

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

**TEMA: DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS EN CALIENTE UTILIZANDO CAUCHO AL 1% DE MANERA SECA
CON ÁRIDOS DE LA MINA NARANJO LÓPEZ UBICADA EN LA VÍA E-35 PIFO -
SANGOLQUÍ Y ASFALTO DE LA EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE
MOVILIDAD Y OBRAS PÚBLICAS 'EPMMOP'.**

AUTORES:

ROBERTO ANDRÉS VIVAS LEÓN

STEVEEN ALEXANDER BEDÓN NARANJO

QUITO DM, NOVIEMBRE DE 2023

Índice

1. Capítulo I	1
GENERALIDADES	1
1.1 Justificación	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.3 Objetivos	1
1.3.1 Objetivos General	1
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.4 Alcance	2
1.5 Hipótesis	2
2. Capítulo II.....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Materiales Pétreos	3
2.1.1 Definición	3
2.1.2 Propiedades y características	3
2.1.3 Procedencia de los agregados	3
2.2.1 Definición	5
2.2.2 Propiedades y características	5
2.2.3 Procedencia del cemento asfáltico	5
2.3 Polvo de caucho	6
2.3.1 Definición	6

2.4 Mezclas asfálticas	7
2.4.1 Definición	7
3. Capítulo III.....	8
ENSAYO DE MATERIALES.....	8
3.1 Ensayo del material pétreos	8
3.1.1 Análisis granulométrico.....	8
3.1.2 Gravedad específica y porcentaje de absorción	8
3.1.3 Equivalente de arena del agregado fino	10
3.1.4 Abrasión del agregado grueso en máquina de los ángeles.....	11
3.1.5 Tabla de resultados	11
3.2 Ensayos del cemento asfáltico	15
3.2.1 Gravedad específica	15
3.2.2 Viscosidad cinemática	15
3.2.3 Penetración (ASTM D5/D5M-19a)	16
3.2.4 Punto de ablandamiento.....	16
3.2.5 Ductilidad (ASTM D113-17).....	17
3.2.6 Tabla de resultados	17
4. Capítulo IV.....	18
DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	18
4.1 Método Marshall.....	18
4.2 Propiedades volumétricas	18

4.3 Estabilidad y flujo Marshall.....	22
4.4 Cálculos de la mezcla asfáltica	23
4.4.1 Porcentaje y dosificación de los agregados	23
4.4.2 Porcentaje teórico del asfalto.....	25
4.4.3 Elaboración de briquetas.....	25
4.4.4 Cálculo de las propiedades volumétricas de las briquetas	31
5. Capítulo V.....	32
ANÁLISIS DE RESULTADOS	32
5.1 Determinación del porcentaje óptimo de asfalto	32
5.2 Determinación de las propiedades de la mezcla asfáltica con el porcentaje óptimo de asfalto.....	32
5.3 Diseño de mezcla asfáltica en caliente con el porcentaje óptimo de asfalto agregando el 1% de caucho.....	34
6. Capítulo VI.....	35
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
6.1 Conclusiones	35
6.2 Recomendaciones	36
BIBLIOGRAFÍA	37
ANEXOS	39

Índice de Tablas

Tabla 3.1 Análisis granulométrico agregado fino	11
Tabla 3.2 Análisis granulométrico agregado intermedio	12
Tabla 3.3 Análisis granulométrico agregado grueso.....	13
Tabla 3.4 Gravedad específica del agregado grueso.....	14
Tabla 3.5 Gravedad específica del agregado intermedio	14
Tabla 3.6 Gravedad específica del agregado fino	15
Tabla 3.7 Resultados asfalto	17
Tabla 4.1 Resultado estabilidad y flujo.....	24
Tabla 4.2. Combinación de agregados	24
Tabla 4.3 % Asfalto optimo	25
Tabla 4.4 Cálculo propiedades volumétricas de las briquetas	31
Tabla 5.1 Comprobación diseño	34
Tabla 5.2 Comprobación diseño	34

Índice de Gráficos

Gráfico 3.1 Curva granulométrica agregado fino	12
Gráfico 3.2 Curva granulométrica agregado intermedio	13
Gráfico 3.3 Curva granulométrica agregado grueso	14
Gráfico 4.1 Curva granulométrica	24
Gráfico 5.1 % Asfalto vs Va.....	32
Gráfico 5.2 % Asfalto vs Densidad Bulk.....	32
Gráfico 5.3 % Asfalto vs Estabilidad.....	33
Gráfico 5.4 % Asfalto vs Flujo	33
Gráfico 5.5 % Asfalto vs VAM	33
Gráfico 5.6 % Asfalto vs VAF.....	34

Índice de Ilustraciones

Ilustración 2.1 Ubicación planta de agregados Naranjo López	4
Ilustración 2.2 Recolección del material.....	4
Ilustración 2.3 Ubicación planta de asfalto “EPPMAPS”	5
Ilustración 2.4 Recolección.....	6
Ilustración 2.5 Polvo de caucho	7
Ilustración 3.1 Penetración.....	16
Ilustración 3.2 Ensayo punto de ablandamiento	16
Ilustración 3.3 Ensayo de ductilidad.....	17
Ilustración 4.1 Determinar peso, diámetro y espesor de cada probeta.....	22
Ilustración 4.2 Ensayo briqueta.....	23
Ilustración 4.3 Resultado	23
Ilustración 4.4 Peso del material.....	26
Ilustración 4.5 Preparación del material	26
Ilustración 4.6 Preparación molde	27
Ilustración 4.7 Colocación del material y posterior ensayo en la compactadora Marshall	27
Ilustración 4.8 Muestras.....	28
Ilustración 4.9 Ensayo briqueta.....	28
Ilustración 4.10 Resultado ensayo Bulk.....	28
Ilustración 4.11 Peso del material.....	29
Ilustración 4.12 Preparación del material	29
Ilustración 4.13 Material listo para ensayarse.....	30
Ilustración 4.14 Ensayo.....	30
Ilustración 4.15 Resultado ensayo Rice	31

Índice de Ecuaciones

Ecuación 3.1 Gravedad específica Bulk	8
Ecuación 3.2 Gravedad específica saturada con superficie seca	8
Ecuación 3.3 Gravedad específica aparente.....	9
Ecuación 3.4 Porcentaje de absorción	9
Ecuación 3.5 Gravedad específica Bulk	9
Ecuación 3.6 Gravedad específica saturada con superficie seca	9
Ecuación 3.7 Gravedad específica aparente.....	10
Ecuación 3.8 Porcentaje de absorción	10
Ecuación 3.9 Equivalente de arena del agregado fino	10
Ecuación 3.10 Gravedad específica	15
Ecuación 4.1 Gravedad específica Bulk de la briqueta.....	18
Ecuación 4.2 Gravedad específica Bulk del agregado total.....	19
Ecuación 4.3 Gravedad específica Bulk de cada material	19
Ecuación 4.4 Gravedad específica máxima teórica	19
Ecuación 4.5 Gravedad específica máxima medida (Rice)	19
Ecuación 4.6 Gravedad específica efectiva del agregado	20
Ecuación 4.7 Gravedad específica máxima teórica	20
Ecuación 4.8 Asfalto efectivo de la mezcla	20
Ecuación 4.9 Relación Filler/Asfalto.....	21
Ecuación 4.10 Porcentaje de vacíos con aire	21
Ecuación 4.11 Porcentaje de volumen del agregado vs volumen total.....	21
Ecuación 4.12 Porcentaje de vacíos del agregado mineral	21
Ecuación 4.13 Porcentaje teórico del asfalto	25

Anexos

Anexo 1. Datos del ensayo de penetración del asfalto.....	39
Anexo 2. Datos del ensayo de ductilidad del asfalto	400
Anexo 3. Datos del ensayo de gravedad específica método del picnómetro del asfalto	411
Anexo 4. Punto de ablandamiento	422
Anexo 5. Datos de gravedad específica Bulk sin caucho	433
Anexo 6. Datos de gravedad específica Bulk con caucho	444
Anexo 7. Curva de estabilidad y flujo con un 5% de asfalto.....	455
Anexo 8. Curva de estabilidad y flujo con un 5.5% de asfalto.....	466
Anexo 9. Curva de estabilidad y flujo con un 6% de asfalto.....	477
Anexo 10. Curva de estabilidad y flujo con un 6.5% de asfalto.....	488
Anexo 11. Curva de estabilidad y flujo con un 7% de asfalto.....	49
Anexo 12. Curva de estabilidad y flujo con un 5.7% de asfalto y polvo de caucho de las briquetas N.1; N.2 y N.3	500
Anexo 13. Curva de estabilidad y flujo con un 5.7% de asfalto y polvo de caucho de las briquetas N.4; N.5 y N.6	50

1. Capítulo I

GENERALIDADES

1.1 Justificación

La importancia principal de la presente investigación radica en que en ciudades como Quito, al momento de diseñar un pavimento flexible se encuentra que los mismos al poco tiempo de su construcción presentan agrietamientos, desgaste y baches, esto debido a un mal diseño y una posible mala calidad en la materia prima, por ello y en busca de brindar una mejor opción este trabajo de titulación plantea analizar el comportamiento y la utilización de polvo de caucho de neumático al 1% a dichas mezclas asfálticas en caliente para que de esta forma sus propiedades mecánicas brinden un mejor comportamiento frente a las mezclas asfálticas en caliente comunes.

1.2 Planteamiento del problema

El presente trabajo de integración curricular busca conocer, evaluar y verificar la mejora de las propiedades como la durabilidad, resistencia a la deformación y a la fisuración de una mezcla asfáltica agregando caucho al 1%. De esta manera, poder determinar si es una opción viable, segura y rentable para la construcción de carreteras, considerando sus posibles impactos ambientales, técnicos y económicos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos General

- Evaluar el comportamiento de mezclas asfálticas por el método Marshall utilizando material de la mina Naranjo López, asfalto AC-20 y el 1% de caucho de manera seca.

1.3.2 Objetivos específicos

- Describir e identificar los métodos, ensayos y normativa acerca de todo el proceso de investigación que se realizará en el presente proyecto de integración curricular.
- Medir su resistencia y comportamiento ante la deformación plástica, la cual puede ser causada por fluctuaciones de temperatura.
- Analizar los resultados obtenidos con el ensayo Marshall para evaluar la calidad de la mezcla asfáltica agregando caucho y garantizar que cumpla con los requisitos de diseño y especificaciones técnicas.

1.4 Alcance

El trabajo final de integración curricular se enfoca en analizar el comportamiento de una mezcla asfáltica caliente con polvo de caucho al 1% y las diferencias con una mezcla asfáltica común, ambas con materiales provenientes de una misma mina. Con la realización de los ensayos de granulometría, gravedad específica, abrasión y equivalente de arena para los materiales pétreos y los ensayos de gravedad específica, ductilidad, penetración, punto de ablandamiento y viscosidad para el cemento asfáltico.

1.5 Hipótesis

La inclusión de cierta cantidad de polvo de caucho en la mezcla asfáltica determina un incremento en la capacidad de absorción de energía que evitaría agrietamiento por fatiga y una mejora en la resistencia de la mezcla asfáltica.

2. Capítulo II

MARCO TEÓRICO

2.1 Materiales Pétreos

2.1.1 Definición

Son materiales granulares sólidos inertes que se emplean en los firmes de las carreteras con o sin adición de elementos activos y con granulometrías adecuadas; se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica o con ligantes asfálticos (Padilla, 2004).

2.1.2 Propiedades y características

Mediante los diferentes ensayos de laboratorio se puede determinar las propiedades y las características de los agregados, para precisar un óptimo porcentaje de asfalto en la mezcla asfáltica caliente, los agregados deben cumplir con especificaciones establecidas en el “MTOF-001F 2022” (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002).

