



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

“EVALUACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL CON
MATERIAL DE LA MINA ESPERANZA UBICADA EN PINTAG Y DE LA MINA REVTON
UBICADA EN PINANTURA CON ASFALTO AC-20”

Autor:

ÁVILA ALBUJA MAURO ADRIÁN

Directora:

ING. VERÓNICA ARELLANO

QUITO, JUNIO DE 2023

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a mis padres Juan Carlos y Fernanda por su esfuerzo, sacrificio, dedicación, paciencia y sabiduría durante toda mi vida estudiantil la cual hoy está dando frutos.

Además, quiero dedicarlo también a María José Masaquiza quien es y será mi gran amor y por ser mi lugar seguro siempre que me sentía mal.

A mi familia, mi tíos y abuelos quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional y han estado orgullosos de mí en cada logro que he obtenido, pero en especial, esto va por ti amado padre Juan Carlos, porque tú, desde que comencé este camino, estuviste orgulloso y confiaste en que tu hijo llegaría a ser un gran ingeniero,

y a mi amada madre Fernanda que a pesar de todo nunca me dejó solo siempre estuviste pendiente y preocupada por mí y esperaste con ansias este momento. Y sé que lo vas a festejar mucho al igual que yo, solo me queda decir

¡Gracias Totales!

Mauro Adrián

Agradecimiento

Mi agradecimiento especial a mis padres por ser mi ejemplo a seguir, por enseñarme que todo se consigue con esfuerzo, todo esto se los debo a ustedes nunca podre agradecerles todo lo que hicieron por mí, por ser mis guías y por todos los consejos para no rendirme cuando ya no podía más, siempre les estaré agradecido.

A mis Abuelitos Fernando y Esperanza quienes me brindaron su apoyo incondicional, por ser uno de mis pilares para seguir adelante en este sueño y cada día que no podía más brindarme un aliento y así poder seguir adelante en mi camino a cumplir mi sueño, gracias por su formación y su amor.

A mis amigos tanto de la universidad como fuera de ella, quienes demostraron su amistad verdadera y estuvieron conmigo en las buenas y en las malas, siempre apoyándome cuando más los necesite especialmente a Víctor, Anita y Nicolás personas que me ayudaron en toda mi vida universitaria y fueron y serán mis amigos y hermanos, además quiero agradecer infinitamente a la ingeniera Karina Jácome, quien desde que me conoció me extendió su ayuda, y forjo una amistad hermosa, sin ella nada de esto sería posible, muchas gracias Kari querida.

A los ingenieros Gonzalo Yáñez, Wilson Cando y a la ingeniera Verónica Arellano quienes fueron mis guías para que este trabajo llegue a su final, además quiero agradecer al ingeniero Adrián Morales quien en todos estos años me ayudo en todo lo que pudo, y mas que un profesional es y será un gran amigo.

Mauro Adrián

Índice

CAPÍTULO 1	8
1. Introducción	8
1.1 Justificación	8
1.2 Planteamiento del problema	8
1.3 Objetivos	8
1.3.1 Objetivo General	8
1.3.2 Objetivos Específicos	8
CAPÍTULO 2	9
2. Marco Teórico	9
2.1 Materiales pétreos	9
2.1.1 Definición	10
2.1.2 Propiedades y características	10
2.1.3 Procedencia de los agregados	10
2.2 Cemento asfáltico	10
2.2.1 Definición	10
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	13
3.1.2	Gravedad específica y porcentaje de absorción	13
3.1.3	Equivalente de arena del agregado fino	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	18
3.1.6	Tabla de resultados	18
3.2	Ensayos del cemento asfáltico	20
3.2.1	Gravedad específica	20
3.2.2	Viscosidad cinemática	21
3.2.3	Penetración	21
3.2.4	Punto de ablandamiento	22
3.2.5	Ductilidad	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 mina REVTON	10
Ilustración 2.2 Ubicación mina ESPERANZA	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.....	14
Ecuación 3.4 Porcentaje de absorción.....	14
Ecuación 3.5 Gravedad específica Bulk	15
Ecuación 3.6 Gravedad específica saturada con superficie seca	15
Ecuación 3.7 Gravedad específica aparente.....	15
Ecuación 3.8 Porcentaje de absorción.....	16
Ecuación 3.9 Equivalente de arena de agregado fino	16
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

CAPÍTULO I

1. Introducción

1.1. Justificación

Al construir una carretera con una superficie flexible, es importante tener la composición correcta de la mezcla asfáltica mineral que cumpla con los requisitos del MOP-001-F 2002, como estabilidad y fluidez dinámica, es decir, parámetros que nos permitan garantizar el comportamiento de la capa de rodadura de una vía, para garantizar que la capa trabaje de manera flexible y, por lo tanto, no ocurran problemas durante todo el período de operación, por eso, por eso es importante tener la proporción correcta de materiales para hacer la mezcla asfáltica y de tal manera se utilizara los materiales de la mina Esperanza y Revton.

1.2. Planteamiento del problema

Este trabajo de integración curricular se enfoca en evaluar y verificar que los porcentajes de los agregados y del asfalto utilizados por los contratistas en nuestro entorno sean lo suficientemente 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. En este sentido, se investigará la calidad de los agregados pétreos de las minas Esperanza y Revton.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- ❖ Evaluar una mezcla asfáltica por el método Marshall con material de la mina Esperanza ubicada en Pintag y de la mina Revton ubicada en Pinantura, con asfalto AC-20.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ❖ Realizar un resumen de los aspectos teóricos sobre materiales pétreos, cemento asfáltico y mezclas asfálticas.
- ❖ Definir las propiedades mecánicas y físicas de los materiales de las minas Esperanza y Revton, y del cemento asfáltico.
- ❖ Diseñar la mezcla asfáltica con el Método Marshall.
- ❖ Presentar y analizar los resultados relacionados con el diseño de la mezcla asfáltica.

