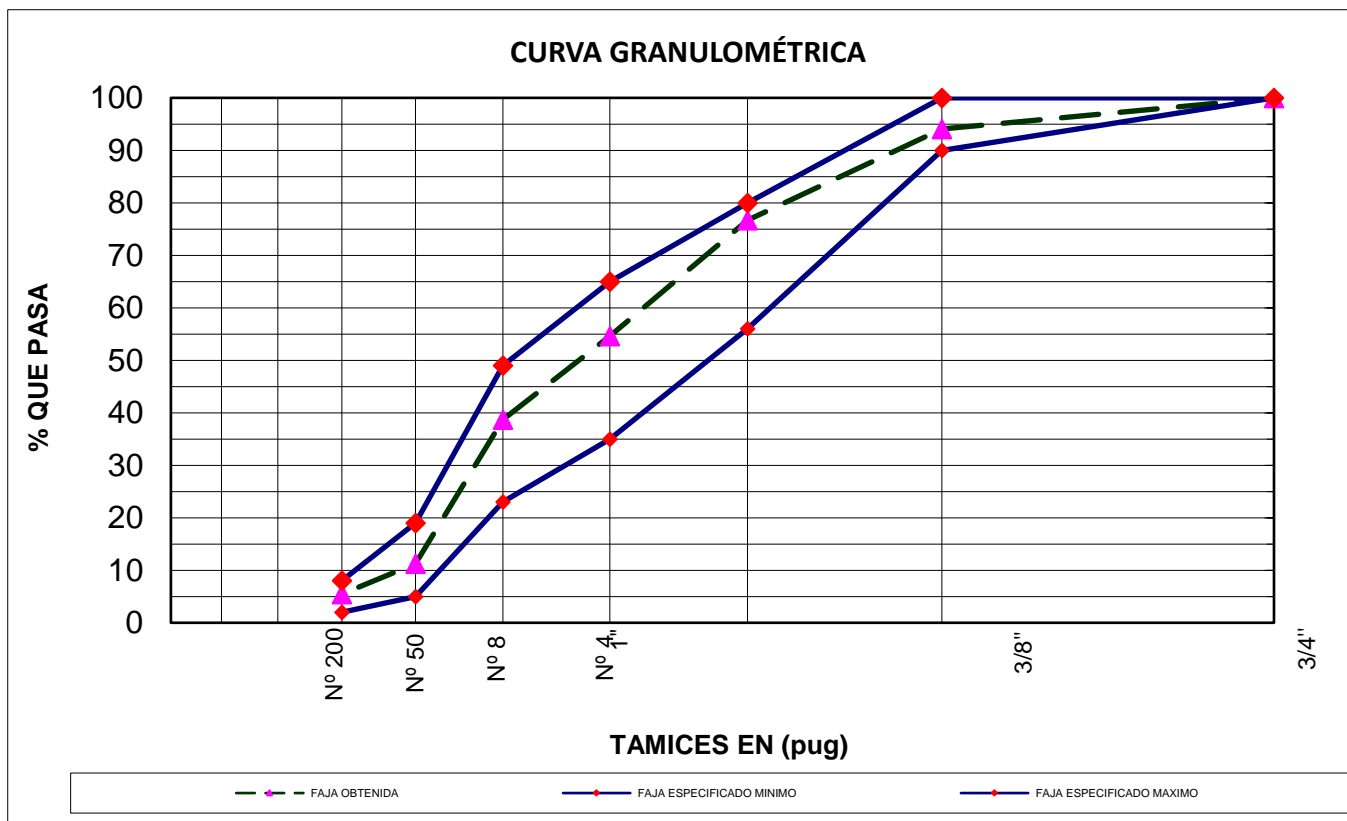


Ilustración 24: Curva granulométrica de la mezcla propuesta más 3% de fibra de abacá.

PORCENTAJE DE FIBRA DE ABACÁ	0.25%	0.5%	1%
AGREGADO GRUESO	25%	25%	25%
AGREGADO MEDIO	25%	25%	25%
AGREGADO FINO	49.75%	49.5%	49%

Tabla 5: Porcentajes de agregados con diferentes porcentajes de fibra de abacá.

Fabricamos fundas de 1100 gramos, mezclamos y compactamos la combinación a una temperatura de 110° C. Luego, determinamos los datos de las propiedades de la mezcla para los diferentes porcentajes de fibra de abacá.

% de fibra de abacá	0.25%	0.5%	1%
Gmm	2,418	2,439	2,421
Gse	2,658	2,672	2,669

Tabla 6: Rice y Gravedad específica efectiva con diferentes porcentajes de fibra de abacá

4.3.3. Resultados del método Marshall con fibra de abacá

Para recopilar la información presente en la tabla siguiente, se aplicaron las fórmulas correspondientes a la densidad Bulk, a los espacios vacíos en el material, al porcentaje de vacíos y a los vacíos llenos de asfalto.

Briqueta	% FA	Porcentaje Asfalto	Peso Aire	Peso Sat. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm3)	D. Bulk g/cm3	Gmm g/cm3	V. a. %	V. agr. %	VAM %	VAF %	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01"
													Medida	F Correc.	Corregida	
1	0,25	6,2	1163,39	1166,76	644,10	522,7	2,226	2,307	3,52	89,0	11,00	68,04	2800	1,00	2800	13
2	0,25	6,2	1164,05	1166,95	642,49	524,5	2,220	2,307	3,79	82,3	17,70	78,58	2750	0,96	2640	12
3	0,25	6,2	1167,25	1169,45	643,21	526,2	2,218	2,307	3,85	82,2	17,76	78,30	2700	0,96	2592	11
						PROMEDIO	2,221	2,307	3,7	84,5	15,5	75,0			2677	12
4	0,5	6,2	1160,81	1164,05	631,88	532,2	2,181	2,378	8,27	80,9	19,12	56,74	2500	0,96	2400	14
5	0,5	6,2	1160,21	1164,11	634,50	529,6	2,191	2,378	7,88	81,2	18,77	58,04	2350	0,96	2256	13
6	0,5	6,2	1168,71	1170,86	636,72	534,1	2,188	2,378	7,99	81,1	18,87	57,67	2300	0,96	2208	13
						PROMEDIO	2,187	2,378	8,0	81,1	18,9	57,5			2288	13
7	1,0	6,2	1159,59	1176,76	615,67	561,1	2,067	2,376	13,02	76,6	23,40	44,38	2200	0,86	1892	15
8	1,0	6,2	1160,13	1170,98	619,15	551,8	2,102	2,376	11,52	77,9	22,08	47,84	2100	0,89	1869	14
9	1,0	6,2	1161,77	1173,49	619,51	554,0	2,097	2,376	11,74	77,7	22,28	47,31	2000	0,89	1780	13
						PROMEDIO	2,1	2,4	12,1	77,4	22,6	46,5			1847	14

Tabla 7: Ensayos método Marshall - WMA con fibra de abacá

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Comprobación del diseño escogido

Con el diseño escogido se realizó la comprobación obteniendo los siguientes resultados:

Mezcla asfáltica en caliente con 6,16%		Unidades	Especificaciones MTOP-001-F 2002		Verificación	
			Tráfico pesado		Cumple	No Cumple
			Mín.	Máx.		
Densidad Bulk	2,314	g/cm ³	-	-	✓	
Estabilidad	1918	lb	1800		✓	
Flujo	13	0,01"	8	14	✓	
Va	4,5	%	3	5	✓	
VAM	17	%	13	-	✓	
VAF	73.03	%	65	75	✓	

Tabla 8: Mezclas HMA para tráfico pesado

Briquet a	Porcentaj e de Asfalto	Peso Aire	Peso Sat. Sup. Seca	Peso en agua	Volume n Briqueta (cm3)	D. Bulk g/cm3	Gmm g/cm3	V. a. %	V. agr. %	VA M %	VAF %	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01''
												Medid a	F Correc.	Corregid a	
1	6,16	1273,80	1274,50	710,85	563,7	2,260	2,339	3,4	83,8	16,2	79,14	2120	0,89	1887	14
2	6,16	1216,40	1217,60	671,90	545,7	2,229	2,339	4,7	83,3	16,7	71,80	2100	0,96	2016	13,5
3	6,16	1285,40	1287,40	705,60	581,8	2,209	2,339	5,5	82,6	17,4	68,16	2080	0,89	1851	11,5
				PROMEDIO		2,314	2,339	4,5	83,2	17	73,03			1918	13

Tabla 9: Comprobación del diseño con 6,16% de asfalt

5.2 Propiedades ensayo Marshall

Con la información recabada en la prueba Marshall, se procede a la creación de los gráficos de:

- Estabilidad (lb) vs. % de fibra de abacá.
- Flujo (1/100”) vs. % de fibra de abacá.
- Gravedad específica Bulk (g/cm^3) vs. % de fibra de abacá.
- Vacíos (%) vs. % de fibra de abacá.
- VAM (%) vs. % de fibra de abacá.
- VAF (%) vs. % de fibra de abacá.

A partir de estas representaciones gráficas, se establece el porcentaje ideal de fibra de abacá mediante un enfoque convencional, que implica comparar las propiedades obtenidas del ensayo Marshall para determinar cuál de los tres es el porcentaje óptimo de fibra, así como los valores de vacíos, estabilidad y flujo obtenidos.

Este proceso contribuirá a verificar si las briquetas fabricadas cumplen con los criterios establecidos para un rendimiento efectivo de tráfico pesado cuando están en uso.

5.2.1. Mezclas Asfálticas calientes con Fibra de abacá

Con base en la información recopilada, se crean las siguientes representaciones gráficas de las diferentes propiedades con los tres porcentajes de fibra de abacá.

