

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



PLAN DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA: EVALUACIÓN DE UNA MEZCLA ASFALTICA POR EL MÉTODO
MARSHALL CON MATERIAL DE LA MINA DE PÍNTAG Y
GUAYLLABAMBA CON ASFALTO AC-20 Y COMPARACIÓN CON UN
PORCENTAJE DE FIBRA DE ABACÁ

AUTOR:

JENNIFER ALEJANDRA RODRÍGUEZ JÁCOME

QUITO DM, JUNIO DE 2023

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	8
1. Introducción	8
1.1 Justificación	8
1.2 Planteamiento del problema.....	8
1.3 Objetivos.....	9
1.3.1 Objetivo General	9
1.3.2 Objetivos Específicos	9
CAPÍTULO 2.....	9
2. Marco Teórico.....	9
2.1 Materiales pétreos.....	9
2.1.1 Definición.....	9
2.1.2 Propiedades y características.....	10
2.1.3 Procedencia de los agregados.....	10
2.2 Cemento asfáltico	12
2.2.1 Definición.....	12
2.2.2 Propiedades y características.....	12
2.2.3 Procedencia del cemento asfáltico	13
2.3 Fibra de abacá.....	13
2.3.1 Definición.....	13
2.3.2 Propiedades y características.....	13
2.3.3 Procedencia de la fibra de abacá	13
2.4 Mezclas asfálticas	14
2.4.1 Definición.....	14
CAPÍTULO 3.....	14
3. Ensayo de los materiales.....	14
3.1 Ensayos del material pétreo.....	14
3.1.1 Análisis granulométrico (ASTM C136/C136M-19).....	15
3.1.2 Gravedad específica y porcentaje de absorción	15
3.1.2.1 Agregado grueso (ASTM C127-15).....	16

3.1.2.2	Agregado fino (ASTM C128-15).....	17
3.1.3	Equivalente de arena del agregado fino (ASTM D2419-14)	18
3.1.4	Desgaste por abrasión del agregado grueso en máquina de los ángeles (ASTM C131/C131M-14).....	19
3.1.5	Durabilidad del agregado grueso a la acción de los sulfatos (ASTM C88/C88M-18) 20	
3.1.6	Tabla de resultados.....	21
3.2	Ensayos del cemento asfáltico.....	22
3.2.1	Gravedad específica (ASTM D70-17)	22
3.2.2	Viscosidad cinemática (ASTM D2170/D2170 M10).....	23
3.2.3	Penetración (ASTM D5/D5M-19a).....	23
3.2.4	Punto de ablandamiento (ASTM D36/D36M-14).....	24
3.2.5	Ductilidad (ASTM D113-17).....	25
3.2.6	Tabla de resultados.....	25
3.3	Caracterización de la fibra de abacá.....	26
3.3.1	Tabla de resultados.....	26
CAPÍTULO 4.....		27
4.	Diseño de mezcla asfáltica.....	27
4.1	Diseño de mezclas asfálticas según el Método Marshall	27
4.2	Propiedades volumétricas	28
4.3	Estabilidad y flujo Marshall	31
4.4	Cálculos de la mezcla asfáltica.....	34
4.4.1	Dosificación de la mezcla del agregado.....	34
4.4.2	Determinación del porcentaje teórico de asfalto.....	36
4.4.3	Elaboración de briquetas para el ensayo	38
4.4.4	Cálculo de las propiedades volumétricas de las briquetas	40
4.5	Diseño de Mezclas asfálticas con un porcentaje de fibra de abacá	40
4.5.1	Cálculo de las propiedades volumétricas de las briquetas de fibra de abacá	42
CAPÍTULO 5.....		43
5.	Análisis de resultados	43

5.1	Determinación del porcentaje óptimo de asfalto	43
5.2	Determinación de las propiedades de la mezcla asfáltica con el porcentaje óptimo de asfalto44	
5.3	Determinación de las propiedades de la mezcla asfáltica con el porcentaje óptimo de asfalto y un porcentaje de fibra de abacá.....	46
5.4	Análisis comparativo entre la mezcla asfáltica con y sin un porcentaje de fibra de abacá 47	
CAPÍTULO 6		48
6.	Conclusiones y recomendaciones	48
6.1	Conclusiones.....	48
6.2	Recomendaciones	50
Bibliografía		51
Anexos		53

Índice de Ilustraciones

Ilustración 2.1 Ubicación planta asfáltica EPMMOP.....	11
Ilustración 2.2 Recolección del agregado.....	11
Ilustración 2.3 Tabla de requisitos del asfalto.....	12
Ilustración 2.4 Ubicación de la finca de abacá.....	14
Ilustración 3.1 Tabla de especificaciones de carga para la máquina de Los Ángeles.....	19
Ilustración 3.2 Gradación de las muestras de ensayo.....	20
Ilustración 3.3 Viscosímetro.....	23
Ilustración 3.4 Picnómetro manual.....	24
Ilustración 3.5 Ensayo del Anillo y Bola.....	24
Ilustración 3.6 Ensayo de Ductilidad.....	25
Ilustración 4.1 Especificaciones para una mezcla asfáltica.....	32
Ilustración 4.2 Briquetas de mezcla tradicional y con fibra sumergidas para ensayo Marshall...	33
Ilustración 4.3 Máquina Marshall.....	33
Ilustración 4.4 Tabla de porcentajes de material que pasa a través de cada tamiz.....	34
Ilustración 4.5 Curva granulométrica de la mezcla propuesta.....	36
Ilustración 4.6 Elaboración de los baches.....	38
Ilustración 4.7 Elaboración de la mezcla asfáltica.....	39
Ilustración 4.8 Compactadora Marshall.....	39
Ilustración 4.9 Briquetas compactadas con sus respectivos porcentajes de asfalto.....	39
Ilustración 4.10 Longitud de la fibra de Abacá.....	41
Ilustración 4.11 Mezcla asfáltica con 1%, 0,5% y 0,25% de fibra de Abacá.....	42
Ilustración 5.1 Gráfica de %Asfalto vs %Vacios Vv.....	43
Ilustración 5.2 Gráfica de % Asfalto vs Densidad Bulk.....	44
Ilustración 5.3 Gráfica de %Asfalto vs Estabilidad.....	44
Ilustración 5.4 Gráfica de % Asfalto vs Flujo.....	45
Ilustración 5.5 Gráfica de %Asfalto vs VAM.....	45
Ilustración 5.6 Gráfica de % Asfalto vs f/a.....	45
Ilustración 5.7 Comparación gráfica de las propiedades especificadas en la mezcla asfáltica tradicional con la mezcla de un porcentaje de fibra.....	47

Índice de Tablas

Tabla 3.1 Tabla resumen de Agregado Grueso 3/4.....	21
Tabla 3.2 Tabla resumen de Agregado Intermedio 3/8.....	21
Tabla 3.3 Tabla resumen de Agregado Fino	21
Tabla 3.4 Tabla resumen del Asfalto	25
Tabla 3.5 Tabla resumen de las propiedades físicas y composición química de la fibra de abacá - Modificado.....	26
Tabla 4.1 Porcentajes de agregados para la mezcla asfáltica.....	35
Tabla 4.2 Análisis granulométrico de los agregados dispuestos para la mezcla asfáltica	35
Tabla 4.3 Cálculo del parámetro F.....	37
Tabla 4.4 Porcentaje de asfalto teórico	37
Tabla 4.5 Tabla resumen de propiedades volumétricas por cada porcentaje de asfalto	40
Tabla 4.6 Tabla resumen de Estabilidad y Flujo para cada porcentaje de asfalto	40
Tabla 4.7 Tabla resumen de propiedades volumétricas de una mezcla con un porcentaje de fibra de Abacá.....	42
Tabla 4.8 Tabla resumen de Estabilidad y Flujo para mezcla con un solo porcentaje de fibra de Abacá	43
Tabla 5.1 Tabla resumen de verificación de datos para tráfico muy pesado	46
Tabla 5.2 Tabla resumen de verificación de datos para tráfico muy pesado de mezcla asfáltica con un porcentaje de fibra.....	46

Índice de Ecuaciones

Ecuación 3.1 Gravedad específica Bulk - Agregado Grueso.....	16
Ecuación 3.2 Gravedad específica saturada con superficie seca - Agregado Grueso.....	16
Ecuación 3.3 Gravedad específica aparente - Agregado Grueso.....	16
Ecuación 3.4 Porcentaje de absorción - Agregado Grueso.....	17
Ecuación 3.5 Gravedad específica Bulk - Agregado Fino.....	17
Ecuación 3.6 Gravedad específica saturada con superficie seca - Agregado Fino.....	17
Ecuación 3.7 Gravedad específica aparente - Agregado Fino.....	17
Ecuación 3.8 Porcentaje de absorción - Agregado Fino.....	18
Ecuación 3.9 Equivalente de arena de agregado fino.....	18
Ecuación 3.10 Gravedad específica para bitúmenes semisólidos y emulsiones.....	22
Ecuación 4.1 Gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica.....	28
Ecuación 4.2 Gravedad específica Bulk del agregado total.....	28
Ecuación 4.3 Gravedad específica aparente del agregado total.....	29
Ecuación 4.4 Gravedad específica máxima teórica.....	29
Ecuación 4.5 Gravedad específica máxima medida (Rice).....	29
Ecuación 4.6 Gravedad específica efectiva del agregado.....	30
Ecuación 4.7 Asfalto absorbido.....	30
Ecuación 4.8 Asfalto efectivo de la mezcla.....	30
Ecuación 4.9 Filler/Asfalto.....	30
Ecuación 4.10 Porcentaje de vacíos con aire.....	31
Ecuación 4.11 Porcentaje de volumen de agregado vs volumen total.....	31
Ecuación 4.12 Porcentaje de vacíos del agregado mineral.....	31
Ecuación 4.13 Porcentaje de asfalto teórico.....	36

CAPÍTULO 1

1. Introducción

1.1 Justificación

En la ciudad de Quito existe un gran deterioro de las vías de acceso y avenidas con pavimento flexible, debido a que en la construcción de las mismas no siempre se asegura el cumplimiento de los parámetros mandatorios para su uso o también por falta de investigación para encontrar materiales adecuados para mejorar las propiedades físico/mecánicas de las mezclas asfálticas, por lo que al momento de construir una carretera con este pavimento es imperativo contar con un diseño de mezclas asfálticas que no sólo sea óptimo, sino que también cumpla con las especificaciones establecidas en el MOP y cuente con los porcentajes apropiados de material para de esta manera garantizar el comportamiento flexible de la misma y su correcto desempeño durante su vida útil.

1.2 Planteamiento del problema

El presente trabajo de integración curricular tiene por objeto evaluar y constatar si los agregados utilizados por el EPMMOP son los apropiados para elaborar una mezcla asfáltica que cumpla con los parámetros de las propiedades volumétricas, flujo y estabilidad instauradas por el MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas) en la normativa de Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F 2002, para así avalar el rendimiento del pavimento flexible a lo largo de su vida útil, además de comparar sus propiedades con una mezcla asfáltica con un porcentaje de fibra de abacá.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo General*

- Evaluar una mezcla asfáltica por el método Marshall con material de la mina de Pintag y Guayllabamba con asfalto AC-20, y su comparación con un porcentaje de fibra.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

- Precisar las propiedades físico - mecánicas de los materiales que constituyen la mezcla asfáltica.
- Determinar los porcentajes de los agregados y asfalto para la conformación de la mezcla asfáltica.
- Verificar el comportamiento de la mezcla asfáltica.
- Realizar una comparación entre los resultados del diseño de una mezcla tradicional con la mezcla modificada con un porcentaje de fibra de abacá.