CAPÍTULO II

2. Marco Teórico

2.1 Materiales pétreos

2.1.1 Definición

El material pétreo se puede definir como el material que se usara para la conformación de la mezcla asfáltica en caliente, los cuales se estructuran de partículas de roca triturada o sin ser tratada, arena y relleno mineral. Dichos materiales deben estar limpios, duros y ser resistentes además no se permite que en su composición tenga algún material de contenido orgánico, además no puede tener la presencia de partículas de formas muy alargadas o muy planas.

2.1.2 Propiedades y características

Para la determinación de las propiedades y de las características de los materiales pétreos se deben realizar ciertos ensayos de laboratorio, así se podrá determinar el porcentaje correcto de asfalto en la mezcla asfáltica, de esta manera los agregados deberán cumplir las especificaciones que son establecidas por el MTOP-001F 2002 las cuales son:

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

2.1.3 Procedencia de los agregados

De acuerdo al MTOP,2002 los agregados utilizados para la confirmación de una mezcla asfáltica se clasifican en tres tipos los cuales son:

- ❖ 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).

Los agregados para el presente trabajo de integración curricular fueron extraídos de las minas Esperanza en Pintag y Revton en Pinantura, además fueron transportados de manera personal desde el origen del mismo.



Ilustración 2.1 Ubicación de la mina Revton.



Ilustración 2.2 Ubicación de la mina Esperanza.

2.2 Cemento asfáltico

2.2.1 Definición

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

2.2.2 Propiedades y características

Mediante ensayos de laboratorio se determinará las propiedades y características del cemento asfáltico, dichos ensayos están normados según la INEN o AASHTO y se debe cumplir con lo indicado en la tabla 810-2.2 del MTOP.

ENSAYOS	60-70		85-100	
Betún original	mínimo	máximo	mínimo	máximo
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 especificaciones del asfalto

Fuente: (MTOP, 2002)

Para su clasificación y determinación se deberá realizar los siguientes ensayos:

- ❖ Penetración
- ❖ Punto de ablandamiento
- ❖ Ductilidad

❖ Viscosidad

2.2.3 Procedencia del cemento asfáltico

En el presente trabajo de integración se utilizó un asfalto que fue obtenido de la planta pavimentadora “EPMOP” Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas, la cual se ubica en la salida del túnel Guayasamin en el sector de Quito, y según la norma INEN 2515 se lo clasifica como un asfalto AC-20.

2.3 Mezclas asfálticas

2.3.1 Definición

Una mezcla asfáltica es el resultado de la combinación de material pétreo con cemento asfáltico en caliente, las propiedades físicas y su desempeño se encuentran ligadas a las cantidades que se usaran de cada componente, para la fabricación del mismo, para elaborar el diseño de dicha mezcla asfáltica existen varios métodos, en el presente trabajo de titulación se usara el método más conocido, el cual es el método Marshall.

CAPÍTULO III

3. Ensayo de los materiales

3.1 Ensayos del material pétreo

Para la preparación de una mezcla asfáltica se debe tomar en cuenta que existen varias composiciones en el aspecto granulométrico del material pétreo, por lo cual se debe primeramente determinar las propiedades y características de los tres agregados, los cuales son (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)

Para la determinación de las propiedades mecánicas de los materiales pétreos se realizaron los siguientes ensayos, los cuales cumplen con las normas internacionales ASTM la cual es la base de las normas nacionales.

3.1.1 Análisis granulométrico (ASTM C136/C136M-19)

El presente 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 distintos tamices, este se efectúa tomando una cantidad de agregado seco, haciéndolo pasar por una variedad de tamices con aberturas variables ordenadas de mayor a menor y al final se coloca una bandeja.

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).

Además, se puede decir que este ensayo es fundamental para el diseño de una mezcla asfáltica, ya que de esto dependerá las cantidades de agregados que se usaran para la realización 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.

Se puede definir como densidad relativa la relación entre la masa del agregado y la masa de un volumen de agua igual al volumen de las partículas del agregado.

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, 2015).

3.1.2.1 Agregado grueso (ASTM C127-15)

La norma ASTM C127-15, para el agregado grueso y medio propone las siguientes ecuaciones que se indicaran a continuación, para el cálculo de 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

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

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, 2015).

Las ecuaciones que se propusieron 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

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

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

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

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 los agregados finos, polvo del tamaño de 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.

La ecuación propuesta para la determinación de este valor es:

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

Ecuación 3.9 Equivalente de arena de agregado fino

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

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 con este ensayo se mide la 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 tabla que se muestra a continuación:

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 lo clasifico como un tipo A, una vez seleccionado el número de esferas estas ruedan junto con la muestra dentro del tambor, simulando una acción abrasiva y triturada 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 perdida (ASTM International, 2014).

3.1.5 Durabilidad del agregado grueso a la acción de los sulfatos

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.	Máy.	
ASTM C136	Granulometría	Ver anexos				SI
ASTM C127	Gravedad específica Bulk (Ge)	2.35	g/cm ³	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica saturada con superficie seca (Ges)	2.38	g/cm ³	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica aparente (Gea)	2.42	g/cm ³	-	-	-
ASTM C127	Porcentaje de absorción (%Abs)	1.29	g/cm ³	-	-	-
ASTM C131	Abrasión	28.25	%	-	40	SI
ASTM C88	Durabilidad a los sulfatos	1.65	%	-	18	SI

Tabla 3.1 Tabla de resultados de Agregado Grueso 3/4

Agregado Medio 3/8						
Norma	Parámetro	Valor	U	Límites		Cumple
				Mín.	Máy.	
ASTM C136	Granulometría	Ver anexos				SI
ASTM C127	Gravedad específica Bulk (Ge)	2.34	g/cm ³	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica saturada con superficie seca (Ges)	2.38	g/cm ³	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica aparente (Gea)	2.43	g/cm ³	-	-	-
ASTM C127	Porcentaje de absorción (%Abs)	1.44	g/cm ³	-	-	-
ASTM C88	Durabilidad a los sulfatos	3.20	%	-	18	SI

Tabla 3.2 Tabla de resultados de Agregado Medio 3/8

Norma	Parámetro	Valor	U	Límites		Cumple
				Mín.	Máx.	
ASTM C136	Granulometría	Ver anexos				SI
ASTM C127	Gravedad específica Bulk (Ge)	2.18	g/cm ³	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica saturada con superficie seca (Ges)	2.24	g/cm ³	-	-	-
ASTM C127	Gravedad específica aparente (Gea)	2.32	g/cm ³	-	-	-
ASTM C127	Porcentaje de absorción (%Abs)	2.85	g/cm ³	-	-	-
ASTM C89	Equivalente de arena	56	%	50	-	SI
ASTM C88	Durabilidad a los sulfatos	3.32	%	-	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

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, 2018).