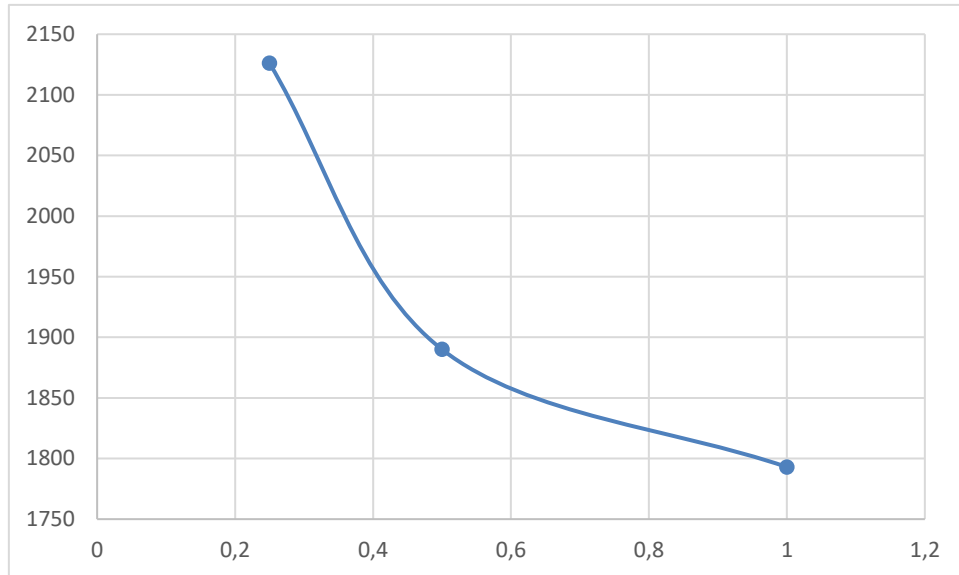


Ilustración 25: %Fibra de abacá vs Estabilidad

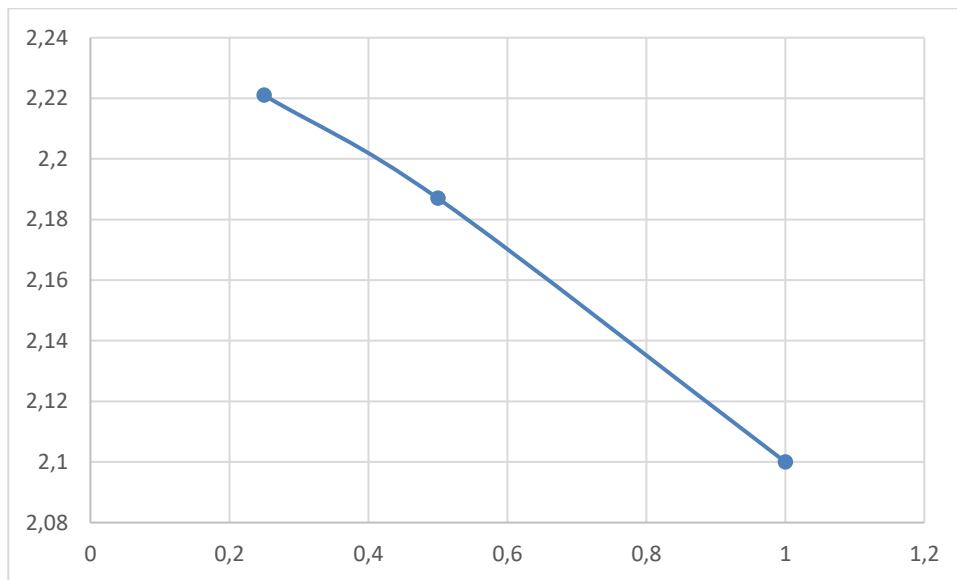


Ilustración 26: % Fibra de abacá vs Densidad Bulk

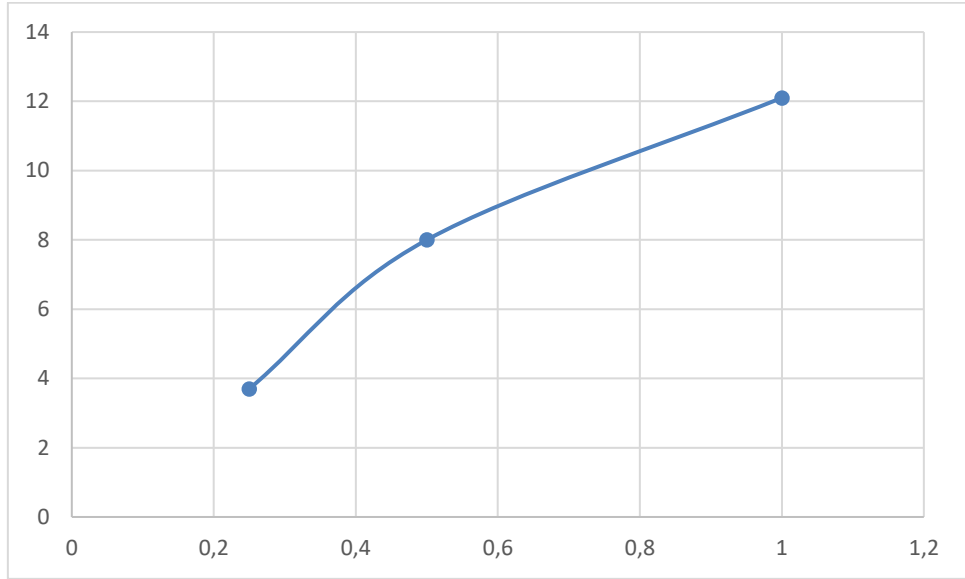


Ilustración 27: % Fibra de abacá vs %Vacíos

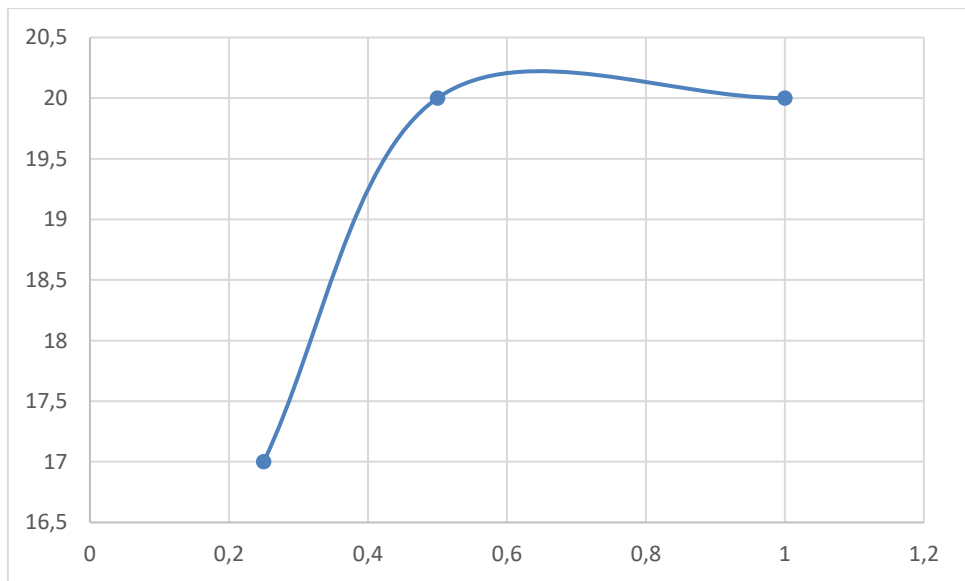


Ilustración 28: %Fibra de abacá vs Flujo

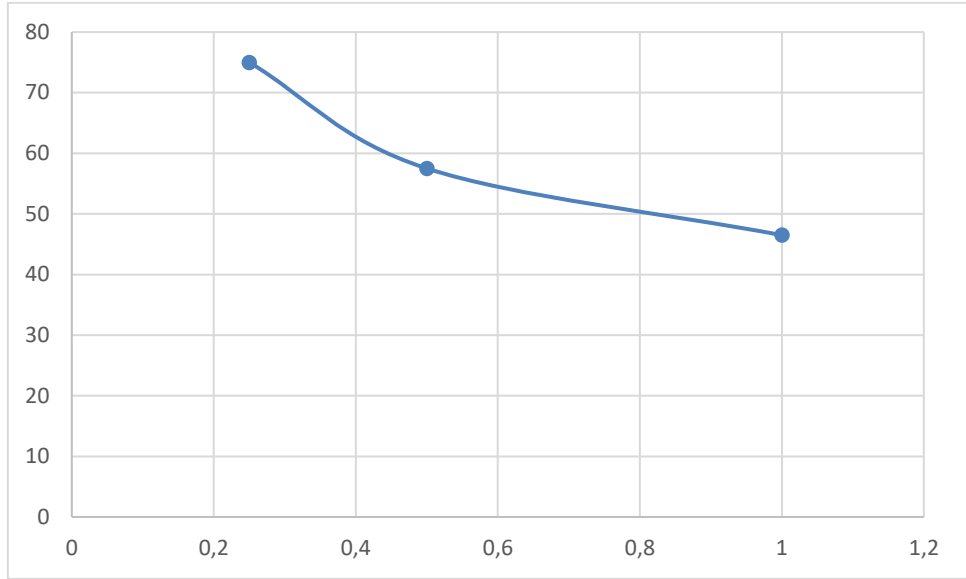


Ilustración 29: %Fibra de abacá vs %VAM

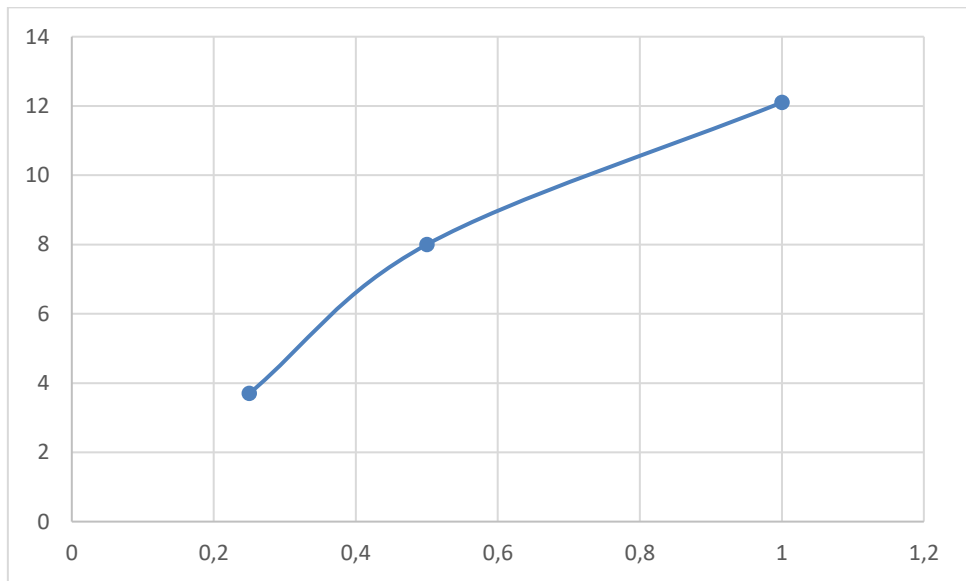


Ilustración 30: %Fibra de abacá vs %VAF

5.3 Porcentaje óptimo de fibra de abacá

Conforme a los resultados obtenidos del ensayo Marshall se puede observar que al implementar fibra de abacá en la mezcla asfáltica el valor de la estabilidad aumenta en comparación con las muestras sin fibra de abacá. En comparación de las muestras realizadas con diferentes porcentajes de fibra de abacá se observa que el mejor rendimiento y comportamiento se obtiene con el 0.25%, el cuál obtuvo el mayor valor de estabilidad y flujo, así como cumple con el parámetro establecido de % VAM, sin embargo, el valor de porcentaje de vacíos cumple con el valor máximo el cual es 75, por lo que se debería tomar en cuenta esta observación para posibles estudios futuros, como se muestra en el siguiente gráfico.