2.1.3 Procedencia de los agregados

Para el presente trabajo de integración curricular la MTOF-001F 202 señala que se deben utilizar los siguientes agregados:

- Agregado grueso: Mineral el cual sus partículas no traspasan el tamiz N.4.
- Agregado intermedio: Todo aquel material en el cual sus partículas traspasan el tamiz N.4, y son retenidas por el tamiz N.200.
- Agregado fino: Todo material en el cual sus partículas traspasan el tamiz N.200 (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002).

Los agregados utilizados fueron extraídos de la mina Naranjo López ubicada en la vía E-35 Pifo - Sangolquí, los cuales fueron transportados de la mina hacia los laboratorios de la PUCE.

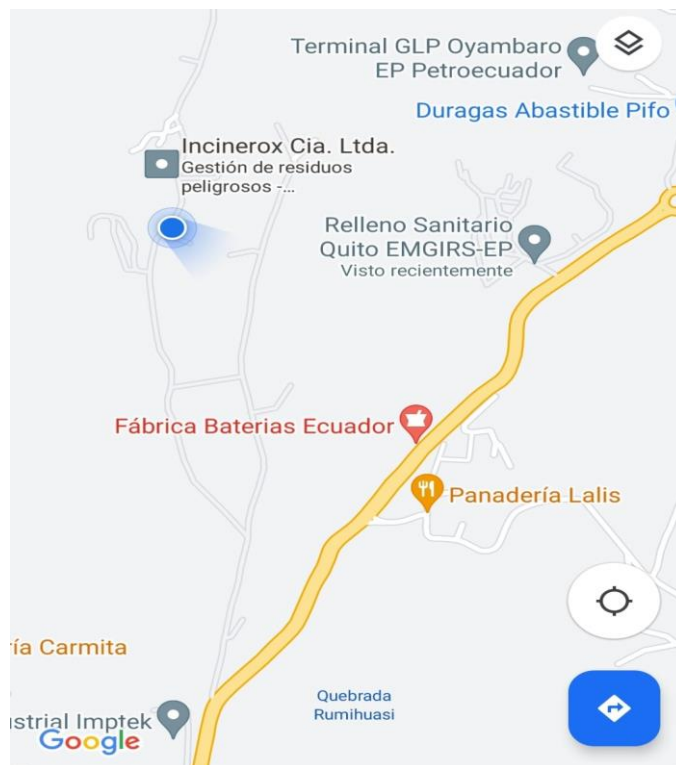


Ilustración 2.1 Ubicación planta de agregados Naranjo López



Ilustración 2.2 Recolección del material

2.2 Cemento asfáltico

2.2.1 Definición

El cemento asfáltico, también conocido como asfalto, es un material bituminoso ampliamente utilizado en la construcción de carreteras y pavimentos. Consiste en una mezcla de betún, que es un aglomerante viscoso y pegajoso, y agregados minerales, como grava y arena. Esta combinación confiere al cemento asfáltico sus propiedades impermeables y su capacidad para resistir las cargas y las condiciones climáticas adversas en superficies de carreteras y pavimentos (Smith, 2018)

2.2.2 Propiedades y características

Para determinar las propiedades y características del cemento asfáltico, de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras se deben realizar ensayos de laboratorio.

2.2.3 Procedencia del cemento asfáltico

Para este proyecto de integración curricular el asfalto AC-20 fue obtenido de la planta pavimentadora perteneciente a la empresa metropolitana de movilidad y obras públicas ‘EPMMOP’; misma que se ubica en la ciudad de Quito.

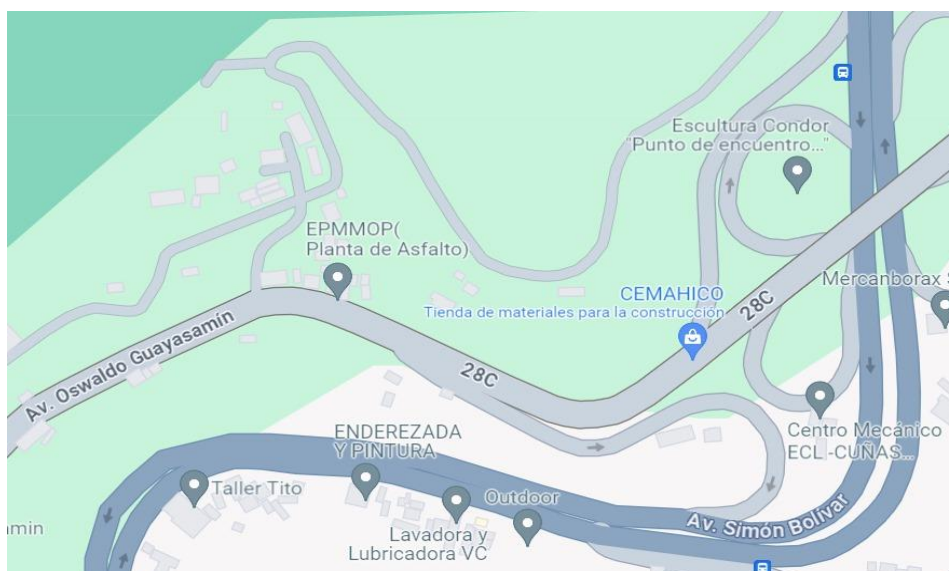


Ilustración 2.3 Ubicación planta de asfalto “EPPMAPS”



Ilustración 2.4 Recolección

2.3 Polvo de caucho

2.3.1 Definición

Los gránulos de caucho, también denominados caucho molido, caucho asfáltico o caucho triturado, proceden principalmente de neumáticos reciclados de automóviles y camiones. En el proceso de reciclado de neumáticos, se eliminan todos los materiales que no sean caucho, como suciedad, alambres y pelusas. Los residuos de caucho restantes se reducen a un tamaño más manejable, normalmente mediante un molino mecánico.

El procesamiento en curso reduce aún más el tamaño del caucho crudo molido en partículas, que se clasifican en función del tamaño y el color de las partículas de caucho molido. El caucho granulado puede mezclarse con asfalto para mejorar las propiedades del asfalto usado en la construcción de carreteras (Flexicon Corporation, 2015).



Ilustración 2.5 Polvo de caucho

2.4 Mezclas asfálticas

2.4.1 Definición

Las mezclas asfálticas son el resultado de la unión del material pétreo con el cemento asfáltico, en el cual su comportamiento se encuentra ligado a las cantidades que se empleen de cada componente para la fabricación de este, por lo que 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).

3. Capítulo III

ENSAYO DE MATERIALES

3.1 Ensayo del material pétreos

3.1.1 Análisis granulométrico

Este ensayo se realiza para determinar la distribución de tamaños de las partículas en una muestra de material. Este ensayo es fundamental para diseñar mezclas de asfalto con una distribución óptima de tamaños de agregados. Esto afecta directamente la resistencia y la durabilidad del material. La serie de tamices que se utilizan son: ¾”, ½”, ¾”, 4,8,16,30,50,100,20 y pasante del tamiz N°200.

3.1.2 Gravedad específica y porcentaje de absorción

3.1.2.1 Agregado grueso

Este ensayo es importante para evaluar las características de los agregados que se van a utilizar, proporciona información sobre la porosidad y la densidad de los agregados, lo que es esencial para determinar la calidad y la idoneidad de los materiales.

Ecuaciones para la obtención de la gravedad específica y el 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*

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

Ecuación 3.2 Gravedad específica saturada con superficie seca

- *Gea: Gravedad específica aparente*

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

Ecuación 3.3 Gravedad específica aparente

- *Porcentaje de absorción*

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

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

Este ensayo es similar al ensayo para el agregado grueso, pero se aplica a materiales más pequeños, como arena. Proporciona información sobre la porosidad y la capacidad de absorción del agregado fino.

Ecuaciones para la obtención de la gravedad específica y el porcentaje de absorción:

- *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*

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

Ecuación 3.7 Gravedad específica aparente

- *Porcentaje de absorción*

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

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 señalización de calibración, (gramos).

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

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

3.1.3 Equivalente de arena del agregado fino

Este ensayo se realiza para evaluar la cantidad de finos (materiales que pasan a través de un tamiz) en una muestra de agregado fino que podrían afectar negativamente las propiedades de la mezcla asfáltica. Este ensayo ayuda a determinar la limpieza y la calidad del agregado fino.

Ecuación para determinar la calidad del material:

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

Ecuación 3.9 Equivalente de arena del agregado fino

Donde:

A= Lectura de arena (Sedimento).

B= Lectura de arcilla (Suspensión).

3.1.4 Abrasión del agregado grueso en máquina de los ángeles

Este ensayo se utiliza para evaluar la resistencia al desgaste de los agregados gruesos que se utilizan en el diseño asfáltico. El ensayo simula las condiciones de desgaste que puede experimentar un agregado cuando se utiliza en superficies pavimentadas.

3.1.5 Tabla de resultados

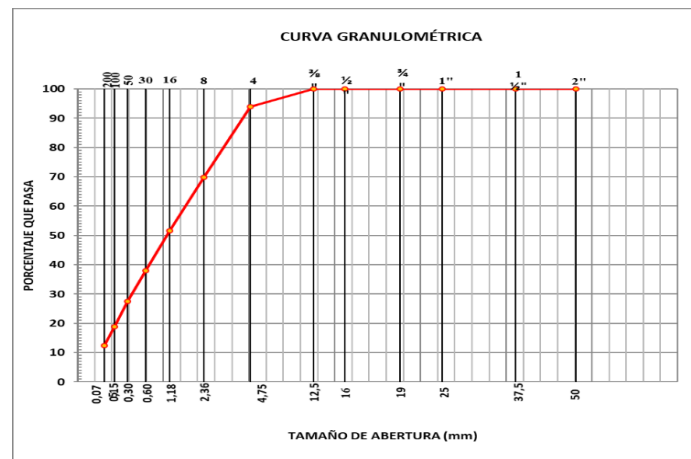
3.1.5.1 Análisis granulométrico agregado fino

Masa seca: 1000 (g)

Tabla 3.1 Análisis granulométrico agregado fino

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET. ACUM.	% RETENIDO	% PASA
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,0
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	100,0
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,0
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	100,0
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,0
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,0
4	4,75	59,90	59,90	5,99	94,0
8	2,36	241,70	301,60	30,16	69,8
16	1,18	182,20	483,80	48,38	51,6
30	0,600	136,10	619,90	61,99	38,0
50	0,300	105,60	725,50	72,55	27,5
100	0,150	86,80	812,30	81,23	18,8
200	0,075	64,50	876,80	87,68	12,3
	PASA N° 200	123,20	1.000,00		

Gráfico 3.1 Curva granulométrica agregado fino



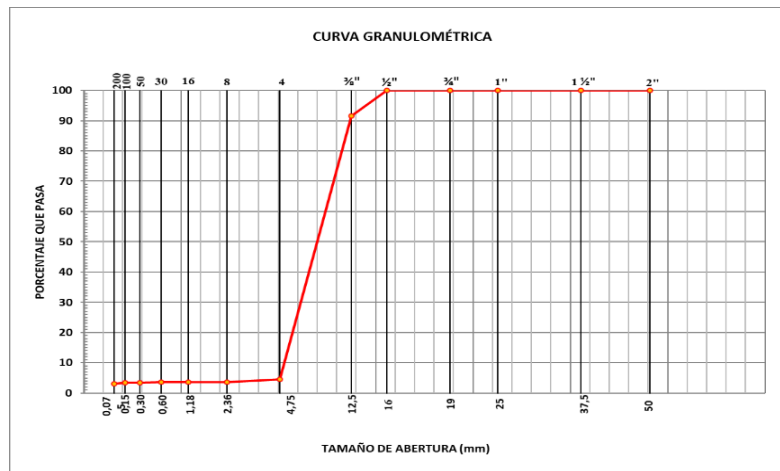
3.1.5.2 Análisis granulométrico agregado intermedio