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:

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

Ecuación 3.10 Gravedad específica

Donde:

A= Masa del picnómetro y tapón seco.

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.

Este ensayo busca determinar la viscosidad de asfaltos líquidos a 60 °C y de asfaltos solidos a 135 °C en un rango de 6 a 100000 mm²/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

En este ensayo se determinará la consistencia o dureza del asfalto sólido o semisólido, el proceso comienza con la función 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 las cuales son:

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

Para el resultado final de la penetración se debe tener en cuenta el promedio de mínimo tres lecturas seguidas con una diferencia en centésimas de centímetro (ASTM Institucional, 2018).



Ilustración 3.4 Picnómetro manual

3.2.4 Punto de ablandamiento.

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 muy útil ya que nos indica la tendencia del material asfaltico 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

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

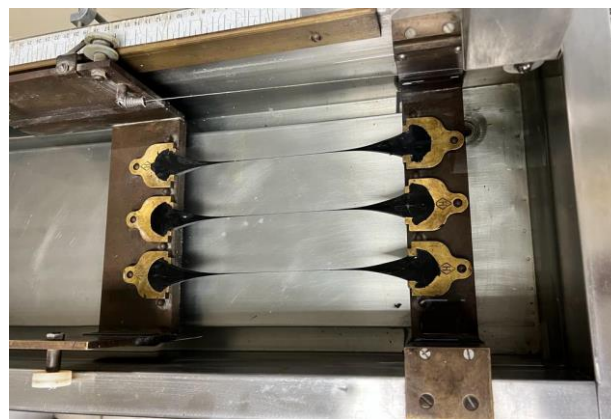


Ilustración 3.6 Ensayo de Ductilidad

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 de resultados Asfalto AC-20			
Ensayo	Valor	Unidades	Min
Gravedad Específica	1	-	-
Viscosidad Cinemática	369	Pa.s	300
Penetración	74,66	dmm	60
Punto de Ablandamiento	50,25	°C	-
Ductilidad	91	cm	50

Tabla 3.4 Tabla resultados de la muestra de Asfalto

CAPITULO IV

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 las gravedades específicas de cada briqueta mediante la aplicación de fórmulas 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 término empleado en cada una de ellas:

- Gravedad específica Bulk de la briqueta

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

Ecuación 4.1 Gravedad específica Bulk de la briqueta

Wa= Peso seco en aire.

Wss= Peso saturado con superficie seca.

Ww= Peso sumergido con 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= Porcentaje de la mezcla.

G1. n= Gravedad específica Bulk de cada material.

- Gravedad específica aparente del agregado total.

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

Ecuación 4.3 Gravedad específica aparente del agregado total

P1. n= Porcentaje de la mezcla.

g1. n= Gravedad específica aparente de cada material.

- Gravedad específica máxima teórica

$$G_{mt} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{sb}} + \frac{P_b}{G_{asf}}}$$

Ecuación 4.4 Gravedad específica máxima teórica

P_s = Porcentaje de agregado en la mezcla.

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

P_b = Porcentaje de asfalto en la mezcla.

G_{asf} = Gravedad específica del asfalto.

- Gravedad específica máxima medida (Rice)

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

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

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

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 agregados 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 agregados en la mezcla

Gb= Gravedad Bulk de la briqueta

Gsb= Gravedad específica Bulk del agregado total.

- Porcentaje de vacíos del agregado mineral

$$Vam = 100 - Vagre$$

Ecuación 4.12 Porcentaje de vacíos del agregado mineral

Vagre= Volumen de agregados vs volumen total.

4.3 Estabilidad y flujo Marshall

La estabilidad y flujo son dos de los principales parámetros que se deben tener en cuenta al momento de realizar el ensayo Marshall y para la calificación de la mezcla asfáltica, una vez que se haya terminado el proceso de la obtención de la gravedad específica, dicha calificación se hace mediante el uso de una tabla, la cual es la 405.5.4 del MOP-001F

2002, la cual nos indica los valores máximos y los valores mínimos que debe tener la 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	
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 4.1 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, 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 la 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 ³	Approximate Thickness of Specimen		Correlation Ratio
	mm _____	in. _____	
200 to 213	25.4	1	5.56
214 to 225	27.0	1 ¹ / ₁₆	5.00
226 to 237	28.6	1 ¹ / ₈	4.55
238 to 250	30.2	1 ¹ / ₈	4.17
251 to 264	31.8	1 ¹ / ₄	3.85
265 to 276	33.3	1 ¹ / ₈	3.57
277 to 289	34.9	1 ¹ / ₈	3.33
290 to 301	36.5	1 ¹ / ₈	3.03
302 to 316	38.1	1 ¹ / ₂	2.78
317 to 328	39.7	1 ¹ / ₈	2.50
329 to 340	41.3	1 ¹ / ₈	2.27
341 to 353	42.9	1 ¹ / ₁₆	2.08
354 to 367	44.4	1 ³ / ₄	1.92
368 to 379	46.0	1 ¹ / ₁₆	1.79
380 to 392	47.6	1 ¹ / ₈	1.67
393 to 405	49.2	1 ¹ / ₁₆	1.56
406 to 420	50.8	2	1.47
421 to 431	52.4	2 ¹ / ₁₆	1.39
432 to 443	54.0	2 ¹ / ₈	1.32
444 to 456	55.6	2 ¹ / ₁₆	1.25
457 to 470	57.2	2 ¹ / ₄	1.19
471 to 482	58.7	2 ¹ / ₁₆	1.14
483 to 495	60.3	2 ¹ / ₈	1.09
496 to 508	61.9	2 ¹ / ₈	1.04
509 to 522	63.5	2 ¹ / ₂	1.00
523 to 535	65.1	2 ¹ / ₁₆	0.96
536 to 546	66.7	2 ¹ / ₈	0.93
547 to 559	68.3	2 ¹ / ₁₆	0.89
560 to 573	69.8	2 ³ / ₄	0.86
574 to 585	71.4	2 ¹ / ₁₆	0.83
586 to 598	73.0	2 ¹ / ₈	0.81
599 to 610	74.6	2 ¹ / ₁₆	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 plg), 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 15 probetas, para lo cual se debe seguir un riguroso procedimiento el cual es:

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 la aplicación de una carga de velocidad constante de deformación de 51 milímetros (2 plg) por minuto hasta que se

produzca la falla, este punto representa la carga máxima, la cual se registra como el valor de estabilidad en libras.



Ilustración 4.5 Briqueta fijada en máquina de ensayo

5. Cuando la carga empieza a disminuirse se toma la lectura de la deformación de la briqueta y se registra como el valor de flujo el cual esta expresado en 1/1000 plg.

4.4 Cálculos de la mezcla asfáltica

4.4.1 Dosificación de la mezcla del agregado

La mezcla en el presente trabajo de integración curricular se conformó por 3 agregados pétreos los cuales son grueso, medio y fino. Para definir las proporciones que se usaran de cada uno se realizó su caracterización, teniendo en cuenta el ensayo de granulometría el cual es el más importante, ya que con la aplicación de relaciones matemáticas y la tabla 4055.1 del MOP-001-F-2002 se puede determinar los porcentajes de cada tipo de agregado mineral que se utilizara en la mezcla asfáltica para la elaboración de las 15 briquetas para el 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 4.6 Tabla 405-5.1 Porcentajes de materia que pasa por la abertura de tamiz

Fuente: (MTOF, 2002)

Para la elaboración de cada briqueta el porcentaje optimo 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 este modo una vez que se cumpla lo que dice la norma MOP obtenemos los siguientes porcentajes de cada agregado:

% DE MEZCLA			Nombre
A	0.20	20	Agregado Grueso
B	0.30	30	Agregado Medio
C	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											
Numero de Tamiz	1	3.4	1.2	3.8	4	8	30	50	100	200	Pasante Tamiz #200
Aertura de Tamiz	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	88,74	28	7,33	1,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Material B	100,00	100,00	92,1	54,16	7,5	5,2	1,45	0,00	0,00	0,00	
Material C	100,00	100,00	100,00	99,54	98,16	78,46	38,054	22,7	13	6,5	
Mezcla	100,00	96,25	82,2	66,7	50,68	41,83	19,75	11,98	6,52	3,25	
Ret.Ac.	0,00	1,78	16,75	30,58	46,52	58,33	78,2	87,15	93,64	97	2,85
Ret.Parc.	0,00	1,78	14,6	14,27	16,2	10,21	19,82	9,2	5,45	3,45	
Peso	0,00	20,45	163,8	159,42	189,26	119,1	221,4	95,67	59,8	36,58	34,7
P. acum.	0,00	20,45	184,12	342,22	532,85	652,84	873,96	969,8	1028,95	1065,44	1100
Espec. Mín.	100	90	---	55	34	24	---	5	---	2	
Espec. Máx.	100	100	---	80	66	50	---	20	---	8	

Tabla 4.2 Cantidades por cada tamiz de la mezcla propuesta

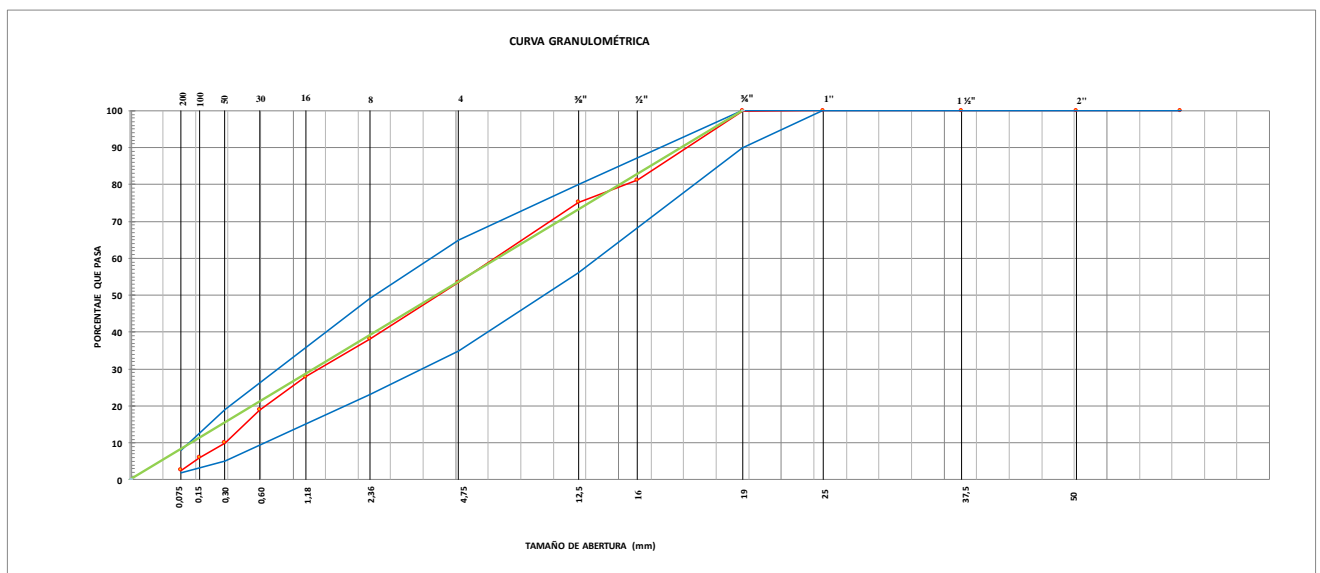


Ilustración 4.7 Curva granulométrica de la mezcla propuesta.