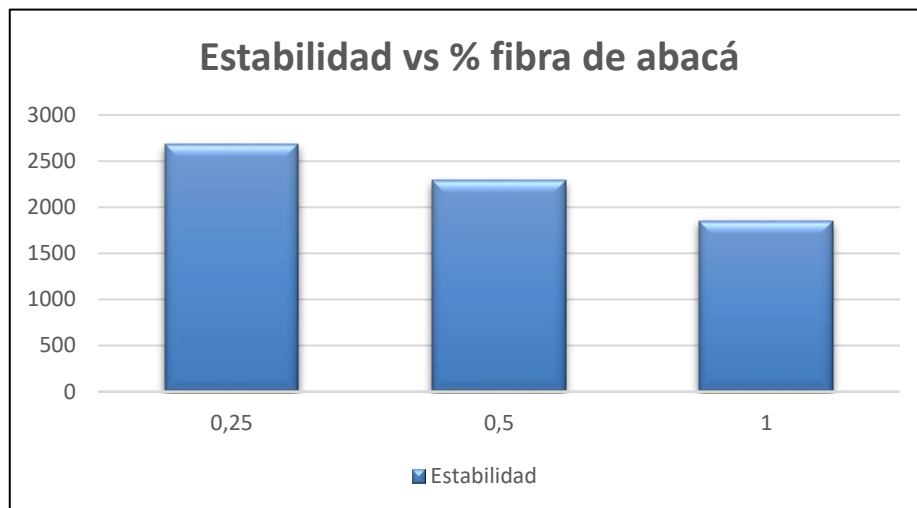


Ilustración 31: Estabilidad vs fibra de abacá

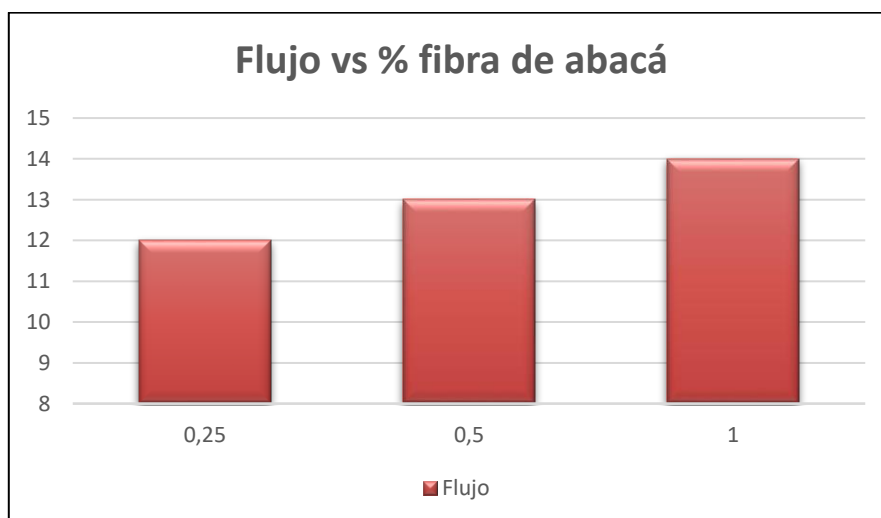


Ilustración 32: Flujo vs %fibra de abacá

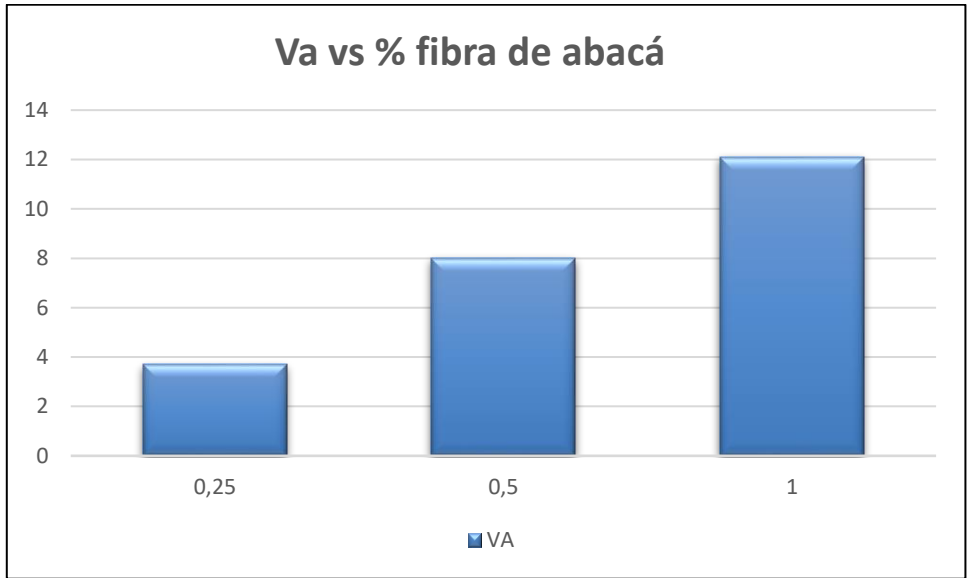


Ilustración 33: Va vs % fibra de abacá

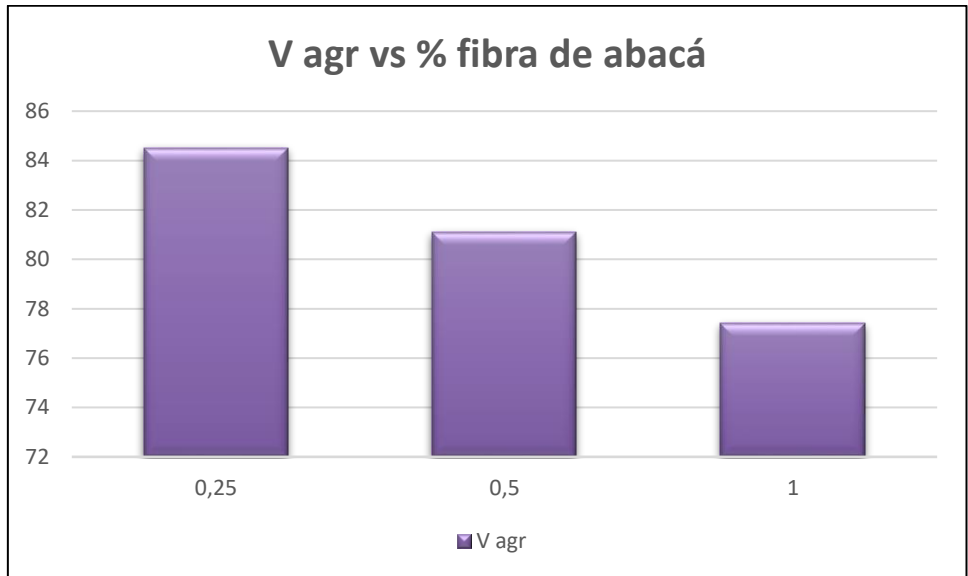


Ilustración 34: V agr vs % fibra de abacá

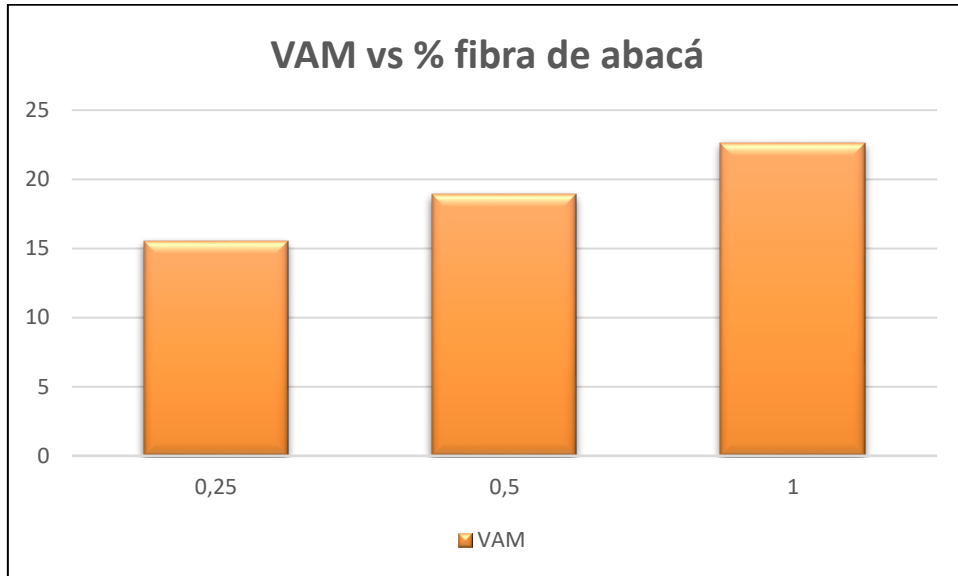


Ilustración 35: VAM vs % fibra de abacá

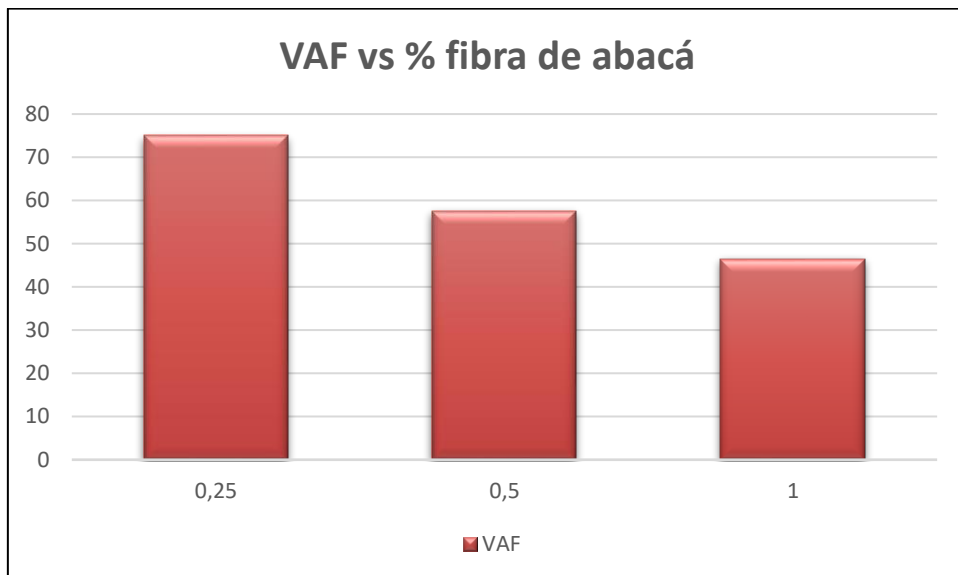


Ilustración 36: VAF vs % fibra de abacá

5.4 Comparación mezcla asfáltica con y sin fibra de abacá

Después de determinar que el porcentaje óptimo de fibra de abacá es de 0.25%, se procede a hacer una comparación con los resultados de las propiedades obtenidas en el ensayo Marshall de las briquetas con fibra y sin presencia de fibra para realizar el respectivo análisis de investigación. A continuación, se muestra la comparación de las distintas propiedades de una mezcla asfáltica.