Masa seca: 1000 (g)

Tabla 3.2 Análisis granulométrico agregado intermedio

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET. ACUM.	% RETENIDO	% PASA
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	84,00	84,00	8,40	91,60
4	4,75	870,00	954,00	95,40	4,60
8	2,36	10,40	964,40	96,44	3,56
16	1,18	0,10	964,50	96,45	3,55
30	0,600	0,01	964,51	96,45	3,55
50	0,300	0,20	964,71	96,47	3,53
100	0,150	1,30	966,01	96,60	3,40
200	0,075	3,20	969,21	96,92	3,08
PASA N° 200		30,79	1.000,00		

Gráfico 3.2 Curva granulométrica agregado intermedio



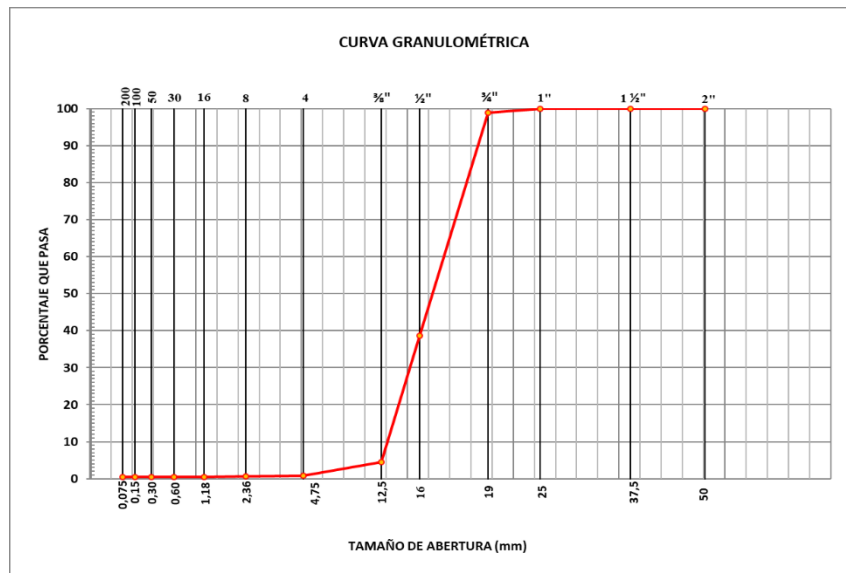
3.1.5.3 Análisis granulométrico agregado grueso

Masa seca: 5000 (g)

Tabla 3.3 Análisis granulométrico agregado grueso

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET. ACUM.	% RETENIDO	% PASA
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19	57,80	57,80	1,16	98,84
1/2"	12,50	3.006,00	3.063,80	61,28	38,72
3/8"	9,50	1.712,00	4.775,80	95,52	4,48
4	4,75	186,00	4.961,80	99,24	0,76
8	2,36	8,70	4.970,50	99,41	0,59
16	1,18	2,80	4.973,30	99,47	0,53
30	0,600	2,00	4.975,30	99,51	0,49
50	0,300	1,80	4.977,10	99,54	0,46
100	0,150	1,70	4.978,80	99,58	0,42
200	0,075	2,50	4.981,30	99,63	0,37
PASA N° 200		18,70	5.000,00		

Gráfico 3.3 Curva granulométrica agregado grueso



3.1.5.4 Gravedad específica del agregado grueso

Tabla 3.4 Gravedad específica del agregado grueso

Peso en el Aire (A) =	4927	gr	Gravedad Específica Bulk	2,576	gr/cm ³
Peso Sat. Sup. Seca (B) =	5029	gr	Gravedad Específica SSS	2,629	gr/cm ³
Peso en el Agua (C) =	3116	gr	Gravedad Específica AP	2,721	gr/cm ³

% de Absorción	2,07
----------------	------

3.1.5.5 Gravedad específica del agregado intermedio

Tabla 3.5 Gravedad específica del agregado intermedio

Peso en el Aire (A) =	2403	gr	Gravedad Específica Bulk	2,519	gr/cm ³
Peso Sat. Sup. Seca (B) =	2470	gr	Gravedad Específica SSS	2,589	gr/cm ³
Peso en el Agua (C) =	1516	gr	Gravedad Específica AP	2,709	gr/cm ³

% de Absorción	2,79
----------------	------

3.1.5.6 Gravedad específica del agregado fino

Tabla 3.6 Gravedad específica del agregado fino

Peso en el Aire (A) =	478,40	gr	Gravedad Especifica Bulk	2,431	gr/cm ³
Peso Pic + agua (E) =	649,40	gr	Gravedad Especifica SSS	2,541	gr/cm ³
Peso Sat. Sup. Seca (B)=	500,00	gr	Gravedad Especifica AP	2,731	gr/cm ³
Peso Pic. + agua + muestra (D) =	952,60	gr			

% de Absorción	4,52
----------------	------

3.2 Ensayos del cemento asfáltico

3.2.1 Gravedad específica

Este ensayo determina la proporción de asfalto que debe utilizarse en una mezcla para lograr las propiedades deseadas de resistencia, durabilidad y capacidad de carga del pavimento.

Ecuación:

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

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

Este ensayo es esencial para evaluar y controlar la viscosidad del asfalto ya que influye en su capacidad de ser bombeado, distribuido y aplicación. Busca determinar la viscosidad del asfalto líquido a 60°C y del asfalto sólido a 135°C.

3.2.3 Penetración (ASTM D5/D5M-19a)

Este ensayo nos permite seleccionar el tipo de asfalto que se vaya a utilizar, es un indicador de su consistencia y dureza. Asfaltos más duros tendrán una penetración menor, mientras que los asfaltos más blandos tendrán una penetración mayor.



Ilustración 3.1 Penetración

3.2.4 Punto de ablandamiento

Este ensayo se emplea para determinar el punto de ablandamiento de los asfaltos, esto nos indica si el material es ideal para que la tendencia fluya o sufra deformaciones cuando se le somete a elevadas temperaturas.

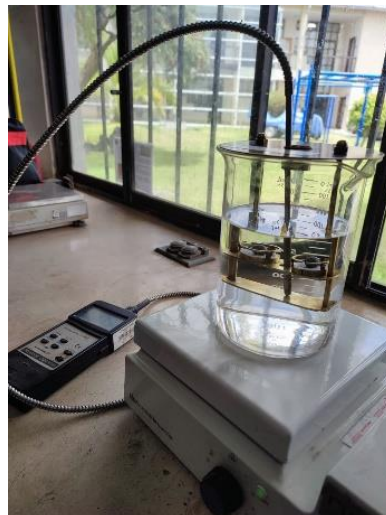


Ilustración 3.2 Ensayo punto de ablandamiento

3.2.5 Ductilidad (ASTM D113-17)

La ductilidad se la realiza en base a las Normas INEN 916, ASTM D 113 y ASSHTO T51-00, las cuales determinan la longitud en que se alarga un material bituminoso por medio de dos extremos de una briqueta, medida en centímetros antes de romperse. Este ensayo se realiza mediante especificaciones que establecen las normas a una velocidad de 5cm/min \pm 5% y a una temperatura de $25 \pm 0,5$ °C (Páez & Valarezo, 2015).



Ilustración 3.3 Ensayo de ductilidad

3.2.6 Tabla de resultados

Tabla 3.7 Resultados asfalto

TABLA DE RESULTADOS ASFALTO AC-20				
Ensayo	Valor	Unidades	Min	Cumple
Gravedad especifica	1,013	-	-	Si
Viscosidad cinematica	392	Pa.s	300	Si
Penetracion	65	dmm	60	Si
Punto de ablandamiento	50,55	°C	-	Si
Ductilidad	100	cm	50	Si

4. Capítulo IV

DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

4.1 Método Marshall

El método Marshall usa muestras normalizadas de prueba (probetas) de 64mm de espesor por 102 mm de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados, pero con distintos contenidos de asfalto, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado. Los dos ensayos primordiales para el diseño de la mezcla del Método Marshall son: la prueba de estabilidad-flujo y el análisis de vacíos-densidad de las muestras compactadas a una temperatura dada (Instituto del Asfalto, 1997).

El método Marshall está estandarizado por la ASTM, gracias a ello posee varias normas tales como:

- ASTM D6926
- ASTM D6927
- AASHTO T 245 o ASTM D 1559

Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son: un análisis de la relación vacíos-densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas (Instituto del Asfalto, 1997).

4.2 Propiedades volumétricas

· *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 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 Bulk de cada material

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 Gravedad específica máxima teórica

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*

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

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 del agregado vs volumen total*

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

Ecuación 4.11 Porcentaje de volumen del agregado vs volumen total

Ps = Porcentaje de agregado 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 agregado vs volumen total

4.3 Estabilidad y flujo Marshall

La estabilidad de la mezcla asfáltica es la máxima resistencia al desplazamiento y deformación bajo cargas de tránsito, el cual depende de la fricción y cohesión interna de los elementos que componen la mezcla asfáltica (Terán, 2015).

El flujo muestra la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir el asentamiento gradual y la deformación sin agrietarse (Veropalumbo et al., 2018).

Para obtener la estabilidad y el flujo del ensayo Marshall se realizó la prueba a 15 probetas normales y 6 probetas agregando caucho, se debe realizar lo siguiente:

- Determinar peso, diámetro y espesor de cada probeta.



Ilustración 4.1 Determinar peso, diámetro y espesor de cada probeta

- Determinar el peso en agua sumergido durante 4 minutos a temperatura $\pm 25^{\circ}\text{C}$.
- Sumergir durante 40 minutos las probetas a una temperatura de $60^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$.
- Ensayar las probetas.



Ilustración 4.2 Ensayo briqueta

- Resultados.

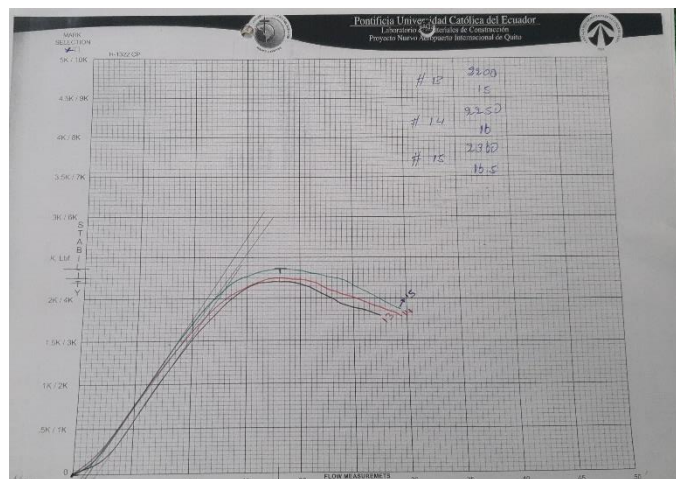


Ilustración 4.3 Resultado

4.4 Cálculos de la mezcla asfáltica

4.4.1 Porcentaje y dosificación de los agregados

Las mezclas asfálticas están compuestas principalmente por un 90% de agregados pétreos gruesos y finos, un 5% de polvo mineral y otro 5% de ligante (Padilla, 2004).

