

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



PLAN DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA: 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

AUTOR:

MARCO ANTONIO SINCHIRI CARRILLO

QUITO DM, DICIEMBRE DE 2022

# Índice

CAPÍTULO 1 .....	7
1. Introducción.....	7
1.1 Justificación.....	7
1.2 Planteamiento del problema.....	7
1.3 Objetivos .....	7
1.3.1 Objetivo General .....	7
1.3.2 Objetivos Específicos .....	8
CAPÍTULO 2 .....	8
2. Marco Teórico.....	8
2.1 Materiales pétreos .....	8
2.1.1 Definición .....	8
2.1.2 Propiedades y características .....	8
2.1.3 Procedencia de los agregados .....	9
2.2 Cemento asfáltico .....	11
2.2.1 Definición .....	11
2.2.2 Propiedades y características .....	11
2.2.3 Procedencia del cemento asfáltico.....	12
2.3 Mezclas asfálticas.....	12
2.3.1 Definición .....	12
CAPÍTULO 3 .....	12
3. Ensayo de los materiales.....	12
3.1 Ensayos del material pétreo.....	12
3.1.1 Análisis granulométrico (ASTM C136/C136M-19) .....	13
3.1.2 Gravedad específica y porcentaje de absorción .....	14
3.1.3 Equivalente de arena del agregado fino (ASTM D2419-14).....	16
3.1.4 Desgaste por abrasión del agregado grueso en máquina de los ángeles (ASTM C131/C131M-14).....	17
3.1.5 Durabilidad del agregado grueso a la acción de los sulfatos (ASTM C88/C88M-18) .....	18
3.1.6 Tabla de resultados .....	19
3.2 Ensayos del cemento asfáltico .....	20
3.2.1 Gravedad específica (ASTM D70-17) .....	20
3.2.2 Viscosidad cinemática (ASTM D2170/D2170 M10) .....	21

3.2.3	Penetración (ASTM D5/D5M-19a).....	21
3.2.4	Punto de ablandamiento (ASTM D36/D36M-14e1) .....	22
3.2.5	Ductilidad (ASTM D113-17) .....	23
3.2.6	Tabla de resultados .....	23
CAPITULO 4	.....	24
4.	Diseño de mezcla asfáltica .....	24
4.1	Diseño de mezclas asfálticas según el Método Marshall.....	24
4.2	Propiedades volumétricas .....	25
4.3	Estabilidad y flujo Marshall .....	29
4.4	Cálculos de la mezcla asfáltica .....	33
4.4.1	Dosificación de la mezcla del agregado .....	33
4.4.2	Determinación del porcentaje teórico de asfalto .....	35
4.4.3	Elaboración de briquetas.....	37
4.4.4	Cálculo de las propiedades volumétricas de las briquetas .....	39
CAPITULO 5	.....	40
5.	Análisis de resultados.....	40
5.1	Determinación del porcentaje óptimo de asfalto .....	40
5.2	Determinación de las propiedades de la mezcla asfáltica con el porcentaje óptimo de asfalto	41
CAPITULO 6	.....	44
6.	Conclusiones y recomendaciones .....	44
6.1	Conclusiones .....	44
6.2	Recomendaciones .....	46
Bibliografía	.....	47
Anexos	.....	49

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 2.1 Ubicación de la planta asfaltadora EPPMAPS.....	10
Ilustración 2.2 Recolección del material pétreo.....	10
Ilustración 2.3 Tabla de especificaciones del asfalto .....	11
Ilustración 3.1 Tabla especificaciones para la carga de máquina de Los Ángeles .....	17
Ilustración 3.2 Gradación de las muestras de ensayo .....	18
Ilustración 3.3 Viscosímetro.....	21
Ilustración 3.4 Picnómetro manual .....	22
Ilustración 3.5 Ensayo de Anillo y Bola.....	23
Ilustración 3.6 Ensayo de Ductilidad .....	23
Ilustración 4.1 Tabla 405.5.4 Especificaciones para una mezcla asfáltica .....	29
Ilustración 4.2 Factores de corrección de Estabilidad .....	31
Ilustración 4.3 Briquetas sumergidas para ensayo Marshall .....	32
Ilustración 4.4 Máquina Marshall .....	32
Ilustración 4.5 Briqueta fijada en máquina de ensayo .....	33
Ilustración 4.6 Tabla 405-5.1 Porcentajes de materia que pasa por la abertura de tamiz .....	34
Ilustración 4.7 Curva granulométrica de la mezcla propuesta .....	35
Ilustración 4.8 Elaboración de baches.....	38
Ilustración 4.9 Proceso de mezcla del material de las briquetas.....	38
Ilustración 4.10 Máquina compactadora Marshall .....	39
Ilustración 4.11 Briquetas compactadas para ensayo .....	39
Ilustración 5.1 Gráfica de Vv vs % de Asfalto .....	41
Ilustración 5.2 Gráfica de Gravedad específica Bulk vs % de Asfalto .....	42
Ilustración 5.3 Gráfica de Estabilidad vs % de Asfalto .....	42
Ilustración 5.4 Gráfica de Flujo vs % de Asfalto .....	43
Ilustración 5.5 Gráfica de VAM vs % de Asfalto .....	43
Ilustración 5.6 Gráfica de f/a vs % de Asfalto.....	44

## Índice de Tablas

Tabla 3.1 Tabla de resultados de Agregado Grueso 3/4 .....	19
Tabla 3.2 Tabla de resultados de Agregado Medio 3/8.....	19
Tabla 3.3 Tabla de resultados de Agregado Fino .....	20
Tabla 4.1 Porcentajes de dosificación del agregado para la mezcla asfáltica propuesta .....	34
Tabla 4.2 Cantidades por cada tamiz de la mezcla propuesta .....	35
Tabla 4.3 Cálculo del factor F.....	37
Tabla 4.4 Porcentaje teórico de asfalto .....	37
Tabla 4.5 Tabla de porcentaje de asfalto de cada briqueta .....	39
Tabla 4.6 Tabla de propiedades volumétricas por porcentaje de asfalto .....	40
Tabla 4.7 Tabla de Estabilidad y Flujo para cada porcentaje de asfalto .....	40
Tabla 5.1 Tabla de verificación de los resultados obtenido con las especificaciones del MOP .....	44

## Índice de ecuaciones

Ecuación 3.1 Gravedad específica Bulk .....	14
Ecuación 3.2 Gravedad específica saturada con superficie seca .....	14
Ecuación 3.3 Gravedad específica aparente .....	15
Ecuación 3.4 Porcentaje de absorción .....	15
Ecuación 3.5 Gravedad específica Bulk .....	15
Ecuación 3.6 Gravedad específica saturada con superficie seca .....	15
Ecuación 3.7 Gravedad específica aparente .....	16
Ecuación 3.8 Porcentaje de absorción .....	16
Ecuación 3.9 Equivalente de arena de agregado fino .....	17
Ecuación 3.10 Gravedad específica .....	20
Ecuación 4.1 Gravedad específica Bulk de la briqueta .....	25
Ecuación 4.2 Gravedad específica Bulk del agregado total .....	26
Ecuación 4.3 Gravedad específica aparente del agregado total .....	26
Ecuación 4.4 Gravedad específica máxima teórica .....	26
Ecuación 4.5 Gravedad específica máxima medida (Rice) .....	27
Ecuación 4.6 Gravedad específica efectiva del agregado .....	27
Ecuación 4.7 Asfalto absorbido .....	27
Ecuación 4.8 Asfalto efectivo de la mezcla .....	28
Ecuación 4.9 Relación Filler/Asfalto .....	28
Ecuación 4.10 Porcentaje de vacíos con aire .....	28
Ecuación 4.11 Porcentaje de volumen de agregado vs volumen total .....	28
Ecuación 4.12 Porcentaje de vacíos del agregado mineral .....	29
Ecuación 4.13 Formula maestra del Asphalt Institute .....	36

# CAPÍTULO 1

## 1. Introducción

### 1.1 Justificación

Al momento de construir una carretera con pavimento flexible, es importante contar con el correcto diseño de una mezcla asfáltica, la cual cumpla con las especificaciones establecidas en el MOP-001-F 2002, como lo es la estabilidad y el flujo, parámetros con los cuales podemos asegurar el comportamiento de la capa de rodadura de una vía, para así garantizar que esta capa se comporte de forma flexible y que a su vez no se presenten averías a lo largo de su vida útil, de modo que a su vez es importante contar con los correctos porcentajes de los materiales que conforman la mezcla asfáltica.

### 1.2 Planteamiento del problema

Este trabajo de integración curricular busca evaluar y verificar si los porcentajes tanto de los agregados como del asfalto utilizados por el EPMOP son los adecuados para poder producir una mezcla asfáltica que cumpla con los requerimientos de las propiedades volumétricas, estabilidad y flujo establecidos por el 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 poder evitar la aparición de diversos tipos de deterioros en las capas de rodadura en un pavimento flexible.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 *Objetivo General*

- Evaluar una mezcla asfáltica por el método Marshall con material de la mina Estrella Sangolquí y San Rafael Bella Vista Calderón con asfalto AC-20.

### **1.3.2      *Objetivos Específicos***

- Definir las propiedades mecánicas y físicas de los materiales que conforman 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 utilizando los porcentajes de diseño usados por el EPMMOP.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. Marco Teórico**

#### **2.1 Materiales pétreos**

##### **2.1.1      *Definición***

El material pétreo son los agregados que se utilizaran para la conformación de la mezcla asfáltica en caliente, los cuales se componen de partículas de piedra triturada o natural, arena y relleno mineral. Estos deben ser limpios, resistentes, duros y no deben tener ningún contenido orgánico en su composición ni contar con la presencia de partículas muy planas y alargadas (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002).