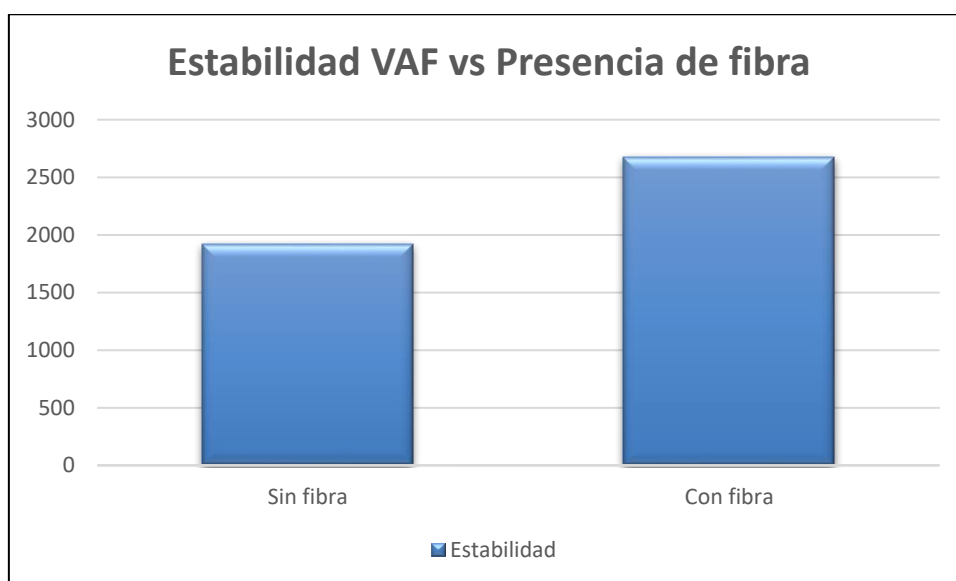


Ilustración 37: Estabilidad VAF vs Presencia de fibra

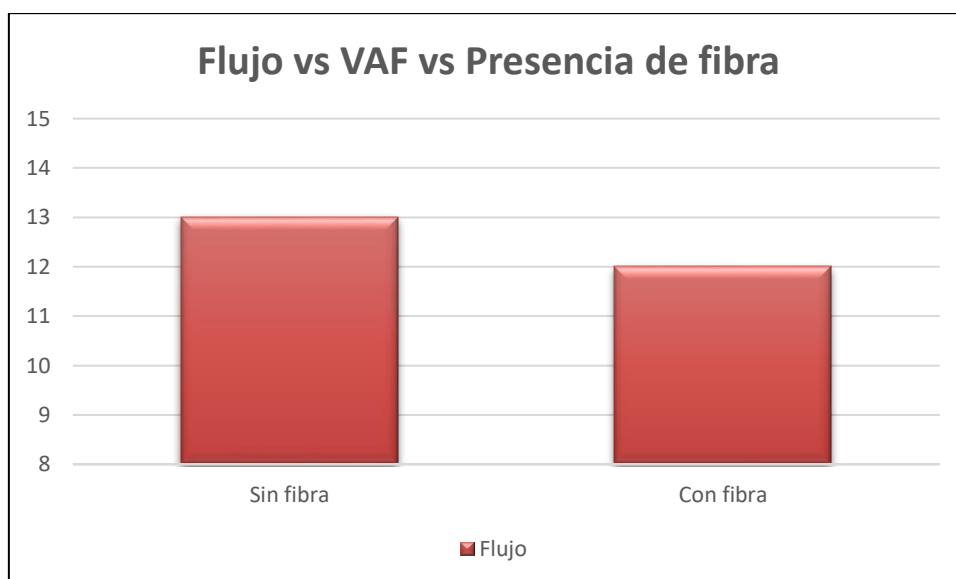


Ilustración 38: Flujo vs VAF vs Presencia de fibra

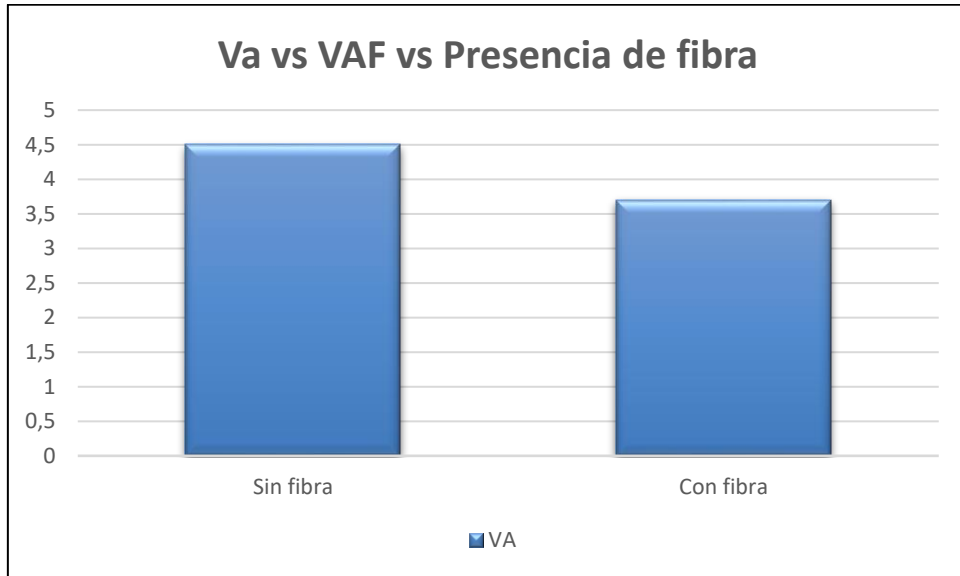


Ilustración 39: Va vs VAF vs Presencia de fibra

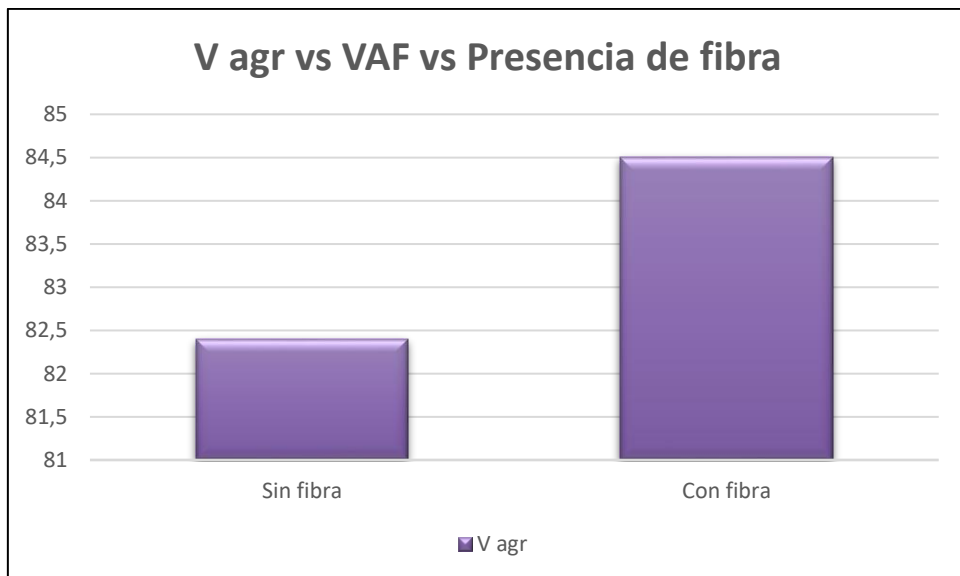


Ilustración 40: V agr vs VAF vs Presencia de fibra

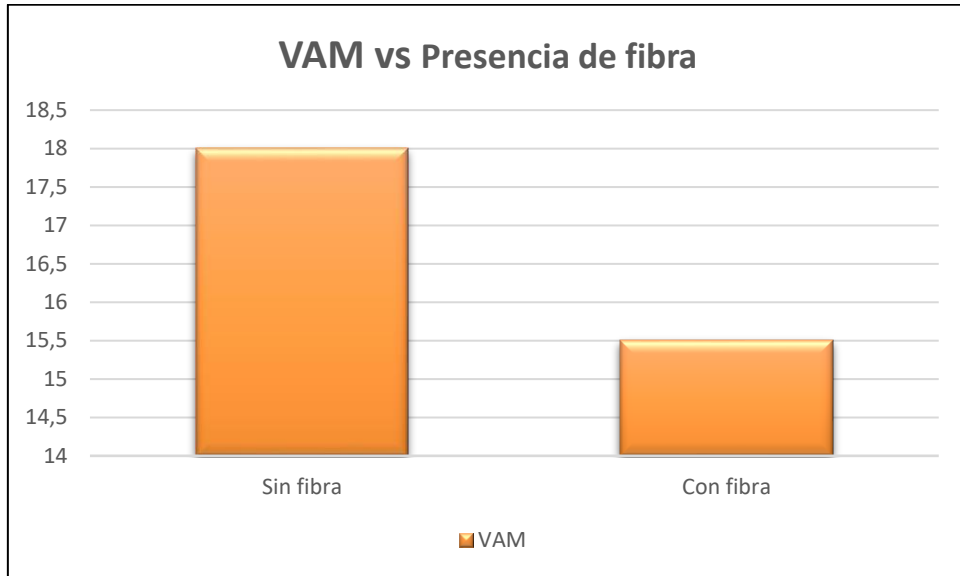


Ilustración 41: VAM vs Presencia de fibra

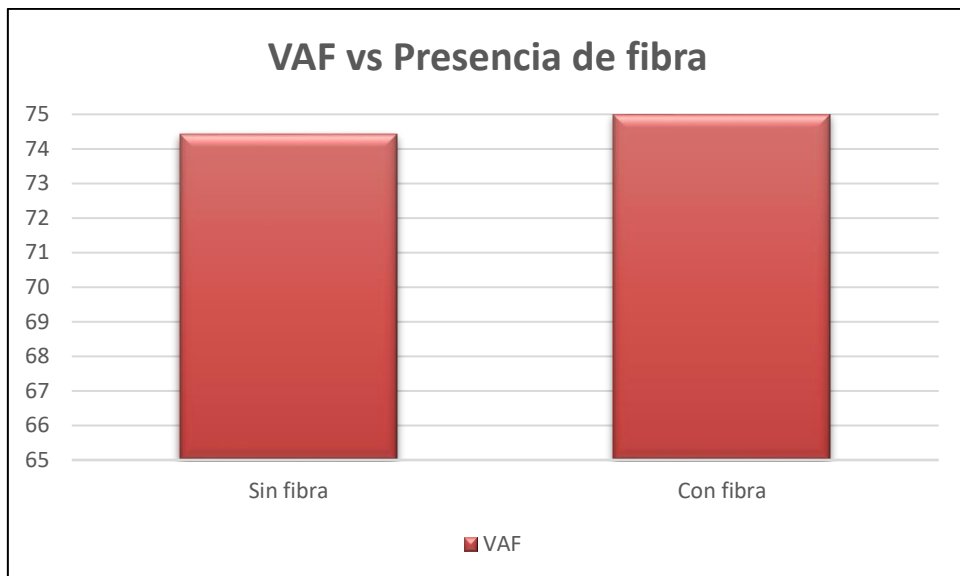


Ilustración 42: VAF vs Presencia de fibra

CAPÍTULO 6

1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.1 Conclusiones

- Se elaboraron 12 briquetas en total: 3 con el diseño escogido para realizar su comprobación y 9 incrementando fibra de abacá en el diseño original, las 9 briquetas con distintos porcentajes de fibra basándose en el mismo diseño con el 6.16% de asfalto óptimo y variando su porcentaje de agregado fino con la adición de la fibra de abacá.
- Se obtuvo la comprobación exitosa del diseño de mezcla asfáltica escogida con el 6,16% de asfalto, con resultados cercanos o iguales en las propiedades arrojadas por el ensayo Marshall.
- La comparación entre muestras con 0.25%, 0.5%, y 1% de fibra de abacá indicó que el porcentaje que muestra los mejores resultados en las propiedades de una mezcla asfáltica es la dosificación con el 0.25% de fibra de abacá, obteniendo el mayor valor de estabilidad el cual es 2677 lb y un flujo de 12 in/100, cumpliendo con los requisitos especificados para un tráfico pesado. Sin embargo, se observó que el valor de vacíos se encuentra en el límite máximo de 75 por lo tanto se debe tomar en cuenta este aspecto para futuras investigaciones.
- Se puede observar que mientras mayor es el porcentaje de fibra de abacá en la mezcla, mayor es el flujo, obteniendo así una relación proporcional, en cambio no ocurre lo mismo con la estabilidad la cual disminuye conforme aumenta el porcentaje de fibra de abacá, obteniendo una relación inversamente proporcional.
- Se puede concluir que el adicionar un pequeño porcentaje de fibra de abacá mejora la estabilidad de la mezcla, sin embargo, en un porcentaje muy grande y de mayor longitud puede afectar a las propiedades de la mezcla y a su trabajabilidad la cual se vuelve más compleja mientras más fibra se agrega.
- La muestra óptima modificada, con 0.25% de fibra de abacá, demostró una mejora significativa en estabilidad (2677 lb), superando la estabilidad mínima requerida de 1800 lb y con un flujo de 12 in/100 especificado para un tráfico pesado, evidenciando un aumento del 48.72% en las propiedades de estabilidad con la adición de fibra.
- Se confirmó que las mezclas cumplen con las especificaciones para tráfico pesado,

destacando que la mezcla con 0.25% de fibra de abacá presenta las mejores características de conglomeración.

- Con respecto a los ensayos realizados y los resultados favorables, se busca fomentar la implementación de fibra de abacá en proyectos viales, contribuyendo a la reducción del uso de materiales pétreos y disminuyendo el consumo de energía durante la extracción.

1.2 Recomendaciones

- Dada la naturaleza absorbente de la fibra de abacá, se aconseja controlar el porcentaje óptimo de asfalto considerando la variabilidad del porcentaje óptimo de la mezcla original.
- Al emplear fibra de abacá en las mezclas, se sugiere sustituir la fibra por agregado fino, siendo el tamaño fino. Tamaños de partículas equivalentes a grueso pueden exponer desventajas, como gran absorción de cemento asfáltico afectando negativamente las propiedades de la mezcla.
- Se recomienda tratar la fibra con algún químico, como agua oxigenada o parafina, para que retenga humedad y no absorba en gran medida el asfalto líquido, mejorando así los resultados del análisis de la mezcla.
- Se aconseja realizar ensayos específicos para la fibra de abacá, especialmente si proviene de diferentes lugares del país, debido a posibles variaciones en sus propiedades según su lugar de origen.
- En caso de replicar este trabajo para una mezcla asfáltica en funcionamiento, se sugiere realizar un estudio de costos considerando el valor sumado de la fibra de abacá para proyectos de gran envergadura. Esto incluye evaluar el costo de transporte del material y el costo por peso
- Se recomienda llevar a cabo el trabajo en ambiente cerrado para evitar la pérdida de humedad propio de la fibra.
- Se recomienda realizar un análisis de costo/beneficio para la implementación de la fibra de abacá en una mezcla asfáltica para trabajos de campo, así como estudiar si variabilidad económica.

2. BIBLIOGRAFÍA

- Álcivar Zambrano, E. M., & Escobar León, D. E. (2019). INFLUENCIA DE LA INCLUSIÓN DE FIBRA DE ABACÁ EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE LIMOS ARENOSOS REMOLDEADOS. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/17469>
- 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.ENGFRACTMECH.2017.06.003>
- Anguas, P. G., Delgado, H., Carlos, A., & Sandoval, D. S. (2005). ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS MARSHALL Y SUPERPAVE PARA COMPACTACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.
- Araiza Armenta, J. (2002). Manejo de planta de concreto asfáltico y construcción de carpeta. Obtenido de Universidad de Sonora - División de Ingeniería.
- ASOCAE O.N.G.D. (2011). EL ABACÁ (MUSA TEXTILIS), LA PLANTA DEL PAPEL MONEDA. Obtenido de <https://natureduca.com/blog/el-abaca-musa-textilis-la-planta-del-papel-moneda/>
- Asphalt Institute. (1992). Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Obtenido de Serie de Manuales N° 22 (MS-22).
- Asphalt Institute. (2014). MS-2 Asphalt Mix Design Methods. Obtenido de MANUAL SERIES N°. 02 - 7th Edition.
- ASTM International . (2014). Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate. Obtenido de Designation: D2419 – 14.
- ASTM International . (2019). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Obtenido de Designation: C136/C136M – 19.
- ASTM International. (2014). Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus). Obtenido de D36 - 14.