4.4.2 Determinación del porcentaje teórico de asfalto

Una vez obtenida la mezcla de los agregados vamos a determinar el porcentaje de asfalto óptimo para la elaboración de las briquetas con los diferentes contenidos de asfalto para obtener las relaciones bien definidas.

Una vez que se calcula el porcentaje teórico del asfalto se procede a la elaboración de las briquetas con un incremento de 0.5% de contenido asfáltico, con un mínimo de dos contenidos de asfalto sobre el contenido teórico calculado y dos contenidos del asfalto por debajo del contenido teórico que se calculó.

El contenido de asfalto teórico se va a determinar mediante el uso de la ecuación que se propuso por el Asphalt Institute, esta ecuación se la conoce en el Ecuador por el MOP-001-F-2002 y se la define como “Formula maestro de obra”.

La ecuación que se usa para determinar el porcentaje de asfalto teórico del Asphalt Institute se estima como el equivalente al porcentaje del 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	1,3	20	0,3
Agregado Medio	1,5	30	0,4
Agregado Fino	2,9	50	1,30
		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 =	2,37
P = 0.035a+0.045b+kc+F	
P =	6.76 %

Tabla 4.4 Porcentaje teórico de asfalto

4.4.3 Elaboración de briquetas

Por el motivo que se van a elaborar briquetas con los distintos porcentajes de asfalto y que por cada porcentaje de asfalto se deben realizar 3 briquetas, en total se deben elaborar 15 baches para las briquetas y como adicional se harán 5 baches, cada uno con sus porcentajes de asfalto diferente para realizar el ensayo rice.

Los baches se los define como el conjunto de los agregados pétreos utilizados para el diseño de la briqueta, los cuales ya se especificaron en las cantidades necesarias para la dosificación de acuerdo con cada uno de los tamices, para determinar las relaciones volumétricas y realizar el ensayo Marshall se elaborarán 15 baches, 3 por cada porcentaje de asfalto, de 1100 gramos y 5 baches, 1 con cada porcentaje de asfalto, de 2200 gramos para hacer el ensayo rice y así poder determinar sus valores.



Ilustración 4.8 Elaboración de baches

Además de realizar los baches se deberá determinar la temperatura de la mezcla y de la compactación mediante la carta de viscosidad, en la cual se determina 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 más menos 5 grados centígrados.

Una vez determinado el 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 se encuentre de manera homogénea, siempre se debe revisar que este dentro de los rangos de la temperatura para realizar este proceso, después de colocar la mezcla en los moldes de las briquetas homogeneizando el contenido dándole 15 golpes al contenido dentro del molde para luego realizar 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 Máquina compactadora Marshall

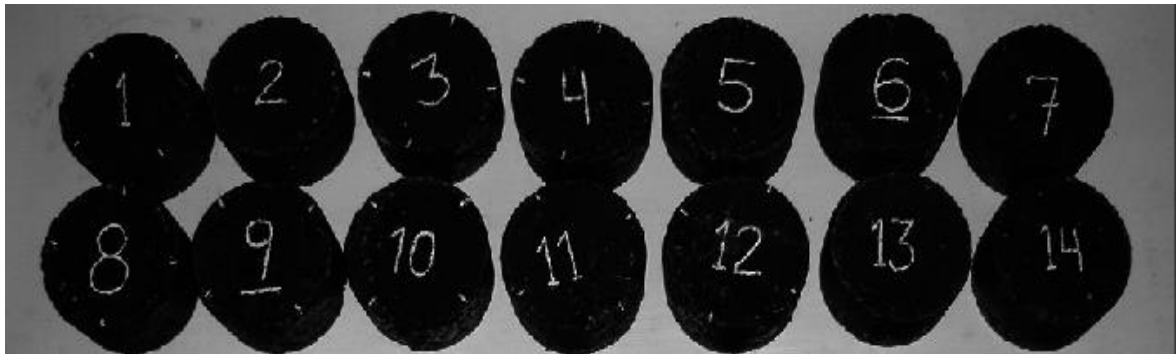


Ilustración 4.10 Briquetas compactadas para ensayo

# 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

Después de determinar los pesos de las probetas se va a aplicar las ecuaciones del punto 4.2 para así poder obtener las propiedades volumétricas de las briquetas, las cuales nos servirán para poder determinar el porcentaje óptimo de asfalto y además las propiedades que tendrían una mezcla asfáltica elaborada con este porcentaje óptimo de asfalto, esto se conseguirá por medio de la interpretación de graficas que tendrán como relación de las propiedades volumétricas de las briquetas con los respectivos porcentajes de asfalto utilizados en su elaboración.

PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS CON CADA PORCENTAJE DE ASFALTO											
Asfalto %	Gb g/cm3	Gsb g/cm3	Gmt g/cm3	Gmm g/cm3	Gse g/cm3	Pba	Pbe	f/a	Vv %	Vagr %	VAM %
5.5	2,15	2.28	2,12	2,394	2,59	0,39	5,1	0,67	9,32	90,07	9,89
6.0	2,20	2.28	2,10	2,363	2,57	0,95	5,05	0,67	7,53	90,15	9,8
6.5	2,23	2.28	2,13	2,352	2,57	2,14	4,46	0,77	6,29	90,47	9,48
7.0	2,21	2.28	2,10	2,332	2,57	2,9	4,26	0,8	4,77	90,65	9,3
7.5	2,24	2.28	2,09	2,306	2,56	3,95	3,76	0,91	3,4	90,44	9,51

Tabla 4.6 Tabla de propiedades volumétricas por porcentaje de asfalto

Propiedades continuación		
Asfalto %	Estabilidad lb	Flujo pulg/100
5.5	3294	11.54
6.0	3300	10,65
6.5	3339	12,2
7.0	3958	12,65
7.5	3685	12,66

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

CAPITULO V

5. Análisis de resultados

5.1 Determinación del porcentaje óptimo de asfalto

Después de haber realizado el ensayo Marshall y con todos los datos de este ensayo la determinación de las propiedades volumétricas de las briquetas para cada porcentaje

de asfalto se va a proceder a tabular los resultados, se usará la herramienta Excel para presentar las tablas y gráficos para así tener una mejor interpretación de los mismos, de tal manera se determinará el porcentaje óptimo en la mezcla asfáltica.

Para la determinación del porcentaje óptimo de asfalto se realizará 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 denominados (Vv), grafica en la cual sigue el criterio de la normativa Asphalt Institute para así poder determinar el porcentaje óptimo.

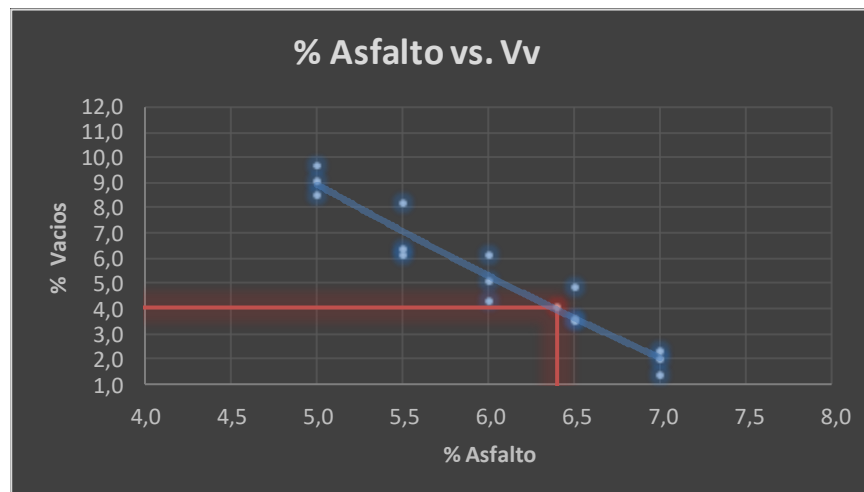


Ilustración 5.1 Gráfica de Vv vs % de Asfalto

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

Después de haber determinado el porcentaje óptimo del asfalto, se debe determinar las propiedades de la mezcla asfáltica con el uso del porcentaje obtenido, para esto se realizará las siguientes graficas las cuales tendrán en el eje de las abscisas el porcentaje de asfalto y en el eje de las ordenadas la gravedad especifica Bulk, estabilidad, flujo, VAM y la relación f/a.

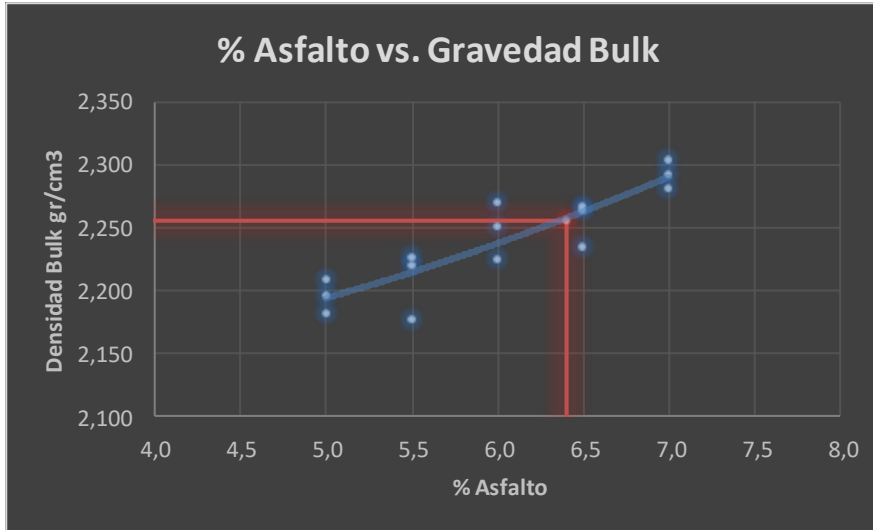


Ilustración 5.2 Gráfica de Gravedad específica Bulk vs % de Asfalto

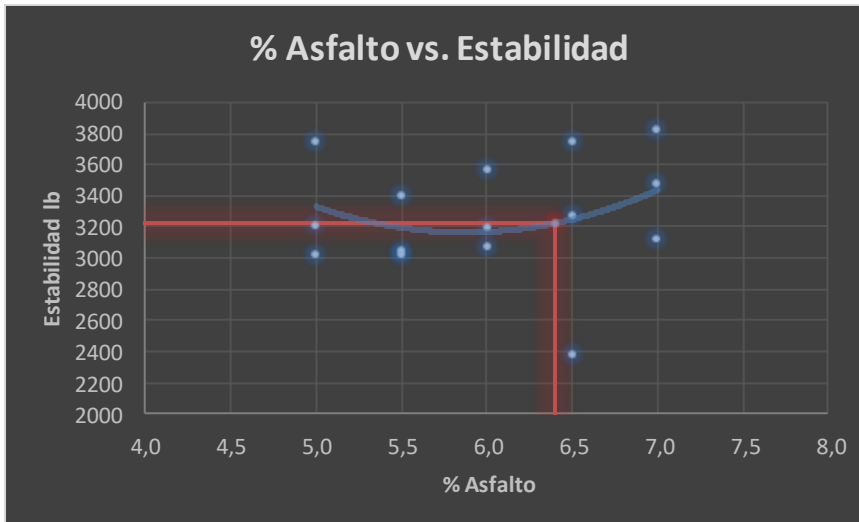


Ilustración 5.3 Gráfica de Estabilidad vs % de Asfalto

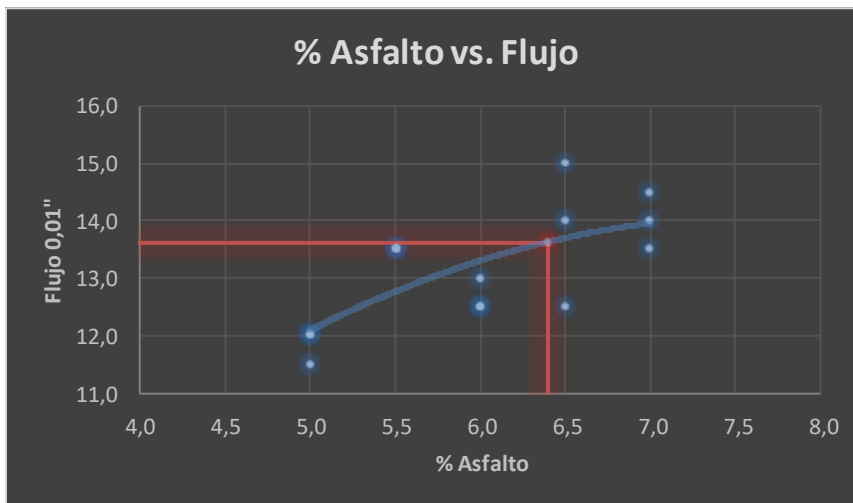


Ilustración 5.4 Gráfica de Flujo vs % de Asfalto

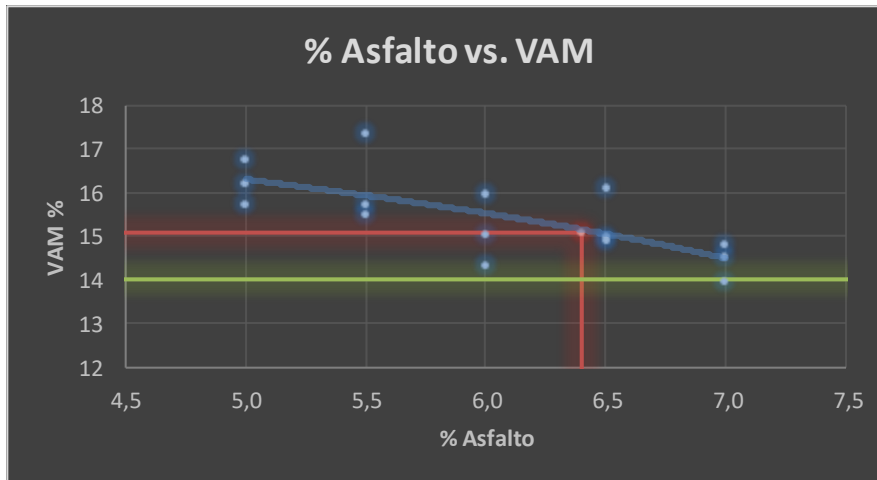


Ilustración 5.5 Gráfica de VAM vs % de Asfalto

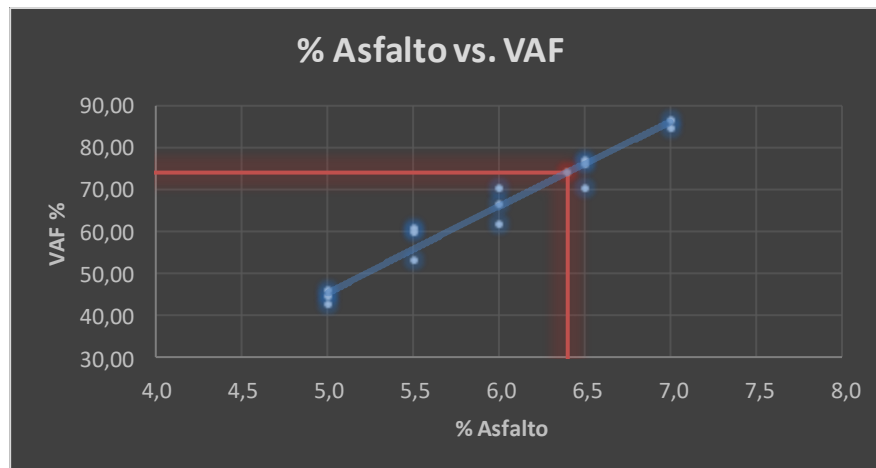


Ilustración 5.6 Gráfica de VAF vs % de Asfalto

Se realizó una tabla en donde se presentan los valores obtenidos de las gráficas que se mencionan en los puntos anteriores, las cuales serán comparadas con las especificaciones de la norma MOP-001F-2002 dadas para un tipo de tráfico muy pesado.

Propiedad con 7.25% de asfalto	Especificación MOP		
	Tráfico Muy Pesado		
	Valor	MIN.	MÁX.
G. E. Bulk	2.190	-	-
Estabilidad	3700	2200	-
Flujo	12	8	14
VAM	9.42	13	-
VAF	0,8	0.8	1.2

Tabla 5.1 Tabla de verificación de los resultados obtenidos con las especificaciones del MOP

CAPITULO VI

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

- Al determinar las propiedades mecánicas del material pétreo se pudo corroborar que al compararlas con las especificaciones determinadas por la normativa MOP-001F-2002, dichos materiales cumplen con todas las especificaciones.
- Al momento de determinar las propiedades mecánicas del asfalto y compararlas con las normas del MOP-001F-2002, se puede decir que el asfalto con el que trabajamos, en este caso de la planta del EPMMOP es un asfalto AC-20, por ende, nos servirá como ligante para la elaboración de mezclas asfálticas.
- En el presente trabajo se puede comprobar que el porcentaje óptimo de asfalto determinado con el criterio del Asphalt Institute en las gráficas de las propiedades volumétricas, podemos concluir que el valor definido por la EPMMOP difiere con el valor obtenido en los ensayos, con un valor de 0.20% más de asfalto.
- Después de comparar las propiedades de la mezcla asfáltica realizada con el porcentaje de asfalto óptimo calculado, con las especificaciones del EPMMOP para un tráfico muy pesado, podemos afirmar que la mezcla asfáltica realizada cumple con los siguientes parámetros, estabilidad con un valor de 3700 el mínimo

es de 2200, flujo con un valor de 12 y el mínimo es 8 y con el VAF con un valor de 0.8 y el mínimo es de 0.8.

- Realizadas todas las comparaciones anteriores en el presente trabajo de disertación, podemos decir que las cantidades de mezcla para los agregados los cuales son 20% de agregado grueso, 30% de agregado medio, 50% de agregado fino y el 6.78 de asfalto no cumple con las especificaciones de la norma MOP-001F-2002.
- La textura de los agregados es importante y una textura rugosa es requerida, particularmente en capas gruesas de asfalto.

6.2 Recomendaciones

- Como podemos darnos cuenta del incumplimiento de la mezcla en el aspecto de la dosificación de los agregados con respecto al porcentaje de vacíos, la recomendación sería emplear una mezcla asfáltica la cual, de un mayor valor al agregado grueso, ya que las proporciones de este factor van conjuntamente con el VAM, en futuros trabajos de disertación se recomienda usar una dosificación de 25% de agregado grueso, 25% de agregado de tamaño medio, y un 50% de agregado fino, después ensayar y comparar de nuevo las propiedades que se obtendrán con esta mezcla con las especificaciones del MOP-001F-2002 se recomienda que se realice la caracterización de los agregados nuevamente cuando exista diferencias en las propiedades mecánicas del mismo.
- La temperatura tiene un efecto muy significativo en la formación de las roderas y por consiguiente las temperaturas empleadas en los ensayos son relativamente altas para reproducir las condiciones más desfavorables a las que estará sometido el pavimento.

- Se recomienda que exista granulometrías continuas, que logren componer una mezcla asfáltica densa, la cual pueda mitigar los efectos de roderas en las capas de pavimento asfáltico. Estos concretos asfálticos al momento de su colocación deben de ser adecuadamente compactados y se debe diseñar con un bajo porcentaje de vacíos, para aumentar los puntos de contacto entre las partículas que componen la mezcla asfáltica y disminuir la propensión a que la mezcla se densifique por causas de sollicitación de tráfico.
- Las mezclas asfálticas se deben hacer con agregados angulares obtenidos principalmente de trituración, para hacer que la mezcla asfáltica sea más estable que las hechas con materiales de canto rodado.
- Los especímenes probados en laboratorio tienen que ser compactados con densidades comparables a la que van a tener las capas de pavimento en el sitio donde recibirán las cargas del tráfico.

Bibliografía

- 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
- Jácome, K., & Paz, C. (2023). 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>.
- Bermeo Dayana. (2023). 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](http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/23823/1/UCE-FING%20BERMEO%20DAYANA.pdf)

- 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
- ASTM International. (2019). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. https://doi.org/10.1520/C0136_C0136M-19

Anexos

- **Anexo 1: 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: 12 de abril del 2023

RECEPCIÓN N°

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)	74	75	75	74,66

Especificación del producto:

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

OBSERVACIONES: _____

- **Anexo 3: 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° _____

FECHA DE ENSAYO: 12 de abril del 2023

HOJA: #1

NORMA DE REFERENCIA: ASTM D70

Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	#1
Temperatura de ensayo	25°

Serie del picnómetro (N°)	46
Masa del picnómetro + tapon secos (A)	37,128
Masa del picnómetro + tapon + agua destilada (B)	62,055
Masa del picnómetro + tapon + asfalto (C)	55,395
Masa del picnómetro + tapon + asfalto + agua destilada (D)	62,248

Resultados:

Gravedad específica (a la milésima) (C-A) / ((B-A) - (D-C)) (E)	
Densidad del agua a la temperatura de ensayo (kg/m3) (F)	997.0
Densidad de la muestra (kg/m3) (E * F)	

$$(55,39 - 37,128) / (62,055 - 37,128)$$

$$18,262 / 24,927 = 6,853$$

$$18,262 / 18,074 = 1,01$$

Información de la muestra:

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

Nota: _____

Laboratorista

- **Anexo 4: 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: 12 de abril del 2023

Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	#1 AC-2
Líquido usado en el baño	agua

Registros de la muestra:

	Anillo 1	Anillo 2	Promedio
Punto de ablandamiento, °C	50,2°	50,3°	50,25°

OBSERVACIONES:

- **Anexo 5: Datos del ensayo de Viscosidad del Asfalto**

VISCOSIDAD A VARIAS TEMPERATURAS

ORDEN: _____

HOJA: _____

FECHA: 12 de abril del 2023

MUESTRA 1 2 3 4 5 6

	136°					
TEMPERATURA:						
VISCOSIDAD:	405,50					
VELOCIDAD:	100,00					
% PAR:	81,1					

	170°					
TEMPERATURA:						
VISCOSIDAD:	89,09					
VELOCIDAD:	110					
% PAR:	19,6					

• Anexo 6: Datos del ensayo RTFO



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Laboratorio de Materiales de Construcción



LMC-MFT-5.4-AP-3-R1

ÁREA DE PAVIMENTOS
ENSAYO DEL HORNO DE PELÍCULA DELGADA RODANTE (RTFO)

ORDEN DE TRABAJO N°

FECHA DE ENSAYO:

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

MASA DE BOTELLA 1 + ASFALTO ANTES (g):

203.349

PARA CAMBIO DE MASA

MASA DE BOTELLA 2 + ASFALTO ANTES (g):

203.406

PARA CAMBIO DE MASA

MASA DE BOTELLA 1 + ASFALTO DESPUÉS (g):

203.257

PARA CAMBIO DE MASA

MASA DE BOTELLA 2 + ASFALTO DESPUÉS (g):

203.312

PARA CAMBIO DE MASA

OBSERVACIONES:

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD:

ENSAYO

INFORME

- **Anexo 7: Datos del ensayo de Punto de chispa y llama, con el equipo Cleveland.**



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Laboratorio de Materiales de Construcción



LMC-MPT-5.4-AP-4-R1

ÁREA DE PAVIMENTOS

ENSAYO DE PUNTO DE CHISPA Y LLAMA CON EL EQUIPO DE COPA ABIERTA CLEVELAND

ORDEN DE TRABAJO N°

FECHA DE ENSAYO:

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

PUNTO DE CHISPA (°C):

PUNTO DE LLAMA (°C):

PRESIÓN BAROMÉTRICA (mmHg):

OBSERVACIONES:

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD:

ENSAYO

INFORME