##### **2.1.2      *Propiedades y características***

Las propiedades y características del material pétreo deben ser determinadas mediante ensayos de laboratorio para poder determinar el porcentaje óptimo de asfalto en la mezcla asfáltica, de modo que estos agregados deben cumplir con las especificaciones establecidas en el MTOP-001F 2002 como:

- Granulometría

- Densidad relativa
- Resistencia a los sulfatos
- Equivalente de arena
- Porosidad
- Abrasión

### **2.1.3 Procedencia de los agregados**

Los agregados utilizados para la conformación de la mezcla asfáltica se clasifican en tres tipos de acuerdo con lo señalado en la (MTO, 2002) como:

- Agregado grueso: Todo material en el cual sus partículas son retenidas por el tamiz N°4 (4.75 mm).
- Agregado intermedio o arena: Todo material en el cual sus partículas pasan por el tamiz N°4 (4.75 mm) y son retenidas por el tamiz N°200 (0.075 mm).
- Polvo mineral o agregado fino: Todo material en el cual sus partículas pasan por el tamiz N°200 (0.075 mm).

Estos agregados fueron extraídos de las minas Estrella Sangolquí y San Rafael Bella Vista Calderón, que a su vez para este trabajo de integración curricular fueron transportados desde la planta pavimentadora de La Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMOP), que se ubica pasando el túnel de Guayasamín en Quito.

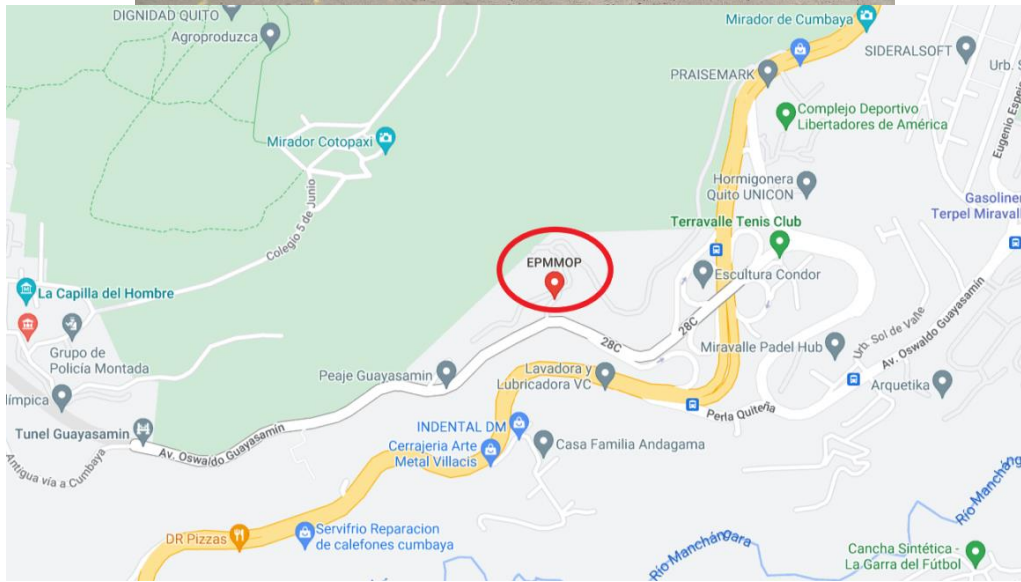


Ilustración 2.1 Ubicación de la planta asfaltadora EPPMAPS



Ilustración 2.2 Recolección del material pétreo

## 2.2 Cemento asfáltico

### 2.2.1 Definición

El cemento asfáltico es un material que proviene de los residuos del proceso de destilación del petróleo crudo, se caracteriza por ser un fluido negro, pegajoso y de viscosidad variable de acuerdo con la temperatura a la que se encuentre, el cual también sirve como ligante en las mezclas asfálticas (MTOF, 2002).

### 2.2.2 Propiedades y características

Las propiedades y características del cemento asfáltico deben ser determinadas mediante ensayos de laboratorios normados según las normas INEN o AASHTO y deben cumplir con lo indicado en la Tabla 810-2.2 del MTOF

ENSAYOS	60-70		85-100	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo
<b>Betún original</b>				
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
<b>Ensayos al residuo del TFOT:</b>				
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 especificaciones del asfalto

Fuente: (MTOF, 2002)

De modo que para su clasificación y determinación de sus propiedades físicas se deberán realizar los siguientes ensayos:

- Penetración
- Punto de ablandamiento
- Ductilidad
- Viscosidad

### **2.2.3 *Procedencia del cemento asfáltico***

El asfalto utilizado en el presente trabajo de integración curricular fue obtenido de la planta pavimentadora de La Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMOP), que se ubica pasando el túnel de Guayasamín en Quito, que según la clasificación de la norma INEN 2515 es un asfalto AC-20.

## **2.3 Mezclas asfálticas**

### **2.3.1 *Definición***

Las mezclas asfálticas son el resultado de la unión del material pétreo con el cemento asfáltico en caliente, en el cual sus propiedades físicas y su desempeño se encuentran ligados a las cantidades que se empleen de cada componente para la fabricación de este. Para realizar el diseño de las mezclas asfálticas existen varios métodos, en el presente trabajo de titulación se utilizará el método Marshall (Jácome & Paz, 2021).

## **CAPÍTULO 3**

### **3. Ensayo de los materiales**

#### **3.1 Ensayos del material pétreo**

Para la elaboración de una mezcla asfáltica debido a que existen varias composiciones granulométricas del material pétreo se deben determinar las características y propiedades mecánicas de los tres agregados (fino, medio y grueso).

El Asphalt Institute afirma que:

El agregado ideal tiene el tamaño de partículas y clasificación adecuados, es fuerte y resistente y consiste en partículas angulares, casi equidimensional (cúbicas) con porosidad moderadamente baja. La superficie del agregado es limpia, áspera e hidrofóbica, lo que significa que tiene afinidad por el asfalto en lugar del agua. (Asphalt Institute, 2007, p. 119)

Las mezclas asfálticas con contenidos de agregado pétreo de mayor tamaño cuentan con una mayor estabilidad. Para la determinación de las propiedades mecánicas de los materiales pétreos se realizaron los siguientes ensayos siguiendo las normas internacionales ASTM que son la base de las normas nacionales INEN (Menéndez, 2009).

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

Este ensayo consiste en la determinación de la distribución del tamaño de las partículas de los agregados fino, medio y grueso, mediante el análisis granulométrico por tamices. El análisis granulométrico por tamices se efectúa tomando una cantidad medida de agregado seco, haciéndolo pasar por una serie de tamices con aberturas variables ordenas de mayor a menor y con una bandeja al final. La serie de tamices utilizados es: (ASTM International, 2019)

Durante el proceso de tamizado se medirá la cantidad de material retenido en cada tamiz para determinar el porcentaje acumulado del agregado que pasa a través de cada tamiz (Das, 2012).

Este ensayo es fundamental para el diseño de una mezcla asfáltica, ya que de este dependerán las cantidades de agregado que se usarán para la elaboración de las briquetas.

### 3.1.2 *Gravedad específica y porcentaje de absorción*

Este ensayo consiste en la determinación de la densidad relativa conocida como gravedad específica y la absorción de los materiales pétreos.

La densidad relativa es un valor adimensional que resulta de la relación entre la masa del agregado y la masa de un volumen de agua igual al volumen de las partículas del agregado, también se puede expresar como la relación entre la densidad de las partículas del agregado y la densidad del agua, este valor se usa para calcular el volumen ocupado por el agregado en la mezcla asfáltica (ASTM International, 2015a).

El porcentaje de absorción es el cambio en la masa del agregado debido al agua absorbida en los poros de las partículas que lo conforman (ASTM International, 2015b).

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

Para el agregado grueso y medio la norma ASTM C127-15 propone las siguientes ecuaciones para el cálculo de las diferentes gravedades específicas y porcentaje de absorción:

- Ge: Gravedad específica Bulk

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

*Ecuación 3.1 Gravedad específica Bulk*

- Ges: Gravedad específica saturada con superficie seca

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

*Ecuación 3.2 Gravedad específica saturada con superficie seca*

- Gea: Gravedad específica aparente

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

*Ecuación 3.3 Gravedad específica aparente*

- % Ab: Porcentaje de absorción

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

*Ecuación 3.4 Porcentaje de absorción*

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).

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

Para el agregado fino en la norma ASTM C128-15 se presenta el procedimiento gravimétrico y volumétrico para la realización del presente ensayo, para este trabajo se utilizará el método gravimétrico, el cual se realiza mediante la utilización de un picnómetro (ASTM International, 2015b).

Las ecuaciones propuestas para el cálculo de las diferentes gravedades específicas y porcentaje de absorción son:

- Ge: Gravedad específica Bulk

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

*Ecuación 3.5 Gravedad específica Bulk*

- Ges: Gravedad específica saturada con superficie seca

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

*Ecuación 3.6 Gravedad específica saturada con superficie seca*

- Gea: Gravedad específica aparente

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

*Ecuación 3.7 Gravedad específica aparente*

- % Ab: Porcentaje de absorción

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

*Ecuación 3.8 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).

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

Este ensayo busca indicar las proporciones relativas de finos, polvo del tamaño de la arcilla o de plásticos presentes en el agregado fino, de modo que se podrá evaluar la limpieza del agregado fino por medio de un índice relativo a la proporción del material, para así determinar los cambios en la calidad del agregado durante su producción o colocación, considerando que un valor alto de equivalente de arena significa una buena calidad del material.

La ecuación propuesta para la determinación de este valor es:

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

Donde:

A= Lectura de arena (Sedimento).

B= Lectura de arcilla (Suspensión).

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

La tenacidad del agregado se mide de acuerdo con su capacidad de resistir el desgaste y degradación, este es un valor importante ya que estos se encuentran expuestos a aplastamientos adicionales y a desgastes abrasivos durante la fabricación, colocación y compactación de la mezcla asfáltica, por lo que estos deberán contar con cierto grado de dureza. Una resistencia relativamente alta al desgaste se debe a un porcentaje bajo de pérdida por abrasión, la cual es una característica importante en el diseño de una mezcla asfáltica de un pavimento flexible (Asphalt Institute, 2007).