- ASTM International. (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity)and Absorption of Coarse Aggregate. Obtenido de Designation: C127 – 15.
- ASTM International. (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity)and Absorption of Fine Aggregate. Obtenido de Designation: C128 – 15.
- ASTM International. (2016). Standard Test Method for Saybolt Furol Viscosity of Bituminous Materials at High Temperatures. Obtenido de Designation: E102 - 93.

- ASTM International. (2017). Standard Test Method for Ductility of Asphalt Materials.
- ASTM International. (2017). Standard Test Methods and Practices for Emulsified Asphalts.
- ASTM International. (2018). Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. Obtenido de D92 - 18.
- ASTM International. (2018). Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Asphalts.
- ASTM International. (2018). Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate. Obtenido de Designation: C88/C88M – 18.
- ASTM International. (2018). Standard Test Method for Viscosity of Asphalt by Vacuum Capillary Viscometer . Obtenido de D2171/2171M - 18.
- ASTM International. (2019). Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film o Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test). Obtenido de D2872 - 19.
- ASTM International. (2019). Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate. Obtenido de Designation: D4791 – 19.
- ASTM International. (2019). Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Asphalt Mixtures. Obtenido de Designation: D2041/D2041M
- ASTM International. (2020). Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials.
- ASTM International. (2020). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. Obtenido de Designation: C131/C131M – 20.
- ASTM International. (2021). Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Asphalt Mixtures¹. Obtenido de Designation: D2726/D2726M – 21.
- ASTM International. (2021). Standard Test Method for Specific Gravity and Density of Semi-Solid Asphalt Binder (Pycnometer Method). Obtenido de D70 - 21.
- Calderón Carrasco , A., & Calderón Saavedra , C. (2020). Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de mezclas asfálticas comunes en caliente mediante la incorporación de organosilanos. Obtenido de Universidad Central del Ecuador.
- 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.
- 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.
- 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.
- Chimborazo, W. (2012). *Diseño de mezclas asfálticas mediante el método SUPERPAVE*. Universidad de Cuenca.
- El Agrónomo orgánico. (12 de junio de 2012). ABACÁ- GENERALIDADES Y CULTIVO. Obtenido de <http://elagronomoorganico.blogspot.com/2012/06/abaca-generalidades-y-cultivo-2.html>
- FAO. (2023). Fibras del Futuro. Obtenido de <https://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/>
<https://noticias.usm.cl/2015/07/30/departamento-de-obras-civiles-estrena-modernos-equipos-en-usm-san-joaquin/>
- INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN, 30(3), 27-44.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. Obtenido de NTE INEN 696.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (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. Obtenido de NTE INEN 860.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). Productos de petróleo. Determinación de la viscosidad cinemática y dinámica en líquidos transparentes y opacos. Obtenido de NTE INEN 810: 2013.
- Jácome Gómez, L., Cristina Martinez, M., De La Cruz Chicaiza, M., Chica Solórzano, H., & Valencia Enriquez, X. (marzo-abril de 2023). Rendimiento de fibra de dos variedades de Abacá (Musa textiles) en tres densidades de Siembra. Obtenido de [https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/5615/8484/#:~:text=E%20producto%20del%20abac%C3%A1%20es,y%20brillo%20\(Campuzano%20y%20Cede%C3%B1o%2C](https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/5615/8484/#:~:text=E%20producto%20del%20abac%C3%A1%20es,y%20brillo%20(Campuzano%20y%20Cede%C3%B1o%2C)
- Jácome, K & Paz, C. (2021). “Comportamiento de las mezclas asfálticas tibias utilizando residuos de acero con agregados de la mina de Pifo”. Pontificia Universidad Católica del Ecuador
- Larico Larico, C. C. (28 de septiembre de 2009). EL ABACÁ. Obtenido de <https://toaz.info/doc-view-2>
- Lopez, L., Sarmiento, A., Fajardo, J., Valarezo, L., & Zuluaga, R. (s.f.). DETERMINACIÓN

DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD, SOLUBLES E INSOLUBLES DE LA FIBRA. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://core.ac.uk/download/pdf/84697913.pdf

MTOP . (2002). ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES. Obtenido de MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y COMUNICACIONES MOP - 001-F 2002.

Norma Técnica Ecuatoriana. (2014). INEN 2515 - PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO. CEMENTO ASFÁLTICO (CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD) REQUISITOS. Quito.

Obtenido de D113 -17.

Obtenido de D2170/2170M - 18.

Obtenido de D244 - 09.

Obtenido de D5 - 20.

Padilla Rodríguez, A. (2004). Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista. Obtenido de Universitat Politècnica de Catalunya.

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.

Ponce Molina, E. (2015). PRODUCCIÓN DE FIBRA DE ABACÁ (*Musa textilis*) CON ABONADURA ORGÁNICA. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/1495/1/T-UTEQ-0158.pdf

Pontón Bravo, P. I. (abril de 2009). ESTUDIO DEL EFECTO DE ENCOLADO DE FIBRA DE ÁBACA EN EL MEJORAMIENTO DE SU CAPACIDAD DE TISAJE. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1709/1/CD-2128.pdf

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>

Quiñonez Intriago, L. A. (2021). “ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA

IMPLEMENTACIÓN DEL CULTIVO DE ABACÀ (Musa Textilis Nee.), EN LA BOCANA DEL BÙA, PROVINCIA DE ESMERALDAS, ECUADOR. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17181/1/13T00991.pdf

Romero, L & Sánchez, G. (2021) “Diseño de una mezcla asfáltica incorporando fibra de abacá con cal como materiales de refuerzo al comportamiento Marshall”. Universidad Nacional de Chimborazo.