La dosificación de los agregados en asfalto es un proceso crucial para garantizar la calidad y durabilidad de la mezcla asfáltica. Se considera la calidad de los agregados, cada tipo de árido requiere un proyecto de dosificación específico. La dosificación de los agregados en

asfalto es esencial para lograr una mezcla que cumpla con las especificaciones de resistencia, durabilidad y comportamiento requerido para su uso.

Tabla 4.1 Resultado estabilidad y flujo

MALLA		3/4 "	1/2 "	3/8"	N° 4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°100	N°200
ABERTURA	(mm)	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
ESPECIFICACIÓN	MÍN	90	---	56	35	23	---	---	5	---	2
	MÁX	100	---	80	65	49	---	---	19	---	8
AGREGADO	A (ARENA)	100,0	100,0	100,0	94,0	69,8	51,6	38,0	27,5	18,8	12,3
AGREGADO	B (INTER.)	100,0	100,0	91,6	4,6	3,6	3,6	3,6	3,5	3,4	3,1
AGREGADO	GRUESO	98,8	38,7	4,5	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
MEZCLA	AGREGADOS	99,7	81,6	70,1	52,6	39,1	29,1	21,6	15,8	11,0	7,3

Gráfico 4.1 Curva granulométrica
CURVA GRANULOMÉTRICA

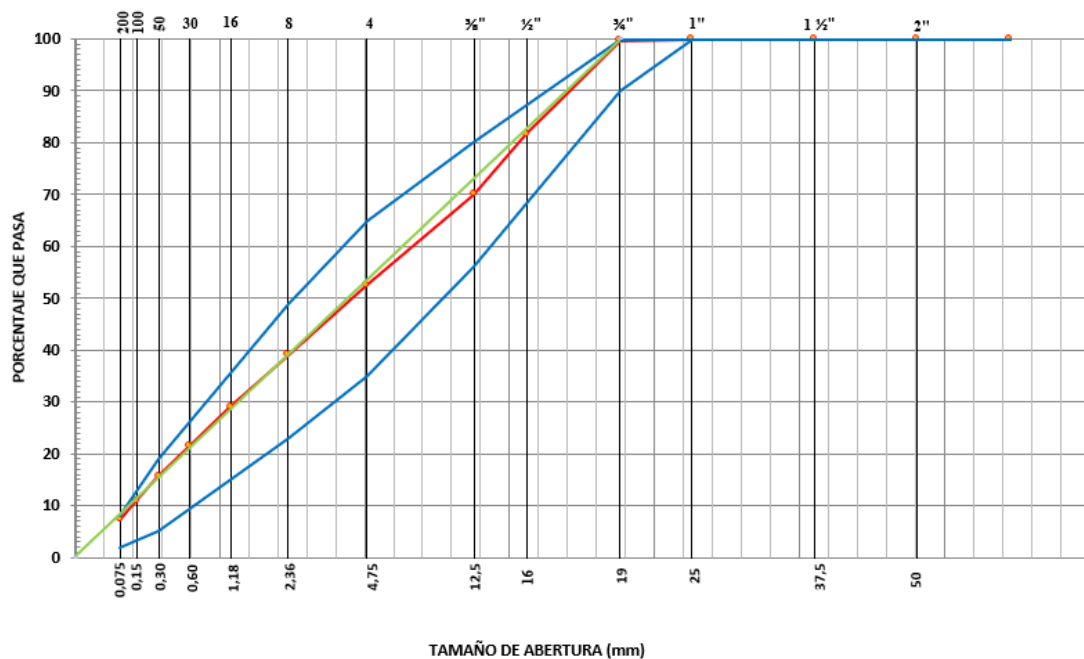


Tabla 4.2. Combinación de agregados

AGREGADO A	AGREGADO B	AGREGADO C
Arena	Intermedio	Grueso
PORCENTAJES DE MEZCLAS		
55%	15%	30%

4.4.2 Porcentaje teórico del asfalto

Se puede determinar utilizando la ecuación del Instituto del Asfalto:

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

Ecuación 4.13 Porcentaje teórico del asfalto

Donde:

P=Porcentaje de asfalto en peso, del total de la mezcla.

a=Porcentaje del material grueso.

b=Porcentaje de arena.

c=Porcentaje de material que pasa el tamiz N°200.

F= Constante que varía del 0-2% cuando el agregado es muy poroso, generalmente el valor comprende entre 0.7 y 1%.

k= 0.15 cuando del 11-15% pasa del tamiz N°200

0.18 cuando del 6-10% pasa del tamiz N°200

0.20 cuando del 5% o menos pasa del tamiz N°200

Tabla 4.3 % Asfalto optimo

% Asfalto Óptimo	5,7
-------------------------	------------

4.4.3 Elaboración de briquetas

Para el presente trabajo de integración curricular se realizaron 15 briquetas originales, cada 3 briquetas se utilizó un porcentaje de asfalto diferente (5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%) y 6 briquetas agregando el 1% de caucho (5.7% asfalto optimo). Se realizó muestras de 1100 gramos para el ensayo bulk y para realizar el ensayo rice se hizo muestras de 2200 gramos.

Las briquetas de asfalto se elaboran a partir de una mezcla de asfalto y agregado en proporciones exactas, que determinan las propiedades físicas de la mezcla y su desempeño como pavimento terminado. Con la elaboración de las briquetas se puede evaluar la calidad y resistencia de la mezcla, para elaborarlas se deben seguir los siguientes pasos:

Ensayo Bulk:

- Calentar el asfalto y los moldes antes de elaborar las briquetas.
- Sacar el material a utilizarse del horno y pesar todos los materiales a ser utilizados.



Ilustración 4.4 Peso del material

- Calentar en una estufa el material, asfalto, caucho y mezclarlos hasta que alcance una temperatura de 150°C



Ilustración 4.5 Preparación del material

- Colocar aceite al molde y al papel filtro para que sea más fácil desmoldarlo.



Ilustración 4.6 Preparación molde

- Colocar la muestra en el molde, dar 15 golpes alrededor del contenido y 10 en la parte central. Las muestras deben ser compactadas con la máquina compactadora Marshall la cual realiza 75 golpes en cada cara de la briqueta.



Ilustración 4.7 Colocación del material y posterior ensayo en la compactadora Marshall

- Dejar reposar la muestra y desmoldarla.



Ilustración 4.8 Muestras

- Ensayarlas.



Ilustración 4.9 Ensayo briqueta

- Resultados

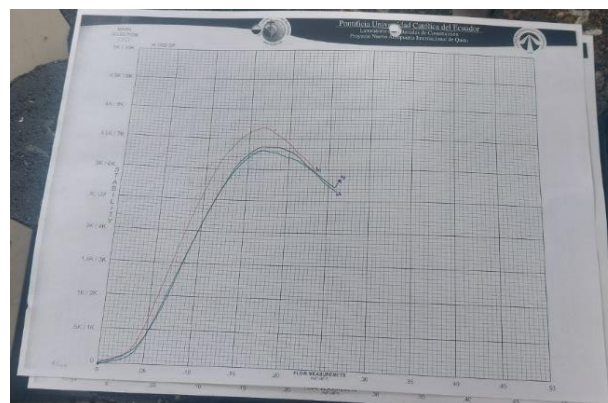


Ilustración 4.10 Resultado ensayo Bulk

Ensayo Rice:

- Calentar el asfalto y los moldes antes de elaborar las briquetas.
- Sacar el material a utilizarse del horno y pesar todos los materiales a ser utilizados.



Ilustración 4.11 Peso del material

- Calentar en una estufa el material, asfalto, caucho y mezclarlos hasta que alcance una temperatura de 150°C



Ilustración 4.12 Preparación del material

- Verter la muestra en una bandeja, esparcirla y dejar que se enfríe para poder ensayarlo.



Ilustración 4.13 Material listo para ensayarse

- Ensayar.



Ilustración 4.14 Ensayo

- Resultados.

Ilustración 4.15 Resultado ensayo Rice

4.4.4 Cálculo de las propiedades volumétricas de las briquetas

Este cálculo es fundamental para evaluar la calidad y las características de las mezclas asfálticas (Cajas & Iglesias, 2010). Estas propiedades nos proporcionan detalles sobre la compactación, la densidad y la distribución de los vacíos en la mezcla, lo que a su vez influye en el comportamiento y la durabilidad del pavimento.

Tabla 4.4 Cálculo propiedades volumétricas de las briquetas

Briqueta	% Asfalto	Vol. Briqueta (cm ³)	D. Bulk (g/cm ³)	Gmm (g/cm ³)	V. a. %	V. agr. %	VAM %	VAF %
1	5	500,930	2,351	2,380	1,229	85,500	14,500	91,524
2	5	500,170	2,341	2,380	1,638	85,200	14,800	88,929
3	5	499,070	2,355	2,380	1,068	85,700	14,300	92,531
		PROMEDIO	2,349	2,380	1,312	85,467	14,533	90,995
4	5,5	504,250	2,372	2,448	3,090	85,900	14,100	78,085
5	5,5	499,970	2,366	2,448	3,359	85,600	14,400	76,671
6	5,5	506,900	2,329	2,448	4,842	84,300	15,700	69,161
		PROMEDIO	2,356	2,448	3,764	85,267	14,733	74,639
7	6	493,090	2,377	2,421	1,835	85,600	14,400	87,260
8	6	501,040	2,343	2,421	3,242	84,300	15,700	79,349
9	6	501,580	2,345	2,421	3,152	84,400	15,600	79,795
		PROMEDIO	2,355	2,421	2,743	84,767	15,233	82,135
10	6,5	500,200	2,386	2,405	0,771	85,500	14,500	94,685
11	6,5	499,290	2,376	2,405	1,220	85,100	14,900	91,811
12	6,5	500,740	2,368	2,405	1,534	84,800	15,200	89,910
		PROMEDIO	2,377	2,405	1,175	85,133	14,867	92,135
13	7	502,930	2,368	2,380	0,507	84,300	15,700	96,768
14	7	500,730	2,365	2,380	0,645	84,200	15,800	95,917
15	7	503,920	2,373	2,380	0,293	84,500	15,500	98,112
		PROMEDIO	2,369	2,380	0,482	84,333	15,667	96,933

5. Capítulo V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Determinación del porcentaje óptimo de asfalto

Se determina con los datos de estabilidad, peso, porcentaje de vacíos del ensayo Marshall, se procede a tabular, graficar y se determina el porcentaje óptimo. El eje de ordenas representa el porcentaje de asfalto teórico mientras que en el eje de las abscisas representa el porcentaje de vacíos.

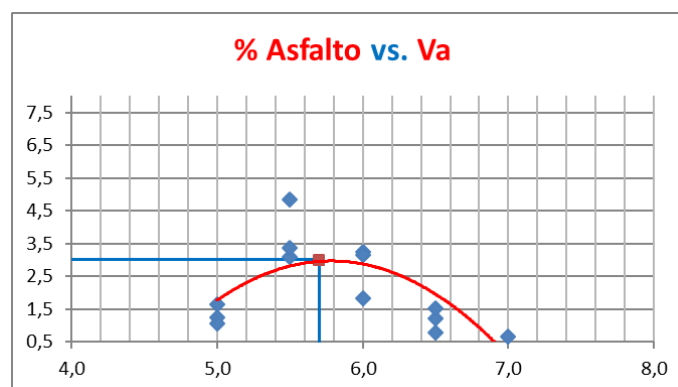


Gráfico 5.1 % Asfalto vs Va

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

Las siguientes graficas representan en el eje de ordenas el porcentaje de asfalto mientras que el eje de las abscisas representa: Densidad Bulk, Estabilidad, Flujo, Vacíos en el agregado mineral (VAM) Y Vacíos llenos de asfalto (VAF).