Este ensayo es un indicador de la calidad del agregado ya que mide su degradación, la cual resulta de una combinación de acciones como la abrasión o desgaste, impacto y trituración en un tambor de acero giratorio el cual contiene cierto número de esferas de acero, el número de esferas depende de la clasificación de la muestra a ensayar, misma que se puede hacer mediante la siguiente tabla:

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 3.1 Tabla 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 3.2 Gradación de las muestras de ensayo

Fuente: (ASTM C131, 2014)

Para la realización de este ensayo el agregado se clasifico como tipo de gradación A, una vez seleccionado el número de esferas estás ruedan junto con la muestra dentro del tambor, simulando una acción abrasiva y trituradora ciclo tras ciclo, para que después de cierto número de revoluciones se retire el contenido del tambor la cual se tamizara para medir la degradación del agregado determinando un porcentaje de pérdida (ASTM International, 2014).

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

Este ensayo busca determinar la solidez y el desempeño del agregado cuando este es sometido a la acción de la intemperie.

Esto se hace sumergiendo repetitivamente en soluciones saturadas con sulfato de sodio o sulfatos de magnesio el agregado y secándolo al horno cíclicamente hasta deshidratar la sal precipitada en los poros del agregado (ASTM International, 2018).

### 3.1.6 Tabla de resultados

Agregado Grueso 3/4						
Norma	Parámetro	Valor	U	Límites		Cumple
				Mín.	Máx.	
ASTM C136	Granulometría	Ver anexos				SI
ASTM C127	Gravedad específica Bulk (Ge)	2.38	g/cm <sup>3</sup>	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica saturada con superficie seca (Ges)	2.41	g/cm <sup>3</sup>	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica aparente (Gea)	2.45	g/cm <sup>3</sup>	-	-	-
ASTM C127	Porcentaje de absorción (%Abs)	1.31	g/cm <sup>3</sup>	-	-	-
ASTM C131	Abrasión	28.28	%	-	40	SI
ASTM C88	Durabilidad a los sulfatos	1.67	%	-	18	SI

Tabla 3.1 Tabla de resultados de Agregado Grueso 3/4

Agregado Medio 3/8						
Norma	Parámetro	Valor	U	Límites		Cumple
				Mín.	Máx.	
ASTM C136	Granulometría	Ver anexos				SI
ASTM C127	Gravedad específica Bulk (Ge)	2.37	g/cm <sup>3</sup>	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica saturada con superficie seca (Ges)	2.41	g/cm <sup>3</sup>	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica aparente (Gea)	2.46	g/cm <sup>3</sup>	-	-	-
ASTM C127	Porcentaje de absorción (%Abs)	1.46	g/cm <sup>3</sup>	-	-	-
ASTM C88	Durabilidad a los sulfatos	3.23	%	-	18	SI

Tabla 3.2 Tabla de resultados de Agregado Medio 3/8

Agregado Fino						
Norma	Parámetro	Valor	U	Límites		Cumple
				Mín.	Máx.	
ASTM C136	Granulometría	Ver anexos				SI
ASTM C127	Gravedad específica Bulk (Ge)	2.19	g/cm <sup>3</sup>	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica saturada con superficie seca (Ges)	2.25	g/cm <sup>3</sup>	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica aparente (Gea)	2.34	g/cm <sup>3</sup>	-	-	-

ASTM C127	Porcentaje de absorción (%Abs)	2.88	g/cm3	-	-	-
ASTM C89	Equivalente de arena	58	%	50	-	SI
ASTM C88	Durabilidad a los sulfatos	3.34	%	-	18	SI

Tabla 3.3 Tabla de resultados de Agregado Fino

### 3.2 Ensayos del cemento asfáltico

Para el diseño de una mezcla asfáltica se deben considerar las principales propiedades o características del asfalto como la consistencia (viscosidad), pureza y seguridad.

Con el fin de determinar que el cemento asfáltico tenga las características deseadas y determinar sus propiedades, se desarrollaron ensayos normados los cuales están relacionados con las mismas. Para la determinación de las propiedades mecánicas del asfalto se realizaron los siguientes ensayos siguiendo las normas internacionales ASTM que son la base de las normas nacionales INEN.

#### 3.2.1 Gravedad específica (ASTM D70-17)

La gravedad específica es la relación entre el peso de una cantidad de asfalto al aire y un peso de igual volumen de agua a una misma temperatura que generalmente es de 25 °C (ASTM Institucional, 2018a).

Este ensayo se realizó mediante el método del picnómetro, el cual se usa para bitúmenes semisólidos y emulsiones. Este valor se utiliza para convertir volúmenes a unidades de masa y para corregir volúmenes y se determina con la siguiente ecuación:

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

Ecuación 3.10 Gravedad específica

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)*

Este ensayo busca determinar la viscosidad de asfaltos líquidos a 60 °C y de asfaltos sólidos a 135 °C en un rango de 6 a 100000 mm<sup>2</sup>/s, estos resultados se pueden utilizar para calcular la viscosidad cuando la densidad de la muestra a la temperatura de prueba se conoce o se puede determinar (ASTM Institucional, 2010).



Ilustración 3.3 Viscosímetro

### 3.2.3 *Penetración (ASTM D5/D5M-19a)*

Este ensayo determina la consistencia o dureza del asfalto sólido o semisólido. El proceso comienza con la fundición de la muestra de asfalto la cual debe enfriarse bajo condiciones controladas, de modo que la penetración se mide con un penetrómetro el cual lleva una aguja estándar en condiciones específicas, quedando expresada como la distancia que la aguja penetra a la muestra de asfalto en condiciones de peso, tiempo y temperatura conocidas las cuales son:

- Peso de la aguja y accesorios = 100 gramos
- Tiempo = 5 segundos
- Temperatura = 25°C

La medición de penetración queda dada como el promedio de mínimo tres lecturas seguidas con una diferencia en centésimas de centímetro (ASTM Institucional, 2018c).



*Ilustración 3.4 Picnómetro manual*

#### **3.2.4 Punto de ablandamiento (ASTM D36/D36M-14e1)**

Este ensayo determina el punto de reblandecimiento el cual es la temperatura a la que el cemento asfáltico utilizando el aparato de anillo permite el paso a una esfera de acero, todo esto sumergido en agua destilada dentro de un matraz de vidrio justo antes de que la esfera llegue a una pulgada de distancia con el suelo del matraz, en el cual la temperatura ira variando gradualmente (ASTM Institucional, 2018c).

El punto de reblandecimiento es útil ya que nos indica la tendencia del material asfáltico a fluir o a sufrir deformaciones inesperadas cuando se somete a elevadas temperaturas al momento del servicio.



*Ilustración 3.5 Ensayo de Anillo y Bola*

### **3.2.5 Ductilidad (ASTM D113-17)**

Este ensayo consiste en determinar la distancia a la que se elonga el cemento asfáltico hasta antes de romperse, esto se realiza mediante un ensayo de tracción a temperatura y a una velocidad específica de 25 °C y 5 cm/mm respectivamente, determinando la distancia en centímetros del momento en que se produce la rotura (ASTM Institucional, 2018b).



*Ilustración 3.6 Ensayo de Ductilidad*

### **3.2.6 Tabla de resultados**

La presente tabla muestra los resultados obtenidos durante la realización de los ensayos antes mencionados, de modo que esta queda como:

*Tabla 3.4 Tabla resultados de la muestra de Asfalto*

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

## CAPITULO 4

### 4. Diseño de mezcla asfáltica

#### 4.1 Diseño de mezclas asfálticas según el Método Marshall

El método Marshall para diseño de mezclas asfálticas fue formulado por el Ingeniero Bruce Marshall, este método se desarrolló para ser aplicado en mezclas asfálticas de grado denso y solamente se puede aplicar en mezclas asfálticas en caliente que se conformen por agregados con un tamaño máximo nominal de 1 pulgada (25 mm) o menos, principalmente este método es aplicado en los diseños de laboratorio y en los controles de calidad realizados en campo (Asphalt Institute, 2007).

Este método de diseño esta estandarizado por el ASTM, sus normas de referencia son:

- 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 o ASTM D 1559: Resistencia al Flujo Plástico de Mezclas Bituminosas Utilizando Aparatos Marshall.

En la aplicación, este método se lo realiza mediante el uso de briquetas de dimensiones estandarizadas, de 63.5 milímetros (2 ½ pulgadas) de altura y 102 milímetros (4 pulgadas) de diámetro, las cuales se preparan y ensayan según lo establecido en la norma ASTM D 1559 en la

cual se detallan los procesos de preparación, calentado, combinación, compactación y ensayo de las briquetas. Las briquetas se elaboran con una misma cantidad y variación de los distintos agregados, pero con diferentes porcentajes de asfalto. Los principales valores por determinar por medio de los resultados del ensayo Marshall son el peso específico total, la medición de la prueba de estabilidad y flujo, densidad y la relación de vacíos en las briquetas (Anguas et al., 2005).

#### **4.2 Propiedades volumétricas**

Debido a que las propiedades del rendimiento de una mezcla asfáltica no son medibles directamente, se ha determinado como un factor importante el contenido de vacíos para poder medir la calidad de una mezcla asfáltica, según el MS-22 del Asphalt Institute, las mezclas asfálticas con contenidos de vacíos entre 3 y 5 por ciento son recomendables, para determinar este porcentaje de vacíos se deben conocer las propiedades volumétricas de las 15 briquetas, lo cual se obtiene mediante la medición del diámetro, espesor, pesos en aire, en agua y saturado con superficie seca, estos valores se toman a modo de determinar la gravedad específicas de cada briketa mediante la aplicación de fórmulas o correlaciones utilizando los parámetros anteriormente mencionados (Asphalt Institute, 2001).

A continuación, se describirán las propiedades volumétricas que se deben determinar para encontrar los parámetros que nos ayudaran a definir el rendimiento de la mezcla asfáltica con su respectiva ecuación y significado de cada termino empleado en cada una de ellas:

- Gravedad específica Bulk de la briketa

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

*Ecuación 4.1 Gravedad específica Bulk de la briketa*

Wa = Peso seco en aire

Wss = Peso saturado con superficie seca

Ww = Peso sumergido en agua

- 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

- 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

- 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

- 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

- Gravedad específica efectiva del agregado

$$Gmt = \frac{100 - Pb}{\frac{100}{Gmm} - \frac{Pb}{Gasf}}$$

*Ecuación 4.6 Gravedad específica efectiva del agregado*

Pb = Porcentaje de asfalto en la mezcla

Gasf = Gravedad específica del asfalto

- Asfalto absorbido

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gse * Gsb} * Gasf$$

*Ecuación 4.7 Asfalto absorbido*

Gse = Gravedad específica efectiva del agregado

Gsb = Gravedad específica Bulk del agregado total

Gasf = Gravedad específica del asfalto

- Asfalto efectivo de la mezcla

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

*Ecuación 4.8 Asfalto efectivo de la mezcla*

Pb = Porcentaje de asfalto en la mezcla

Pba = Asfalto absorbido

Ps = Porcentaje de agregado en la mezcla

- Relación Filler/Asfalto

$$f/a = \frac{\% \text{pasa } \#200}{Pbe}$$

*Ecuación 4.9 Relación Filler/Asfalto*

Pbe = Porcentaje de asfalto efectivo

- 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

- 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

$G_{sb}$  = Gravedad específica Bulk del agregado total

- Porcentaje de vacíos del agregado mineral

$$V_{am} = 100 - V_{agre}$$

*Ecuación 4.12 Porcentaje de vacíos del agregado mineral*

$V_{agre}$  = Volumen de agregado vs volumen total

### 4.3 Estabilidad y flujo Marshall

La estabilidad y flujo son dos parámetros que se deben obtener para calificar la mezcla asfáltica una vez que hayamos terminado el proceso para la obtención de la gravedad específica de la misma, esta calificación se hace mediante el uso de la tabla 405.5.4 del MOP-001F-2002, la cual nos indica los valores máximos y mínimos que debe tener una mezcla asfáltica de acuerdo con el tipo de tráfico (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002).

**TABLA 405.5.4**

TIPO DE TRAFICO	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
	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 4.1 Tabla 405.5.4 Especificaciones para una mezcla asfáltica*

*Fuente: (MTO, 2002)*

El parámetro de estabilidad Marshall representa la carga en la cual la briqueta falla bajo la aplicación de una carga de deformación constante, lo que a su vez es la resistencia en libras (Lb) valor que debe ser corregido de acuerdo a un factor de correlación de la tabla 7.1 del MS-22 del Asphalt Institute ya que el alto de las briquetas difiere del valor estándar, el valor de estabilidad depende de la cantidad de asfalto y de la estructura de los agregados, valores altos de estabilidad son preferibles siempre y cuando se tenga en consideración la durabilidad del pavimento (Asphalt Institute, 2001).

Volume of Specimen, cm <sup>3</sup>	Approximate Thickness of Specimen		Correlation Ratio
	mm _____	in. _____	
200 to 213	25.4	1	5.56
214 to 225	27.0	1 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	5.00
226 to 237	28.6	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	4.55
238 to 250	30.2	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	4.17
251 to 264	31.8	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	3.85
265 to 276	33.3	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	3.57
277 to 289	34.9	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	3.33
290 to 301	36.5	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	3.03
302 to 316	38.1	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2.78
317 to 328	39.7	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	2.50
329 to 340	41.3	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	2.27
341 to 353	42.9	1 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	2.08
354 to 367	44.4	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	1.92
368 to 379	46.0	1 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	1.79
380 to 392	47.6	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1.67
393 to 405	49.2	1 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	1.56
406 to 420	50.8	2	1.47
421 to 431	52.4	2 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	1.39
432 to 443	54.0	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1.32
444 to 456	55.6	2 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	1.25
457 to 470	57.2	2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	1.19
471 to 482	58.7	2 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	1.14
483 to 495	60.3	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1.09
496 to 508	61.9	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1.04
509 to 522	63.5	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1.00
523 to 535	65.1	2 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	0.96
536 to 546	66.7	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	0.93
547 to 559	68.3	2 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	0.89
560 to 573	69.8	2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	0.86
574 to 585	71.4	2 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	0.83
586 to 598	73.0	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	0.81
599 to 610	74.6	2 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	0.78
611 to 625	76.2	3	0.76

NOTES:  
1. The measured stability of a specimen multiplied by the ratio for the thickness of the specimen equals the corrected stability for a 63.5-mm (2.5-in.) specimen.  
2. Volume-thickness relationship is based on a specimen diameter of 101.6 mm (4 in.).

TABLE 7.1 **Stability Correlation Ratios**

*Ilustración 4.2 Factores de corrección de Estabilidad*

*Fuente: (Asphalt Institute, 2001)*

El flujo Marshall representa la deformación vertical de la briqueta cuando esta llega al fallo y se mide en (1/100 pulgadas), las mezclas asfálticas con altos valores de flujo son muy plásticas y las que tienen bajos valores de flujo son frágiles (Asphalt Institute, 2001).

Para obtener los valores de estabilidad y flujo se deben ensayar las 15 probetas, para las cuales se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Determinación de la altura de cada briqueta.
2. Sumergir durante 30 a 40 minutos las briquetas a una temperatura de  $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .



*Ilustración 4.3 Briquetas sumergidas para ensayo Marshall*

3. Secar la briqueta a ensayar y colocar en el dispositivo de prueba de grabación automática con el medidor de fluencia y montar el cabezal de prueba.



*Ilustración 4.4 Máquina Marshall*

4. Una vez fijada la briqueta se procede a aplicar una carga de velocidad constante de deformación de 51 milímetros (2 pulgadas) por minuto hasta se produzca la falla, este punto representa la carga máxima, la cual se registra como el valor de estabilidad en libras (Lb).



*Ilustración 4.5 Briqueta fijada en máquina de ensayo*

5. Cuando la carga empieza a disminuir se toma la lectura de la deformación de la briqueta y se registra como el valor de flujo el cual esta expresado en 1/100 pulgadas.

#### **4.4 Cálculos de la mezcla asfáltica**

##### ***4.4.1 Dosificación de la mezcla del agregado***

En el presente trabajo de integración curricular se conformó la mezcla con 3 agregados pétreos como el grueso, medio y fino. Para definir las proporciones de cada agregado se realizó su caracterización, teniendo como ensayo más importante la granulometría de cada uno de estos, ya que con la aplicación de relaciones matemáticas y la tabla 4055.1 del MOP-001-F-2002 se

pueden determinar los porcentajes de cada tipo de agregado mineral que se utilizara en la mezcla asfalta para la elaboración de las 15 briquetas (Bermeo Dayana, 2021).

**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 4.6 Tabla 405-5.1 Porcentajes de materia que pasa por la abertura de tamiz*

*Fuente: (MTO, 2002)*

El porcentaje de cada agregado para la elaboración de las briquetas es aquel con el cual se logra obtener una curva granulométrica conjunta de los tres agregados dentro de la franja permisible establecida por el MOP-001-F-2002, de preferencia la curva granulométrica debe estar en el centro de dicha franja. De modo que cumpliendo con la MOP obtenemos los siguientes porcentajes de cada agregado:

% DE MEZCLA			Nombre
<b>A</b>	0.20	20	Agregado Grueso
<b>B</b>	0.30	30	Agregado Medio
<b>C</b>	0.50	50	Agregado Fino

*Tabla 4.1 Porcentajes de dosificación del agregado para la mezcla asfáltica propuesta*

Usando los porcentajes obtenidos anteriormente, las proporciones en gramos (gr) de los agregados de acuerdo con cada abertura de tamiz se registran en la siguiente tabla como Peso o Peso acumulado (P. acum.) de la siguiente forma:

DOSIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS											
Tamiz (#)	1	3.4	1.2	3.8	4	8	30	50	100	200	pas #200
Tz (mm)	25.4	19	12.5	9.5	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075	p 0,075
Material A	100.00	90.74	26.99	7.31	1.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Material B	100.00	100.00	93.18	58.17	6.75	4.52	1.75	0.00	0.00	0.00	
Material C	100.00	100.00	100.00	99.73	98.26	78.63	40.05	23.71	12.93	6.30	
<b>Mezcla</b>	<b>100.00</b>	<b>98.15</b>	<b>83.35</b>	<b>68.78</b>	<b>51.48</b>	<b>40.67</b>	<b>20.55</b>	<b>11.86</b>	<b>6.47</b>	<b>3.15</b>	
Ret.Ac.	0.00	1.85	16.65	31.22	48.52	59.33	79.45	88.15	93.54	96.85	3.15
Ret.Parc.	0.00	1.85	14.80	14.57	17.30	10.81	20.12	8.69	5.39	3.32	
Peso	0.00	20.37	162.76	160.31	190.29	118.89	221.33	95.64	59.29	36.47	34.65
P. acum.	0.00	20.37	183.13	343.44	533.73	652.62	873.95	969.60	1028.89	1065.35	1100.00
Espec. Mín.	100	90	---	56	35	23	---	5	---	2	
Espec. Máx.	100	100	---	80	65	49	---	19	---	8	

Tabla 4.2 Cantidades por cada tamiz de la mezcla propuesta

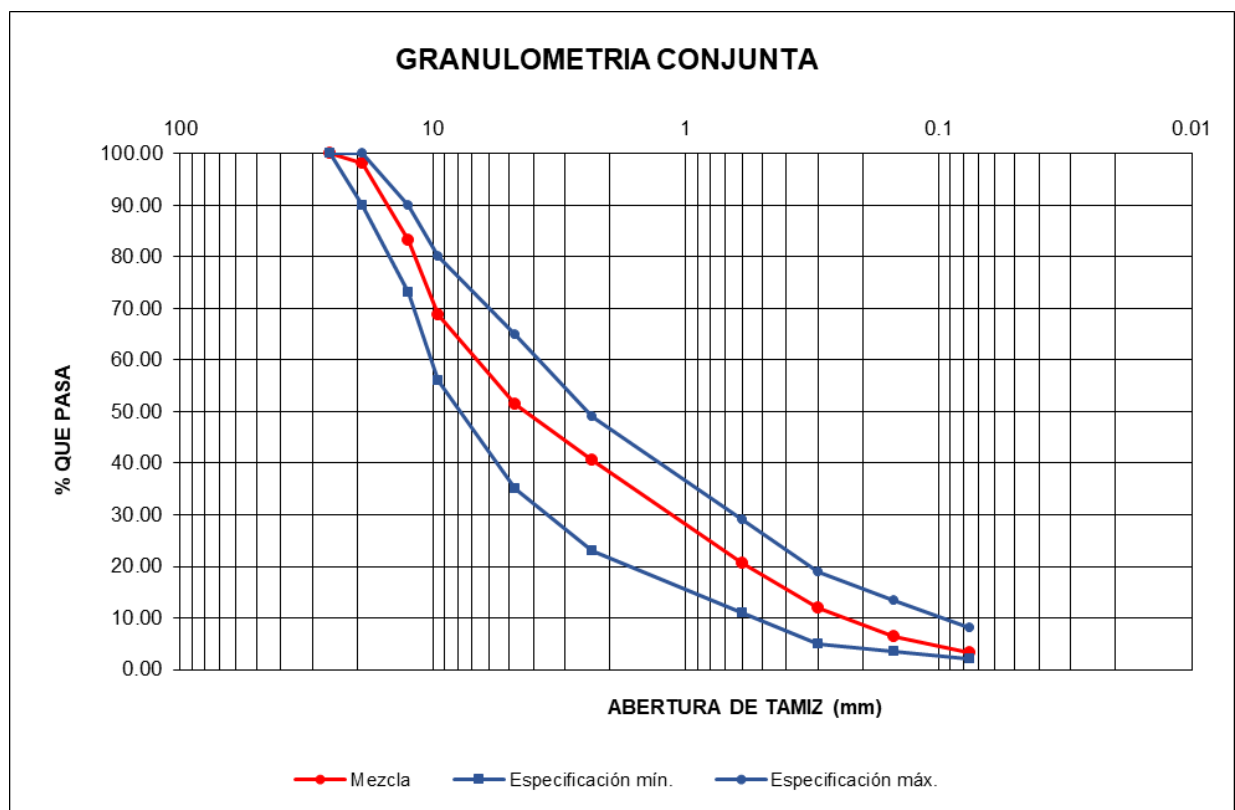


Ilustración 4.7 Curva granulométrica de la mezcla propuesta

#### 4.4.2 Determinación del porcentaje teórico de asfalto

Después de obtener la mezcla de los agregados debemos determinar un porcentaje de asfalto para la preparación de las briquetas con diferentes contenidos de asfalto para obtener

relaciones bien definidas. Una vez calculado el porcentaje teórico de asfalto se deben elaborar las briquetas con incrementos de 0.5% de contenido de asfalto, con un mínimo de dos contenidos de asfalto sobre el contenido teórico calculado y dos contenidos de asfalto por debajo del contenido teórico calculado. El contenido de asfalto teórico será determinado mediante el uso de la ecuación propuesta por el Asphalt Institute, ecuación conocida en el Ecuador por el MOP-001-F-2002 como “formula maestra de obra”.

La ecuación para determinar el porcentaje de asfalto teórico del Asphalt Institute se estima como el equivalente al porcentaje de agregado en la gradación final que pasa por el tamiz #200 (Asphalt Institute, 2001) y la ecuación es la siguiente:

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

*Ecuación 4.13 Formula maestra del Asphalt Institute*

P = contenido teórico de asfalto para la mezcla

a = Porcentaje de agregado retenido en el tamiz #8 (2.36 mm)

b = Porcentaje de agregado pasante del tamiz #8 (2.36 mm) y retenido en el tamiz #200 (0.075 mm)

c = Porcentaje de agregado que pasa por el tamiz #200 (0.075 mm)

k = se usa:

- 0.15 cuando pasa del 11 al 15 por ciento el tamiz #200 (0.075 mm)
- 0.18 cuando pasa del 6 al 10 por ciento el tamiz #200 (0.075 mm)
- 0.20 cuando pasa el 5 por ciento o menos el tamiz #200 (0.075 mm)

F = Depende de la absorción del agregado liviano o pesado puede ser de 0 a 2 por ciento

Parámetro F			
Nombre	% de Absorción	% de Mezcla	F
Agregado Grueso	1.312	20	0.262
Agregado Medio	1.458	30	0.437
Agregado Fino	2.881	50	1.440
F total o a usar			2

Tabla 4.3 Cálculo del factor F

Ecuación (%)	
a =	59.33
b =	37.52
k =	0.20
c =	3.15
F =	2.00
<b><math>P = 0.035a + 0.045b + kc + F</math></b>	
P =	6.39 %

Tabla 4.4 Porcentaje teórico de asfalto

#### 4.4.3 Elaboración de briquetas

Debido a que se deben elaborar briquetas con los 5 distintos porcentajes de asfalto y que por cada porcentaje de asfalto se deben realizar 3 briquetas, en total se deberá elaborar 15 baches para las briquetas y adicionalmente se harán 5 baches, cada uno con su porcentaje de asfalto diferente para realizar el ensayo del rice.

Los baches son el conjunto de los agregados pétreos utilizados para el diseño de la briqueta los cuales están dispuestos por las cantidades especificadas en la dosificación de acuerdo con cada tamaño de tamiz, para determinar las relaciones volumétricas y realizar el ensayo Marshall se elaboran 15 baches (3 con cada porcentaje de asfalto) de 1100 gramos y 5 baches (1 con cada porcentaje de asfalto) de 2200 gramos para realizar el ensayo rice y determinar sus valores.



*Ilustración 4.8 Elaboración de baches*

Además de realizar los baches se debe determinar la temperatura de mezcla y de compactación mediante la carta de viscosidad, en la cual se determinó que la mezcla se debe realizar dentro del rango de temperatura de 155 a 160 grados centígrados y a una temperatura de compactación de 140 a 145 grados centígrados

Con los baches, porcentaje de asfalto y temperatura de mezcla determinados se procede a realizar la mezcla del agregado de los baches con la cantidad de asfalto adecuada hasta que la mezcla sea homogénea revisando siempre estar dentro del rango de temperatura para este proceso, para después de esto, colocar la mezcla en los moldes de las briquetas homogeneizando el contenido dándole 15 golpes al contenido dentro del molde para luego proceder con la compactación, la cual se realiza dando 75 golpes en cada cara de la briqueta mediante el uso de la compactadora Marshall.



*Ilustración 4.9 Proceso de mezcla del material de las briquetas*



Ilustración 4.10 Máquina compactadora Marshall



Ilustración 4.11 Briquetas compactadas para ensayo

# Probeta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
% de Asfalto	5.5			6			6.5			7			7.5		

Tabla 4.5 Tabla de porcentaje de asfalto de cada briqueta

#### 4.4.4 Cálculo de las propiedades volumétricas de las briquetas

Una vez determinados los pesos de las probetas se procede a aplicar las ecuaciones del punto 4.2 para obtener las propiedades volumétricas de las briquetas, las cuales servirán para poder determinar el porcentaje óptimo de asfalto y las propiedades que tendría una mezcla asfáltica elaborada con este porcentaje óptimo de asfalto, esto se lograra por medio de la interpretación de graficas que tendrán como relación las propiedades volumétricas de las briquetas con sus respectivos porcentajes de asfalto utilizados en su elaboración.

PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS CON CADA PORCENTAJE DE ASFALTO											
Asfalto %	Gb g/cm <sup>3</sup>	Gsb g/cm <sup>3</sup>	Gmt g/cm <sup>3</sup>	Gmm g/cm <sup>3</sup>	Gse g/cm <sup>3</sup>	Pba	Pbe	f/a	Vv %	Vagr %	VAM %
5.5	2.17	2.28	2.13	2.396	2.60	0.40	5.12	0.68	9.33	90.09	9.91
6.0	2.19	2.28	2.12	2.365	2.59	1.00	5.06	0.69	7.54	90.17	9.83
6.5	2.21	2.28	2.11	2.354	2.59	2.16	4.48	0.78	6.31	90.49	9.51
7.0	2.22	2.28	2.09	2.334	2.59	2.93	4.28	0.82	4.79	90.67	9.33
7.5	2.23	2.28	2.08	2.308	2.58	4.00	3.80	0.92	3.43	90.46	9.54

Tabla 4.6 Tabla de propiedades volumétricas por porcentaje de asfalto

Propiedades continuación		
Asfalto %	Estabilidad lb	Flujo pulg/100
5.5	3296.00	11.60
6.0	3299.20	10.67
6.5	3340.80	12.23
7.0	3960.00	12.68
7.5	3688.00	12.67

Tabla 4.7 Tabla de Estabilidad y Flujo para cada porcentaje de asfalto

## CAPITULO 5

### 5. Análisis de resultados

#### 5.1 Determinación del porcentaje óptimo de asfalto

Una vez realizado el ensayo Marshall y con los datos de este ensayo la determinación de las propiedades volumétricas de las briquetas para cada porcentaje de asfalto se procede a tabular los resultados, presentarlos en tablas y en graficarlos para así tener una mejor interpretación de los resultados, de modo que se determinara el porcentaje óptimo de asfalto en la mezcla asfáltica.

Para determinar el porcentaje óptimo de asfalto se realizara una gráfica en la cual el eje de las abscisas serán los porcentajes de asfalto teóricos utilizados en la elaboración de las briquetas y en el eje de las ordenadas el porcentaje de vacíos con aire (Vv), grafica en la cual siguiendo el criterio del Asphalt Institute para la determinación de este porcentaje óptimo,

trazaremos una línea recta correspondiente al 4% de  $V_v$  que intercepte con la curva de la gráfica para así leer en el eje de las abscisas el porcentaje óptimo de asfalto el cual dio como resultado 7.25%

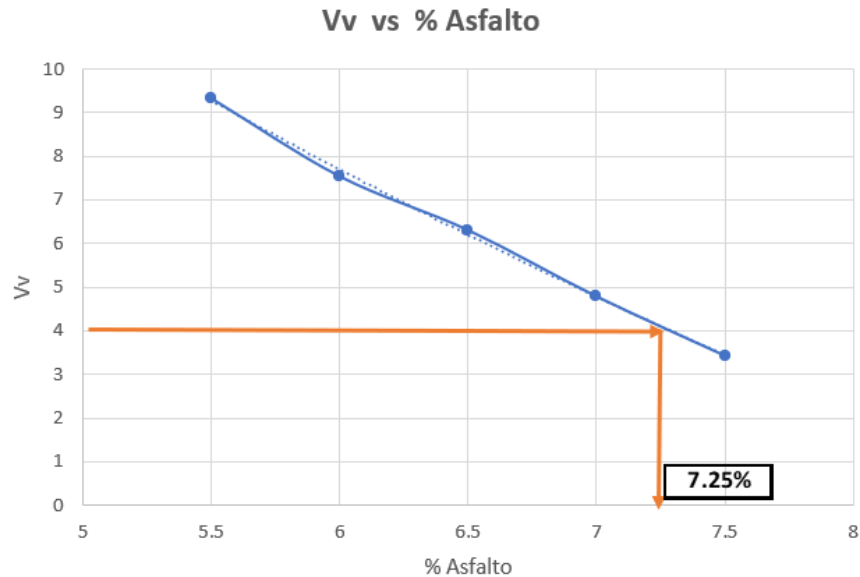
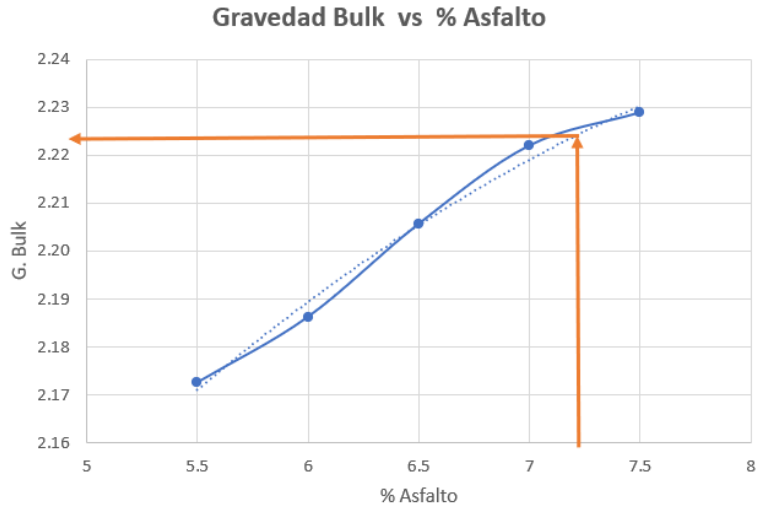


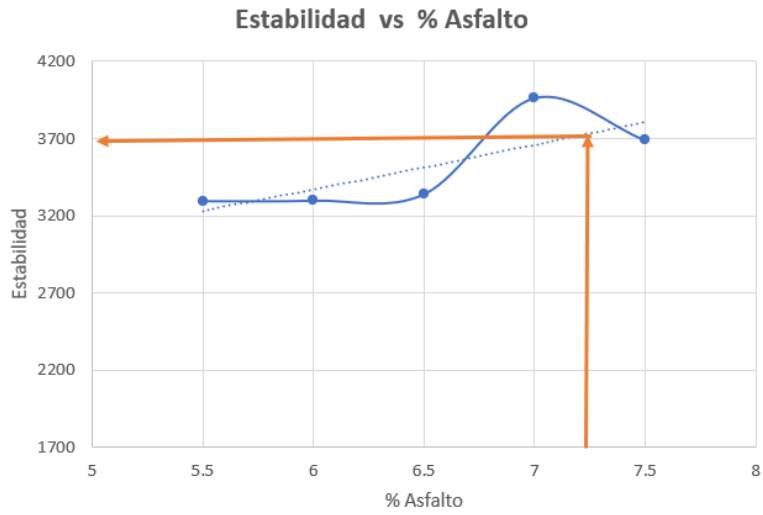
Ilustración 5.1 Gráfica de  $V_v$  vs % de Asfalto

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

Una vez determinado el porcentaje óptimo de asfalto se deben determinar las propiedades de una mezcla asfáltica con el uso de este porcentaje, para lo cual se realizan las siguientes gráficas las cuales tendrán en el eje de las abscisas el porcentaje de asfalto y en el eje de las ordenadas la gravedad específica Bulk, estabilidad, flujo, VAM y relación f/a. Para determinar estas propiedades se debe trazar una línea recta con el porcentaje óptimo de asfalto hasta la intersección con la gráfica y leer el valor de la ordenada que se proyecte.

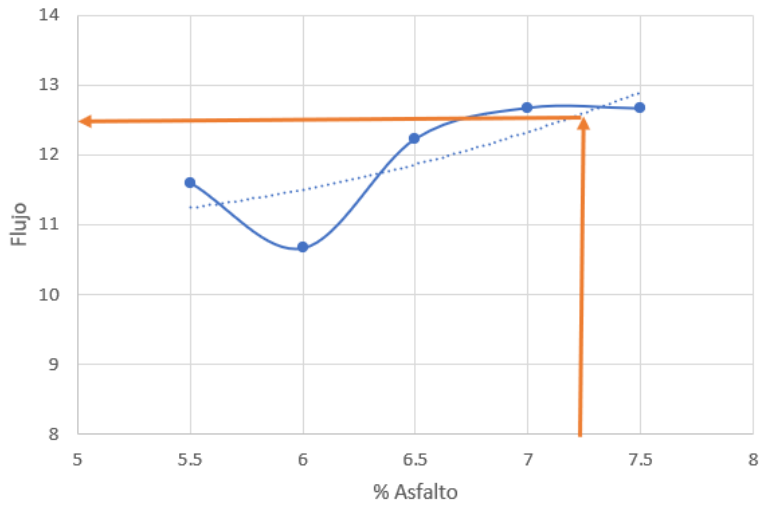


*Ilustración 5.2 Gráfica de Gravedad específica Bulk vs % de Asfalto*



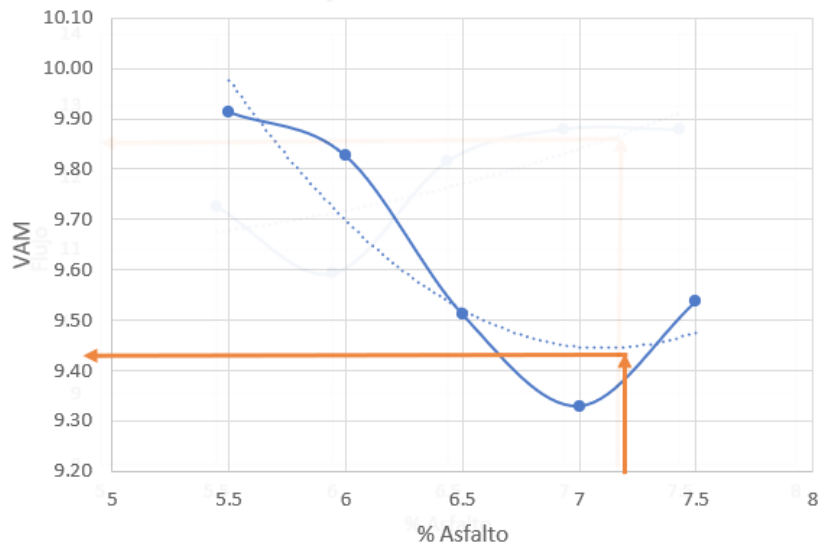
*Ilustración 5.3 Gráfica de Estabilidad vs % de Asfalto*

**Flujo vs % Asfalto**

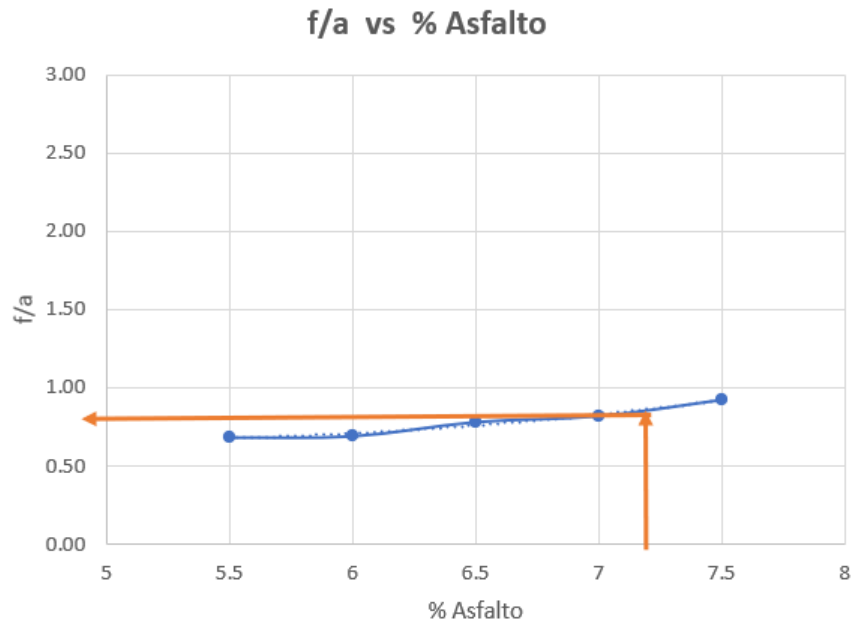


*Ilustración 5.4 Gráfica de Flujo vs % de Asfalto*

**VAM vs % Asfalto**



*Ilustración 5.5 Gráfica de VAM vs % de Asfalto*



*Ilustración 5.6 Gráfica de f/a vs % de Asfalto*

En la siguiente tabla se presentan los valores tabulados obtenidos en las gráficas del punto anterior, las cuales serán comparadas con las especificaciones del MOP-001F-2002 dadas para un tipo de tráfico muy pesado.

Propiedad con 7.25% de asfalto	Unidad	Especificación MOP			Verificación
		Tráfico Muy Pesado			
		Valor	MIN.	MÁX.	Cumple
G. E. Bulk	gr/cm3	2.224	-	-	SI
Estabilidad	Lb	3710	2200	-	SI
Flujo	pulg/100	12.5	8	14	SI
VAM	-	9.42	13	-	NO
f/a	-	0.85	0.8	1.2	SI

*Tabla 5.1 Tabla de verificación de los resultados obtenido con las especificaciones del MOP*

## CAPITULO 6

### 6. Conclusiones y recomendaciones

#### 6.1 Conclusiones

- Podemos ver que al determinar las propiedades mecánicas del material pétreo y al compararlas con las especificaciones determinadas en el MOP-001F-2002, estos

agregados cumplen con todas las especificaciones, de modo que el material de la mina Estrella de Sangolquí y San Rafael Bella Vista Calderón son aptas para la elaboración de mezclas asfálticas.

- De igual manera con el asfalto, el cual, al momento de determinar sus propiedades mecánicas y compararlas con las especificaciones del MOP-001F-2002 se comprueba que el asfalto con el que trabaja la planta del EPMMOP es un asfalto AC-20 y por lo tanto si nos sirve como ligante en la conformación de la mezcla asfáltica.
- Tras la dosificación del agregado, una vez graficados los límites máximos y mínimos y la granulometría conjunta de los agregados, se comprueba que utilizando los porcentajes concedidos por EPMMOP para cada agregado, la curva granulométrica conjunta queda en el centro de la franja limite, lo que indica que el diseño de la mezcla asfáltica si se puede efectuar usando las cantidades concedidas por el EPMMOP de 20% de agregado grueso, 30 % de agregado medio y 50% de agregado fino.
- Con el cálculo del porcentaje teórico de asfalto llegamos a definir los otros cuatro porcentajes con los que se deben realizar y ensayar las briquetas, lo cual nos indica a primera instancia que el porcentaje concedido por el EPMMOP es certero ya que este valor de 6.8% queda dentro del rango de 5.5 - 7.5%.
- Como demuestra el presente trabajo de integración curricular, el porcentaje óptimo de asfalto determinado con el criterio del Asphalt Institute en las gráficas de las propiedades volumétricas vs el % de asfalto, difiere del valor concedido por el EPMMOP por un 0.45% más de asfalto.
- Una vez comparadas las propiedades de la mezcla asfáltica realizada con el porcentaje de asfalto óptimo calculado en el presente trabajo de integración curricular, con las

especificaciones del EPMOP para un tipo de tráfico muy pesado, verificamos que la mezcla asfáltica cumple con la estabilidad, flujo y relación filler/betún (f/a) pero no con el porcentaje de vacíos de los agregados (VAM).

- Con todas las comparaciones realizadas anteriormente y definidas en el presente trabajo de integración curricular, podemos afirmar que las cantidades de mezcla de agregados de 20% de agregado grueso, 30 % de agregado medio, 50% de agregado fino y 6,8% de asfalto no cumple las especificaciones de la norma MOP-001F-2002, por lo que la mezcla utilizada por el EPMOP con los agregados y asfalto del mes de agosto (fecha en la que se extrajeron los materiales para el ensayo) es ineficiente.

## **6.2 Recomendaciones**

- Una vez determinado el porcentaje teórico de asfalto y determinar los cinco porcentajes para la elaboración de las briquetas, es recomendable solamente elaborar dos briquetas por cada porcentaje, una para realizar el ensayo Marshall y la otra para el ensayo Rise, de modo que analizando los resultados obtenidos con este nuevo número de briquetas podemos comprobar si la elección de los porcentajes es la correcta o no, sin necesidad de realizar briquetas de más, para después de esto determinar los nuevos porcentajes de ensayo más cercanos al óptimo.
- Debido al incumplimiento de la mezcla debido a la dosificación de los agregados con respecto al porcentaje de vacíos de los agregados (VAM), yo recomiendo el empleo de una mezcla asfáltica la cual de más valor al agregado grueso, ya que las proporciones de este factor van de la mano con el VAM por lo que en un próximo trabajo de integración curricular se podría utilizar una dosificación de 25% de agregado grueso, 25 % de

agregado medio y 50% de agregado fino, ensayar y comparar nuevamente las propiedades obtenidas con esta mezcla con las especificaciones del MOP-001F-2002.

- A pesar de que se comprobó el incumplimiento de esta mezcla asfáltica ante las especificaciones del MOP-001F-2002 se recomienda realizar nuevamente la caracterización del agregado en caso de existir diferencias en sus propiedades mecánicas debidas a la mala selección de los bancos de extracción.
- Se recomienda que durante la mezcla y compactación del asfalto con el agregado para la elaboración de las briquetas se tenga un mayor control con respecto de la temperatura, ya que este factor a pesar de parecer insignificante tiene una afectación directa en los parámetros de estabilidad y flujo.

### **Bibliografía**

Anguas, P. G., Delgado, H., Carlos, A., & Sandoval, D. S. (2005). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS MARSHALL Y SUPERPAVE PARA COMPACTACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS*.

Asphalt Institute. (2001). *Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica 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 (7th ed.)*. <https://my.asphaltinstitute.org/Shop/Product-Details?productid=9E5A6840-361B-E811-80F2-000D3A011CEC>

ASTM Institucional. (2010). *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Asphalts (Bitumens)*.

ASTM Institucional. (2018a). *Standard Test Method for Density of Semi-Solid Bituminous Materials (Pycnometer Method)*.

ASTM Institucional. (2018b). *Standard Test Method for Ductility of Asphalt Materials*.

ASTM Institucional. (2018c). *Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus)*.

ASTM International. (2014). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. <https://doi.org/10.1520/C0131>

ASTM International. (2015a). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. <https://doi.org/10.1520/C0127-15>

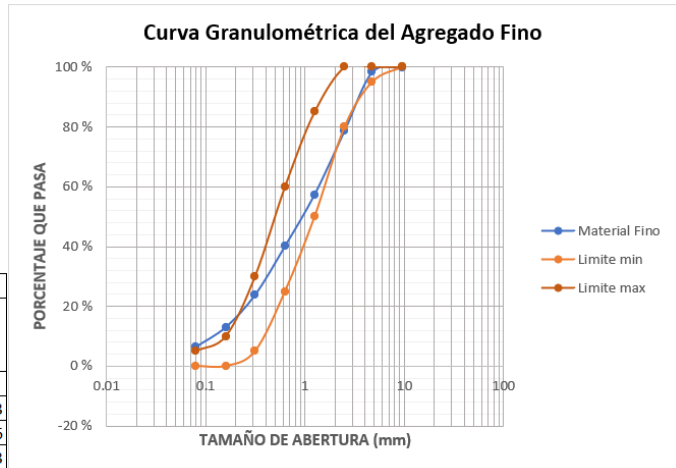
- ASTM International. (2015b). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. <https://doi.org/10.1520/C0128-15>
- ASTM International. (2018). *Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate*. [https://doi.org/10.1520/C0088\\_C0088M-18](https://doi.org/10.1520/C0088_C0088M-18)
- ASTM International. (2019). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. [https://doi.org/10.1520/C0136\\_C0136M-19](https://doi.org/10.1520/C0136_C0136M-19)
- Bermeo Dayana. (2021). *Diseño de mezcla asfáltica en caliente modificada mediante la adición de cal hidratada por vía seca*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/23823/1/UCE-FING-BERMEO%20DAYANA.pdf>
- Das, B. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* (7th ed.). <http://latinoamerica.cengage.com>
- Jácome, K., & Paz, C. (2021). *COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS UTILIZANDO RESIDUOS DE ACERO CON AGREGADOS DE LA MINA DE PIFO*. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/19254>
- Menéndez, J. (2009). *Ingeniería de Pavimentos, Materiales, Diseño y Conservación*.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION 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](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf)

## Anexos

### Anexo 1: Curva Granulométrica del agregado fino

No. Tamiz #	Tamiz mm	Límites según ASTM C33	
		Min	Max
3/8	9.52	100	100
4	4.75	95	100
8	2.5	80	100
16	1.25	50	85
30	0.63	25	60
50	0.315	5	30
100	0.16	0	10
200	0.08	0	5

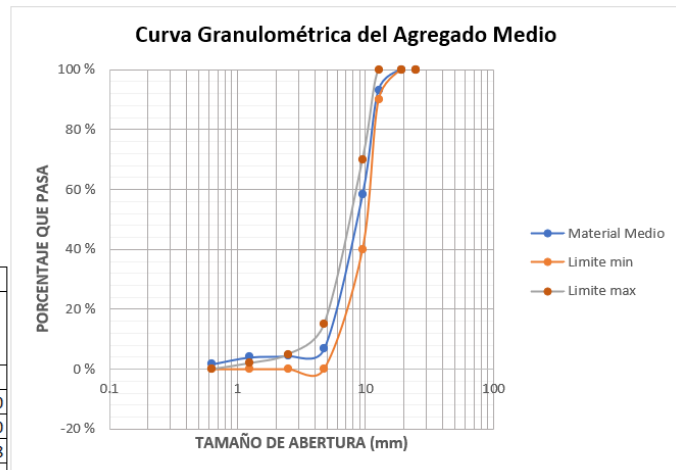
FINO					
No. Tamiz	Tamiz	Masa Retenida	Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido Acumulado	% Pasa
#	mm	gr	%	%	%
3/8	9.52	4	0.27	0.27	99.73
4	4.75	22	1.47	1.74	98.26
8	2.5	293	19.62	21.37	78.63
16	1.25	318	21.30	42.67	57.33
30	0.63	258	17.28	59.95	40.05
50	0.315	244	16.34	76.29	23.71
100	0.16	161	10.78	87.07	12.93
200	0.08	99	6.63	93.70	6.30
fuentes		94	6.30	100	0.00
Suma		1493			



### Anexo 2: Curva Granulométrica del agregado medio

No. Tamiz #	Tamiz mm	Límites según ASTM C33	
		Min	Max
1	25	100	100
3/4	19.10	100	100
1/2	12.7	90	100
3/8	9.52	40	70
4	4.75	0	15
8	2.5	0	5
16	1.25	0	2
30	0.63	0	0

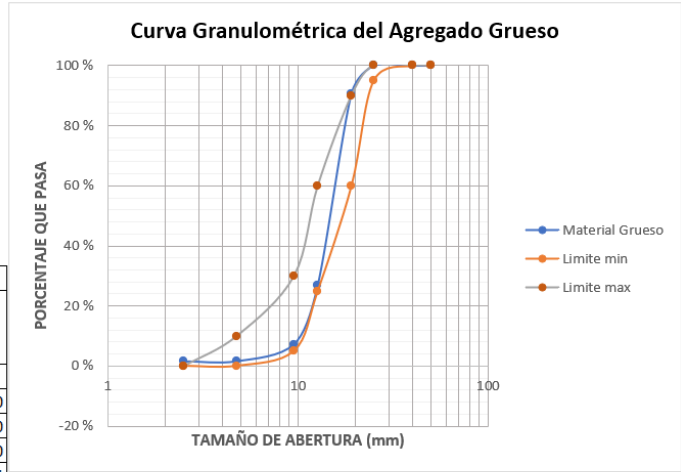
MEDIO					
No. Tamiz	Tamiz	Masa Retenida	Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido Acumulado	% Pasa
#	mm	gr	%	%	%
1	25	0	0.00	0.00	100.00
3/4	19.10	0	0.00	0.00	100.00
1/2	12.7	335	6.82	6.82	93.18
3/8	9.52	1721	35.02	41.83	58.17
4	4.75	2527	51.41	93.25	6.75
8	2.5	110	2.24	95.48	4.52
16	1.25	22	0.45	95.93	4.07
30	0.63	114	2.32	98.25	1.75
fuentes		86	1.75	100	0.00
Suma		4915			



### Anexo 3: Curva Granulométrica del agregado grueso

No. Tamiz	Tamiz	Límites según ASTM C33	
#	mm	Min	Max
2	50	100	100
1 1/2	40	100	100
1	25	95	100
3/4	19.10	60	90
1/2	12.70	25	60
3/8	9.52	5	30
4	4.75	0	10
8	2.50	0	0

GRUESO					
No. Tamiz	Tamiz	Masa Retenida	Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido Acumulado	% Pasa
#	mm	gr	%	%	%
2	50	0	0.00	0.00	100.00
1 1/2	40	0	0.00	0.00	100.00
1	25	0	0.00	0.00	100.00
3/4	19.10	816	9.26	9.26	90.74
1/2	12.70	5616	63.75	73.01	26.99
3/8	9.52	1734	19.68	92.69	7.31
4	4.75	501	5.69	98.38	1.62
8	2.50	0	0.00	98.38	1.62
fuate		143	1.62	100	0.00
Suma		8810			



### Anexo 4: Datos del ensayo de Penetración del Asfalto

ÁREA DE PAVIMENTOS  
HOJA DE CAMPO  
PENETRACIÓN DE MATERIALES BITUMINOSOS

NORMA DE REFERENCIA: ASTM D5/D5M - 13

FECHA DE ENSAYO: 02/08/2022

RECEPCIÓN N°

5480  
4195

MUESTRA:

Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	
Temperatura de ensayo (°C)	25,0
Carga (g)	100,01
Tiempo de carga (s)	5

Valores de penetración en la muestra:

Punto	1	2	3	Promedio
Penetración (0,1 mm)	80	80	80	80

Especificación del producto:

NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grado AC-20	mínimo	60
--	--------	----

OBSERVACIONES:

---

\_\_\_\_\_  
Responsable de ensayos

Anexo 5: Datos del ensayo de Ductilidad del Asfalto



LMC-MPT-5.4-AP-2-R1

ÁREA DE PAVIMENTOS  
ENSAYO DE DUCTILIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS

ORDEN DE TRABAJO N°

5480/4195

FECHA DE ENSAYO:

02

08

2022

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

TEMPERATURA DE ENSAYO (°C):

ADITIVO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA :

NÚMERO DE RÉPLICAS:

DISTANCIA DE ROTURA (cm):

D1

100

D2

100

D3

100

ENSAYO NORMAL:

SI



NO

SI



NO

SI



NO

OBSERVACIONES:

---

---

---

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD:

\_\_\_\_\_  
ENSAYO

\_\_\_\_\_  
INFORME

Anexo 6: Datos del ensayo de Gravedad específica método del picnómetro del Asfalto

ÁREA DE PAVIMENTOS  
HOJA DE CAMPO

DENSIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS SEMISÓLIDOS (MÉTODO DEL PICNÓMETRO)

RECEPCIÓN N° 5480/4145

FECHA DE ENSAYO: 02/08/2022

HOJA: \_\_\_\_\_

NORMA DE REFERENCIA: ASTM D70

Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	
Temperatura de ensayo	

Serie del picnómetro ( N° )	46
Masa del picnómetro + tapon secos ( A )	37.130
Masa del picnómetro + tapon +agua destilada ( B )	62.393
Masa del picnómetro + tapon +asfalto ( C )	54.646
Masa del picnómetro +tapon + asfalto+agua destilada ( D )	62.555

Resultados:

Gravedad especifica (a la milésima) $(C-A) / ((B-A) - (D-C))$ ( E )	1.009
Densidad del agua a la temperatura de ensayo (kg/m <sup>3</sup> ) ( F )	997.0
Densidad de la muestra (kg/m <sup>3</sup> ) ( E * F )	1005.97

Información de la muestra:

Norma de muestreo	
Fecha de muestreo	
Origen del producto	
Lugar de muestreo	
Identificación del camión	

Nota: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Laboratorista

Anexo 7: Datos del ensayo de Punto de Ablandamiento del Asfalto

ÁREA DE PAVIMENTOS  
HOJA DE CAMPO

PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE BITUMEN (APARATO DE ANILLO Y BOLA)

NORMA DE REFERENCIA: ASTM D36/D36M

FECHA DE ENSAYO: 02/08/2022

Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	A
Líquido usado en el baño	agua

Registros de la muestra:

	Anillo 1	Anillo 2	Promedio
Punto de ablandamiento, °C	46	42	44

OBSERVACIONES:

--

Anexo 8: Datos del ensayo de Viscosidad del Asfalto

VISCOSIDAD A VARIAS TEMPERATURAS												
ORDEN:	<u>5480/4195</u>											
HOJA:	_____											
FECHA:	<u>04/08/2022</u>											
MUESTRA	1	2	3	4	5	6						
TEMPERATURA:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center; padding: 5px;">135</td> <td style="width: 15%; text-align: center; padding: 5px;">170</td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> </tr> </table>						135	170				
135	170											
VISCOSIDAD:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center; padding: 5px;">369.00</td> <td style="width: 15%; text-align: center; padding: 5px;">85.00</td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> </tr> </table>						369.00	85.00				
369.00	85.00											
VELOCIDAD:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center; padding: 5px;">100.00</td> <td style="width: 15%; text-align: center; padding: 5px;">100.00</td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> </tr> </table>						100.00	100.00				
100.00	100.00											
% PAR:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center; padding: 5px;">73.8</td> <td style="width: 15%; text-align: center; padding: 5px;">17.0</td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> </tr> </table>						73.8	17.0				
73.8	17.0											

Anexo 9: Tabla de cálculo de las propiedades volumétricas de las briquetas para cada porcentaje de asfalto

ENSAYO MARSH										
Mezcla	Asfalto	Peso			Gb	Gsb	Gmt	Gmm	Gse	Pba
#	%	Seco	Agua	S.S.S.	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	
1	5.5	1151.28	627.56	1155.64	2.180					
2		1152.99	624.46	1155.42	2.172					
3		1150.58	622.03	1153.18	2.166					
<b>Promedio</b>					2.173	2.28	2.13	2.40	2.60	0.40
4	6.0	1158.77	630.42	1162.36	2.178					
5		1157.61	632.50	1160.95	2.191					
6		1148.14	627.57	1151.87	2.190					
<b>Promedio</b>					2.186	2.28	2.12	2.36	2.59	1.00
7	6.5	1163.92	638.75	1166.61	2.205					
8		1162.33	639.07	1165.25	2.209					
9		1163.53	639.08	1167.25	2.203					
<b>Promedio</b>					2.206	2.28	2.11	2.35	2.59	2.16
10	7.0	1168.87	641.96	1169.37	2.216					
11		1168.72	642.97	1169.99	2.218					
12		1170.89	647.10	1171.67	2.232					
<b>Promedio</b>					2.222	2.28	2.09	2.33	2.59	2.93
13	7.5	1175.65	650.57	1175.95	2.238					
14		1173.53	649.22	1174.16	2.236					
15		1170.41	641.84	1170.63	2.213					
<b>Promedio</b>					2.229	2.28	2.08	2.31	2.58	4.00

**IALL**

Pbe	f/a	Volumen			Vol. Briq.	Factor Correc.	Estabilidad (lb)		Flujo 0.01"
		Vv	Vagr	VAM			Medida	Correg.	
		9.02	90.40	9.60	528.1	0.96	3650	3504.00	11.3
		9.38	90.04	9.96	531.0	0.96	3200	3072.00	10.5
		9.60	89.82	10.18	531.2	0.96	3450	3312.00	13
5.12	0.68	9.33	90.09	9.91				3296.00	11.60
		7.87	89.85	10.15	531.9	0.96	3200	3072.00	11
		7.36	90.35	9.65	528.5	0.96	3560	3417.60	11.5
		7.39	90.32	9.68	524.3	0.96	3550	3408.00	9.5
5.06	0.69	7.54	90.17	9.83				3299.20	10.67
		6.33	90.46	9.54	527.9	0.96	3540	3398.40	11.9
		6.16	90.63	9.37	526.2	0.96	3520	3379.20	11.8
		6.42	90.38	9.62	528.2	0.96	3380	3244.80	13
4.48	0.78	6.31	90.49	9.51				3340.80	12.23
		5.03	90.44	9.56	527.4	0.96	3770	3619.20	11.4
		4.97	90.49	9.51	527.0	0.96	4350	4176.00	13.35
		4.35	91.08	8.92	524.6	0.96	3900	3744.00	12
4.28	0.82	4.79	90.67	9.33				3960.00	12.68
		3.04	90.82	9.18	525.4	0.96	3680	3532.80	12
		3.14	90.73	9.27	524.9	0.96	3845	3691.20	12.5
		4.10	89.83	10.17	528.8	0.96	4000	3840.00	13.5
3.80	0.92	3.43	90.46	9.54				3688.00	12.67