Rondón Quintana, H., & Reyes Lizcano, F. (2015). Pavimentos: materiales, construcción y diseño. Bogotá: ECOE Ediciones.

Salas Balseca , A. P. (Febrero de 2009). OBTENCIÓN DE COMPUESTOS DE POLIETILENO REFORZADO CON FIBRAS DE ABACÁ MEDIANTE MOLDEO POR COMPRESIÓN. Obtenido de file:///C:/Users/Dell/Downloads/CD-1980%20(1).pdf

The Asphalt Institute. (2020). Glosario de términos. Obtenido de <http://www.asphaltinstitute.org/engineering/glossary-of-terms/>

Thenoux, G., & Jamet , A. (2002). Asfalto Espumado: Tecnología y Aplicaciones. Obtenido de Revista BIT: https://www.academia.edu/33774126/Asfalto_Espumado_Tecnolog%C3%ADa_y_Aplicaciones

Universidad Técnica Federico Santa María. (2015). Departamento de Obras Civiles estrena modernos equipos en USM San Joaquín. Obtenido de USM Noticias:

Vargas, X., & Reyes, F. (2010). El fenómeno de envejecimiento de los asfaltos. Zambrano, K. (03 de marzo de 2013). Abacá Ecuador. Obtenido de <http://abacaecuador.blogspot.com/p/proceso-del-abaca.htm>

3. ANEXOS

ANEXO 1: Características del AC-20 PETROECUADOR

INFORME DE RESULTADOS



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

GERENCIA: GERENCIA DE REFINACION REFERENCIA: PROGRAMA DE TRANSFERENCIA # 032
 ORGANIZACIÓN: M01_REFINERÍA ESMERALDAS PRODUCTO ANALIZADO: Q200 ASFALTO AC-20
 INFORME NO. M01-0116-2021 CODIGO MUESTRA: ECC-21-174

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

DATOS DE LA MUESTRA			
ORIGEN DE LA MUESTRA	AO-Y17	HORA TOMA DE MUESTRA	21:00:41
FECHA DE TOMA DE MUESTRA	2021/02/01	HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	21:10:02
CANTIDAD DE MUESTRA	1500 ml	LUGAR TOMA DE MUESTRA	ASFALTO
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	2021/02/01	PUNTO DE MUESTREO	AFORO DE TANQUE

DATOS DE ANÁLISIS			
TEMPERATURA AMBIENTE	24.5 °C	PRESIÓN BAROMÉTRICA	100.9 kPa
HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE	59.0 %HR	FECHA DE INICIO DE LOS ENSAYOS	2021/02/01 21:15:02
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME	2021/02/02	FECHA FINALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS	2021/02/02 03:30:41

PARÁMETRO	MÉTODO		ESPECIFICACIÓN ¹⁾		RESULTADO	UNIDAD DE MEDIDA	U ²⁾
	(ASTM INEN)	INTERNO	MIN.	MAX.			
	VISCOSIDAD ABSOLUTA 140 °F (60 °C)	ASTM D2171_NTE INEN 810	V03.06.01.03-T-22	160			
VISCOSIDAD CINEMÁTICA 275 °F (135 °C)	ASTM D2170_NTE INEN 810/1981	V03.06.01.03-T-23	300	-	364,0	mm ² /s	±1.9 %
PENETRACIÓN 77 °F (25 °C 100 G. 5s)	ASTM D5_NTE INEN 918	V03.06.01.03-T-20	60	-	77	dmm	±4 dmm
PUNTO DE INFLAMACIÓN	ASTM D92_NTE INEN 808	V03.06.01.03-T-21	232	-	286	°C	±5 °C
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO*	ASTM D2042_NTE INEN 815	V03.06.01.03-T-31	99	-	99,94	%P	-
RESIDUO DE ENSAYOS DE PELÍCULA 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	715,0	Pa s	±N/A
DUCTILIDAD 77 °F (25 °C) 5cm/min*	ASTM D113_NTE INEN 916	V03.06.01.03-T-24	-	-	64,0	cm	-
GRAVEDAD API A 60 °F (15.6 °C)	ASTM D1298_NTE INEN 2319	V03.06.01.03-T-04	REPORTE	REPORTE	7,2	*API	±N/A
DENSIDAD RELATIVA (15.6/15.6 °C)	ASTM D1298_NTE INEN 2319	V03.06.01.03-T-04	REPORTE	REPORTE	1,0202	-	±N/A
GRAVEDAD ESPECÍFICA 25/25 °C	ASTM 70	V03.06.01.03-T-57	REPORTE	REPORTE	1,012	-	±0.002
PUNTO DE ABLANDAMIENTO*	ASTM D36	-	-	-	48,0	°C	-
ÍNDICE DE PENETRACIÓN*	ASTM D5	-	-1.5	1	-0,7	-	-
CAMBIO DE MASA*	ASTM D2872	V03.06.01.03-T-30	-	1	-0,260	%P	-
*API OBSERVADO: 13.685							
TEMPERATURA OBSERVADA: 85.4 °C							
OBSERVACIONES:							


FIRMAS DE RESPONSABILIDAD
 EDGAR FABRICIO CAMPOVERDE LASTRA
Nombre de responsabilidad SAE
 EDGAR FABRICIO CAMPOVERDE LASTRA
 IDENTIFICACION 19112020020
 IDENTIFICACION ESPECIALIZADA DE INFORMACION 8506000170001 SA 2
 REC
 Fecha: 2021/02/22 14:46:08 -05:00

AUTORIZADO POR:
 JEFE DE LABORATORIO Y CONTROL DE CALIDAD

NOTAS:
 Los datos del cliente, origen, fecha, hora, muestra, parámetro o análisis requerido de la muestra, es información proporcionada por el cliente.
 Los resultados de este Informe corresponden únicamente a las propiedades de la muestra analizada en el laboratorio.
 Los resultados se aplican únicamente a la muestra como se recibió.
 Sin la aprobación del Especialista y/o Jefe de Control de Calidad, no se deberá reproducir el Informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
 Los ensayos marcados con (*) NO están dentro del alcance de la acreditación del SAE.
 Los resultados de los ensayos realizados a la muestra son de responsabilidad del Laboratorio RE, excepto si la información es suministrada por el cliente y esta afecte la validez de los resultados; esto se detallará en observaciones.
 (1) Referido a la Norma INEN: NTE 2515:2014 Enmienda 1
 (2) La U es estimación multiplicando la U típica por el factor de cobertura k=2 (95% nivel de confianza).

Dirección Organización: Km 7 1/2 VÍA ATACAMES S/N - Teléfono: (593)06 2994000 - extensiones: 85450 - 85455 - 85457 - 85453 - ESMERALDAS ECUADOR

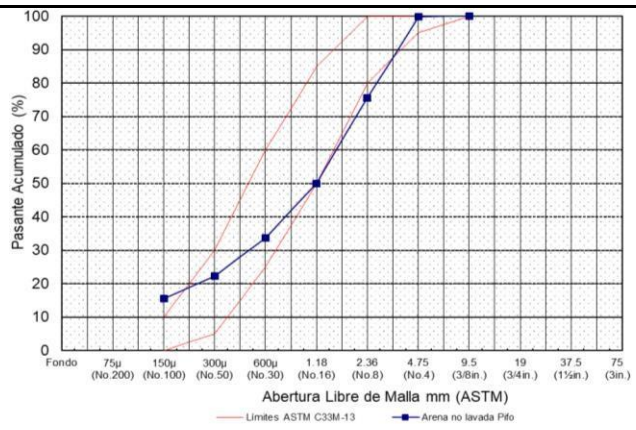
ANEXO 2: Certificado de calidad del agregado fino

		Holcim Ecuador S.A.		Telf.: (593) 1700-HOLCIM Km 2 1/2 vía E20 (Pifo - Papallacta)	
CERTIFICADO DE CALIDAD DEL AGREGADO FINO					
Planta Evaluada : AGG PIFO			Fecha de Emisión: 2023-10-01		
Producto : Arena no lavada		Procedencia: Pifo, Quito, Ecuador		Tipo de roca: Andesita	
Modulo de Elasticidad INEN 1 573 - ASTM C39: 27,40 GPa		Resistencia a compresión INEN 1 573 - ASTM C39: 267,80 MPa		Agregado fino	
I. Ensayo Determinación de Densidad y Absorción del Árido Fino NTE INEN 856 - ASTM C128					
Densidad en estado SSS	Limite máximo registrado	2790	Kg/m ³	Limite mínimo registrado	2552
Absorción	9,0	%		1,5	%
				Promedio	2552
					Kg/m ³
II. Ensayo de Determinación de la Masa Unitaria NTE INEN 858 - ASTM C29					
Masa suelta	Limite máximo registrado	1642	Kg/m ³	Limite mínimo registrado	1519
Masa compactada	1902	Kg/m ³		1416	Kg/m ³
				Promedio	1744
					Kg/m ³
III. Ensayo de Determinación de Material más fino que pasa el Tamiz con aberturas de 75um (No. 200) NTE INEN 697 - ASTM C117					
Pasante 200	Limite máximo registrado	17,9	%	Limite mínimo registrado	11,2
				Promedio	6,5
					%
					Valor Max 7% por Norma NTE INEN 872
IV. Ensayo de Determinación Impurezas Orgánicas en el Árido Fino NTE INEN 855 - ASTM C40					
Color	Limite máximo registrado	2	%	Limite mínimo registrado	0
				Promedio	0
					%
					Valor max 3 por Norma NTE INEN 855
V. Ensayo de Partículas Livianas en los Agregados NTE INEN 699 - ASTM C123					
Partículas Livianas	Limite máximo registrado	0,6	%	Limite mínimo registrado	0,1
				Promedio	0,1
					%
					Valor Max 1% por Norma INEN 872
VI. Ensayo de Determinación de la Durabilidad de los Áridos a la acción de los Sulfatos C88					
Desgaste	Limite máximo registrado	7,0	%	Limite mínimo registrado	6,4
				Promedio	0,0
					%
					Valor Max 15% (sulfato de magnesio); 10% (sulfato de Sodio) por Norma INEN 872
VII. Ensayo de Equivalente de Arena AASHTO T 176					
Equivalente de Arena	Limite máximo registrado	87	%	Limite mínimo registrado	78,6
				Promedio	72,5
					%
					Valor Max 3% por Norma INEN 872
VIII. Ensayo de Determinación del Contenido de Terrones de Arcilla y Partículas Desmenuzables NTE INEN 698 - ASTM C142					
Arcilla	Limite máximo registrado	1,5	%	Limite mínimo registrado	0,4
				Promedio	0,04
					%
					Valor Max 5mg/g por Norma ASTM C33
IX. Ensayo de Determinación de Valor de Azul de Metileno para Agregado Fino ASTM C1777					
Valor Azul de Metileno	Limite máximo registrado	4,5	mg/g	Limite mínimo registrado	2,3
				Promedio	0,4
					mg/g
					Valor Max 0,10% por Norma ASTM C33
X. Ensayo de Determinación de la Potencial Reactividad Alcali - Silice de los Áridos ASTM C1567					
Deformación Promedio a 16 días	Limite máximo registrado	0,24	%	Limite mínimo registrado	0,08
				Promedio	0,04
					%
XI. Ensayo de Índice de Plasticidad INEN 691 - INEN 692					
	Indice de Plasticidad			Valor Registrado	NP