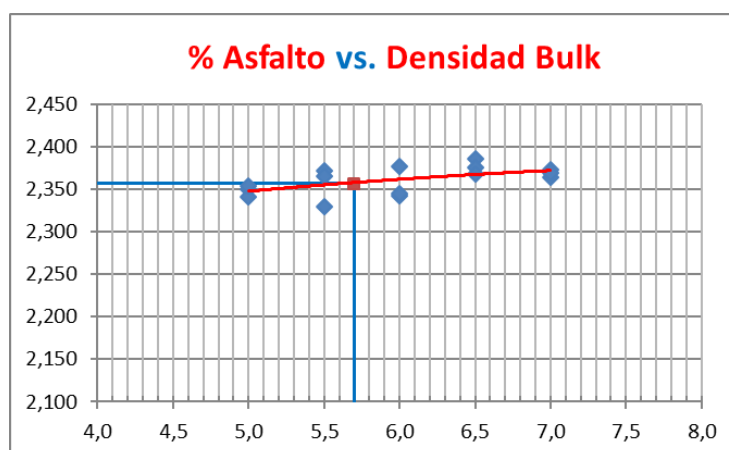


Gráfico 5.2 % Asfalto vs Densidad Bulk

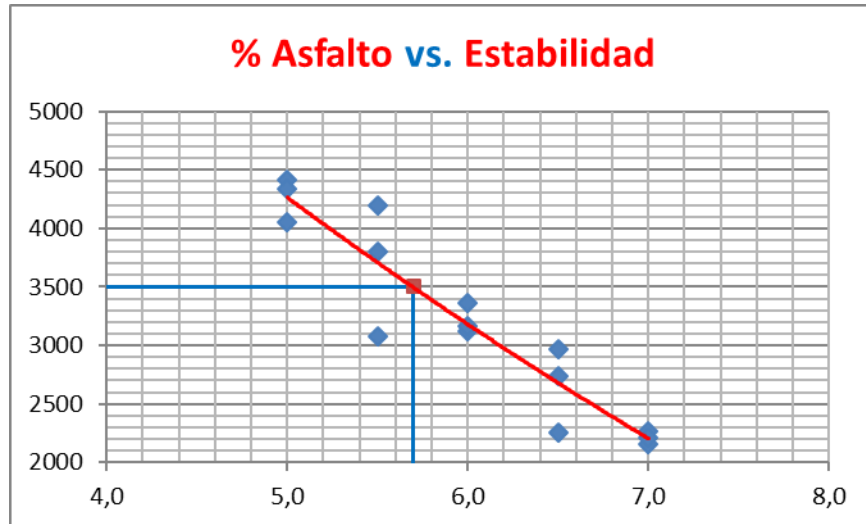


Gráfico 5.3 % Asfalto vs Estabilidad

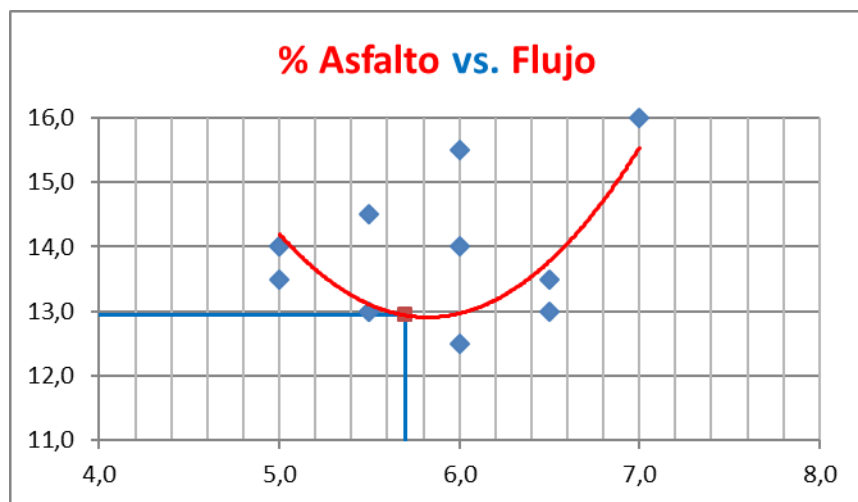


Gráfico 5.4 % Asfalto vs Flujo

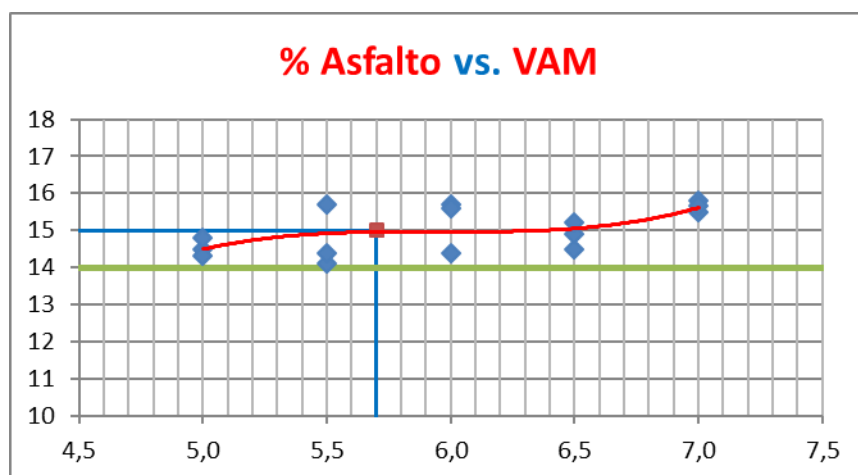


Gráfico 5.5 % Asfalto vs VAM

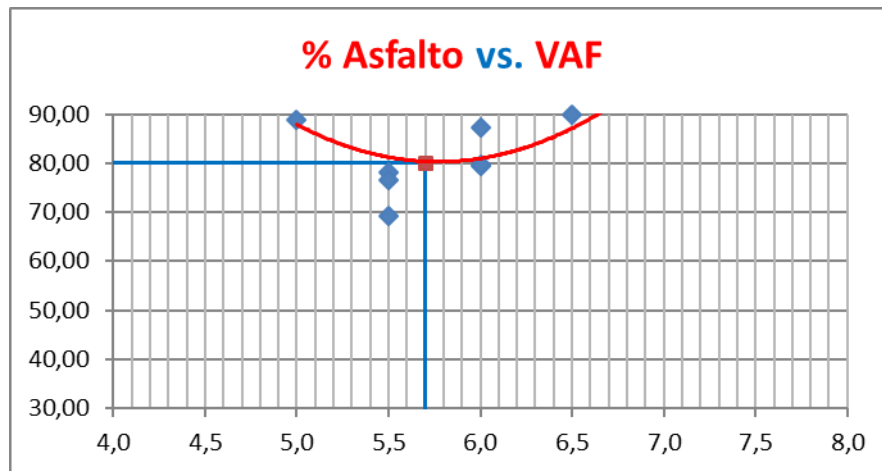


Gráfico 5.6 % Asfalto vs VAF

5.3 Diseño de mezcla asfáltica en caliente con el porcentaje óptimo de asfalto agregando el 1% de caucho.

Tabla 5.1 Comprobación diseño

Briqueta	Porcentaje de Asfalto	Peso Aire	Peso Sat. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm ³)	D. Bulk g/cm ³	Gmm g/cm ³	V. a. %	V. agr. %	VAM %	VAF %	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01"
												Medida	F Correc.	Corregida	
1	5,70	1180,18	1181,53	677,07	504,5	2,339	2,391	2,2	87,5	12,5	82,80	3200	1,04	3328	14
2	5,70	1180,78	1182,81	677,00	505,8	2,334	2,391	2,4	87,3	12,7	81,41	3440	1,04	3578	13,5
3	5,70	1181,40	1182,03	675,06	507,0	2,330	2,391	2,5	87,1	12,9	80,29	3490	1,04	3630	11,5
PROMEDIO						2,383	2,391	2,4	87,3	13	81,50			3512	13

Tabla 5.2 Comprobación diseño

Briqueta	Porcentaje de Asfalto	Peso Aire	Peso Sat. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm ³)	D. Bulk g/cm ³	Gmm g/cm ³	V. a. %	V. agr. %	VAM %	VAF %	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01"
												Medida	F Correc.	Corregida	
4	5,70	1182,12	1183,75	681,12	502,6	2,352	2,391	1,6	87,9	12,1	86,43	3300	1,04	3432	13
5	5,70	1179,11	1180,56	676,88	503,7	2,341	2,391	2,1	87,5	12,5	83,24	3370	1,04	3505	13,0
6	5,70	1166,34	1167,37	670,10	497,3	2,345	2,391	1,9	87,7	12,3	84,54	3690	1,04	3838	13,0
PROMEDIO						2,390	2,391	1,9	87,7	12	84,74			3591	13

6. Capítulo VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Durante la realización de la medición de la densidad Bulk de las briquetas, se observó que a medida que el porcentaje de asfalto aumentaba, las briquetas mostraban una mayor impermeabilidad. Como resultado, la variación del peso en superficie saturada seca con respecto al peso seco en aire disminuye progresivamente.
- Tras llevar a cabo los ensayos de propiedades mecánicas en los agregados pétreos y el asfalto AC-20, y al comparar los resultados con las especificaciones establecidas en la MOP-001F-2002, se puede concluir que tanto los agregados provenientes de la mina Naranjo López como el material bituminoso de la EPMMOP cumplen con los requisitos necesarios para la elaboración de mezclas asfálticas.
- Utilizando el dato del porcentaje teórico de asfalto, logramos determinar los otros porcentajes con los que fabricamos las briquetas. A través de ensayos, se identificó que el porcentaje óptimo final fue del 5.7%, el cual se encuentra dentro del rango recomendado del 5.5% al 7.5%.
- La mezcla final del diseño Marshall se definió y, por lo tanto, se llevó a cabo con los siguientes porcentajes: 55% de agregado fino, 15% de agregado intermedio y 30% de agregado grueso; además, se incorporó un 5.7% de asfalto. Este diseño cumple con los requisitos de estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) y porcentaje de vacíos (VA).
- Con la mezcla final de diseño establecida y la adición del 1% de polvo de caucho de forma seca, se determinó que las briquetas cumplen con los parámetros de

estabilidad y flujo. Sin embargo, no cumplen con el porcentaje permitido de volumen de vacíos en el agregado mineral ni el porcentaje de vacío (VA). Y por ende es un diseño ineficiente y no apto para el diseño de pavimentos.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda que, al realizar la mezcla entre el material pétreo y el asfalto para su posterior colocación en moldes, estos se encuentren a una alta temperatura. Además, al llevar a cabo cada paso, es crucial asegurarse de ser lo más rápido y eficiente posible para disminuir al máximo la pérdida de temperatura, evitando que esto afecte la compactación final.
- Después de realizar los ensayos de granulometría y determinar el porcentaje de cada agregado para la mezcla asfáltica, se recomienda llevar a cabo otro diseño eficiente con su respectiva combinación de agregados. De esta manera, al momento de realizar ensayos, se contarán con dos opciones, permitiendo seleccionar la más óptima.
- Aunque el diseño agregando caucho al 1% de forma seca no resultó eficiente, se recomienda continuar realizando más pruebas con diferentes variaciones en el porcentaje de caucho. Se considera que, al reducir el porcentaje, la mezcla asfáltica podría comportarse de manera más óptima.
- Se recomienda utilizar caucho obtenido en su totalidad del reciclaje. Aunque el diseño con caucho no fue eficiente, un beneficio adicional habría sido el uso de material reciclado, lo que podría contribuir a la reducción de la contaminación a nivel global.