CAPÍTULO 2

2. Marco Teórico

2.1 Materiales pétreos

2.1.1 *Definición*

Se conoce como materiales pétreos a la conglomeración de partículas graduadas, inertes y duras que constituyen parte de la mezcla asfáltica en caliente. La escoria, el polvo de roca, la piedra triturada, la arena y la grava son ejemplos de agregados comunes, y dado que el agregado en si proporciona gran parte de las características de la capacidad portante, lo vuelve un factor significativo en el comportamiento del pavimento. Estos agregados minerales por tanto deben

tener propiedades como: limpieza, dureza, afinidad con el asfalto, resistencia y capacidad de absorción para ser considerado como apropiado.(Asphalt Institute, 1982)

2.1.2 Propiedades y características

El material pétreo debe cumplir ciertos estándares para ser usado en la elaboración de la mezcla asfáltica, por lo que para determinar sus propiedades y características se deben llevar a cabo ensayos que cumplan con las especificaciones establecidas en el MTOP-001F 2002 como:

- ✓ Granulometría
- ✓ Gravedad específica
- ✓ Abrasión
- ✓ Durabilidad de sulfatos
- ✓ Equivalente de arena
- ✓ Porosidad

2.1.3 Procedencia de los agregados

De acuerdo con la información proporcionada en el (MTOP, 2002) existen tres categorías para clasificar los agregados utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas, y estas son:

- **Agregado grueso:** material con partículas retenidas en el tamiz N°4 (4.75 mm).
- **Agregado fino:** agregado en el que sus partículas pasan por el tamiz N°4 (4.75 mm) y son retenidas por el tamiz N°200 (0.075 mm).
- **Relleno mineral o agregado fino:** porción de material cuyas partículas pasan el tamiz N°200 (0.075 mm).

Para el presente trabajo el material pétreo utilizado es procedente de las minas de Pintag (agregado grueso y medio) y Guayllabamba (agregado fino), que a su vez fue transportado desde la planta de producción de materiales asfálticos de la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMMOP), ubicada en Quito, en la Avenida Oswaldo Guayasamín.



Ilustración 2.1 Ubicación planta asfáltica EPMMOP



Ilustración 2.2 Recolección del agregado

2.2 Cemento asfáltico

2.2.1 Definición

El cemento asfáltico, es un material cementante de color negro resultante de la refinación del crudo de petróleo. Éste tiene una consistencia viscosa y pegajoso que varía dependiendo de la temperatura a la que esté sometido, lo que lo vuelve un extraordinario pegamento para unir las partículas de material pétreo en un pavimento. (Asphalt Institute, 1982)

2.2.2 Propiedades y características

Para la implementación del cemento asfáltico en la mezcla asfáltica éste debe cumplir los requisitos estipulados en la Tabla 810.2.1 del MTOP que están normados por las Normas INEN o AASHTO, a través de ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades y características.

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	
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 2.3 Tabla de requisitos del asfalto

Fuente:(MTOP, 2002)

Con el fin de caracterizar el cemento asfáltico y determinar sus propiedades se desarrollarán los ensayos de ductilidad, punto de ablandamiento, penetración y viscosidad.

2.2.3 *Procedencia del cemento asfáltico*

Para el caso de estudio el cemento asfáltico a utilizar es un asfalto AC-20, cuya clasificación es dictaminado por la norma INEN 2515, el cual fue adquirido de la planta de producción de materiales asfálticos de la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMMOP), ubicada en Quito, en la Avenida Oswaldo Guayasamín.

2.3 Fibra de abacá

2.3.1 *Definición*

La fibra de abacá procede del abacá que es una planta herbácea con apariencia muy similar al banano que se desarrolla en clima tropical húmedo y puede llegar a medir más de 7 metros por lo que su tallo es la parte más provechosa del mismo. Ésta es codiciada debido a su gran resistencia al deterioro ambiental y resistencia mecánica, además de tener una composición aproximada de 77% de celulosa y 9% de lignina. (Romero & Sánchez, 2022)

2.3.2 *Propiedades y características*

La caracterización de la fibra se determina mediante ensayo de laboratorio para conocer sus propiedades físicas y químicas como: densidad, resistencia, módulo, elongación, absorción de humedad y su composición química.

2.3.3 *Procedencia de la fibra de abacá*

Para este trabajo de integración curricular se utilizó fibra de abacá obtenida en una finca situada en el cantón La Concordia de la parroquia de Monterrey, ubicada en la provincia de Santo Domingo De Los Tsáchilas.

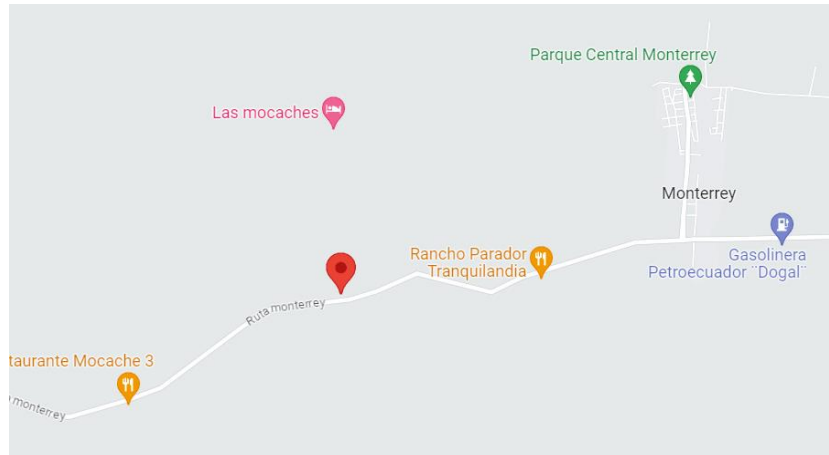


Ilustración 2.4 Ubicación de la finca de abacá

2.4 Mezclas asfálticas

2.4.1 Definición

Una mezcla asfáltica es el producto de la unión homogénea de material pétreo y cemento asfáltico, cuya calidad dependerá enteramente de la calidad de sus materiales, así como del adecuado proceso en su elaboración, éstas se clasifican de acuerdo a su textura o las condiciones en las que serán diseñadas, por lo que en el presente trabajo se realizara una mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall. (Romero & Sánchez, 2022)

CAPÍTULO 3

3. Ensayo de los materiales

3.1 Ensayos del material pétreo

Los agregados deben tener características particulares en cuanto a su textura superficial, tamaño de partículas, granulometría, porosidad, superficie, resistencia y durabilidad que cumplan con las necesidades estructurales y funcionales de la mezcla, ya que al determinar la misma podremos saber si tendremos un agregado ideal que proporcione gran afinidad con el asfalto. (Asphalt Institute, 2007)

Por lo cual para la apropiada elaboración de una mezcla asfáltica será fundamental determinar sus características, así como propiedades mecánicas del agregado grueso, medio y fino, y para cumplir este fin se han realizado los ensayos siguientes empelando las normas INEN y ASTM.

3.1.1 *Análisis granulométrico (ASTM C136/C136M-19)*

La finalidad de este ensayo es determinar la clasificación de las partículas del material por su tamaño a través de los tamices para cada tipo de agregado. Para realizar este análisis granulométrico primeramente se deberá tener una muestra seca del agregado con masa constante y posteriormente se deberá pasar esta muestra a través de una serie de tamices de distintas aberturas que irán siendo de menor tamaño progresivamente para de esta manera al pesar la cantidad retenida en cada tamiz podamos conocer la curva granulométrica de la mezcla y determinar el control de la producción. (ASTM International, 2019b)

Dependiendo de estos resultados de los tipos de agregados que se utilizarán en la mezcla podremos optar por una curva granulométrica que se adapte a nuestras necesidades, y no exceda los límites, siendo así que al jugar con los porcentajes de agregados sea mejor inclinarnos hacia la parte fina o gruesa de la mezcla, que por consiguiente repercutirá en los parámetros a verificar de la misma y será el primer paso para la elaboración de las briquetas en el diseño.

3.1.2 *Gravedad específica y porcentaje de absorción*

El ensayo de gravedad específica y porcentaje de absorción de los agregados está regido por la normativa ASTM C127 y C128.

Se denomina gravedad específica o densidad relativa a la relación existente entre la masa del material pétreo y la masa de un volumen de agua, siendo este igual al volumen de las

partículas del agregado o volumen absoluto. Su relevancia está en que proporciona el contenido de los huecos de aire o vacíos de la mezcla, además de el volumen que ocupa el agregado en la misma. (ASTM International, 2015)

La absorción es un valor utilizado para determinar la variación en la masa del material debido al agua absorbida en los espacios libres dentro de las partículas del agregado durante un tiempo prudente en el que se satisfaga el potencial de absorción y comparado con la muestra en condiciones secas. (ASTM International, 2015)

3.1.2.1 Agregado grueso (ASTM C127-15)

Aplicando la normativa ASTM C127-15 se calcula la gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado grueso a través de las siguientes ecuaciones:

❖ **Ge:** Gravedad específica Bulk

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

Ecuación 3.1 Gravedad específica Bulk - Agregado Grueso

❖ **Ges:** Gravedad específica saturada con superficie seca

$$Ge = \frac{B}{(B - C)}$$

Ecuación 3.2 Gravedad específica saturada con superficie seca - Agregado Grueso

❖ **Gea:** Gravedad específica aparente

$$Ge = \frac{A}{(A - C)}$$

Ecuación 3.3 Gravedad específica aparente - Agregado Grueso

❖ **% Ab:** Porcentaje de absorción

$$\%Ab = \left[\frac{(B - A)}{A} \right] * 100$$

Ecuación 3.4 Porcentaje de absorción - Agregado Grueso

Donde:

A= masa de la muestra de ensayo secada al horno. [gr]

B= masa de la muestra de ensayo saturada con superficie seca. [gr]

C= masa aparente de la muestra de ensayo saturada en agua. [gr]

3.1.2.2 Agregado fino (ASTM C128-15)

De acuerdo a la normativa ASTM C128-15 para este ensayo existen dos métodos: el método gravimétrico y volumétrico. Para este caso se utilizó el método gravimétrico, y tanto la gravedad específica como el porcentaje de absorción se calculan con las siguientes ecuaciones:

❖ **Ge:** Gravedad específica Bulk

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

Ecuación 3.5 Gravedad específica Bulk - Agregado Fino

❖ **Ges:** Gravedad específica saturada con superficie seca

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

Ecuación 3.6 Gravedad específica saturada con superficie seca - Agregado Fino

❖ **Gea:** Gravedad específica aparente

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

Ecuación 3.7 Gravedad específica aparente - Agregado Fino

❖ **% Ab:** Porcentaje de absorción

$$\%Ab = \left[\frac{(S - A)}{A} \right] * 100$$

Ecuación 3.8 Porcentaje de absorción - Agregado Fino

Donde:

A= masa de la muestra de ensayo secada al horno. [gr]

B= masa del picnómetro lleno de agua, hasta la marca de calibración. [gr]

C= masa del picnómetro lleno de la muestra y agua hasta la marca de calibración. [gr]

S= masa de la muestra saturada con superficie seca. [gr]

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

Este ensayo tiene por objeto evaluar, bajo condiciones estándar, las proporciones relativas del material fino, polvo del tamaño de la arcilla o plásticos, en agregados finos pasantes del tamiz N° 4 y suelos granulares, a través de la asignación de un valor empírico a la cantidad relativa del material para de esta manera proporcional un método capaz de determinar los cambios de la calidad del agregado durante el proceso de producción o colocación, además de evaluar su limpieza. (ASTM International, 2014b)

Este valor se determina a través de la siguiente ecuación:

$$SE = \left(\frac{A}{B} \right) * 100$$

Ecuación 3.9 Equivalente de arena de agregado fino

Donde:

A= Lectura de arena (material sedimentado).

B= Lectura de arcilla (material suspendido).

**3.1.4 Desgaste por abrasión del agregado grueso en máquina de los ángeles
(ASTM C131/C131M-14)**

Este ensayo nos permite verificar la calidad del agregado a través de la resistencia que presente al desgaste o abrasión, por lo que está delimitado para agregados de tamaño máximo menor a 1 1/2 (37,5 mm). Para su determinación el procedimiento que se realiza es a través del uso de la máquina de Los Ángeles en donde se simulará las cargas de abrasión, impacto y trituración, con el uso de esferas de acero que en conjunto con las revoluciones a las que será sometido nos indicará el porcentaje de desgaste de material.(ASTM International, 2014a)

Así mismo el número de esferas y carga sometida serán seleccionadas de acuerdo a las siguientes tablas:

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 3.5 Tabla de especificaciones de carga para la máquina de Los Ángeles

Fuente: (ASTM International, 2014a)

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 3.6 Gradación de las muestras de ensayo

Fuente: (ASTM International, 2014a)

Este ensayo según las MTOP-001-F 2002 nos indica que el desempeño del agregado dependerá de su dureza y mineralogía, y establece que al finalizar las 500 revoluciones realizadas en la máquina de Los Ángeles el porcentaje de desgaste no deberá ser mayor al 40%. (MTOP, 2002)

Para este trabajo el agregado se clasificó como tipo A por lo que siguiendo la normativa se utilizó un número de 12 esferas y una masa de carga de 5000 gramos para proceder con la metodología.

3.1.5 Durabilidad del agregado grueso a la acción de los sulfatos (ASTM C88/C88M-18)

A través de este ensayo se puede estimar la solidez de los agregados en cuanto a los daños que pueden producirse a la acción de la intemperie, específicamente a los fenómenos de congelación y descongelación, por lo que para simular estas condiciones la muestra será sumergida en una solución de sulfato de sodio o magnesio, de forma repetitiva, y posteriormente llevada al horno para que seque. (ASTM International, 2018)

3.1.6 Tabla de resultados

Agregado Grueso 3/4							
Normativa	Parámetro	Valor	U	Límites		Cumplimiento	
				Mín.	Máx.	SI	NO
ASTM C136	Granulometría	Anexo 1				X	-
ASTM C127	Gravedad específica Bulk (Ge)	2,309	g/cm ³	-	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica saturada con superficie seca (Ges)	2,395	g/cm ³	-	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica aparente (Gea)	2,527	g/cm ³	-	-	-	-
ASTM C127	Porcentaje de absorción (%Abs)	3,75	g/cm ³	-	-	-	-
ASTM C131	Abrasión	23,74	%	-	40	X	-
ASTM C88	Durabilidad a los sulfatos	2,23	%	-	18	X	-

Tabla 3.1 Tabla resumen de Agregado Grueso 3/4

Agregado Intermedio 3/8							
Normativa	Parámetro	Valor	U	Límites		Cumplimiento	
				Mín.	Máx.	SI	NO
ASTM C136	Granulometría	Anexo 2				X	-
ASTM C127	Gravedad específica Bulk (Ge)	2,37	g/cm ³	-	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica saturada con superficie seca (Ges)	2,455	g/cm ³	-	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica aparente (Gea)	2,592	g/cm ³	-	-	-	-
ASTM C127	Porcentaje de absorción (%Abs)	3,61	g/cm ³	-	-	-	-
ASTM C88	Durabilidad a los sulfatos	3,15	%	-	18	X	-

Tabla 3.2 Tabla resumen de Agregado Intermedio 3/8

Agregado Fino							
Normativa	Parámetro	Valor	U	Límites		Cumplimiento	
				Mín.	Máx.	SI	NO
ASTM C136	Granulometría	Anexo 3				X	-
ASTM C127	Gravedad específica Bulk (Ge)	2,414	g/cm ³	-	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica saturada con superficie seca (Ges)	2,553	g/cm ³	-	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica aparente (Gea)	2,804	g/cm ³	-	-	-	-
ASTM C127	Porcentaje de absorción (%Abs)	5,75	g/cm ³	-	-	-	-
ASTM C89	Equivalente de arena	61,84	%	50	-	X	-
ASTM C88	Durabilidad a los sulfatos	6,18	%	-	18	X	-

Tabla 3.3 Tabla resumen de Agregado Fino

3.2 Ensayos del cemento asfáltico

Para la determinación de las principales características y propiedades del cemento asfáltico, como son la viscosidad, consistencia, fluencia y seguridad, se deben realizar los ensayos correspondientes que cumplan con los requerimientos de las normas INEN y ASTM. La funcionalidad de estos ensayos es para determinar que el asfalto sea óptimo para el uso, además de su funcionalidad como ligante en la mezcla asfáltica.

3.2.1 *Gravedad específica (ASTM D70-17)*

Se conoce como gravedad específica a la relación que existe entre una masa de material bituminoso y un volumen de agua del mismo peso a una temperatura constante de 25 °C generalmente. (ASTM International, 2021)

Este ensayo consiste en el uso del picnómetro, el cual llenaremos de agua a una temperatura de 25°C y tomaremos su peso, después procederemos a calentar el asfalto y luego de tener una consistencia fluida verteremos en el picnómetro hasta llenar $\frac{3}{4}$ partes de su capacidad evitando la presencia de burbujas de aire y pesando de la misma manera.(ASTM International, 2021)

Finalmente, con los datos recolectados a través del ensayo se procede a calcular la gravedad específica con la siguiente ecuación:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{(C - A)}{((B - A) - (D - C))}$$

Ecuación 3.10 Gravedad específica para bitúmenes semisólidos y emulsiones

Donde:

A= Masa del picnómetro y tapón secos

B= Masa del picnómetro, tapón y agua destilada

C= Masa del picnómetro, tapón y asfalto

D= Masa del picnómetro, tapón, asfalto y agua destilada

3.2.2 *Viscosidad cinemática (ASTM D2170/D2170 M10)*

La viscosidad cinemática nos indica el comportamiento del flujo, así como su consistencia, por lo que el procedimiento para determinarla consiste en cuantificar el tiempo en segundos que tardan en pasar 60 centímetros cúbicos de asfalto por un tubo de dimensiones estandarizadas y a distintas temperaturas. (ASTM International, 2010)



Ilustración 3.7 Viscosímetro

3.2.3 *Penetración (ASTM D5/D5M-19a)*

El propósito de este ensayo es cuantificar la consistencia del material bituminoso, lo que significa que entre más alto sea su valor indicará una consistencia más blanda. Este valor se determina a través de una aguja de dimensiones estándar con la cual se medirá la distancia en la que ésta penetra la muestra de asfalto cuyas condiciones de peso, tiempo y temperatura son ya conocidas. Además, es imperativo realizar este proceso al menos 3 veces en centésimas de centímetro de diferencia en cada lectura para posteriormente hacer un promedio de las mismas. (ASTM International, 2019a)



Ilustración 3.8 Picnómetro manual

3.2.4 Punto de ablandamiento (ASTM D36/D36M-14)

El punto de ablandamiento nos muestra la predisposición que tiene el material a cambiar su consistencia, y por consiguiente a deformaciones súbitas, a altas temperaturas encontradas en el proceso.

Este ensayo consiste en determinar la temperatura a la cual una muestra de material bituminoso, situada dentro de un anillo, es deliberadamente deformada por una bola de acero al interior de un matraz de agua destilada hasta que este alcance una medida de 1 pulgada antes de llegar a la superficie del matraz. (ASTM International, 2014c)



Ilustración 3.9 Ensayo del Anillo y Bola

3.2.5 *Ductilidad (ASTM D113-17)*

El ensayo de ductilidad tiene por objeto medir las propiedades de tracción del asfalto por medio de la determinación de la distancia a la que ésta muestra se rompe mientras esta es alargada a una velocidad constante de 5 cm por minuto y a 25 °C de temperatura. (ASTM International, 2017)

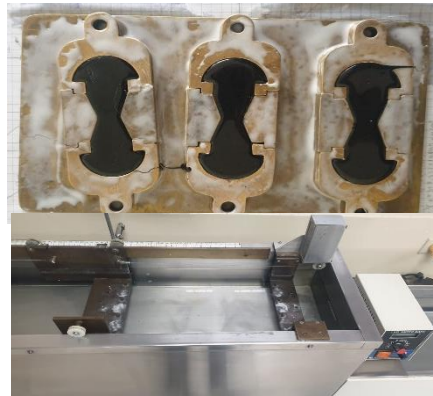


Ilustración 3.10 Ensayo de Ductilidad

3.2.6 *Tabla de resultados*

Debido a que el material bituminoso fue extraído de la misma planta asfáltica y por tanto sus propiedades no tendrán un cambio variable, se presenta la siguiente tabla de resultados de los ensayos mencionados en el literal 3.2:

Tabla de resultados Asfalto AC-20				
Ensayo	Valor	Unidades	Min	Cumple
Gravedad Específica	1.009	-	-	SI
Viscosidad Cinemática	369	Pa.s	300	SI
Penetración	80	dmm	60	SI
Punto de Ablandamiento	44	°C	-	SI
Ductilidad	100	cm	50	SI

Tabla 3.4 Tabla resumen del Asfalto

Fuente:(Sinchiri, 2022)

3.3 Caracterización de la fibra de abacá

La fibra de abacá al ser una fibra natural tiene ventajas en cuanto a resistencia y estabilidad lo que la hace un material idóneo para ver sus respectivos resultados al unirla a una mezcla asfáltica. De la misma manera, ésta a través de ensayos de laboratorio nos podrá dar una idea más global de sus características y propiedades tanto físicas como químicas con las que esperamos tener una visión más clara de lo que este material podría aportar a la mezcla.

En su composición química el contenido de celulosa en las fibras naturales determina la resistencia de la fibra y su fuerza, a diferencia de la lignina que es aquella que provee de protección a la fibra de agentes externos, por lo que el conocimiento de estos componentes es de interés, claramente sin dejar de lado sus propiedades físicas como es su elongación, módulo elástico, esfuerzo de tracción, deformación, absorción y densidad.(Moscoso, 2007)

3.3.1 *Tabla de resultados*

A continuación, se presentará los resultados obtenidos a través de ensayos provistos por investigaciones antes realizadas, y que al ser la fibra de abacá un material secundario en cuanto al objetivo principal de este trabajo de integración curricular que es la evaluación de la mezcla y los resultados de la misma, la información nos servirá únicamente como parte de la caracterización del mismo y para dar una idea básica de sus propiedades en cuanto a los resultados finales.

Fibra de Abacá									
Propiedades Físicas						Composición Química			
Esfuerzo a tracción	Módulo elástico	Deformación unitaria	Absorción	Elongación	Densidad	Celulosa	Lignina	Pectina	Hemicelulosa
Mpa	Gpa	%	%	%	g/cm ³	%	%	%	%
774,7 - 1261,3	31,1 - 33,6	3,10 - 4,27	8 - 10	1,2 - 1,5	1,3 - 1,5	63 - 70,1	5,7 - 6	0,6 - 1	20 - 21,8

Tabla 3.5 Tabla resumen de las propiedades físicas y composición química de la fibra de abacá - Modificado

CAPÍTULO 4

4. Diseño de mezcla asfáltica

4.1 Diseño de mezclas asfálticas según el Método Marshall

El método Marshall es un método tradicional desarrollado por el Ingeniero de Asfaltos Bruce Marshall, cuyo propósito es establecer el contenido óptimo de asfalto para una gradación de agregados específica y por consiguiente también dar a conocer las propiedades de la mezcla asfáltica a partir de este porcentaje. Cabe recalcar que existen ciertos lineamientos para el uso de este método ya que aplica únicamente para mezclas asfálticas en caliente cuyo tamaño máximo de sus agregados sea de 25 mm (1 pulgada), además de que en cuanto a las muestras utilizadas para su respectivo laboratorio están normadas teniendo 64 mm de espesor por 102 mm de diámetro.(Asphalt Institute, 1982)

El procedimiento de este método se basa en elaborar briquetas que consistan de una misma combinación de porcentajes de cada tipo de agregado, pero con contenido de asfalto distinto, en donde se utilizaran mínimo 5 porcentajes de asfalto para de esta manera tener distintos criterios volumétricos y obtener la combinación óptima del mismo. (Asphalt Institute, 2014a)

Los ensayos de laboratorio para el método Marshall están estandarizados por ASTM y son los siguientes:

- ✓ ASTM D6926, “Preparación de Mezclas Bituminosas Utilizando Aparatos Marshall”
- ✓ ASTM D6927, “Método de prueba estándar para estabilidad Marshall y flujo de mezclas bituminosas”

- ✓ AASHTO T 245, “Resistencia al Flujo Plástico de Mezclas Bituminosas Utilizando Aparatos Marshall”

4.2 Propiedades volumétricas

Las propiedades volumétricas son de vital importancia ya que estas nos ayudan a evidenciar el funcionamiento de la mezcla asfáltica y siendo un factor inédito para este fin la relación de vacíos puesto que de este dependerán muchas otras propiedades a tener en cuenta y la calidad de nuestra mezcla.

Las ecuaciones propuestas para determinar los parámetros de nuestras propiedades volumétricas son las siguientes:

- ❖ **Gmb**: Gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica

$$Gmb = \frac{Wa}{Wb - Wc}$$

Ecuación 4.1 Gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica

Wa = Peso seco en aire

Wb = Peso saturado con superficie seca

Wc = Peso sumergido en agua a 25°C

- ❖ **Gsb**: Gravedad específica Bulk del agregado total

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

Ecuación 4.2 Gravedad específica Bulk del agregado total

P1.n = Porcentajes de la mezcla

G1.n = Gravedad específica Bulk de cada material

- ❖ **Gsa:** Gravedad específica aparente del agregado total

$$Gsa = \frac{100}{\frac{P1}{g1} + \frac{P2}{g2} + \dots + \frac{Pn}{gn}}$$

Ecuación 4.3 Gravedad específica aparente del agregado total

P1.n = Porcentajes de la mezcla

g1.n = Gravedad específica aparente de cada material

- ❖ **Gmt:** Gravedad específica máxima teórica

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

Ecuación 4.4 Gravedad específica máxima teórica

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

- ❖ **Gmm:** Gravedad específica máxima medida (Rice)

$$Gmm = \frac{A}{A - (B - C)}$$

Ecuación 4.5 Gravedad específica máxima medida (Rice)

A = Peso de la mezcla

B = Peso frasco + mezcla + agua

C = Peso frasco + agua

- ❖ **Gmt:** Gravedad específica efectiva del agregado

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

Ecuación 4.6 Gravedad específica efectiva del agregado

P_b = Porcentaje de asfalto en la mezcla

G_{asf} = Gravedad específica del asfalto

❖ **P_{ba}** : Asfalto absorbido

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

Ecuación 4.7 Asfalto absorbido

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado

G_{sb} = Gravedad específica Bulk del agregado total

G_{asf} = Gravedad específica del asfalto

❖ **P_{be}** : Asfalto efectivo de la mezcla

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

Ecuación 4.8 Asfalto efectivo de la mezcla

P_b = Porcentaje de asfalto en la mezcla

P_{ba} = Asfalto absorbido

P_s = Porcentaje de agregado en la mezcla

❖ **f/a** : Relación Filler/Asfalto

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

Ecuación 4.9 Filler/Asfalto

P_{be} = Porcentaje de asfalto efectivo

- ❖ **% Vv:** Porcentaje de vacíos con aire

$$\%Vv = \left(1 * \frac{Gb}{Gmm}\right) * 100$$

Ecuación 4.10 Porcentaje de vacíos con aire

Gb = Gravedad Bulk de la briqueta

Gmm = Gravedad específica máxima medida

- ❖ **Vagre:** Porcentaje de volumen de agregado vs volumen total

$$Vagre = \frac{Ps * Gb}{Gsb}$$

Ecuación 4.11 Porcentaje de volumen de agregado vs volumen total

Ps = Porcentaje de agregado en la mezcla

Gb = Gravedad Bulk de la briqueta

Gsb = Gravedad específica Bulk del agregado total

- ❖ **Vam:** Porcentaje de vacíos del agregado mineral

$$Vam = 100 - Vagre$$

Ecuación 4.12 Porcentaje de vacíos del agregado mineral

Vagre = Volumen de agregado vs volumen total

4.3 Estabilidad y flujo Marshall

La estabilidad y flujo son datos importantes proporcionados por el método Marshall que buscan, respectivamente, ponerle un valor a la resistencia a la deformación de la mezcla y medir la deformación misma al aplicar una carga.

Éstos parámetros están regidos por la normativa MOP-001F-2002 que tiene por objetivo comprobar la calidad de la mezcla, y en su tabla 405.5.4 (Ilustración 4.1) nos indica las

delimitaciones que debe tener nuestra mezcla asfáltica teniendo en cuenta el tipo de tráfico para el que se esté realizando y así garantizar su efectividad. (MTO, 2002)

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 vacios 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
% Vacios 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 4.11 Especificaciones para una mezcla asfáltica

Fuente:(MTO, 2002)

La estabilidad es un indicador de la capacidad que tiene el pavimento para poder resistir los desplazamientos y deformaciones al aplicarse una carga, lo que significa que entre más estable sea menos oportunidad de fisurarse tendrá, pero hay que tener en cuenta que tampoco debe sobrepasar los límites de las condiciones de tránsito ya que si tenemos valores de estabilidad extremadamente altos lo único que nos indica es que el pavimento es demasiado rígido y por tanto más vulnerable. Por lo mismo este valor se debe corregir a través de un factor de correlación dado por las especificaciones la tabla 7.1 del MS-2 Asphalt Mix Design Methods. (Asphalt Institute, 2014b)

El flujo Marshall mide la deformación que experimenta la briqueta en centésimas de pulgada, por lo que el tener valores muy altos de fluencia nos indica que la mezcla es muy

plástica y por el contrario si tenemos valores muy bajos es que tiende a ser frágil.(Asphalt Institute, 1982)

El procedimiento a seguir para obtener estos valores de estabilidad y flujo en todas las briquetas será el siguiente:

1. Determinar las dimensiones de cada briketa.
2. Calentar las briquetas en un baño de agua a 60°C por un lapso de 30 a 40 minutos antes de ensayar.



Ilustración 4.12 Briquetas de mezcla tradicional y con fibra sumergidas para ensayo Marshall

3. Secar de manera superficial la briketa y luego se coloca en el aparato de prueba.



Ilustración 4.13 Máquina Marshall

4. Se aplica la carga a una tasa constante de deformación de 51 mm hasta que la briketa

de ensayo falle y el valor máximo indicado en la curva que nos da como resultado será el valor de estabilidad.

5. Para obtener el de flujo se debe tomar la medida al momento en que se vea que la carga comienza a disminuir.

4.4 Cálculos de la mezcla asfáltica

4.4.1 *Dosificación de la mezcla del agregado*

Luego de los ensayos de caracterización de todos los materiales que intervendrán en la mezcla el siguiente paso es el diseño de la mezcla asfáltica.

Para empezar con el diseño de la mezcla asfáltica necesitamos primeramente el análisis granulométrico de los tres agregados pues este junto con las especificaciones de la MOP-001-F-2002 en la Tabla 405-5-1, ayudarán a determinar los porcentajes del material pétreo para la elaboración de las briquetas de ensayo.

Tabla 405-5.1.

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

Ilustración 4.14 Tabla de porcentajes de material que pasa a través de cada tamiz

Fuente: (MTO, 2002)

Es importante tener en cuenta que, al realizar la curva granulométrica, que combina los tres agregados, debemos tantear los porcentajes de agregado para de esta manera decidir el más conveniente para la mezcla ya sea que tengamos que elaborar una mezcla con inclinación hacia la parte fina, gruesa o en el mejor de los casos centralizada, siempre y cuando cumpla las especificaciones de la MOP-001-F-2002. Para la mezcla asfáltica de este trabajo de integración se trabajó con los siguientes porcentajes:

Agregado A	35%	<i><u>Agregado A:</u> Arena</i>
Agregado B	25%	<i><u>Agregado B:</u> Intermedio</i>
Agregado C	40%	<i><u>Agregado C:</u> Grueso</i>

Tabla 4.6 Porcentajes de agregados para la mezcla asfáltica

Utilizando el 35% de agregado fino, 25% de agregado intermedio y 40% de agregado grueso, logramos obtener el análisis granulométrico de la mezcla, observada en la Tabla 4.2, y entonces proceder a determinar la dosificación del material pétreo en la mezcla propuesta indicando las cantidades específicas de material usado por cada tamiz en la elaboración de los baches, que estará estipulada en el Anexo 4.

MALLA		2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4 "	1/2 "	3/8"	N° 4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°100	N°200
ABERTURA	(mm)	63	50	37,5	25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
ESPECIFICACIÓN	MÍN	100	100	100	100	90		56	35	23	---	---	5	---	2
	MÁX	100	100	100	100	100		80	65	49	---	---	19	---	8
AGREGADO	A (ARENA)	100	100	100,0	100	100,0	100	100,0	97,9	84,0	69,2	55,3	38,5	24,7	13,8
AGREGADO	B (INTER.)	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	32,1	7,2	4,9	3,9	3,1	2,5	1,8
AGREGADO	GRUESO	100	100,0	100,0	100,0	100,0	78,3	51,4	12,4	4,9	3,8	3,2	2,7	2,17	1,48
MEZCLA AGREGADOS		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	91,3	80,6	47,2	33,2	27,0	21,6	15,3	10,1	5,9

Tabla 4.7 Análisis granulométrico de los agregados dispuestos para la mezcla asfáltica

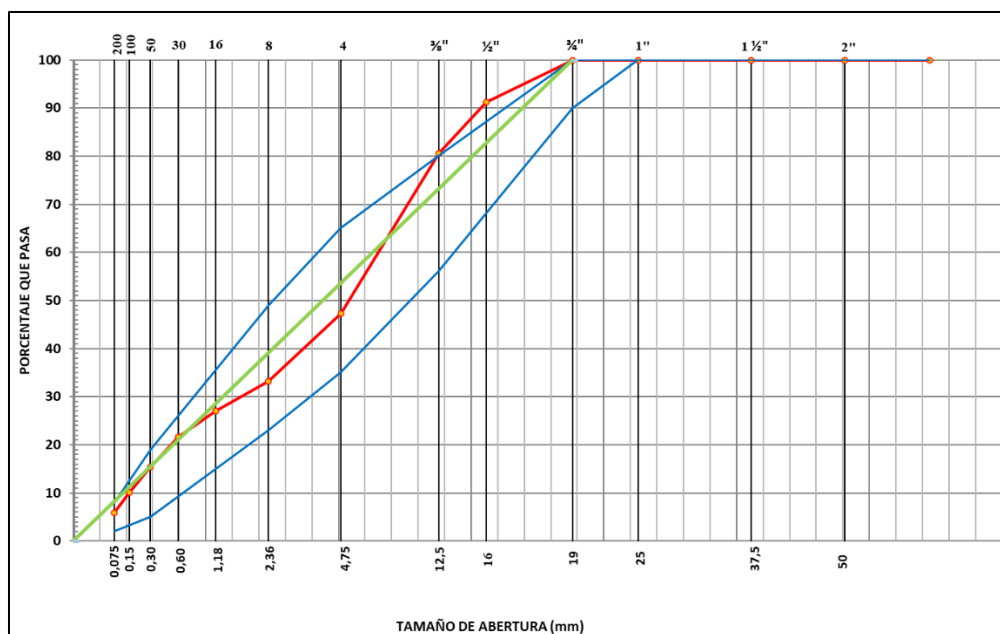


Ilustración 4.15 Curva granulométrica de la mezcla propuesta

4.4.2 Determinación del porcentaje teórico de asfalto

Con los datos anteriormente calculados damos paso a la determinación del porcentaje teórico de asfalto, cuyo propósito es darnos un punto de partida para la elaboración de la mezcla asfáltica indicándonos el contenido de cemento asfáltico a usar en las briquetas. Hay que tener en cuenta que a partir de este porcentaje de asfalto obtendremos los otros cuatro porcentajes a usar en la mezcla, siendo estos valores incrementos o decrementos en 0,5% del valor calculado, es decir tomaremos dos valores anteriores al del porcentaje de asfalto calculado y dos valores posteriores del mismo.