XII. Representación granulométrica NTE INEN 696 - ASTM C136

Límites por Norma ASTM C33

Tamiz		Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
INEN	ASTM			
9,50 mm	3/8 in.	0,0	0,0	100,0
4,75 mm	No. 4	0,1	0,1	99,9
2,36 mm	No. 8	24,3	24,4	75,6
1,18 mm	No. 16	25,5	50,0	50,0
600 µm	No. 30	16,4	66,4	33,6
300 µm	No. 50	11,3	77,6	22,4
150 µm	No. 100	6,8	84,5	15,5
Bandeja		15,5	100,0	0,0
Módulo de Finura :		3,03		



Observaciones:

"Las muestras para obtener dichos resultados fueron realizadas en cumplimiento a la INEN 695"

Tigo. Mauricio Guillén

Técnico de Laboratorio - ACTI AGGREGATE TESTING TECHNICIAN - LEVEL 1 Holcim Ecuador S.A.
 0994569645 - mauricio.guillen@holcim.com
 Holcim Ecuador se encuentra certificada en las normas ISO 9001: 2015, ISO 14001: 2015 y OHSAS 18001 : 2007

ANEXO 3: Certificado de calidad del agregado intermedio 3/8



Holcim Ecuador S.A. Telf.: (593) 1700-
HOLCIM Km 2 1/2 vía E20 (Pifo - Papallacta)
Quito - Ecuador

CERTIFICADO DE CALIDAD DEL AGREGADO GRUESO

Planta Evaluada :
PIFO

Fecha de Emisión:
2023-10-01

Producto : Piedra N.- 8 Procedencia: Pifo, Quito, Ecuador Tipo de roca: Andesita

Modulo de Elasticidad INEN 1 573 - ASTM C39: 27,40 GPa Resistencia a compresión INEN 1 573 - ASTM C39: 267,80 MPa

Agregado triturado que cumple la norma NTE INEN 872 - ASTM C33, con un tamaño máximo nominal TMN : 12,5 mm

I. Ensayo Determinación de Densidad y Absorción del Árido Grueso NTE INEN 857 - ASTM C127

	Limite máximo registrado		Limite mínimo registrado		Promedio
Densidad en estado SSS	2840	Kg/m3	2408	Kg/m3	2603
Absorción	6,8	%	2,0	%	3,1

II. Ensayo de Determinación de la Masa Unitaria NTE INEN 858 - ASTM C29

	Limite máximo registrado		Limite mínimo registrado		Promedio
Masa suelta	1427	Kg/m3	1116	Kg/m3	1262
Masa compactada	1590	Kg/m3	1332	Kg/m3	1470

III. Ensayo de Determinación de Material más fino que pasa el Tamiz con aberturas de 75µm (No. 200)

NTE

Valor Max 1% por Norma

NTE INEN 697 - ASTM C117

INEN 872

	Limite máximo registrado		Limite mínimo registrado		Promedio
Pasante 200	4,7	%	0,5	%	1,4

IV. Ensayo de abrasión INEN 860 - ASTM C131

Valor Max 50% por Norma

INEN 872

	Limite máximo registrado		Limite mínimo registrado		Promedio
Abrasión	29	%	20	%	25

V. Ensayo de Partículas Livianas en los Agregados NTE INEN 699 - ASTM C123

Valor Max 1% por Norma

INEN 872

	Limite máximo registrado		Limite mínimo registrado		Promedio
Partículas Livianas	0,3	%	0,0	%	0,01

VI. Ensayo de Determinación de la Durabilidad de los Áridos a la acción de los Sulfatos

(sulfato de

NTE INEN 863 - ASTM C88

(sulfato de

Valor Max 18%

magnesio); 12%

Sodio) por Norma INEN 872

	Limite máximo registrado		Limite mínimo registrado		Promedio
Desgaste	16,0	%	0,0	%	3,9

VII. Ensayo de Determinación del Contenido de Terrones de Arcilla y Partículas Desmenzables

INEN

Valor Max 10% por Norma

NTE INEN 698 - ASTM C142

872

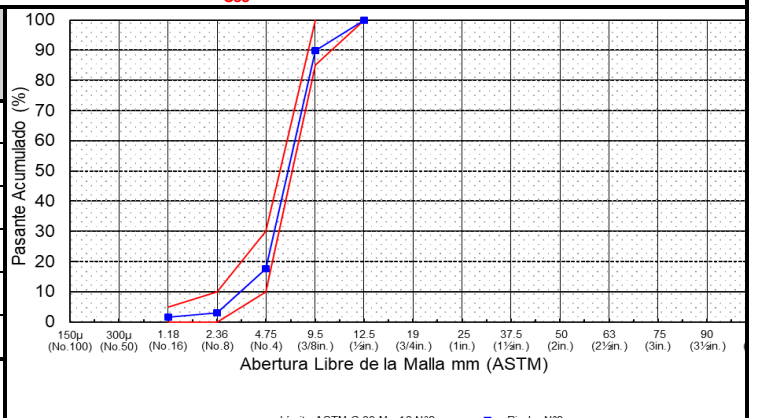
	Limite máximo registrado		Limite mínimo registrado		Promedio
Arcilla	0,15	%	0,02	%	0,07

VIII. Representación granulométrica NTE INEN 696 - ASTM C136

C33

Limites por Norma ASTM

Tamiz		Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado o (%)
INEN	ASTM			
12.5 mm	½ in.	0,1	0,1	99,9
9.5 mm	3/8 in.	10,1	10,2	89,8
4,75 mm	No. 4	72,1	82,3	17,7
2,36 mm	No. 8	14,7	97,0	3,0
1,18 mm	No. 16	1,3	98,3	1,7
Bandeja		1,7	100,0	0,0
Módulo de Finura :		5,83		



Observaciones:

"Las muestras para obtener dichos resultados fueron realizadas en cumplimiento a la INEN 695"

Tlgo. Mauricio Guillén
Técnico de Laboratorio - ACI AGGREGATE TESTING TECHNICIAN - LEVEL 1
Holcim Ecuador S.A.

0994569645 - mauricio.guillen@holcim.com

Holcim Ecuador se encuentra certificada en las normas ISO 9001: 2015, ISO 14001: 2015 y OHSAS 18001 : 2007

ANEXO 4: Certificado de calidad del agregado intermedio 3/4

Holcim Ecuador S.A. Telf.: (593) 1700-HOLCIM
 Km 2 1/2 vía E20 (Pifo - Papallacta)
 Quito - Ecuador

CERTIFICADO DE CALIDAD DEL AGREGADO GRUESO

Planta Evaluada :
PIFO

Fecha de Emisión:
2023-10-01

Producto : Piedra N.- 67

Procedencia: Pifo, Quito, Ecuador

Tipo de roca: Andesita

Modulo de Elasticidad INEN 1 573 - ASTM C39: 27,40 GPa **Resistencia a compresión INEN 1 573 - ASTM C39:** 267,80 MPa

Agregado triturado que cumple la norma NTE INEN 872 - ASTM C33, con un tamaño máximo nominal TMN : 12,5 mm

I. Ensayo Determinación de Densidad y Absorción del Árido Grueso NTE INEN 857 - ASTM C127

	Limite máximo registrado		Limite mínimo registrado		Promedio	
Densidad en estado SSS	2776	Kg/m3	2421	Kg/m3	2602	Kg/m3
Absorción	7,3	%	1,7	%	2,9	%

II. Ensayo de Determinación de la Masa Unitaria NTE INEN 858 - ASTM C29

	Limite máximo registrado		Limite mínimo registrado		Promedio	
Masa suelta	1373	Kg/m3	1212	Kg/m3	1299	Kg/m3
Masa compactada	1547	Kg/m3	1344	Kg/m3	1476	Kg/m3

III. Ensayo de Determinación de Material más fino que pasa el Tamiz con aberturas de 75µm (No. 200) NTE INEN 697 - ASTM C117

Valor Max 1% por Norma NTE INEN 872

	Limite máximo registrado		Limite mínimo registrado		Promedio	
Pasante 200	2,7	%	0,2	%	0,9	%

IV. Ensayo de Abrasión INEN 860 - ASTM C131

Valor Max 50% por Norma INEN 872

	Limite máximo registrado		Limite mínimo registrado		Promedio	
Abrasión	27	%	20	%	24	%

V. Ensayo de Partículas Livianas en los Agregados NTE INEN 699 - ASTM C123

Valor Max 1% por Norma INEN 872

	Limite máximo registrado		Limite mínimo registrado		Promedio	
Partículas Livianas	0,3	%	0,0	%	0,01	%

VI. Ensayo de Determinación de la Durabilidad de los Áridos a la acción de los Sulfatos NTE INEN 863 - ASTM C88

Valor Max 18% (sulfato de magnesio); 12% (sulfato de Sodio) por Norma INEN 872

	Limite máximo registrado		Limite mínimo registrado		Promedio	
Desgaste	16,0	%	0,0	%	3,9	%

VII. Ensayo de Determinación del Contenido de Terrones de Arcilla y Partículas Desmenuzables NTE INEN 698 - ASTM C142

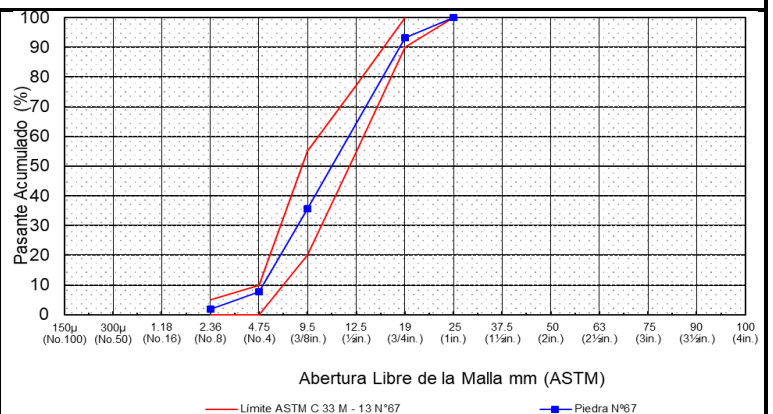
Valor Max 10% por Norma INEN 872

	Limite máximo registrado		Limite mínimo registrado		Promedio	
Arcilla	0,28	%	0,03	%	0,08	%