BIBLIOGRAFÍA

- ASTM Institucional. (2010). *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Asphalts (Bitumens)*.
- ASTM Institucional. (2014). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*.
- ASTM Institucional. (2015a). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*.
- ASTM Institucional. (2015b). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*.
- 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)*.
- Cajas, V., & Iglesias, A. (2010). *Utilización de escorias siderúrgicas para el mejoramiento de mezclas asfálticas en frío* [Pontificia Universidad Católica del Ecuador].
<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/3594>
- Flexicon Corporation. (2015). *Caucho Granulado*. Flexicon Corporation.
<https://www.flexicon.es/Materiales-Manejados/Caucho-Granulado.html#:~:text=El caucho granulado%2C también conocido,como suciedad%2C alambres y borra>
- Instituto del Asfalto. (1997). *Métodos de diseño de mezclas para concreto asfáltico y otros tipos de mezclas en caliente* (Instituto del Asfalto (ed.); 6th ed.).
https://books.google.com.ec/books/about/Mix_Design_Methods_for_Aspalt_Concrete.html?id=87ziAAAAMAAJ&redir_esc=y
- Jácome, K., & Paz, C. (2021). *Comportamiento de las mezclas asfálticas tibias utilizando*

- residuos de acero con agregados de la mina de Pifo* [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/19254>
- Lara, L. (2018). *Guía de prácticas de laboratorio*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP - 001-F 2002*. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf
- Padilla, A. (2004). Materiales Básicos Capítulo 2. In *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3334>
- Páez, A., & Valarezo, A. (2015). *Diseño de mezclas asfálticas en caliente con adición de caucho pulverizado por vía húmeda* [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8489/Antonio_Paez%2C_Alberto_Valarezo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Smith, J. (2018). *Materiales de construcción en ingeniería civil*. Editorial ABC.
- Terán, L. (2015). *Diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados de la mina Cashapamba con metodología Marshall* [Universidad Internacional del Ecuador]. <https://n9.cl/824of>
- Veropalumbo, R., Viscione, N., & Formisano, A. (2018). Mezcla de asfalto en caliente con cenizas volantes para capas superficiales densas de carreteras rurales. *Transacciones WIT Sobre Ecología y Medio Ambiente, 2015*, 93–105. <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/215/36704>
- Yáñez, G. (2018). *Guía de prácticas de campo*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

ANEXOS

ÁREA DE PAVIMENTOS
HOJA DE CAMPO
PENETRACIÓN DE MATERIALES BITUMINOSOS

NORMA DE REFERENCIA: ASTM D5/D5M - 13

FECHA DE ENSAYO:

RECEPCIÓN N°

MUESTRA:

Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	M.L
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)	66	64	65	65

Especificación del producto:

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

OBSERVACIONES:

 Responsable de ensayos

Anexo 1. Datos del ensayo de penetración del asfalto



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Laboratorio de Materiales de Construcción



LMC-MPT-5.4-AP-2-R1

ÁREA DE PAVIMENTOS
ENSAYO DE DUCTILIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS

ORDEN DE TRABAJO N° FECHA DE ENSAYO:

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

TEMPERATURA DE ENSAYO (°C):

ADITIVO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA:

NÚMERO DE RÉPLICAS:

DISTANCIA DE ROTURA (cm):

D1

D2

D3

ENSAYO NORMAL:

SI NO

SI NO

SI NO

OBSERVACIONES:

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD:

ENSAYO

INFORME

**ÁREA DE PAVIMENTOS
HOJA DE CAMPO**

DENSIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS SEMISÓLIDOS (MÉTODO DEL PICNÓMETRO)

RECEPCIÓN N° _____

FECHA DE ENSAYO: _____

HOJA: _____

NORMA DE REFERENCIA: ASTM D70

Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	M 1
Temperatura de ensayo	25°C

Serie del picnómetro (N°)	41
Masa del picnómetro + tapon secos (A)	32,784
Masa del picnómetro + tapon + agua destilada (B)	61,992
Masa del picnómetro + tapon + asfalto (C)	54,093
Masa del picnómetro + tapon + asfalto + agua destilada (D)	62,262

Resultados:

Gravedad específica (a la milésima) $(C-A) / ((B-A) - (D-C))$ (E)	1,013
Densidad del agua a la temperatura de ensayo (kg/m ³) (F)	997,0
Densidad de la muestra (kg/m ³) (E * F)	1009,795

Información de la muestra:

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

Nota: _____

Laboratorista

Anexo 3. Datos del ensayo de gravedad específica método del picnómetro 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: _____

Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	M1
Líquido usado en el baño	agua

Registros de la muestra:

	Anillo 1	Anillo 2	Promedio
Punto de ablandamiento, °C	50,50	50,60	50,55

OBSERVACIONES:

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

PROYECTO: _____
RECEPCIÓN: _____
HOJA: _____

Briqueta / Nucleo	Descripción	Espesor del espécimen (mm)	Diámetro del espécimen (mm)	Peso en aire (gr)	Peso en agua (gr)	Peso sat. sup. seca (gr)	D. Bulk g/cm ³	Volumen Briqueta Vol.	Gmm /cm ³	Vacíos aire %	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01
											Medida	F. Correc.	Corregida	
1		63.79	101.45	1177.56	679.26	1180.19								
2		62.77	102.47	1170.90	674.4	1174.57								
3		62.78	101.55	1175.10	677.53	1176.60								
4		62.36	101.87	1196.26	692.69	1196.94								
5		62.84	101.37	1182.81	683.85	1183.82								
6		64.07	101.67	1180.81	675.92	1182.82								
7		60.95	101.57	1171.87	678.82	1171.91								
8		61.09	101.62	1173.69	672.66	1173.70								
9		61.44	101.71	1176.05	674.66	1176.24								

Laboratoria

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

PROYECTO: _____
RECEPCIÓN: _____
HOJA: _____

Briqueta / Nucleo	Descripción	Espesor del espécimen (mm)	Diámetro del espécimen (mm)	Peso en aire (gr)	Peso en agua (gr)	Peso sat. sup. seca (gr)	D. Bulk g/cm ³	Volumen Briqueta Vol.	Gmm /cm ³	Vacíos aire %	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01
											Medida	F. Correc.	Corregida	
10		61.83	101.85	1193.71	693.67	1193.87								
11		62.45	101.41	1186.14	687.32	1186.61								
12		62.10	101.46	1185.81	685.56	1186.30								
13		62.13	101.81	1190.9	688.08	1191.01								
14		62.37	101.45	1184.05	683.45	1184.18								
15		62.92	101.47	1195.82	692.04	1195.96								

Laboratoria

Anexo 5. Datos de gravedad específica Bulk sin caucho

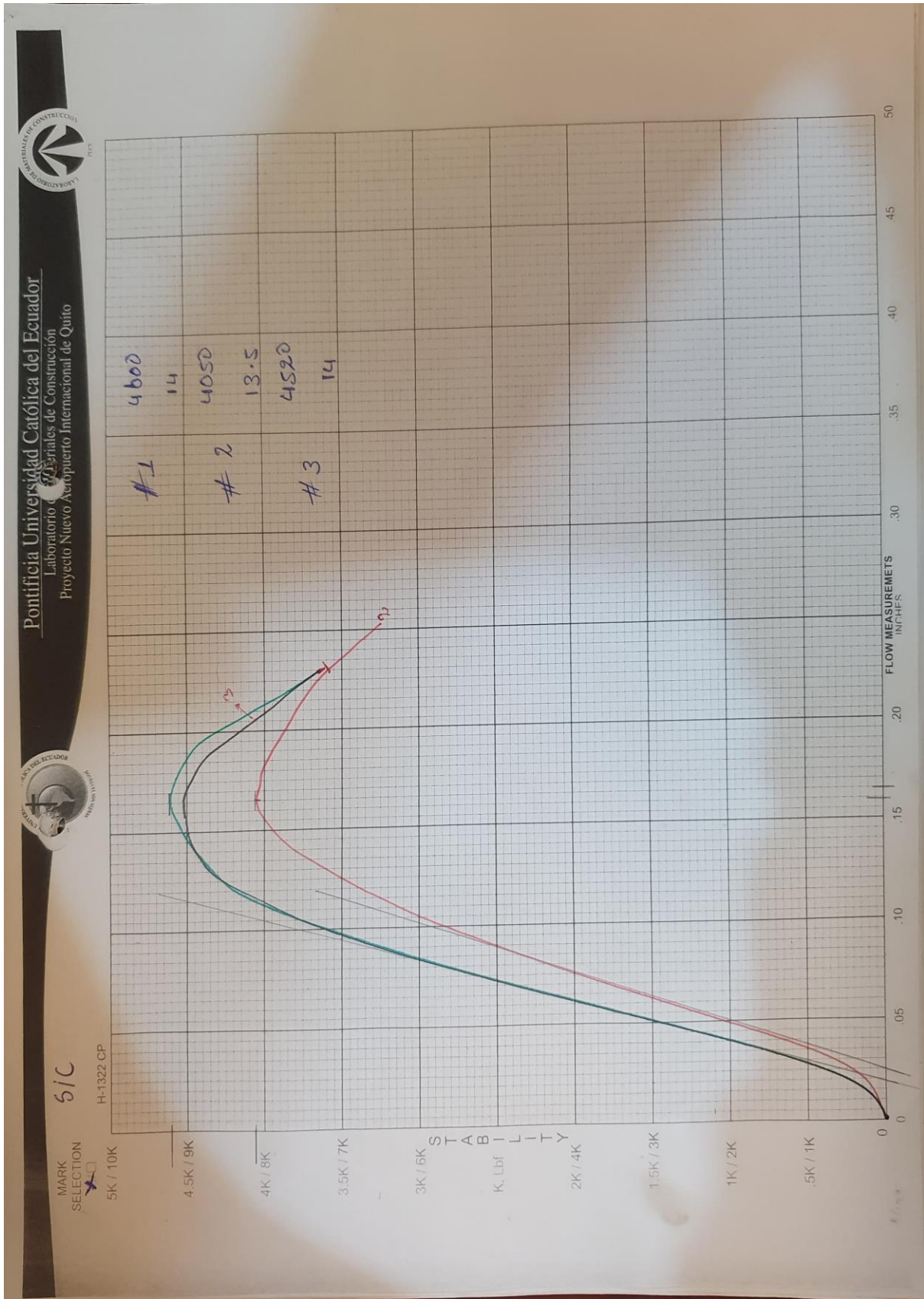
ÁREA DE PAVIMENTOS
FORMATO DE CAMPO
Gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas en caliente compactadas (HMA) usando especímenes SSS
Método de Ensayo Normalizado para Estabilidad y Flujo de Mezclas Bituminosas

PROYECTO: _____
RECEPCIÓN: _____
HOJA: _____

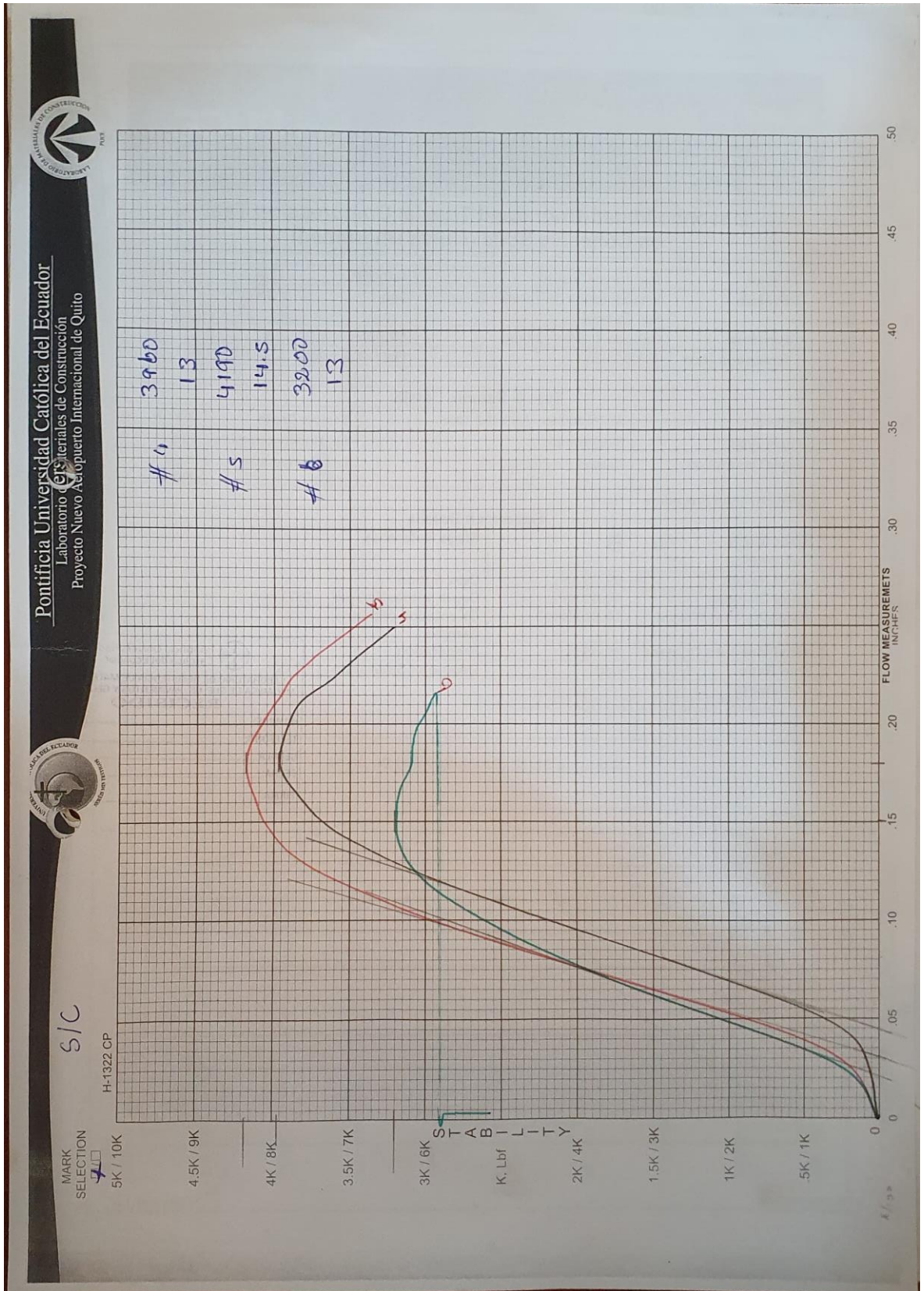
Briqueta / Nucleo	Descripción	Espesor del espécimen (mm)	Diametro del espécimen (mm)	Peso en aire (gr)	Peso en agua (gr)	Peso sat. Sup.seca (gr)
1		63.74	101.25	1180.18	677.07	1181.53
2		64.73	101.65	1180.78	677.00	1182.81
3		64.16	101.78	1181.40	675.06	1182.03
4		64.13	101.52	1182.12	681.12	1183.75
5		64.30	102.15	1179.11	676.88	1180.56
6		64.04	101.83	1166.34	670.10	1167.37

C/C

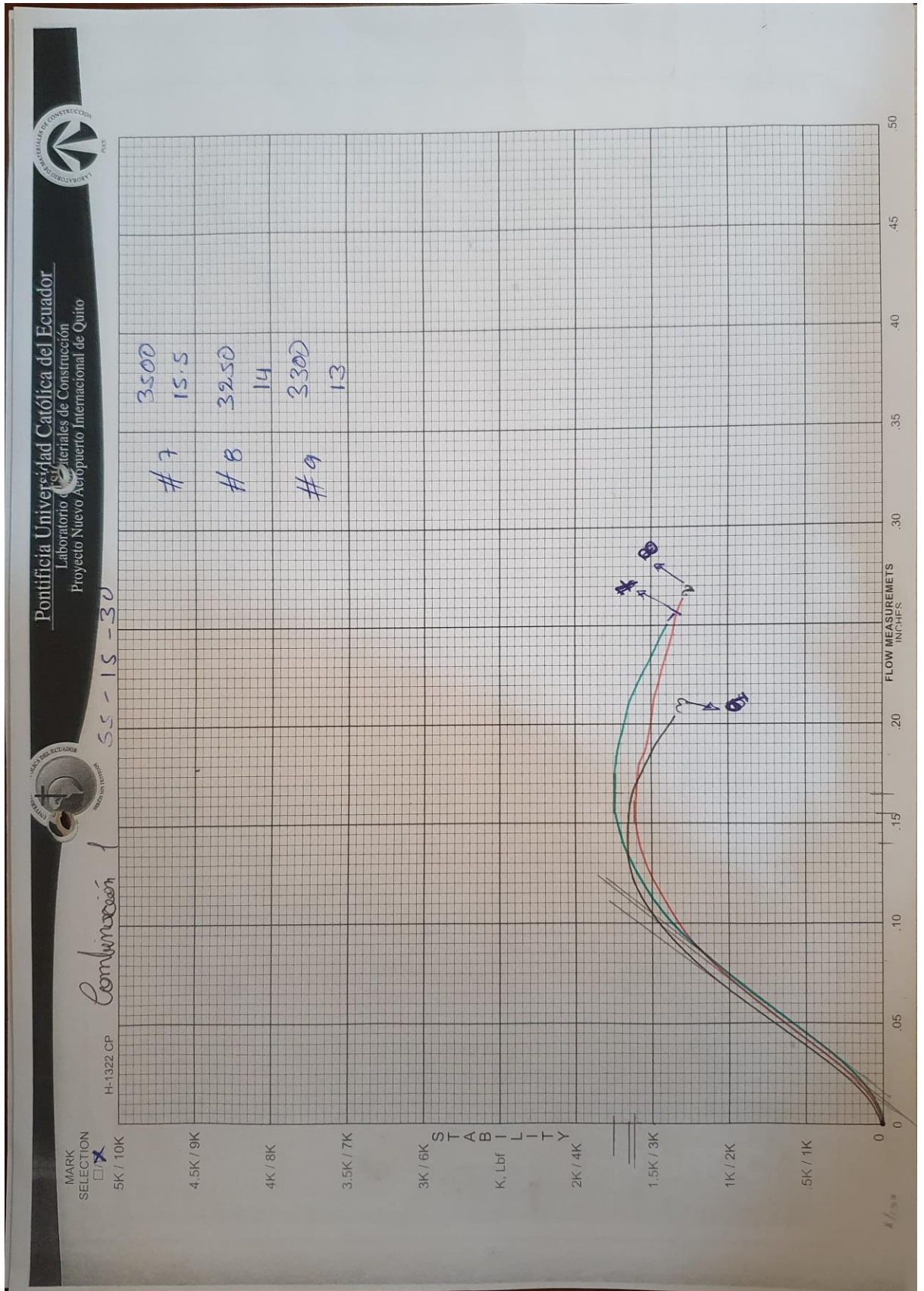
Anexo 6. Datos de gravedad específica Bulk con caucho



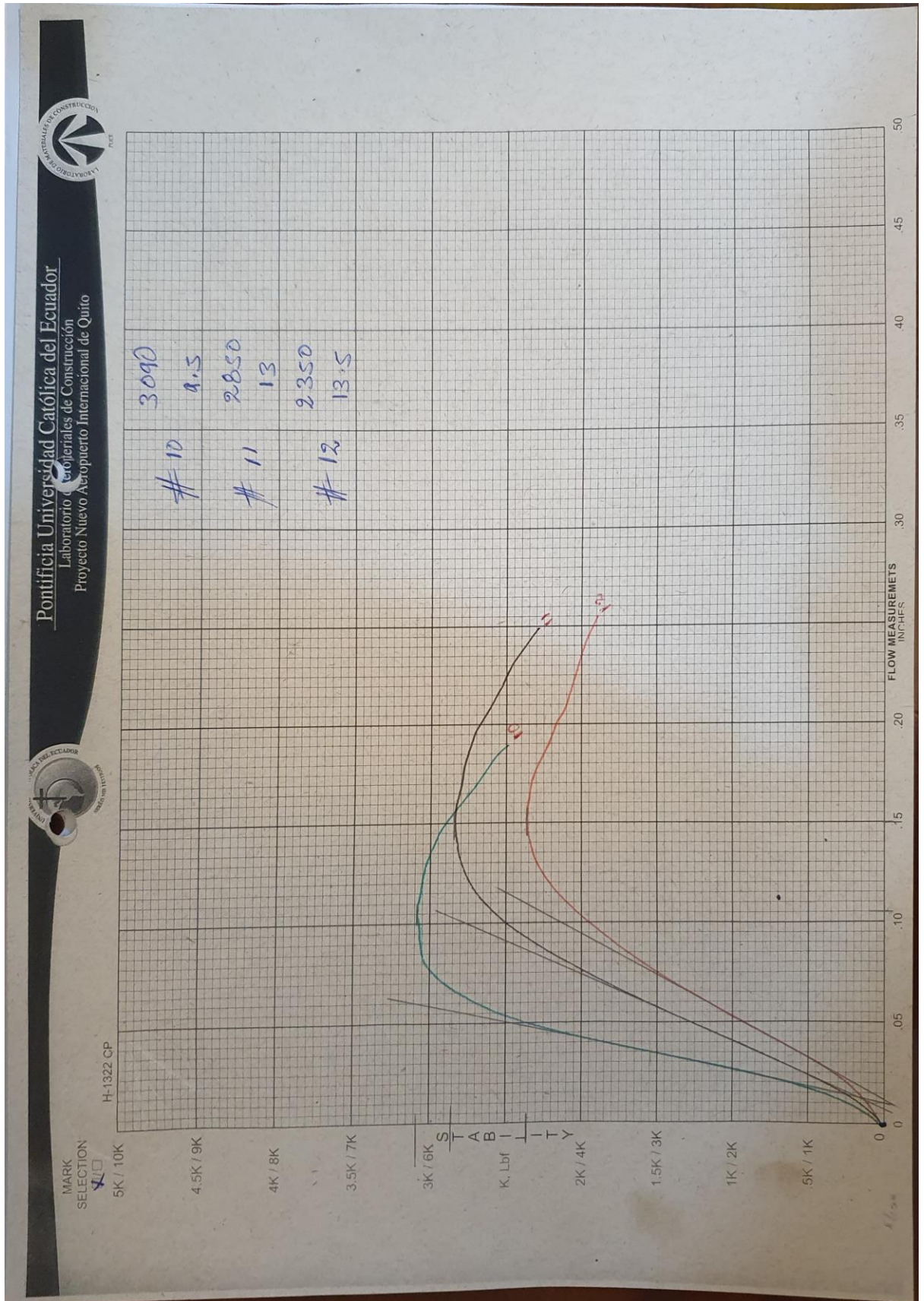
Anexo 7. Curva de estabilidad y flujo con un 5% de asfalto



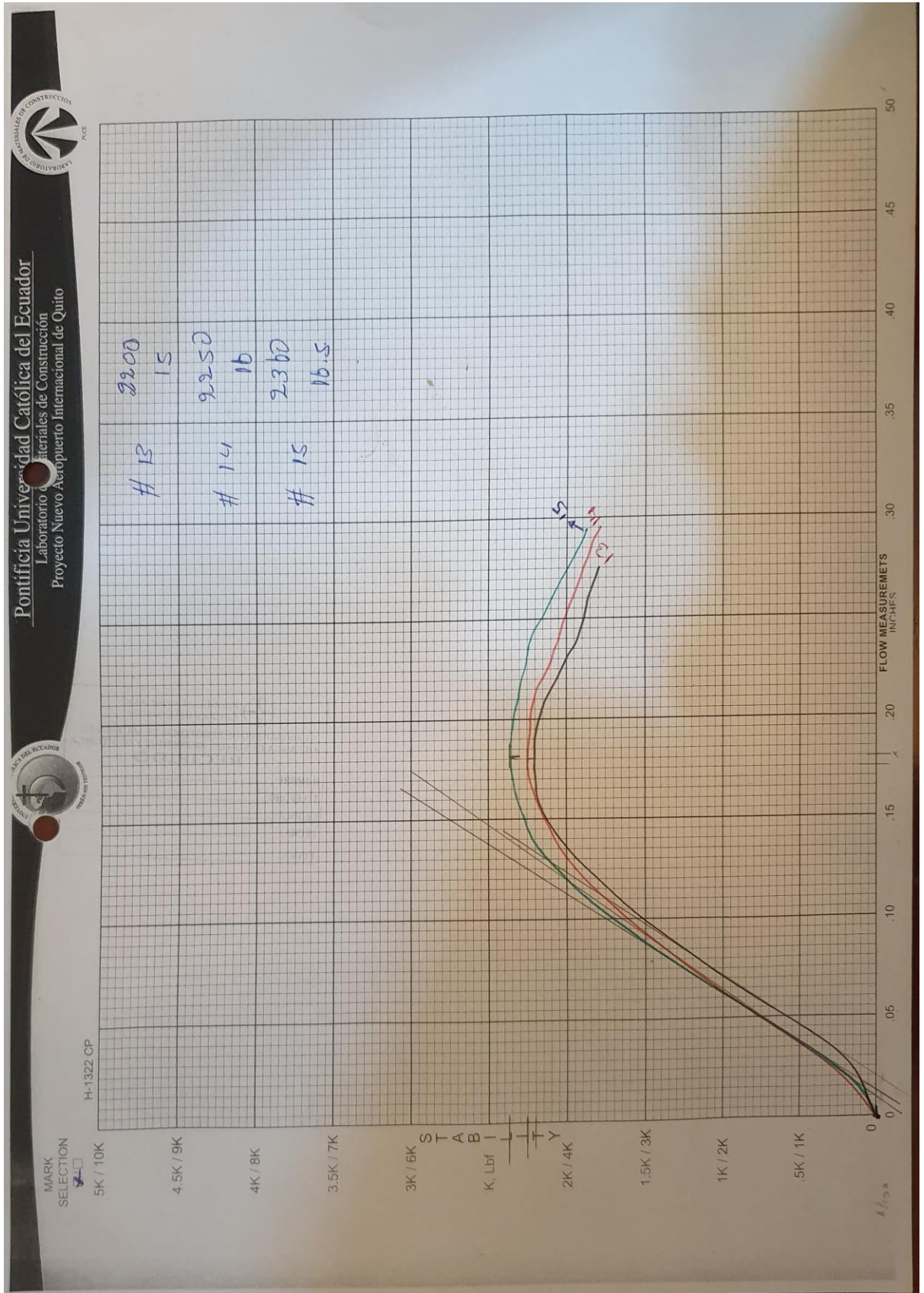
Anexo 8. Curva de estabilidad y flujo con un 5.5% de asfalto



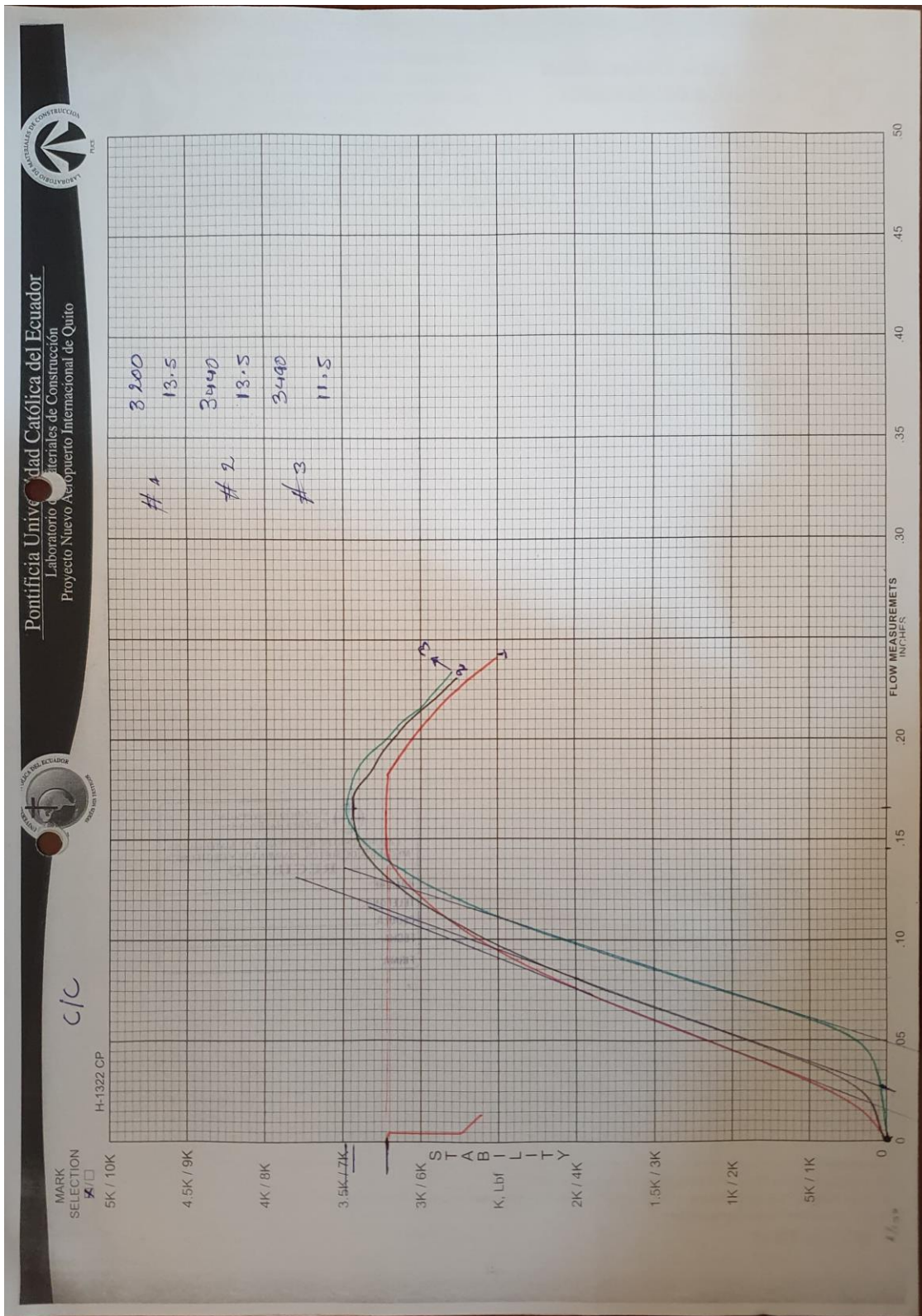
Anexo 9. Curva de estabilidad y flujo con un 6% de asfalto



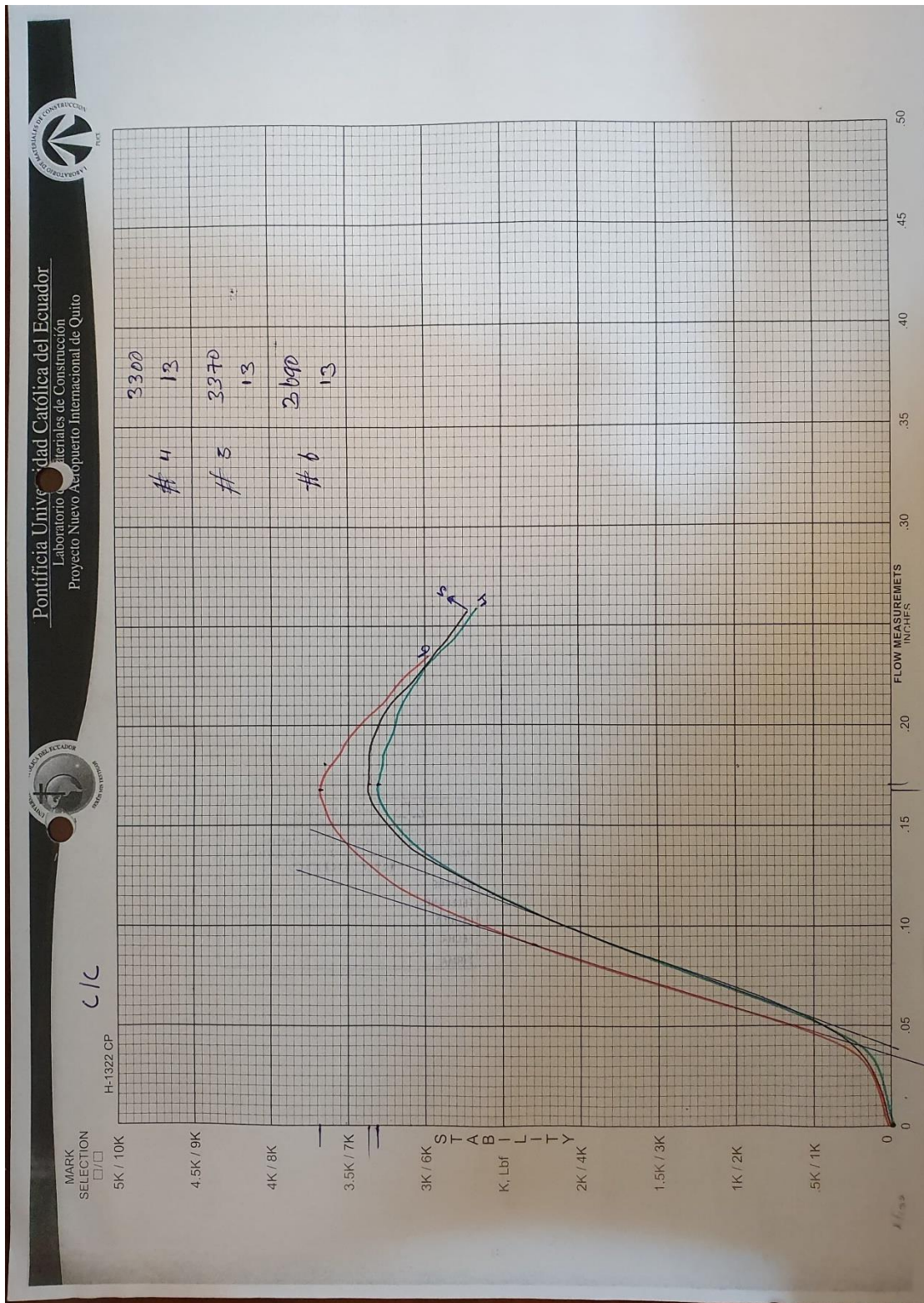
Anexo 10. Curva de estabilidad y flujo con un 6.5% de asfalto



Anexo 11. Curva de estabilidad y flujo con un 7% de asfalto



Anexo 12. Curva de estabilidad y flujo con un 5.7% de asfalto y polvo de caucho de las briquetas N.1; N.2 y N.3



Anexo 13. Curva de estabilidad y flujo con un 5.7% de asfalto y polvo de caucho de las briquetas N.4; N.5 y N.6