El cálculo del porcentaje óptimo de asfalto está determinado por la ecuación estipulada en el Asphalt Institute, misma que depende de datos granulométricos y de absorción, y se expresa de la siguiente manera:

$$P = 0.035a + 0.045b + kc + F$$

Ecuación 4.13 Porcentaje de asfalto teórico

Donde:

P = contenido teórico de asfalto para la mezcla

a = porcentaje de material retenido en el tamiz #8

b = porcentaje de material pasante del tamiz #8 y retenido en el tamiz #200

c = porcentaje de material que pasa por el tamiz #200

k = depende de:

- 0.15 para el 11 - 15 % del pasante del tamiz N° 200
- 0.18 para el 6 - 10 % del pasante del tamiz N° 200
- 0.20 para el 5 % o menor del pasante del tamiz N° 200

F = 0 – 2% basado en la absorción del agregado fino o grueso, se sugiere 0,7%

Cálculo del parametro F			
Material pétreo	% de absorción	% de mezcla	F
Agregado Grueso	3,75	40	1,50
Agregado Medio	3,61	25	0,90
Agregado Fino	5,75	35	2,01
F total			4,42
F asumido			2

Tabla 4.8 Cálculo del parámetro F

P=0.035a+0.045b+kc+F	
Parámetro	Valor
a=	67
b=	27
c=	5,7
k=	0,2
F=	2
P=	
P=	6,7

Tabla 4.9 Porcentaje de asfalto teórico

Como podemos observar, el porcentaje de asfalto calculado es de 6,7%, por lo que para la mezcla asfáltica vamos a aproximarlos y tomar un valor de 7% inicial, lo que nos dejaría con porcentajes asfálticos de 6%, 6.5%, 7%, 7.5% y 8% para la elaboración de las briquetas.

4.4.3 *Elaboración de briquetas para el ensayo*

Con los porcentajes de asfalto y la dosificación exacta de cada uno de los agregados y sus cantidades por tamiz, procedemos a elaborar las briquetas en donde necesitaremos 3 briquetas de 1100 gramos por cada porcentaje de asfalto lo que nos daría un total de 15 briquetas, además de 1 briqueta para el ensayo rais de 2200 gramos por cada uno de estos porcentajes lo que resultaría en 5 rais para la mezcla total.



Ilustración 4.16 Elaboración de los baches

Otro factor a considerar para la elaboración de los baches es los límites de temperatura de mezcla, así como de compactación que son estipulados por un gráfico de viscosidad los cuales dependen de la viscosidad y temperatura del cemento asfáltico, y que en el presente trabajo podrán oscilar entre 155- 160 °C para la temperatura de mezcla y 140 – 145 °C para la de compactación.

Con todos estos valores determinados podemos empezar con la preparación de las briquetas, en donde nuestro primer paso consistirá en mezclar el bache anteriormente realizado con el porcentaje de asfalto asignado hasta que el agregado se haya incorporado por completo con el asfalto y se encuentre a una temperatura adecuada. A continuación, colocamos la mezcla dentro del molde y la uniformizamos con una espátula golpeando la misma 15 veces alrededor de

su perímetro, para luego llevarla a la compactadora Marshall en donde se compactará la briqueta con 75 golpes por cada cara.



Ilustración 4.17 Elaboración de la mezcla asfáltica



Ilustración 4.18 Compactadora Marshall

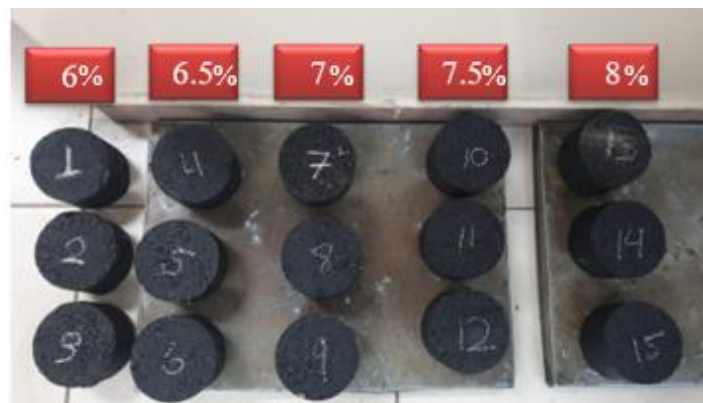


Ilustración 4.19 Briquetas compactadas con sus respectivos porcentajes de asfalto

4.4.4 Cálculo de las propiedades volumétricas de las briquetas

Para el cálculo de las propiedades volumétricas haremos uso del peso y dimensiones de las briquetas, además de las propiedades obtenidas de los materiales, para aplicar las ecuaciones descritas en el literal 4.2, y así determinar las propiedades finales de la mezcla, así como su porcentaje óptimo de asfalto. Estos valores óptimos se obtendrán a través de una serie de curvas graficadas con dichas propiedades calculadas en relación con su porcentaje de asfalto.

Asfalto %	Gb g/cm ³	Gsb g/cm ³	Gmt g/cm ³	Gmm g/cm ³	Gse g/cm ³	Pba	Pbe	f/a	Vv %	Vagr %	VAM %
6,0	2,14	2,36	2,19	2,334	2,55	3,13	3,06	1,93	8,45	85,11	14,89
6,5	2,17	2,36	2,17	2,323	2,55	3,23	3,48	1,70	6,49	86,06	13,94
7,0	2,19	2,36	2,16	2,293	2,53	2,95	4,26	1,38	4,42	86,36	13,64
7,5	2,21	2,36	2,15	2,281	2,54	3,02	4,71	1,25	2,98	86,74	13,26
8,0	2,21	2,36	2,13	2,258	2,53	2,85	5,37	1,10	2,23	86,05	13,95

Tabla 4.10 Tabla resumen de propiedades volumétricas por cada porcentaje de asfalto

Asfalto %	Estabilidad lb	Flujo 0.01"
6,0	3286,00	12,03
6,5	3713,00	12,17
7,0	3754,50	14,67
7,5	3568,00	13,33
8,0	3279,00	14,50

Tabla 4.11 Tabla resumen de Estabilidad y Flujo para cada porcentaje de asfalto

4.5 Diseño de Mezclas asfálticas con un porcentaje de fibra de abacá

Partiendo del diseño de la mezcla convencional realizada y los cálculos del mismo se procedió a trabajar con el porcentaje óptimo de asfalto determinado en el literal 5.1 y la misma dosificación de agregados, para de esta manera obtener resultados y realizar una comparación efectiva de los mismos. Posteriormente para esta mezcla asfáltica incorporando fibra de abacá fue necesario establecer el tamaño en el que sería añadida la fibra, así como el porcentaje a usar en la realización de las misma.

En el trabajo de titulación de Romero y Sánchez hace alusión a que debido a la naturaleza de la fibra de abacá entre mayor sea su longitud mayor será la dificultad para trabajar con la misma, por lo que el largo que mayor beneficio presenta en la mezcla asfáltica es de 20 mm. Además, gracias a investigaciones y resultados obtenidos indica la notable mejora en la estabilidad y flujo utilizando porcentajes pequeños de fibra empezando desde el 0,5% a 1.5%. (Romero & Sánchez, 2022)



Ilustración 4.20 Longitud de la fibra de Abacá

Teniendo en cuenta todos los criterios antes mencionados se procedió a experimentar mezclando los baches con 1%, 0.50% y 0,25% de fibra teniendo como resultado en los 2 primeros porcentajes una mezcla poco homogénea a la vista en donde la fibra no se acopló por completo con los agregados y asfalto, por lo que se decidió trabajar con el 0.25% que presenta resultados más homogéneos visibles en la mezcla.



Ilustración 4.21 Mezcla asfáltica con 1%, 0,5% y 0,25% de fibra de Abacá

Finalmente se realizó la dosificación de las 3 briquetas y 1 rais, siguiendo el procedimiento anteriormente redactado en los literales 4.3 y 4.4.3, con el porcentaje óptimo de asfalto determinado, y empleando 0,25% de fibra de abacá a una longitud de 2 cm.

4.5.1 Cálculo de las propiedades volumétricas de las briquetas de fibra de abacá

Para el cálculo de propiedades volumétricas de un porcentaje de fibra de abacá seguimos el mismo proceso y cálculo de la mezcla tradicional usando las ecuaciones del literal 4.2 con la diferencia de que al no realizar más porcentajes con las que podamos graficar una curva simplemente se compararán los valores calculados de este porcentaje de fibra con los óptimos interpretados en los gráficos de la mezcla tradicional.

Asfalto %	Gb g/cm ³	Gsb g/cm ³	Gmt g/cm ³	Gmm g/cm ³	Gse g/cm ³	Pba	Pbe	f/a	Vv %	Vagr %	VAM %
7,2	2,17	2,36	2,15	2,286	2,53	2,93	4,48	1,37	4,92	85,47	14,53
7,2	2,18								4,46	85,88	14,12
7,2	2,18								4,74	85,62	14,38

Tabla 4.12 Tabla resumen de propiedades volumétricas de una mezcla con un porcentaje de fibra de Abacá

Asfalto %	Estabilidad lb	Flujo 0.01"
7,2	2743,50	15,00
7,2	3115,50	17,50
7,2	3255,00	17,00

Tabla 4.13 Tabla resumen de Estabilidad y Flujo para mezcla con un solo porcentaje de fibra de Abacá

CAPÍTULO 5

5. Análisis de resultados

5.1 Determinación del porcentaje óptimo de asfalto

Al finalizar el ensayo Marshall el siguiente paso a tomar es la tabulación de los resultados obtenidos a través del mismo y sus gráficas, empezando con la que no ayudará a determinar el porcentaje óptimo de asfalto y en consecuencia todas las demás propiedades que dependen de dicho valor.

El porcentaje óptimo de asfalto se obtiene mediante la gráfica que representa los datos de los porcentajes de asfalto trabajados frente a el porcentaje de vacíos con aire denominada (Vv). Para interpretar el gráfico y conocer el porcentaje óptimo de asfalto el Asphalt Institute nos indica que debemos encontrar el valor correspondiente en la curva cuando en el eje de las ordenadas tengamos 4% de porcentaje de vacíos, que en el presente trabajo dio como resultado 7.2% de porcentaje óptimo de asfalto.

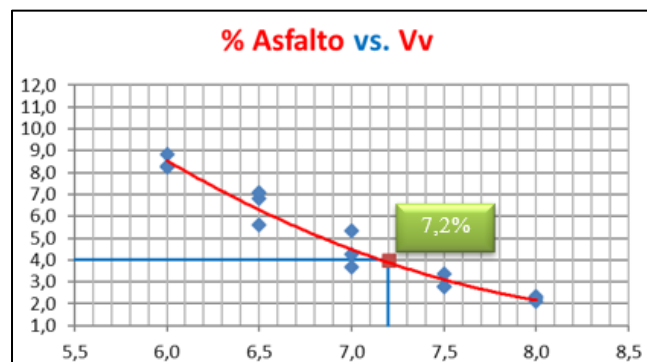


Ilustración 5.22 Gráfica de %Asfalto vs %Vacíos Vv

5.2 Determinación de las propiedades de la mezcla asfáltica con el porcentaje óptimo de asfalto

Al conocer el porcentaje óptimo de asfalto de nuestra mezcla asfáltica ya podemos conocer sus demás propiedades al realizar gráficas en donde tendremos el porcentaje de asfalto frente a la densidad bulk, estabilidad, flujo, VAM y la relación f/a. Y que a diferencia del primero grafico trazaremos una línea partiendo del 7.2% de contenido óptimo de asfalto y obtendremos el valor que intercepte este en la curva realizada.

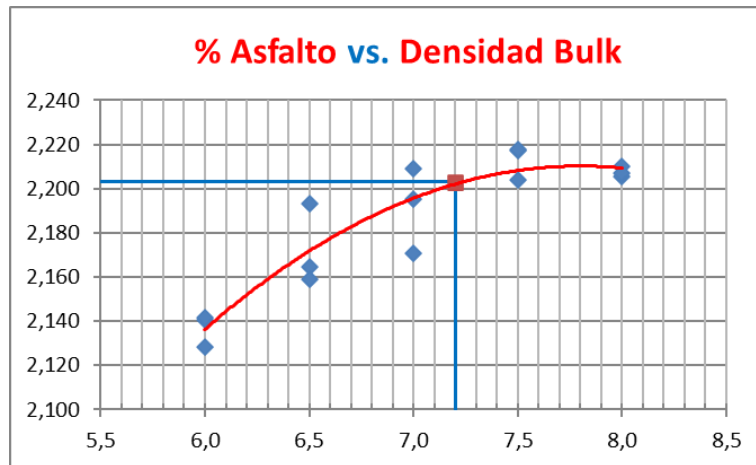


Ilustración 5.23 Gráfica de % Asfalto vs Densidad Bulk

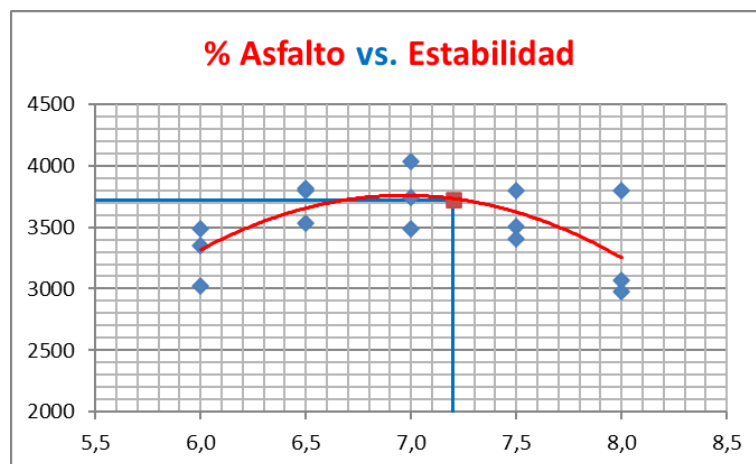


Ilustración 5.24 Gráfica de %Asfalto vs Estabilidad

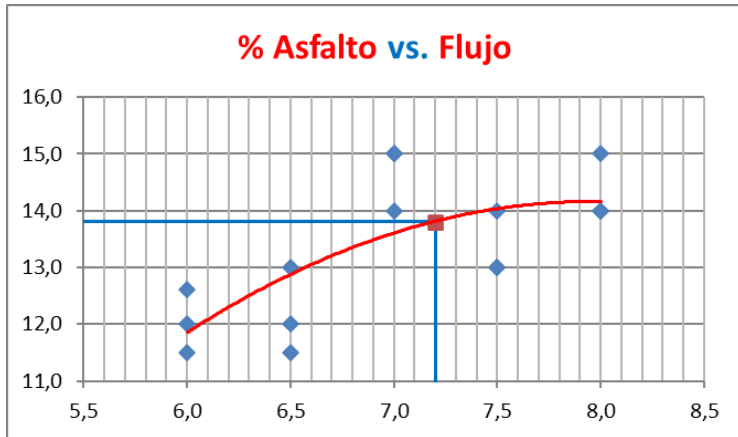


Ilustración 5.25 Gráfica de % Asfalto vs Flujo

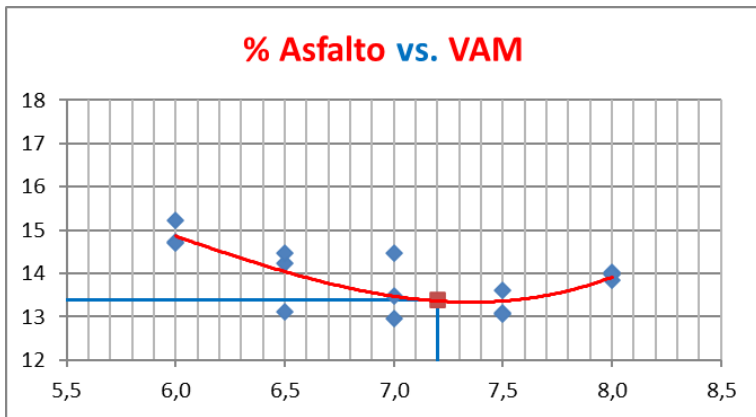


Ilustración 5.26 Gráfica de %Asfalto vs VAM

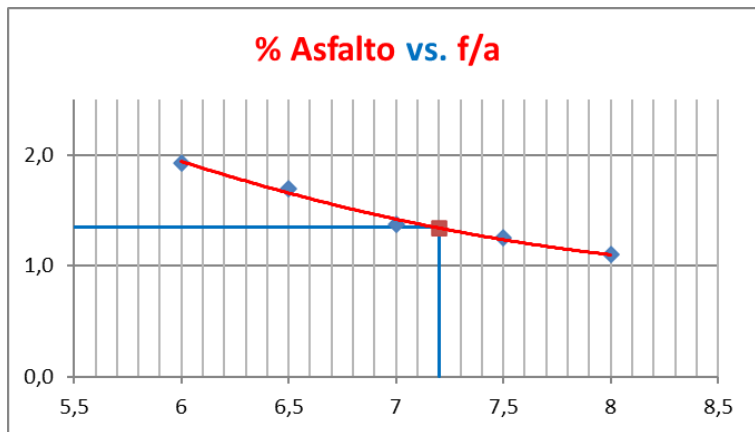


Ilustración 5.27 Gráfica de % Asfalto vs f/a

La tabla a continuación indicará los resultados obtenidos a través de las gráficas, y se los verificará con las especificaciones planteadas en la MTOP-001F-2002 para el caso de tráfico muy pesado.

Mezcla asfáltica caliente con 7,2% de asfalto					
Propiedades	Unidad	Valor	Especificación MTOP-001F-2002		Verificación
			Tráfico Muy Pesado		
			MIN.	MÁX.	Cumplimiento
Densidad Bulk	g/cm ³	2.224	-	-	SI
Estabilidad	lb	3720	2200	-	SI
Flujo	pulg/100	13,8	8	14	SI
VAM	%	13,4	13	-	SI
Relación f/a	-	1,35	0.8	1.2	NO

Tabla 5.14 Tabla resumen de verificación de datos para tráfico muy pesado

5.3 Determinación de las propiedades de la mezcla asfáltica con el porcentaje óptimo de asfalto y un porcentaje de fibra de abacá

Para la determinación de las propiedades en la mezcla asfáltica con 0,25% de fibra de abacá se utilizó los valores antes calculados ya que la mezcla fue realizada inicialmente con el porcentaje óptimo de asfalto de 7,2%, y de la misma forma será verificada por las especificaciones de la MTOP-001F-2002.

Mezcla asfáltica caliente con 7,2% de asfalto y 0,25% de fibra de Abacá					
Propiedades	Unidad	Valor	Especificación MTOP-001F-2002		Verificación
			Tráfico Muy Pesado		
			MIN.	MÁX.	Cumplimiento
Densidad Bulk	g/cm ³	2,178	-	-	SI
Estabilidad	lb	3038	2200	-	SI
Flujo	pulg/100	17	8	14	NO
VAM	%	14,34	13	-	SI
Relación f/a	-	1,37	0.8	1.2	NO

Tabla 5.15 Tabla resumen de verificación de datos para tráfico muy pesado de mezcla asfáltica con un porcentaje de fibra

5.4 Análisis comparativo entre la mezcla asfáltica con y sin un porcentaje de fibra de abacá

Para la comparación de estos resultados es imperativo tener en consideración que ambos resultados fueron realizados con la misma dosificación y con el 7.2% de porcentaje óptimo de asfalto, con el propósito de verificar el beneficio que brinda la fibra a la mezcla realizada en este trabajo.



Ilustración 5.28 Comparación gráfica de las propiedades especificadas en la mezcla asfáltica tradicional con la mezcla de un porcentaje de fibra

CAPÍTULO 6

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

- Realizados los ensayos correspondientes a la caracterización de agregados y asfalto podemos observar que estos materiales cumplen las especificaciones normadas por MTOP-001F-2002 lo que es un indicador de calidad de los mismos y que por lo tanto es pertinente decir que el material empleado por la planta asfaltadora de la EPMMOP es apto para ser su uso en el diseño de mezclas asfálticas.
- Los porcentajes de agregados usados en el análisis granulométrico son aptos para el diseño de mezclas asfálticas y se pudo evidenciar a través de los resultados obtenidos de la mezcla tradicional ya que en su gran mayoría cumplen la normativa.
- Mediante los resultados calculados en el presente trabajo de integración curricular pudimos constatar que a pesar de que el porcentaje de asfalto teórico es una medida tentativa, esta no difiere demasiado del porcentaje óptimo del asfalto, siendo en este caso una diferencia de 0,2% lo que nos indica la veracidad de este análisis con su ecuación.
- Igualmente, al determinar los valores de las propiedades óptimas de la mezcla asfáltica y hacer su respectiva comparación con las normativas dadas por la MTOP para tráfico muy pesado, constatamos el cumplimiento de estas en cuanto a estabilidad, flujo y vacíos en el agregado mineral (VAM), siendo el único factor que excede la normativa la relación filler/ betún y que por lo mismo no la cumple.
- Por tanto, después del análisis impartido conjuntamente con los resultados obtenidos

podemos concluir que la mezcla asfáltica de este trabajo de integración curricular con porcentajes de 40% de agregado grueso, 25% de agregado intermedio, 35% de agregado fino y 7,2% asfalto óptimo no cumplen la normativa MTOP-001F-2002 y en consecuencia el diseño del mismo no es apto.

- En el caso de la mezcla con un porcentaje de fibra de abacá podemos observar su efectividad en cuanto al flujo y VAM en comparación con la mezcla tradicional como se esperaba, pero también deficiencia en cuanto a la estabilidad y relación filler/betún.
- Así mismo podemos verificar que, aunque la fibra de abacá mejora las propiedades del flujo y aumenta el porcentaje de vacíos de los agregados (VAM), esta diferencia no es excesiva y tampoco lo suficientemente apta para cumplir las especificaciones dadas por la MTOP-001F-2002, por lo que podemos afirmar que la mezcla asfáltica con el 0,25% de fibra de abacá también es deficiente.
- El que la fibra aumente el VAM o porcentaje de vacíos de los agregados ayuda a la mezcla a tener más espacio disponible para el volumen de asfalto, pero para lograr un espesor durable de mezcla asfáltica se debe tener valores mínimos de VAM, es decir lo más cercano al valor de las especificaciones, por lo que podemos decir que el aumento de porcentaje de vacíos del agregado que presenta la fibra puede ser perjudicial para la mezcla haciendo que la misma sea demasiado plástica.
- Tras realizar la mezcla asfáltica con la fibra de abacá puedo concluir que es un material complicado con el que trabajar debido a que este tiende a aglomerarse y evita tener una mezcla homogénea, por lo que para prevenirlo fue necesario ir disgregando la fibra y agregándola de a poco en la mezcla.

6.2 Recomendaciones

- En la mezcla asfáltica tradicional observamos la excedencia de la delimitación de la relación filler/betún lo que nos indica el exceso del agregado fino en la mezcla y que puede tener relación también con el alto porcentaje de absorción que presenta el material, por lo que recomendaría modificar la dosificación de los agregados de modo que disminuya el porcentaje del agregado fino , utilizando por ejemplo una dosificación de 25% de agregado fino, 35% de agregado intermedio y 40% de agregado grueso para de esta manera equiparar mejor este factor y a través de los ensayos pertinentes se verifique nuevamente con las especificaciones dadas en la MTOP-001F-2002.
- De la misma manera, debido a los distintos inconvenientes presenciados por la calidad de los materiales al momento de pruebas con distintas variables de mezclas de agregado recomendaría extremo cuidado y verificación en la caracterización del material pétreo.
- En cuanto a la mezcla asfáltica con el porcentaje de fibra podría decir que la falta de efectividad en la misma puede deberse a la gran absorción de asfalto que presenta además de su naturaleza homogénea, por lo que recomiendo quitar una fracción de agregado que pueda ser reemplazado por la fibra y que de esta manera se pueda aprovechar más sus propiedades mecánicas, o a su vez trabajar la fibra antes de introducirla en la mezcla a través de ensayos.
- Como se pudo evidenciar en la comparación de resultados la fibra muestra mejoría en la propiedad de flujo y aumento en VAM, por lo que el uso de esta fibra sería más efectivo en mezclas asfálticas que carezcan, en cierta proporción, de esas características, y por lo que también recomendaría realizar un diseño más completo con distintos porcentajes de

fibra para corroborar su efectividad y el cumplimiento de las normativas MTOP-001F-2002.

Bibliografía

Asphalt Institute. (1982). *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfálticas en Caliente MS-22*. <https://es.scribd.com/document/66112307/MS-22-Principios-de-Construccion-de-Pavimentos-de-Mezcla-Asfalticas>

Asphalt Institute. (2007). *The asphalt handbook 7th ed.*
<https://my.asphaltinstitute.org/Shop/Product-Details?productid=9E5A6840-361B-E811-80F2-000D3A011CEC>

Asphalt Institute. (2014a). *Asphalt mix design methods 7th ed* (7th ed.).

Asphalt Institute. (2014b). *MS-2 Asphalt Mix Design Methods 7th Edition*.
https://www.academia.edu/39782610/Design_Methods_Aspphalt_Mix_7th_Edition_MS_2_Aspphalt_Mix_Design_Methods_7th_Edition

ASTM International. (2010). *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Asphalts (Bitumens)*. https://www.astm.org/d2170_d2170m-10.html

ASTM International. (2014a). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*.
https://www.astm.org/c0131_c0131m-14.html

ASTM International. (2014b). *Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate*. <https://www.astm.org/d2419-14.html>

ASTM International. (2014c). *Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus)*. https://www.astm.org/d0036_d0036m-14.html

ASTM International. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. <https://www.astm.org/c0127-15.html>

ASTM International. (2017). *Standard Test Method for Ductility of Asphalt Materials*.
<https://www.astm.org/d0113-17.html>

ASTM International. (2018). *Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate*. https://www.astm.org/c0088_c0088m-18.html

ASTM International. (2019a). *Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials*.

https://www.astm.org/d0005_d0005m-19a.html

ASTM International. (2019b). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. https://www.astm.org/c0136_c0136m-19.html?lang=es-ES

ASTM International. (2021). *Standard Test Method for Specific Gravity and Density of Semi-Solid Asphalt Binder (Pycnometer Method)*. https://www.astm.org/d0070_d0070m-21.html

Benavides, G. (2017). *CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL HÍBRIDO UTILIZANDO MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON TEJIDO DE FIBRA VEGETAL DE ALGODÓN Y FIBRA NATURAL DE ABACÁ*. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26390/1/Tesis%20I.%20M.%20399%20-%20Benavides%20Salinas%20Geovanny%20Santiago.pdf>

Bravo, A., & Abraham, Y. (2022). *CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL HÍBRIDO UTILIZANDO MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON TEJIDO DE FIBRA VEGETAL DE ALGODÓN Y FIBRA NATURAL DE ABACÁ*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23837/1/UPS-GT004088.pdf>

Ministerio de Transporte y Obras Publicas. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES DE CAMINOS Y PUENTES*. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf

Moscoso, C. (2007). *OBTENCIÓN DE COMPUESTOS DE POLIPROPILENO REFORZADO CON FIBRAS DE ABACÁ MEDIANTE MOLDEO POR COMPRESIÓN*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/352/1/CD-0762.pdf>

Romero, H., & Sánchez, M. (2022). *Diseño de una mezcla asfáltica incorporando fibra de abacá con cal como materiales de refuerzo al comportamiento Marshall*. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/9948/1/ROMERO%20H-SANCHEZ%20M%20Dise%C3%B1o%20de%20una%20mezcla%20asf%C3%A1ltica%20incorporando%20fibra%20de%20abac%C3%A1%20con%20cal%20como%20materiales%20de%20refuerzo.pdf>

Sinchiri, M. (2022). *EVALUACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL CON MATERIAL DE LA MINA ESTRELLA SANGOLQUÍ Y SAN RAFAEL BELLA VISTA CALDERÓN CON ASFALTO AC-20*. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/21113/Trabajo%20Integraci%C3%B3n%20Curricular%20-%20Sr.%20Sinchiri%20Marco.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

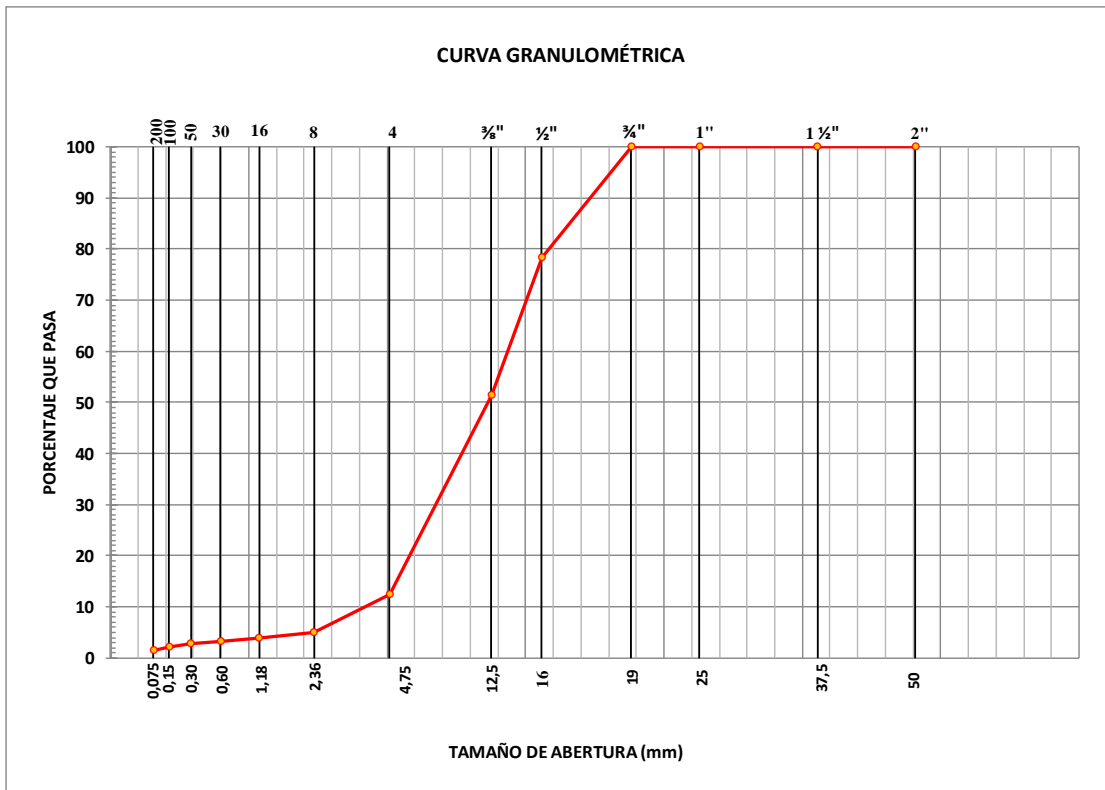
Anexos

Anexo 1: Curva Granulométrica del agregado grueso

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO

Masa seca 9976,40

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET. ACUM.	% RETENIDO	% PASA
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	2.167,00	2.167,00	21,72	78,28
3/8"	9,50	2.681,00	4.848,00	48,59	51,41
4	4,75	3.895,00	8.743,00	87,64	12,36
8	2,36	740,00	9.483,00	95,05	4,95
16	1,18	114,80	9.597,80	96,21	3,79
30	0,600	55,20	9.653,00	96,76	3,24
50	0,300	54,60	9.707,60	97,31	2,69
100	0,150	52,50	9.760,10	97,83	2,17
200	0,075	68,50	9.828,60	98,52	1,48
PASA N° 200		147,80	9.976,40		

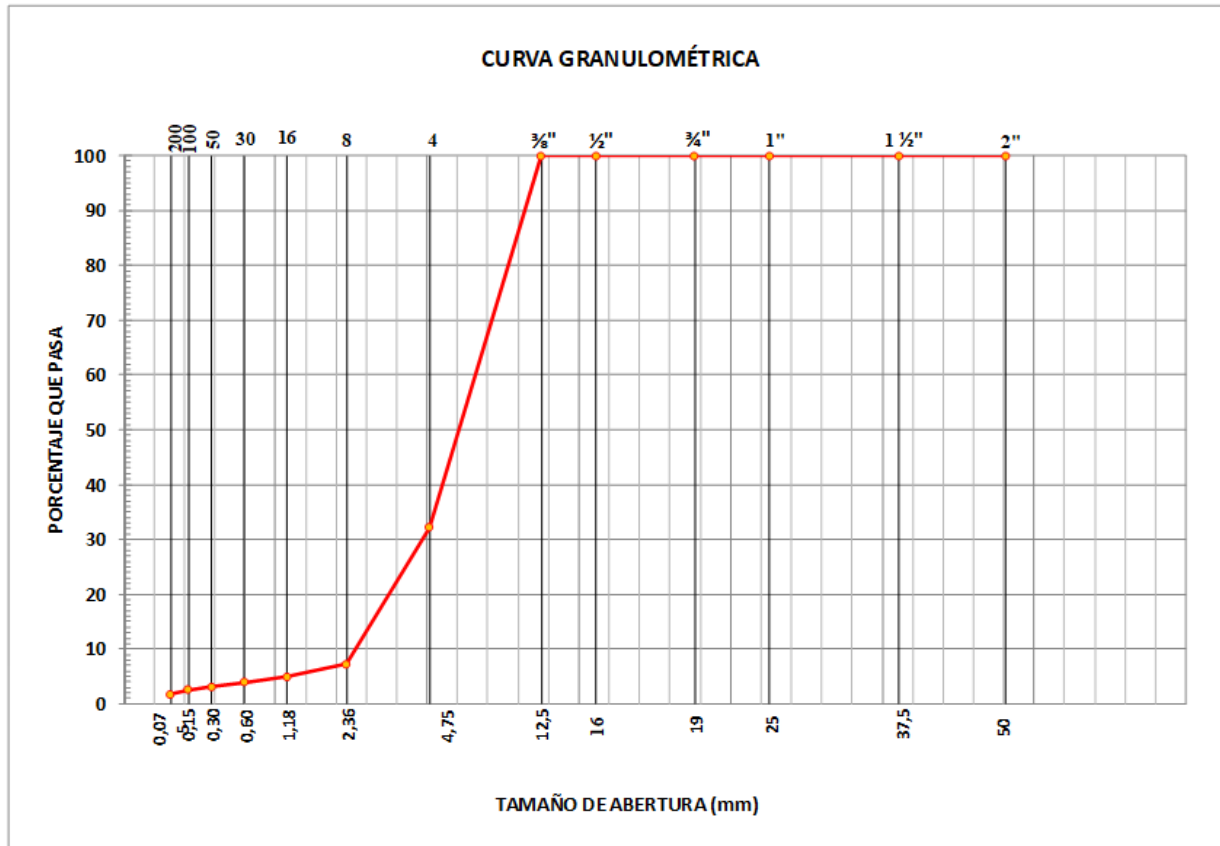


Anexo 2: Curva Granulométrica del agregado intermedio

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO INTERMEDIO

Masa seca 2998,70

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET. ACUM.	% RETENIDO	% PASA
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
4	4,75	2.035,20	2.035,20	67,87	32,13
8	2,36	746,50	2.781,70	92,76	7,24
16	1,18	68,90	2.850,60	95,06	4,94
30	0,600	31,00	2.881,60	96,09	3,91
50	0,300	23,10	2.904,70	96,87	3,13
100	0,150	18,00	2.922,70	97,47	2,53
200	0,075	21,40	2.944,10	98,18	1,82
PASA Nº 200		54,60	2.998,70		

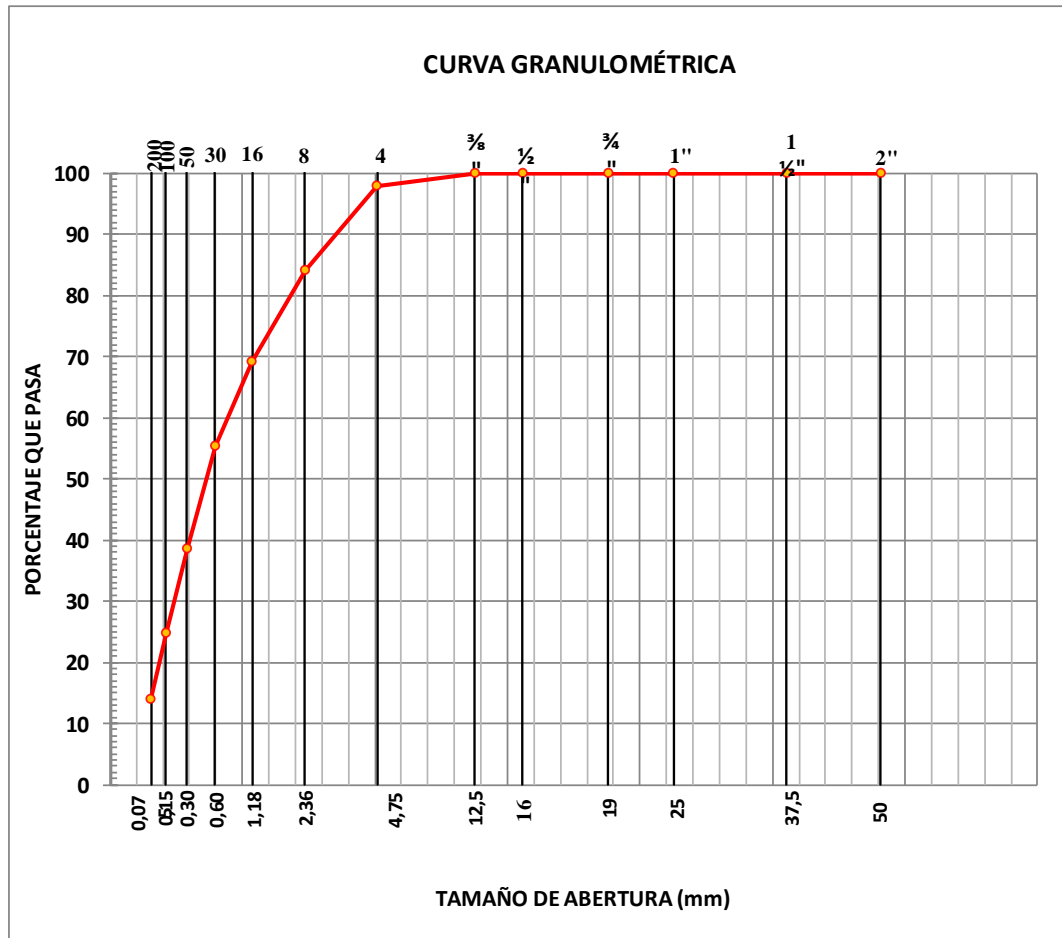


Anexo 3: Curva Granulométrica del agregado fino

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO

Masa seca 998,60

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET. ACUM.	% RETENIDO	% PASA
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,0
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	100,0
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,0
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	100,0
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,0
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,0
4	4,75	21,30	21,30	2,13	97,9
8	2,36	138,50	159,80	16,00	84,0
16	1,18	147,40	307,20	30,76	69,2
30	0,600	139,20	446,40	44,70	55,3
50	0,300	167,60	614,00	61,49	38,5
100	0,150	138,00	752,00	75,31	24,7
200	0,075	108,50	860,50	86,17	13,8
PASA N° 200		138,10	998,60		



Anexo 4: Dosificación del material para elaboración de baches

ANALISIS GRANULOMÉTRICO PARA LAS BRIQUETAS

Masa seca 1100,00

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET. ACUM.	% RETENIDO	% PASA
2"	50,00	0,0	0,00	0,00	100,0
1 1/2"	37,50	0,0	0,00	0,00	100,0
1"	25,00	0,0	0,00	0,00	100,0
3/4"	19,00	0,0	0,00	0,00	100,0
1/2"	12,50	95,6	95,6	8,7	91,3
3/8"	9,50	118,2	213,8	19,4	80,6
4	4,75	366,6	580,5	52,8	47,2
8	2,36	154,5	734,9	66,8	33,2
16	1,18	68,2	803,2	73,0	27,0
30	0,600	58,9	862,1	78,4	21,6
50	0,300	69,1	931,2	84,7	15,3
100	0,150	57,2	988,4	89,9	10,1
200	0,075	46,8	1.035,2	94,1	5,9
PASA N° 200		64,8	1.100,0		

					AGREGADO A	AGREGADO B	AGREGADO C
					Arena	Intermedio	Grueso
DISEÑO N° 2					PORCENTAJES DE MEZCLAS		
					35%	25%	40%
					385	275	440
					0,00	0,00	0,00
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET. ACUM.	PESO RET. ACUM.			
2"	50,00	0,0	0,0	0,0			
1 1/2"	37,50	0,0	0,0	0,0			
1"	25,00	0,0	0,0	0,0			
3/4"	19,00	0,0	0,0	0,0			
1/2"	12,50	0,0	0,0	95,6			
3/8"	9,50	0,0	0,0	118,2			
4	4,75	8,2	186,6	171,8			
8	2,36	53,4	68,5	32,6			
16	1,18	56,8	6,3	5,1			
30	0,600	53,7	2,8	2,4			
50	0,300	64,6	2,1	2,4			
100	0,150	53,2	1,7	2,3			
200	0,075	41,8	2,0	3,0			
Pasa Tamiz N° 200		53,2	5,0	6,5			

Anexo 5: Datos del ensayo de Gravedad específica del agregado grueso, intermedio y fino

AREA DE PAVIMENTOS
HOJA DE CAMPO
CARACTERIZACION DE MATERIALES GRUESO Y FINO

HOJA N° 1

N° DE ORDEN 4232P

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGREGADO GUESO				
DESCRIPCION	<u>Pintag</u>			
MUESTRA N°	<u>1</u>			
MASA SECA (gr)	<u>3068</u>			
MASA SSS (gr)	<u>3183</u>			
MASA APARENTE (gr)	<u>1854</u>			

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGREGADO GRUESO <u>Intermedio</u>				
DESCRIPCION	<u>Intermedio</u>			
MUESTRA N°	<u>1</u>			
MASA SECA (gr)	<u>2076</u>			
MASA SSS (gr)	<u>2151</u>			
MASA APARENTE (gr)	<u>1275</u>			

GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO (Parte fina)				
DESCRIPCION				
MUESTRA N°				
MASA DEL MATRAZ (gr)				
MASA MATRAZ+AGUA+MUESTRA (gr)				
MASA SSS (gr)				
MASA SECA (gr)				

GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO				
DESCRIPCION	<u>Fino</u>	<u>Fino</u>		
MUESTRA N°	<u>1</u> ✓	<u>2</u>		
MASA DEL MATRAZ (gr)	<u>472,8</u>	<u>478,1</u>		
MASA MATRAZ+AGUA+MUESTRA (gr)	<u>952,91</u>	<u>948</u>		
MASA SSS (gr)	<u>500</u>	<u>500</u>		
MASA SECA (gr)				

PESO UNITARIO DEL ARIDO GRUESO				
MASA DEL MOLDE (gr)				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm³)				
Mm+MASA SUELTA (gr)				
Mm+M compacto				

PESO UNITARIO DEL ARIDO FINO				
MASA DEL MOLDE (gr)				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm³)				
Mm+MASA SUELTA (gr)				
Mm+M compacto				

REALIZADO POR:	
FECHA DE EJECUCION	

Anexo 6: Datos del ensayo de Equivalente de arena



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Laboratorio de Materiales de Construcción



ÁREA DE HORMIGONES
ENSAYOS AGREGADOS

ORDEN DE TRABAJO No. 4232P

CONTENIDO ORGÁNICO

Muestra No.													
Identificación													
Valor en la Escala													

EQUIVALENTE DE ARENA

Muestra No.	1	2											
Identificación	Muestra Blanca												
Lectura Inicial	5.6	5.9											
Lectura Final	3.7	3.4											

$$\frac{LF}{LI} \times 100$$

$$\frac{66.07}{57.62} \times 100 = 114.68\%$$

MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ No. 200

Muestra No.	61.84.												
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: *Jennifer Rodriguez*

INFORME:

Anexo 7: Datos del ensayo de Abrasión



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Laboratorio de Materiales de Construcción



ÁREA DE HORMIGONES ENSAYOS AGREGADOS

ORDEN DE TRABAJO No. 4232P

ABRASIÓN

Muestra No.	1								
Identificación	MAT. 3/4								
Tipo de Gradación	B								
No. De Revoluciones	500								
Masa Inicial (gr)	5.000								
M. retenida Tam. No.12 (gr)	3813	→	23.74						

PESO UNITARIO

Muestra No.									
Identificación									
Masa del Molde (gr)									
Volumen del Molde									
Molde + M. Suelto (gr)									
Molde + M. Compactado (gr)									

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO

Muestra No.									
Identificación									
Masa Seca (gr)									
Masa SSS (gr)									
Masa Sumergida en agua (gr)									

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO

Muestra No.									
Identificación									
Masa Matraz (gr)									
Matraz+Agua+Muestra (gr)									
Masa SSS (gr)									
Masa Seca (gr)									

TERRONES DE ARCILLA

Muestra No.									
Identificación									
Masa inicial (gr)									
Masa final retenida en Tamiz No. 20 (gr)									

ENSAYA: *Jennifer Rodriguez*

INFORME:

Anexo 8: Tabla de cálculo de las propiedades volumétricas de las briquetas para cada porcentaje de asfalto

ENSAYO MARSHALL											
Mezcla	Asfalto	Peso			Gb	Gsb	Gmt	Gmm	Gse	Pba	Pbe
#	%	Seco	Agua	S.S.S.	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³		
1	6,0	1155,94	620,92	1160,90	2,141						
2		1156,79	617,18	1160,75	2,128						
3		1158,92	627,98	1169,13	2,142						
Promedio					2,137	2,36	2,19	2,334	2,55	3,13	3,06
4	6,5	1164,51	636,25	1167,26	2,193						
5		1163,80	628,61	1166,22	2,165						
6		1157,34	623,43	1159,50	2,159						
Promedio					2,172	2,36	2,17	2,323	2,55	3,23	3,48
7	7,0	1172,04	620,92	1160,90	2,171						
8		1168,04	636,75	1168,77	2,195						
9		1167,31	639,12	1167,55	2,209						
Promedio					2,192	2,36	2,16	2,293	2,53	2,95	4,26
10	7,5	1170,89	639,68	1170,96	2,204						
11		1172,98	644,08	1173,07	2,217						
12		1175,33	645,62	1175,53	2,218						
Promedio					2,213	2,36	2,15	2,281	2,54	3,02	4,71
13	8,0	1176,70	643,33	1176,88	2,205						
14		1179,14	645,77	1179,26	2,210						
15		1182,71	647,04	1182,94	2,207						
Promedio					2,208	2,36	2,13	2,258	2,53	2,85	5,37

f/a	Volumen			Vol. Briq.	Factor Correc.	Estabilidad (lb)		Flujo 0.01"
	Vv	Vagr	VAM			Medida	Correg.	
	8,28	85,26	14,74	540,0	0,93	3750	3487,50	12
	8,82	84,76	15,24	543,6	0,93	3250	3022,50	13
	8,24	85,30	14,70	541,2	0,93	3600	3348,00	12
1,93	8,45	85,11	14,89				3286,00	12
	5,60	86,88	13,12	531,0	0,96	3950	3792,00	13
	6,81	85,76	14,24	537,6	0,93	3800	3534,00	12
	7,06	85,53	14,47	536,1	0,93	4100	3813,00	12
1,70	6,49	86,06	13,94				3713,00	12
	5,34	85,53	14,47	540,0	0,93	3750	3487,50	14
	4,25	86,51	13,49	532,0	0,96	4200	4032,00	15
	3,66	87,05	12,95	528,4	0,96	3900	3744,00	15
1,38	4,42	86,36	13,64				3754,50	15
	3,38	86,38	13,62	531,3	0,96	3650	3504,00	13
	2,79	86,91	13,09	529,0	0,96	3950	3792,00	14
	2,76	86,93	13,07	529,9	0,96	3550	3408,00	13
1,25	2,98	86,74	13,26				3568,00	13
	2,33	85,97	14,03	533,6	0,96	3100	2976,00	14
	2,12	86,16	13,84	533,5	0,96	3950	3792,00	15
	2,26	86,03	13,97	535,9	0,93	3300	3069,00	14
1,10	2,23	86,05	13,95				3279,00	15