VIII. Representación granulométrica NTE INEN 696 - ASTM C136

Límites por Norma ASTM C33

Tamiz		Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
INEN	ASTM			
25 mm	1 in.	0,0	0,0	100,0
19 mm	3/4 in.	6,8	6,9	93,1
9,5 mm	3/8 in.	57,4	64,3	35,7
4,75 mm	No. 4	28,1	92,4	7,6
2,36 mm	No. 8	5,7	98,1	1,9
Bandeja		1,9	100,0	0,0
Módulo de Finura :		6,54		



Observaciones:

"Las muestras para obtener dichos resultados fueron realizadas en cumplimiento a la INEN 695"

Tigo. Mauricio Guillén
 Técnico de Laboratorio - ACI AGGREGATE TESTING TECHNICIAN - LEVEL 1Holcim
 Ecuador S.A.
 0994569645 - mauricio.guillen@holcim.com

Holcim Ecuador se encuentra certificada en las normas ISO 9001: 2015, ISO 14001: 2015 y OHSAS 18001 : 2007

ANEXO 5: Granulometría de agregados y abrasión agregado grueso 3/4



ÁREA DE HORMIGONES
HOJA DE CAMPO



GRANULOMETRÍA COMPLETA Y ABRASIÓN DE AGREGADOS

N° ORDEN						
MUESTRA N°		1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL:		Agregado fino	Agregado Inter. 3/8	Agregado Grueso 3/4		
MASA INICIAL (gr)		502,40	2500	5000		
MASA INICIAL FINO (gr)		502,40				
MALLA No.	ABERTURA	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)
	(mm)					
3"	76,20	—	—	—		
2 1/2"	64,00	—	—	—		
2"	50,40	—	—	—		
1 1/2"	38,10	—	—	—		
1"	25,40	—	—	—		
3/4"	19,00	—	—	500		
1/2"	12,70	—	—	1223,40		
3/8"	9,51	—	354,30	1714,60		
No.4	4,76	40,20	701,60	1700,60		
PASA N° 4					
No.8	2,36	90,00	469,50	349,30		
No.16	1,18	119,00	343,80	8,10		
No.30	0,60	105,80	243,70	0,65		
No. 50	0,30	72,30	115,60	0,75		
No. 100	0,159	28,60	71,40	0,80		
No.200	0,074	24,80	68,90	1,10		
PASA No 200		21,70	131,70	1,20		

ABRASIÓN

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL:	Agregado grueso 3/4			
TIPO				
MASA INICIAL (gr)	5000,00			
MASA FINAL (gr)	4765,6			

Laboratorista:

Informe realizado por:

ANEXO 6: Gravedad específica de agregados



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Laboratorio de Materiales de Construcción



ÁREA DE HORMIGONES
ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE ÁRIDOS
DISEÑO DE HORMIGÓN

Orden de Trabajo No.

Granulometría completa - Material combinado		
Tamiz (pulg)	Masa retenida parcial (gr)	Masa retenida parcial (gr)
Identificación Material	3/8	
3		
2 1/2		
2		
1 1/2		
1		
3/4		
1/2		
3/8	354,30	
No. 4	701,60	
Pasa No. 4		
No. 8	469,50	
No. 16	343,80	
No. 30	293,70	
No. 50	115,60	
No. 100	71,40	
No. 200	68,90	
Pasa No. 100/200	131,20	

Granulometría Árido Grueso		
Tamiz (pulg)	Masa retenida parcial (gr)	Masa retenida parcial (gr)
Identificación Material	Holcim 3/4	
3		
2 1/2		
2		
1 1/2		
1		
3/4	500	
1/2	1773,90	
3/8	1714,60	
No. 4	1700,00	
Pasa No. 4	349,30	

Granulometría Árido Fino		
Identificación Material		
1/2		
3/8		
No. 4	40,20	
No. 8	90,00	
No. 16	119,00	
No. 30	105,80	
No. 50	77,30	
No. 100	28,60	
No. 200	28,80	
Pasa No. 100/200	21,70	

Gravedad específica árido fino		
Muestra No.	1	
Masa matraz (gr)	484,70	
Mm + H ₂ O + Muestra (gr)	690,50	
Masa sss (gr)	500,00	
Masa seca (gr)	990,60	

Gravedad específica árido grueso		
Muestra No.	1 (3/4)	3/8
Masa seca (gr)	4929	4930
Masa sss (gr)	5000	5000
Masa aparente (gr)	3130	3080

Peso unitario árido fino		
Muestra No.		
Masa molde (gr)		
Volumen molde (cm ³)		
Mm + M. suelto (gr)		
Mm + M. compacto (gr)		

Peso unitario árido grueso		
Muestra No.		
Masa molde (gr)		
Volumen molde (cm ³)		
Mm + M. suelto (gr)		
Mm + M. compacto (gr)		

Contenido orgánico		
Muestra No.		
Valor en la escala		

Abrasión		
Muestra No.	G.M. 3/4	
Tipo		
Masa inicial (gr)	5000,00	
Masa retenida tamiz N°12 (gr)	4765,6	

CONTENDIO DE HUMEDAD		
Muestra No.		
Masa natural (gr)		
Masa seca (gr)		

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD	
Ensayo	
Informe	

ANEXO 7: Propiedades ensayo Marshall

PROYECTO:
RECEPCION:
HOLIA:

Tesis - Fibra de Abacá GV

AREA DE PAVIMENTOS
FORMATO DE CAMPO
Gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas en caliente compactadas (HMA) usando especímenes SSS
Método de Ensayo Normalizado para Estabilidad y Flujo de Mezclas Bituminosas

Briqueleta / Muebo	Descripcion	Espesor del especimen (mm)	Diámetro del especimen (mm)	Peso en aire (gr)	Peso en agua (gr)	Peso sat. sup. seca (gr)	D. Bulk g/cm ³	Volumen Briqueleta Vol.	Gmm/cm ³	Vacíos, aire, %	Estabilidad (lb)		Flujo 0.01"	
											Medida	F Correc.		Corregida
1	Compo. diseño 6,16%	64,32	103,52	177380	110985	127450	2,26	563,7	2,33	3,4	2120	0,89	1821	14
2		64,43	103,63	121690	67190	121760	2,22	545,7	2,33	4,7	2100	0,96	2014	13,5
3		64,46	103,70	128510	70560	128410	2,21	5818	2,33	5,5	2080	0,89	1851	11,5
	Con fibra.													
1	0,25%	65,16	104,23	116339	644,1	1166,70	2,22	522,7	2,30	3,52	2800	1	2800	13
2	0,25%	65,23	104,22	1164,05	642,99	1166,95	2,22	524,5	2,30	3,79	2750	0,96	2610	12
3	0,25%	65,28	104,42	1167,25	643,21	1168,45	2,22	526,2	2,30	3,85	2700	0,96	2592	11
4	0,50%	65,26	104,32	1160,81	634,88	1164,05	2,18	532,2	2,37	8,17	2500	0,96	2400	14
5	0,50%	65,33	104,52	1160,24	634,5	1164,11	2,19	529,6	2,37	7,88	2350	0,96	2256	13
6	0,50%	65,43	104,56	1168,71	636,72	1170,86	2,18	534,1	2,37	7,99	2300	0,96	2208	13

Con Fibra
Abacá
6,16%
asfalto

Compo. diseño
6,16%

ANEXO 7: Ensayo Rice mezcla 6.16% de asfalto

ÁREA DE PAVIMENTOS
DATOS DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

RECEPCIÓN N: FECHA DE ENSAYO:

NORMA DE REFERENCIA:

ID. MUESTRA: ORIGEN DE LA MUESTRA:

HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2360,5
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	742,09
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	2161,9
Procedimiento suplementario	

Registros del procedimiento suplementario:

Masa de la bandeja, g	
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Masa de la muestra con superficie seca (A), g	
---	--

Gravedad específica máxima teórica (Gmm)	2,333
--	-------

OBSERVACIONES:

Laboratorista

ANEXO 8: Ensayo Rice mezcla 0.25% de fibra de abacá

**ÁREA DE PAVIMENTOS
DATOS DE ENSAYO**

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

RECEPCIÓN N: FECHA DE ENSAYO:

NORMA DE REFERENCIA:

ID. MUESTRA: ORIGEN DE LA MUESTRA:

HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2267,3
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413,00
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8747,6
Procedimiento suplementario	

Registros del procedimiento suplementario:

Masa de la bandeja, g	
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Masa de la muestra con superficie seca (A), g

Gravedad específica máxima teórica (Gmm)

OBSERVACIONES:

Laboratorista

ANEXO 8: Ensayo Rice mezcla 0.50% de fibra de abacá

ÁREA DE PAVIMENTOS
DATOS DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

RECEPCIÓN N°: FECHA DE ENSAYO:

NORMA DE REFERENCIA:

ID. MUESTRA: ORIGEN DE LA MUESTRA:

HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2246,9
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	4913,00
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8738,7
Procedimiento suplementario	

Registros del procedimiento suplementario:

Masa de la bandeja, g	
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Masa de la muestra con superficie seca (A), g	2439
---	------

Gravedad específica máxima teórica (Gmm)	
--	--

OBSERVACIONES:

ANEXO 9: Ensayo Rice mezcla 1% de fibra de abacá

ÁREA DE PAVIMENTOS
DATOS DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

RECEPCIÓN N°: FECHA DE ENSAYO:

NORMA DE REFERENCIA:

ID. MUESTRA: ORIGEN DE LA MUESTRA:

HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2270,37
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413,00
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8745,5
Procedimiento suplementario	

Registros del procedimiento suplementario:

Masa de la bandeja, g	
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Masa de la muestra con superficie seca (A), g	2,421
---	-------

Gravedad específica máxima teórica (Gmm)	
--	--

OBSERVACIONES:

Laboratorista

ANEXO 10: Ensayo equivalente de arena del agregado fino



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Laboratorio de Materiales de Construcción



ÁREA DE HORMIGONES
ENSAYOS AGREGADOS

ORDEN DE TRABAJO No.

CONTENIDO ORGÁNICO

Muestra No.										
Identificación										
Valor en la Escala										

EQUIVALENTE DE ARENA

Muestra No.	1	2	3							
Identificación	Agregado fino									
Lectura Inicial	3,60	3,40	3,50							
Lectura Final	3,20	2,90	3							

MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ No. 200

Muestra No.										
Identificación										
Masa Inicial (gr)										
Masa Final (gr)										

PARTICULAS LIVIANAS (DELETÉREOS)

Muestra No.										
Identificación										
Masa Muestra Seca (gr)										
Masa Partículas Livianas (gr)										

HUMEDAD

Muestra No.										
Identificación										
Masa Inicial (gr)										
Masa Final (gr)										

ENSAYA:

INFORME: