

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

“MEJORAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CON LA ADICIÓN
DEL RESIDUO DE CAUCHO OBTENIDO TRAS SU REMOCIÓN DE LA
PISTA DE ATERRIZAJE DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL
MARISCAL SUCRE, POR VÍA SECA”

NOMBRES:

ADRIANA PAOLA MUÑOZ LÓPEZ

MARÍA FERNANDA ORQUERA GUERRERO

DIRECTOR: ING. GUSTAVO YÁNEZ CAJAS

QUITO, 2018

DEDICATORIA

Este gran proceso se lo quiero dedicar a mi papá, mamá y hermana. A mis padres por el gran esfuerzo que hacen cada día para que mi hermana y yo tengamos un mejor futuro, por su gran sacrificio en las grandes jornadas de trabajo. Y a mi hermana porque siempre ha tenido las palabras exactas para levantarme el ánimo, para ayudarme en muchas labores de la universidad. A ellos les dedico este trabajo que ha sido también un gran esfuerzo mío y de mi compañera de trabajo.

Adriana Muñoz López

A mi Esposo Santiago Vega M. por haber sido el principal soporte en este camino, por sus palabras, consejos y sobre todo nunca dejar de recordarme que todo esfuerzo tiene su recompensa.

María Fernanda Orquera Guerrero

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi papá, mamá y hermana, porque siempre han estado a mi lado dando ánimos para poder culminar con éxito esta gran etapa y este gran sueño.

A mi director y correctores porque siempre estuvieron dispuestos a desarrollar mi conocimiento de esta hermosa profesión, por guiarnos en este proceso.

A los ayudantes de laboratorio de hormigones Paúl y de pavimentos Carlos porque siempre tuvieron la predisposición de colaborar y compartir sus conocimientos en el laboratorio.

A Dios y a la Virgen por poner en mi camino a las mejores personas que han sabido aconsejarme y guiarme en este gran camino.

Adriana Muñoz López

Agradezco a Dios, por haberme permitido culminar con éxito esta meta dándome las fuerzas necesarias para superar cualquier obstáculo.

A mi Esposo, por ser mi apoyo y pilar incondicional durante todo este tiempo.

Un agradecimiento especial a mi director Ing. Gustavo Yáñez y mis correctores Ing. Patricio Castro e Ing. Patricio Bonilla por el apoyo y confianza para el desarrollo exitoso de esta disertación.

María Fernanda Orquera Guerrero

Contenido

RESUMEN	xi
1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.3 OBJETIVOS	1
1.3.1 Objetivo General	1
1.3.2 Objetivo Específico	2
1.4 MARCO TEÓRICO.....	2
1.4.1 Métodos para el diseño de mezclas asfálticas en caliente	3
1.4.1.1 Método Marshall	4
1.4.2 Módulo de rigidez.....	5
1.5 HIPOTESIS.....	5
1.6 OBTENCIÓN DEL AGREGADO Y ASFALTO	6
1.6.1 Ubicación de la planta	6
2. CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	7
2.1 Ensayos a los agregados.....	7
2.1.1 Análisis granulométrico (agregado grueso y fino)	7
2.1.2 Gravedad específica.....	10
2.1.3 Abrasión: máquina de los Ángeles.....	11
2.1.4 Desgaste a los sulfatos.....	13
2.1.5 Equivalente de arena del agregado fino.....	14

2.1.6	Análisis granulométrico (residuo de caucho)	15
2.2	Resumen de resultados caracterización agregados	16
2.3	Ensayos al asfalto.....	17
2.3.1	Viscosidad absoluta, 60°C.....	17
2.3.2	Viscosidad cinemática, 135°C.....	17
2.3.3	Viscosidad rotacional, 135°C.....	18
2.3.4	Punto de inflamación y combustión	18
2.3.5	Gravedad específica, 25°C	19
2.3.6	Índice de penetración.....	20
2.3.7	Punto de ablandamiento	20
2.3.8	Película delgada en horno rotatorio.....	20
2.3.9	Viscosidad, 60°C del (RTFO)	21
2.3.10	Ductilidad, 25°C, 5 cm/min.....	22
2.4	Resumen de resultados caracterización al asfalto	23
3.	CAPÍTULO III: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA NO MODIFICADA EN CALIENTE.....	24
3.1	Determinación de las fracciones disponibles de agregados para el diseño de mezclas asfálticas.....	24
3.1.1	Determinación del porcentaje en peso que pasa a través de los tamices para la mezcla asfáltica en caliente para el diseño, de acuerdo con el método Marshall.	24
3.1.2	Determinación y mezcla de las fracciones disponibles de agregados para el diseño de mezclas asfálticas.....	25
3.2	Determinación del contenido de cemento asfáltico	26
3.3	Diseño de mezcla asfáltica no modificada en caliente, obtención parámetros Marshall.....	27

3.3.1	Gravedad específica bulk para el agregado total	29
3.3.2	Gravedad Específica Efectiva del Agregado (Gse)	30
3.3.3	Máxima Gravedad Específica de las mezclas con diferentes contenidos de asfalto (Gmm)	31
3.3.4	Gravedad específica aparente	32
3.3.5	Porcentaje de VAM en la mezcla asfáltica compactada.....	32
3.3.6	Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada	33
3.3.7	Porcentaje VAF en Mezcla compactada.....	33
3.3.8	Ensayo de estabilidad y flujo.....	35
3.3.9	Determinación del porcentaje óptimo de asfalto	37
3.4	Ensayo módulo de rigidez.....	42
4.	CAPÍTULO V: DISEÑO MEZCLA MODIFICADA	48
4.1	Elaboración de briquetas modificadas con el contenido óptimo de asfalto y resultados de parámetros Marhsall.....	48
4.2	Diseño de mezcla asfáltica modificada en caliente, obtención parámetros Marshall.....	48
4.2.1	Gravedad Específica Efectiva del Agregado (Gse)	48
4.2.2	Máxima Gravedad Específica de la mezcla, para diferentes contenidos de residuo de caucho (Gmm)	48
4.2.3	Propiedades Volumétricas	49
4.2.4	Ensayo de estabilidad y flujo.....	51
4.2.5	Determinación de Mezcla óptima.....	52
4.3	Ensayo módulo de rigidez.....	55
5.	CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
5.1	Conclusiones	59

5.2 Recomendaciones	61
BIBLIOGRAFÍA.....	62
ANEXOS.....	64

Índice tablas

Tabla 2.1 Tamaño de tamices	7
Tabla 2.2 Granulometría agregado grueso 3/4	8
Tabla 2.3 Granulometría agregado grueso 1/2	8
Tabla 2.4 Granulometría agregado fino 1/4.....	9
Tabla 2.5 Gravedad específica agregado grueso 3/4	10
Tabla 2.6 Gravedad específica agregado grueso 1/2	11
Tabla 2.7 Gravedad específica agregado fino 1/4	11
Tabla 2.8 Abrasión agregado grueso 3/4.....	12
Tabla 2.9 Abrasión agregado grueso 1/2.....	12
Tabla 2.10 Desgaste a los sulfatos agregado grueso 3/4	13
Tabla 2.11 Desgaste a los sulfatos agregado grueso 1/2	13
Tabla 2.12 Desgaste a los sulfatos agregado fino 1/4.....	14
Tabla 2.13 Equivalente de arena agregado fino	14
Tabla 2.14 Granulometría polvo de caucho.....	15
Tabla 2.15 Resumen resultados de la caracterización de los agregados comparado con la norma MOP-001-F 2002	16
Tabla 2.16 Viscosidad absoluta, 60°C.....	17
Tabla 2.17 Viscosidad cinemática.....	18
Tabla 2.18 Punto de inflamación.....	19

Tabla 2.19 Gravedad específica del asfalto	19
Tabla 2.20 Índice de penetración.....	20
Tabla 2.21 Película delgada en horno rotatorio	21
Tabla 2.22 Viscosidad absoluta 60°C, RTFO	21
Tabla 2.23 Ductilidad	22
Tabla 2.24 Resumen de resultados de la caracterización al asfalto comparado con la norma NTE INEN 2515:2014.....	23
Tabla 3.1 Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices.	24
Tabla 3.2 Peso necesario en cada tamiz para la mezcla.	25
Tabla 3.3 Porcentaje de agregado para la mezcla.....	25
Tabla 3.4 Rangos en peso para cada tamiz.....	25
Tabla 3.5 Porcentaje óptimo de asfalto	27
Tabla 3.6 Porcentajes a utilizarse en la mezcla	27
Tabla 3.7 Criterios Marshall.....	29
Tabla 3.8 Gravedad específica Bulk.....	30
Tabla 3.9 Gravedad específica efectiva.....	30
Tabla 3.10 Gravedad específica máxima agregado total.....	31
Tabla 3.11 Gravedad específica aparente	32
Tabla 3.12 Resumen propiedades volumétricas de la mezcla normal.....	34
Tabla 3.13 Resumen resultados estabilidad y flujo	36
Tabla 3.14 Tabla de resumen resultados propiedades Marshall mezcla normal	39
Tabla 3.15 Parámetros Marshall rangos mínimos y máximos Instituto del Asfalto y MOP – 001 – F 2002	40
Tabla 3.16 Rangos VMA Instituto del Asfalto y MOP – 001 – F 2002.....	40

Tabla 3.17 Criterios de Diseño Marshall norma FAA AC 150/5370-10G.....	41
Tabla 3.18 Rangos VMA FAA AC 150/5370-10G.....	41
Tabla 3.19 Parámetros Módulo de Rigidez mezcla normal probeta 1.....	43
Tabla 3.20 Parámetros Módulo de Rigidez mezcla normal probeta 2.....	45
Tabla 3.21 Módulo de rigidez promedio muestra normal	46
Tabla 4.1 Gravedad específica efectiva para mezcla modificada.....	48
Tabla 4.2 Gravedad específica máxima agregado total para mezcla modificada.....	48
Tabla 4.3 Resumen de propiedades volumétricas mezcla modificada 25%-50%	49
Tabla 4.4 Resumen de propiedades volumétricas mezcla modificada 75%-100%	50
Tabla 4.5 Resumen resultados estabilidad y flujo para cada porcentaje mezcla modificada....	51
Tabla 4.6 Resumen propiedades Marshall mezcla modificada	52
Tabla 4.7 Parámetros Marshall óptimos de la mezcla.....	54
Tabla 4.8 Parámetros Módulo de Rigidez mezcla modificada probeta 1.....	55
Tabla 4.9 Parámetros Módulo de Rigidez mezcla modificada probeta 2.....	57
Tabla 4.10 Módulo de rigidez promedio muestra modificada	58

Índice de figuras

Figura 1.1 Sistema multicapa elástico para el análisis de pavimentos	5
Figura 1.2 Ubicación planta Naranja López Constructores Cía. Ltda.....	6
Figura 2.1 Curva granulométrica agregado grueso 3/4	8
Figura 2.2 Curva granulométrica agregado grueso 1/2	9
Figura 2.3 Curva granulométrica agregado fino 1/4.....	10
Figura 2.4 Curva granulométrica polvo de caucho.....	15
Figura 3.1 Granulometría por mallas, especificación del rango para la mezcla.....	26
Figura 3.2 Porcentaje de asfalto vs. Densidad bulk.....	37
Figura 3.3 Porcentaje de asfalto vs. Flujo	37
Figura 3.4 Porcentaje de asfalto vs. Va	38
Figura 3.5 Porcentaje de asfalto vs. VAM.....	38
Figura 3.6 Porcentaje de asfalto vs. VAF.....	38
Figura 3.7 Porcentaje de asfalto vs. Estabilidad.....	39
Figura 3.8 Forma de pulso de carga y factor de área de carga	42
Figura 3.9 Respuesta de carga probeta 1	44
Figura 3.10 Respuesta de carga probeta 2	46
Figura 4.1 Porcentaje de residuo de caucho vs. Flujo mezcla modificada.....	52
Figura 4.2 Porcentaje de residuo de caucho vs. Densidad bulk mezcla modificada	53
Figura 4.3 Porcentaje de residuo de caucho vs. Va mezcla modificada.....	53
Figura 4.4 Porcentaje de residuo de caucho vs. VAM mezcla modificada.....	53
Figura 4.5 Porcentaje de residuo de caucho vs. VAF mezcla modificada	54
Figura 4.6 Porcentaje de residuo de caucho vs. Estabilidad mezcla modificada	54

Figura 4.7 Respuesta de carga mezcla modificada probeta 1	56
Figura 4.8 Respuesta de carga mezcla modificada probeta 2	58

RESUMEN

En la pista del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre se realizan actividades de remoción de caucho, con la finalidad de mantener los niveles de rozamiento establecidos en la regulación nacional Norma RDAC 153. Es así que cada cierto tiempo se realiza una eliminación de depósito de caucho con agua a una determinada presión que no afecte la superficie del pavimento. Existen otros métodos de remoción, empleando químicos y uno mixto, que involucra el uso de químicos y agua a presión; cabe mencionar que los productos químicos empleados son amigables con el ambiente. Bajo este antecedente, nace la pregunta si el caucho removido es apto o no para reutilizarlo.

En la presente disertación se realiza el estudio del comportamiento del pavimento con este residuo, seleccionando agregados y asfalto utilizados para trabajos del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, y el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha.

Como primera parte se realiza la caracterización de los agregados grueso 3/4, 1/2, fino 1/4, y el asfalto, con esto se conoce si los materiales cumplen con los requerimientos fijados en las normas: Especificaciones Generales Para la Construcción de Caminos y Puentes-MOP-001-F-2002 y NTE INEN 2515:2014 respectivamente, que se utiliza actualmente en el país.

El siguiente paso es determinar la cantidad de asfalto óptimo necesario para la mezcla, esto se hace a partir de la granulometría de los agregados, de igual manera esto se rige bajo la norma Mix Design Asphalt del Instituto del Asfalto.

Se emplea el método Marshall para determinar el contenido óptimo de asfalto para una mezcla particular de agregados.

Se realiza una mezcla modificada, añadiendo a la original de esta investigación, una cantidad de residuo de caucho extraído de la pista del Aeropuerto de Quito y se efectúan los parámetros Marshall de estabilidad, flujo y propiedades volumétricas, que permitan determinar el porcentaje óptimo de residuo de caucho

Finalmente, se realiza el ensayo de módulo de rigidez a las briquetas de ambas mezclas con la finalidad de que determinar el comportamiento del pavimento en sitio.

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 JUSTIFICACIÓN

El análisis e investigación del comportamiento de mezclas asfálticas convencionales modificadas; con polvo de caucho obtenido de llantas, por vía seca se ha venido desarrollando desde hace varios años con la finalidad de obtener pavimentos cuyas propiedades de estabilidad y flujo aumenten.

Es por esta razón que la presente disertación de grado pretende realizar una investigación sobre el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas convencionales adicionando por vía seca residuos de caucho obtenidos de la remoción de la pista de aterrizaje del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre. El propósito es mejorar las características mecánicas de mezclas asfálticas convencionales que podrían ser empleadas como parte del mantenimiento vial, así como la reutilización de este material una vez que haya sido removido del pavimento de la pista.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación por caucho sobre una superficie pavimentada se produce por el roce existente entre los neumáticos de las aeronaves y el asfalto al momento del aterrizaje. Por seguridad operacional este material es retirado de la pista, lo que permite alcanzar adecuado nivel de rozamiento según lo establecen Las Regulaciones Técnicas RDAC Parte 153.

Este material es removido de la pista del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre mediante un proceso de agua a presión que contribuye con el ambiente; existen otras alternativas empleadas para este propósito como la remoción de caucho mediante el uso de químicos, remoción de caucho mixta que combina el uso de químicos y el agua a presión.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Determinar y analizar el mejoramiento de las propiedades mecánicas en mezclas asfálticas convencionales adicionando residuo de caucho obtenido de la limpieza de la pista de aterrizaje del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre por vía seca.

1.3.2 Objetivo Específico

- Caracterizar el residuo de caucho proveniente de la limpieza de la pista de aterrizaje del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre, para establecer proporciones dentro de la granulometría del árido de la mezcla.
- Analizar y comparar el comportamiento dinámico de las mezclas asfálticas en caliente con y sin residuo de caucho por vía seca.

1.4 MARCO TEÓRICO

“La mezcla asfáltica la constituye un material pétreo recubierto con una película de asfalto, uniformemente combinados, en proporciones previamente especificadas. Las cantidades relativas de estos materiales, determinan las propiedades y características de la mezcla” (Ramírez, 2006, p. 11).

El caucho proveniente de los neumáticos desechados, puede ser incorporado en las mezclas asfálticas por medio de tres métodos diferentes denominados: proceso por Vía Húmeda, proceso por Vía Seca y proceso en Refinería.

Mezcla asfáltica con la adición de residuo de caucho por Vía Seca

El proceso de adición de residuo de caucho por vía seca forma parte de los agregados, como un árido más o como el reemplazo de una parte del agregado fino, antes de adicionar el cemento asfáltico.

Mezcla asfáltica con la adición de residuo de caucho por Vía Húmeda

El proceso de adición de residuo de caucho por vía húmeda forma parte del cemento asfáltico, se lo realiza pre-mezclando ambos componentes a una temperatura de 175°C a 210°C.

Mezcla asfáltica con la adición de residuo de caucho por Refinería

El proceso de adición de residuo de caucho con el cemento asfáltico por Refinería es realizado en la planta de asfalto, luego se transporta a obra donde será mezclado con los agregados para producir la mezcla asfáltica.

En la presente disertación se realizará el proceso por el método de vía seca, mediante el cual, el caucho reciclado es mezclado con los agregados, antes de adicionar el cemento asfáltico. En este proceso, se usan los granos de caucho como un agregado en la mezcla asfáltica, el cual es sumado como un sustituto de una pequeña parte del agregado fino (Fajardo, Vergaray, 2014, p. 62).

Si bien los granos de caucho son tratados como un árido, no pueden considerarse un material inerte, pues interacciona con el ligante de la mezcla asfáltica. Este proceso de interacción suele llamarse “digestión” del caucho. Mediante este proceso, el caucho pasa de ser un árido elástico a ser un modificador del ligante en la mezcla asfáltica (Fajardo, Vergaray, 2014, p. 62).

“Existen distintas tecnologías de incorporación de polvo de neumáticos en la mezcla asfáltica, pero existen ciertas ventajas que son comunes para ambos casos. Entre estas ventajas, se encuentra la mejora en la resistencia a las deformaciones plásticas” (Fajardo, Vergaray, 2014, p. 65).

Según la literatura, el uso de partículas gruesas de caucho como un agregado en la mezcla asfáltica puede mejorar el desempeño de la misma. Las partículas de caucho que quedan expuestas en la superficie del pavimento tienen una función importante al impedir que los neumáticos de los vehículos se deslicen sobre el pavimento, al ofrecer un mejor agarre, y las que quedan dentro del cuerpo de la mezcla, ayudan a retardar el fisuramiento de esta; por absorción de los esfuerzos y obstaculizar la propagación de la fisura (Fajardo, Vergaray, 2014, p. 66).

1.4.1 Métodos para el diseño de mezclas asfálticas en caliente

Los métodos para mezclas asfálticas en caliente son varios y han ido cambiando y mejorando en el transcurso de los años, entre ellos podemos mencionar:

- Método The Hubbard-Field
- Método Marshall
- Método Hveen (1940)
- Método WASHTO (1984)

- Método AAMAS (1987)
- Método SUPERPAVE (1993)

Para un diseño adecuado de mezclas asfálticas en caliente el método Marshall es el más utilizado actualmente (tamaño máximo 25 mm.).

1.4.1.1 Método Marshall

Esta técnica de diseño fue desarrollada por Bruce Marshall (1930) y la US Army Corps of Engineers mejoró y agregó ciertos aspectos; motivo por el cual fue normalizado como ASTM 1559 (AASHTO T 245). El Método Marshall es un experimento encaminado al diseño de una mezcla asfáltica en caliente apropiada a través del análisis de estabilidad como fluencia, densidad y vacíos (Uchuari, 2016, p. 7).

Es necesario considerar varios aspectos para la realización de este método, estos son:

- Los materiales a utilizarse (agregado fino, grueso y cemento asfáltico) deben cumplir con las normas establecidas en la MOP-001-F 2002 Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes.
- Determinar tanto para los agregados como para el asfalto la densidad real seca que se requiere establecer en el análisis de vacíos de la mezcla.

También este método permite determinar el contenido óptimo de la mezcla asfáltica que se va a utilizar, existen varios parámetros que se estudian en este proceso, estos son:

- Estabilidad y fluencia Marshall: por medio de una aplicación de carga en el ensayo de estabilidad, se determina la deformación.
- Vacíos de aire de la mezcla: después de fabricar mezcla se realiza la compactación, en esto se produce unas bolsas de aire ubicadas entre las partículas de agregado con asfalto.
- Vacíos en el Agregado Mineral (VAM): por medio de este parámetro se reconoce si existe el espacio necesario en el agregado para alojar el cemento asfáltico.
- Vacíos Llenos de Asfalto (VFA): asegurar la durabilidad de la mezcla (Uchuari, 2016, p. 8).

1.4.2 Módulo de rigidez

Para el diseño estructural de pavimentos, por ser considerado un sistema multicapa elástico lineal; compuesto de tres capas: la subrasante, capa granular no tratada (Bases y Subbase) y la capa asfáltica; este modelo matemático obtiene la respuesta de deformaciones y tensiones de las capas de pavimento, sometidas a solicitaciones fijas (Figura 1.1).

El módulo de rigidez es un parámetro necesario y mediante equipos especializados ya sea con probetas elaboradas en laboratorio o testigos tomados de vías existentes, se realiza el ensayo para obtener el valor del módulo de rigidez (Comité Europeo de Normalización). Con este procedimiento se quiere simular lo que pasa en el pavimento en dos situaciones: cuando la rueda de un camión está a una distancia considerable de un punto en el pavimento; la tensión en este punto es cero. Cuando la rueda se encuentra exactamente en el punto; la tensión es máxima (Uchuari, 2016, p. 12).

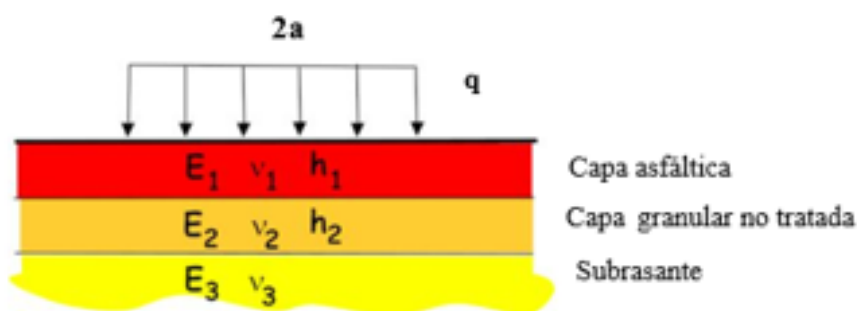


Figura 1.1 Sistema multicapa elástico para el análisis de pavimentos

Nota. Fuente: http://www.carreteros.org/ccaa/legislacion/carreteras/andalucia/normativa/firmes/apartados/5_2.htm
Imagen editada por Adriana Muñoz y María Fernanda Orquera.

1.5 HIPOTESIS

Las mezclas asfálticas convencionales modificadas con el residuo de caucho obtenido tras su remoción de la pista de aterrizaje del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre por vía seca, mejorarán sus características mecánicas.

1.6 OBTENCIÓN DEL AGREGADO Y ASFALTO

1.6.1 Ubicación de la planta

Tanto el agregado como el asfalto utilizado para la presente disertación se obtuvieron de la planta ubicada en el sector de la Barrotieta, en la vía Panamericana, ubicado entre el relleno sanitario Quito EMGIRS-EP y la planta industrial Imptek. La planta es de propiedad de Naranjo López Constructores Cía. Ltda. Los agregados de esta planta son obtenidos de la Mina Eduardo, ubicada en la rivera del Rio Pita en el cantón Rumiñahui.

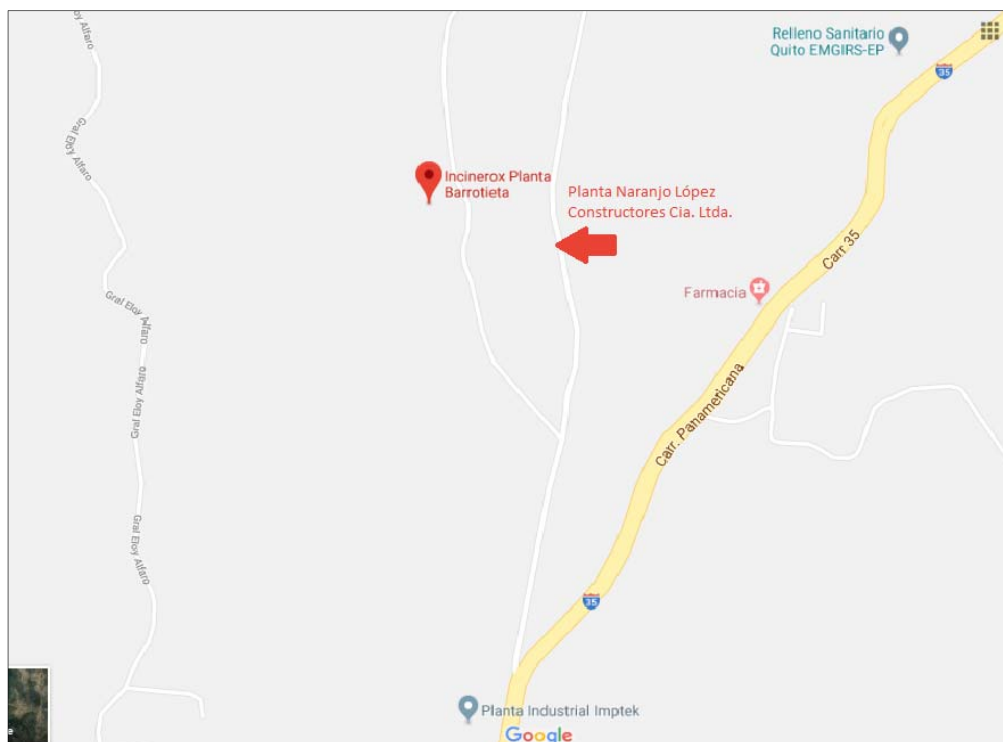


Figura 1.2 Ubicación planta Naranjo López Constructores Cía. Ltda

Nota. Fuente: Google maps. <https://www.google.com.ec/maps/@-0.3066562,-78.3498596,13.92z?hl=es-419>. Imagen editada por Adriana Muñoz y María Fernanda Orquera.

2. CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

2.1 Ensayos a los agregados

2.1.1 Análisis granulométrico (agregado grueso y fino)

El ensayo de análisis granulométrico sirve para determinar el porcentaje de material grueso o fino que retiene un tamiz. El tipo de tamiz a utilizarse depende del tamaño máximo del agregado que se va a ensayar.

TAMIZ	ABERTURA (mm)	AGREGADO
1 1/2"	38.10	GRUESO
1"	25.40	
3/4"	19.00	
1/2"	12.70	
3/8"	9.50	
N° 4	4.75	
N° 8	2.36	FINO
N° 16	1.18	
N° 30	0.60	
N° 50	0.30	
N° 100	0.15	
N° 200	0.075	

Tabla 2.1 Tamaño de tamices

Nota. Fuente: Ministerio de transportes y obras públicas. (2002). Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F 2002. Ecuador.

La granulometría se utiliza para determinar el porcentaje de material fino o grueso que se necesita para realizar la mezcla asfáltica, tomando en cuenta que existen tres tamaños de agregado, 3/4" y 1/2" (grueso), 1/4" (fino), así como para determinar la cantidad necesaria de cada tamiz para realizar las muestras.

Resultados

NORMA: ASTM D-422

AGREGADO GRUESO 3/4

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/4	19.00	24.10	24.10	1.20	98.80
1/2	12.70	1313.40	1337.50	66.81	33.19
3/8	9.51	502.40	1839.90	91.91	8.09
No. 4	4.76	129.90	1969.80	98.40	1.60
Pasa No.4		32.10	2001.90	100.00	0.00

Tabla 2.2 Granulometría agregado grueso 3/4

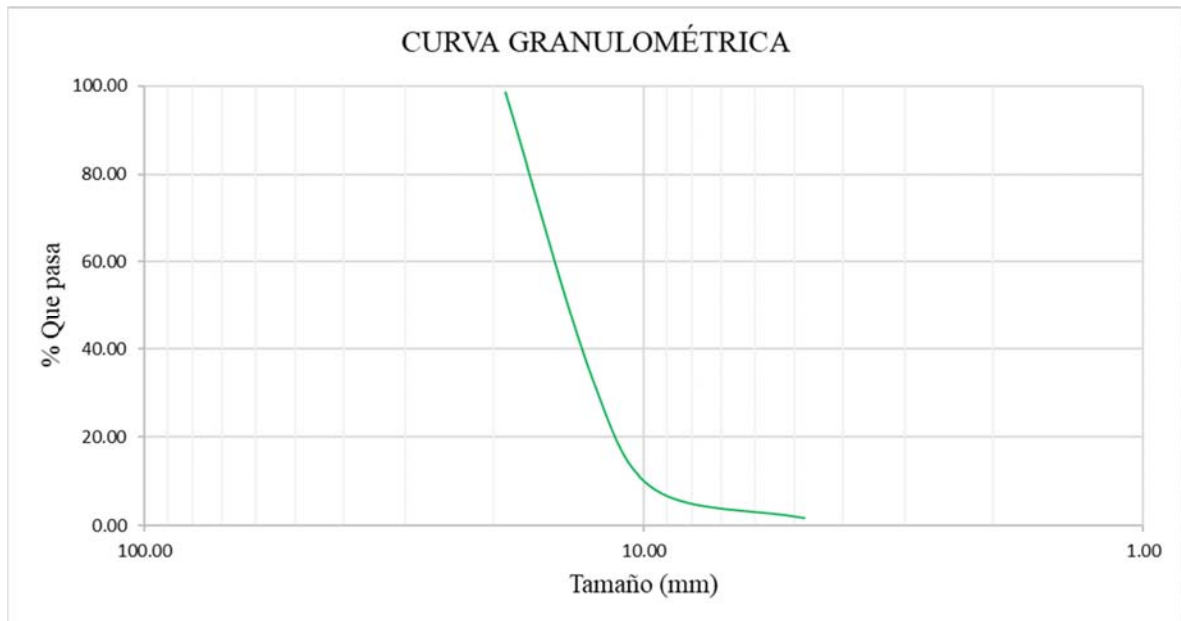


Figura 2.1 Curva granulométrica agregado grueso 3/4

AGREGADO GRUESO 1/2

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Que pasa
1/2	12.70	5.60	5.60	0.56	99.44
3/8	9.51	162.10	167.70	16.73	83.27
No. 4	4.76	578.00	745.70	74.41	25.59
Pasa No.4		256.40	1002.10	100.00	0.00

Tabla 2.3 Granulometría agregado grueso 1/2

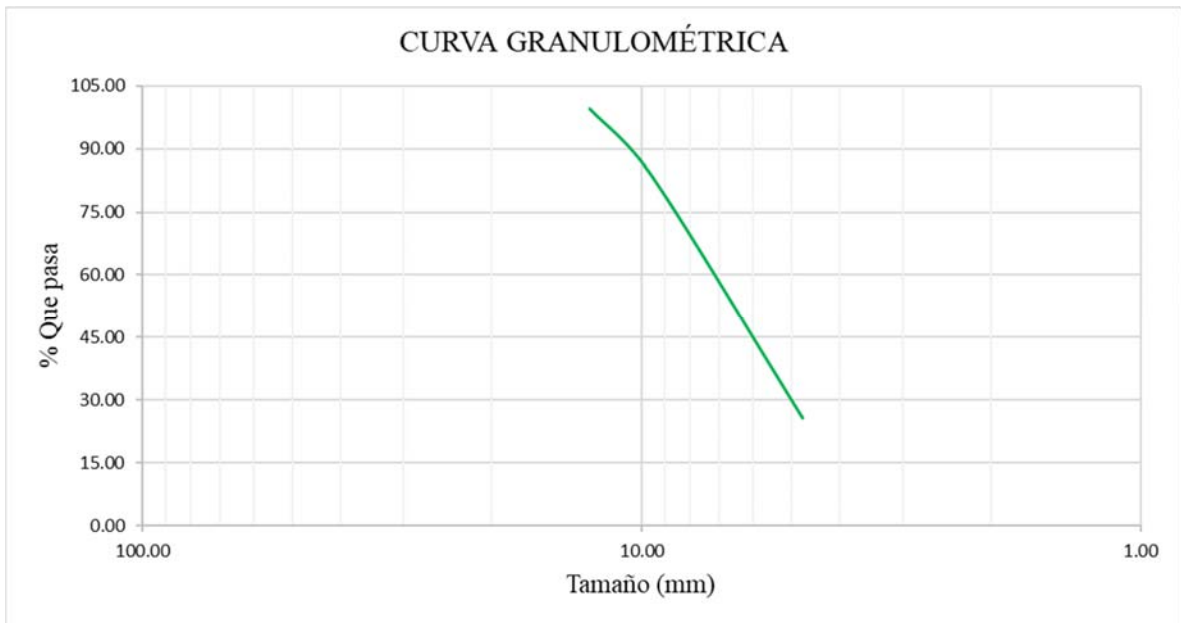


Figura 2.2 Curva granulométrica agregado grueso 1/2

AGREGADO FINO 1/4

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Que pasa
N°4	4.76	47.23	47.23	4.53	95.47
N°8	2.36	293.14	340.37	32.64	67.36
N°30	0.60	407.21	747.58	71.69	28.31
N°50	0.30	145.00	892.58	85.60	14.40
N°100	0.15	78.12	970.70	93.09	6.91
N°200	0.07	42.64	1013.34	97.18	2.82
Pasa N°200		29.40	1042.74	100.00	0.00

Tabla 2.4 Granulometría agregado fino 1/4

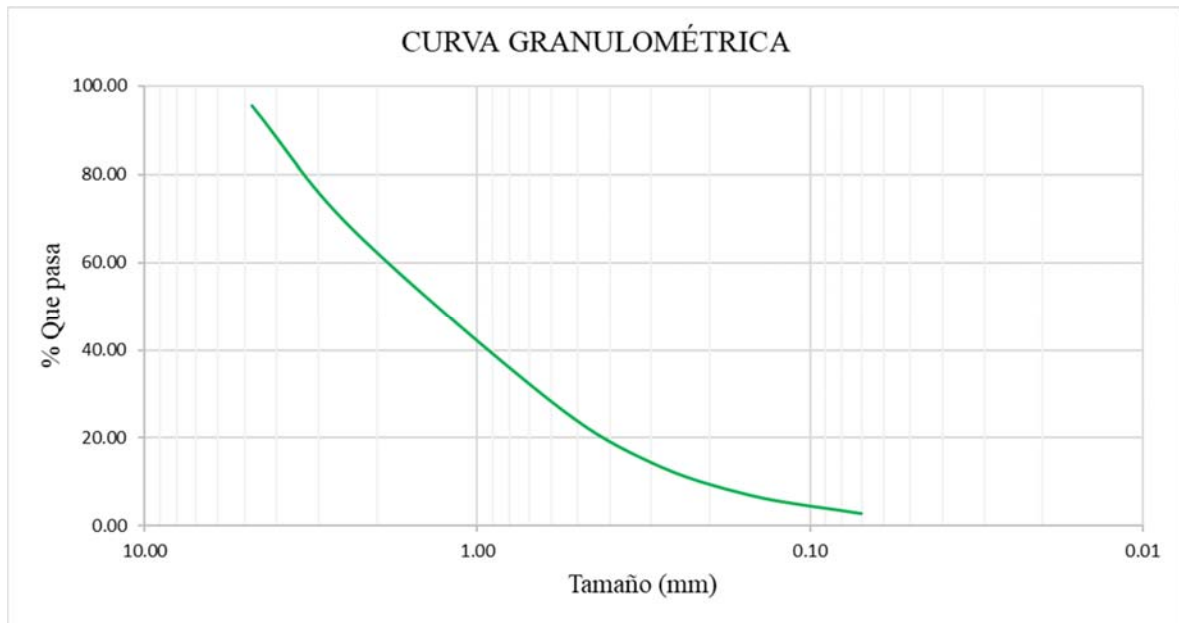


Figura 2.3 Curva granulométrica agregado fino 1/4

2.1.2 Gravedad específica

La gravedad específica permite calcular el volumen que ocupa el agregado dentro de una mezcla, en este caso mezcla asfáltica, también se puede determinar el cambio de masa del agregado debido a la absorción de agua en comparación con el material seco.

Resultados

NORMA: ASTM C-127

AGREGADO GRUESO 3/4

Peso saturado superficie seca:	5019 gr
Peso sumergido:	3045 gr
Peso seco:	4810 gr

GE:	2.44
%Ab:	4.35%

Tabla 2.5 Gravedad específica agregado grueso 3/4

AGREGADO GRUESO 1/2

Peso saturado superficie seca:	4339 gr
Peso sumergido:	2591 gr
Peso seco:	4136 gr

GE:	2.37
%Ab:	4.91%

Tabla 2.6 Gravedad específica agregado grueso 1/2

NORMA: ASTM C-128

AGREGADO FINO 1/4

Peso matraz + peso seco + agua:	956.7 gr
Peso material seco:	475.4 gr
Peso matraz:	159.8 gr
Peso material sss:	500.0 gr
Peso matraz + agua:	658.1 gr

GE:	2.36
-----	------

Constante k, 20°: 1

GE:	2.36
%Ab:	5.17%

Tabla 2.7 Gravedad específica agregado fino 1/4

El porcentaje de absorción de los agregados no debe sobrepasar el 5%, el agregado fino es mayor, pero al utilizar el agregado grueso con menor porcentaje de absorción disminuye el porcentaje del agregado fino, y así poder utilizar este material en el proceso de mezcla.

2.1.3 Abrasión: máquina de los Ángeles

La prueba de abrasión los Ángeles evalúa la tenacidad, que nos permite determinar la capacidad que tiene el agregado de absorber la energía de deformación en condiciones de

impacto, y la resistencia a la abrasión que permite determinar el desgaste o erosión del agregado grueso.

Resultados

NORMA: ASTM C-131

AGREGADO GRUESO 3/4

Tipo B - 11 esferas	
TAMIZ	PESO RETENIDO KG.
3/4	0.01
1/2	6.98
3/8	2.05
N° 4	0.765
Bandeja	0.28

Retenido tamiz 12:	3.165
--------------------	-------

PORCENTAJE DE DESGASTE:	36.70%
--------------------------------	--------

< 50% CUMPLE

Tabla 2.8 Abrasión agregado grueso 3/4

AGREGADO GRUESO 1/2

Tipo C- 8 esferas	
TAMIZ	PESO RETENIDO GR.
1/2	109.9
3/8	1953.4
N° 4	5410
Bandeja	1.98

Retenido tamiz 12:	3475
--------------------	------

PORCENTAJE DE DESGASTE:	30.50%
--------------------------------	--------

< 50% CUMPLE

Tabla 2.9 Abrasión agregado grueso 1/2

Según las Especificaciones Generales Para la Construcción de Caminos y Puentes-MOP-001-F-2002, indica que el porcentaje máximo de los agregados gruesos no será mayor del 50% a 500 revoluciones.

2.1.4 Desgaste a los sulfatos

El ensayo de desgaste a los sulfatos determina la resistencia que tiene un material a la acción de soluciones como sulfato de sodio o de magnesio que se encuentran en diferentes cantidades en el suelo y agua.

Resultados

NORMA: ASTM C-88

AGREGADO GRUESO 3/4

N° TAMIZ	PESO INICIAL	PESO FINAL	DESGASTE
RETIENE TAMIZ 1/2	670.9	663.8	1.06%
RETIENE TAMIZ 3/8	330.8	318.8	3.63%
RETIENE TAMIZ 4	-	-	-
PROMEDIO DESGASTE			2.34%

<12 CUMPLE

Tabla 2.10 Desgaste a los sulfatos agregado grueso 3/4

AGREGADO GRUESO 1/2

N° TAMIZ	PESO INICIAL	PESO FINAL	DESGASTE
RETIENE TAMIZ 1/2	-	-	-
RETIENE TAMIZ 3/8	330.3	322.2	2.45%
RETIENE TAMIZ 4	300.2	260.1	13.36%
PROMEDIO DESGASTE			7.91%

<12 CUMPLE

Tabla 2.11 Desgaste a los sulfatos agregado grueso 1/2

AGREGADO FINO 1/4

N° TAMIZ	PESO INICIAL	PESO FINAL	DESGASTE
RETIENE TAMIZ 4	-	-	-
RETIENE TAMIZ 8	100.2	85.7	14.47%
RETIENE TAMIZ 16	100.1	79.7	20.38%
RETIENE TAMIZ 30	100.0	79.7	20.30%
RETIENE TAMIZ 50	100.1	91.4	8.69%
PROMEDIO DESGASTE			15.96%

>12 NO CUMPLE

Tabla 2.12 Desgaste a los sulfatos agregado fino 1/4

Según las Especificaciones Generales Para la Construcción de Caminos y Puentes-MOP-001-F-2002, indica que los dos tipos de materiales (fino y grueso), no experimentarán una desintegración y pérdida mayor del 12% a cinco ciclos de la prueba de durabilidad al sulfato de sodio.

2.1.5 Equivalente de arena del agregado fino

El ensayo de equivalente de arena determina la cantidad de material fino y arcilloso que se encuentra en una muestra de agregado fino, es necesario determinar la cantidad permisible de finos arcillosos ya que son materiales que provocan gran daño al pavimento.

Resultados

NORMA: INV E-133-07

LECTURA INICIAL		LECTURA FINAL	
PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 1	PROBETA 2
4.2	4.1	3.9	3.7
EA	92.86	EA	90.24

EA (PROMEDIO)	91.55	> 50 CUMPLE
--------------------------	-------	-------------

Tabla 2.13 Equivalente de arena agregado fino

Según las Especificaciones Generales Para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002, indica que el equivalente de arena mínimo para capa de rodadura en tráfico pesado es de 50.

2.1.6 Análisis granulométrico (residuo de caucho)

Resultados

NORMA: ASTM D-422

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Que pasa
N° 30	0.60	29.14	7.69	92.31
N° 50	0.30	135.34	35.74	64.26
N° 100	0.15	229.63	60.64	39.36
N° 200	0.07	293.92	77.61	22.39
Pasa N° 200		378.7	100.00	0.00

Tabla 2.14 Granulometría polvo de caucho

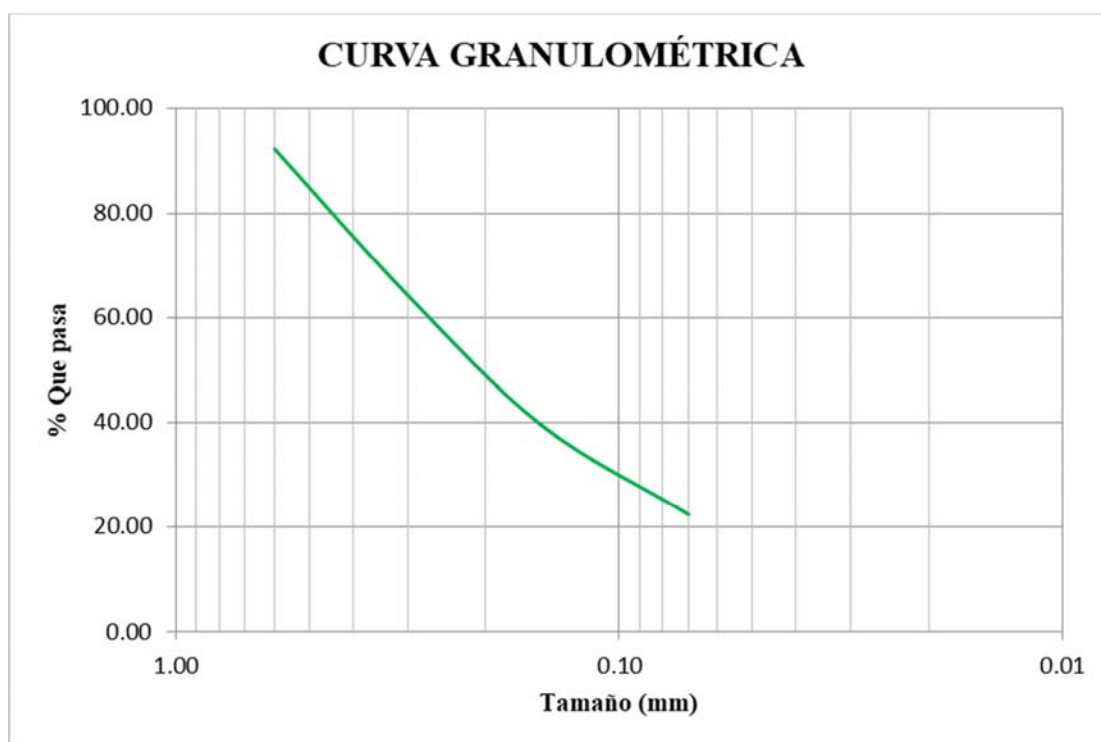


Figura 2.4 Curva granulométrica polvo de caucho

2.2 Resumen de resultados caracterización agregados

ENSAYOS AL ASFALTO	RANGOS		RESULTADOS	TAMAÑO DEL AGREGADO					
	ESPECIFICACIONES: MOP-001-F-2002			3/4		1/2		1/4	
	MIN	MAX							
Gravedad Específica	----	5	% Ab	4.35	SI CUMPLE	4.91	SI CUMPLE	5.17	NO CUMPLE
Abrasión (máquina de los ángeles) (%)	----	50	Porcentaje de Desgaste (%)	36.70	SI CUMPLE	30.50	SI CUMPLE	----	----
Desgaste a los Sulfatos (%)	----	12	Promedio de Desgaste (%)	2.34	SI CUMPLE	7.91	SI CUMPLE	15.96	NO CUMPLE
Equivalente de arena del agregado fino	50	----	EA promedio	----		----		91.55	SI CUMPLE

Tabla 2.15 Resumen resultados de la caracterización de los agregados comparado con la norma MOP-001-F 2002

2.3 Ensayos al asfalto

2.3.1 Viscosidad absoluta, 60°C

El ensayo de viscosidad absoluta a 60°C permite determinar la consistencia del asfalto a una temperatura de 60°C, es también utilizado para valorar el comportamiento del material con respecto a la temperatura para con esto poder determinar el rango de temperaturas a utilizar para la mezcla asfáltica y su respectiva colocación

Resultados

NORMA: ASTM D 2171M-10

Temperatura de ensayo (°C):	60
Número de viscosímetro:	100
Código de viscosímetro:	L 801
Constante del viscosímetro (Pa.s/s):	3.117

TIEMPO DE FLUJO (s):	65.2
VISCOSIDAD (Pa.s)	203.23

 < 240 CUMPLE

Tabla 2.16 Viscosidad absoluta, 60°C

Según la norma NTE INEN 2515:2014, tabla 2, la clasificación del tipo de asfalto de acuerdo a la viscosidad cumple con el requerimiento de un AC-20.

Según la norma NTE INEN 2515:2014, tabla 7, el rango de viscosidad absoluta es de mínimo 160, y máximo 240, para el tipo de cemento asfáltico AC-20.

2.3.2 Viscosidad cinemática, 135°C

El ensayo de viscosidad cinemática determina la fluidez de los cementos asfálticos mediante un viscosímetro rotatorio a una temperatura de 135°C (275°F), a partir de esto se determina la temperatura de compactación y mezclado, junto con la viscosidad absoluta a 60°C.

NORMA: ASTM D 2170-01

2.3.3 Viscosidad rotacional, 135°C

Este ensayo determina la fluidez del asfalto que es importante para las operaciones de bombeo y mezcla. La viscosidad cinemática está directamente relacionada con la viscosidad rotacional.

NORMA: ASTM D 4402M-12

Resultados

Temperatura de ensayo:	135°C
Viscosímetro:	Brookfield DV-II + Pro
Geometría de ensayo:	SC4-21, colgante
Velocidad de rotación (rpm):	100

RESULTADOS	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3
Viscosidad (Pa.s)	0.344	0.344	0.344
Torque (%)	71.8	71.8	71.8

Temperatura de ensayo:	135°C
Viscosidad con viscosímetro rotatorio:	344.0
Densidad relativa de la muestra 25°C:	1.011
Viscosidad cinemática (mm²/s):	364.301

> 300 CUMPLE

Tabla 2.17 Viscosidad cinemática

Según la norma NTE INEN 2515:2014, tabla 7, el valor mínimo de viscosidad cinemática es de 300, para el tipo de cemento asfáltico AC-20.

2.3.4 Punto de inflamación y combustión

El punto de inflamación y combustión determina la temperatura a la que un cemento asfáltico puede llegar a la combustión si se ve sometido a una fuente de calor. Tener en cuenta este parámetro es primordial el momento del transporte y almacenamiento del material bituminoso.

Resultados

NORMA: ASTM 92-12b

PUNTO DE CHSIPA (°C):	295
PUNTO DE LLAMA (°C):	324
PRESIÓN BAROMÉTRICA (mmHg):	548.4

CORRECCIÓN

PUNTO DE CHSIPA (°C):	302
PUNTO DE LLAMA (°C):	331

> **232 CUMPLE**

Tabla 2.18 Punto de inflamación

Según la norma NTE INEN 2515:2014, tabla 7, el valor mínimo de punto de inflamación es de 232, para el tipo de cemento asfáltico AC-20.

2.3.5 Gravedad específica, 25°C

La gravedad específica establece la relación de su peso en aire a una temperatura determinada, al peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura, generalmente 25°C.

Resultados

NORMA: ASTM D 2041

MASA DE PICNÓMETRO + TAPÓN SECO (g):	38.045
MASA DE PICNÓMETRO + TAPÓN + AGUA	62.3355
MASA DE PICNÓMETRO + TAPÓN + ASFALTO (g):	55.531
MASA DE PICNÓMETRO + TAPÓN + ASFALTO + AGUA DESTILADA (g):	62.52
Gb:	1.011

Tabla 2.19 Gravedad específica del asfalto

2.3.6 Índice de penetración

El ensayo de índice de penetración establece la consistencia y grado de viscosidad del asfalto, también según el grado de penetración podemos clasificar el tipo de asfalto.

NORMA: ASTM D5M-13

2.3.7 Punto de ablandamiento

Este ensayo ayuda a determinar la tendencia del cemento asfáltico a fluir, al estar sometido a grandes temperaturas, también permite clasificar a los productos bituminosos.

NORMA: INEN 920:2013

Resultados

Temperatura:	25°C
PENETRACIÓN:	71.33
PUNTO DE ABLANDAMIENTO:	47.45
ÍNDICE DE PENETRACIÓN:	-1.0

> -1.5 CUMPLE

Tabla 2.20 Índice de penetración

Según la norma NTE INEN 2515:2014, tabla 7, el rango de índice de penetración es de máximo 1.0 y mínimo -1.5, para el tipo de cemento asfáltico AC-20.

2.3.8 Película delgada en horno rotatorio.

El ensayo de cambio de masa establece en el cemento asfáltico cuan apto es respecto al endurecimiento o envejecimiento que tendría en el proceso de mezclado. Con la ayuda de un horno rotatorio determinamos la diferencia de masa respecto a la original y después de haberla calentado.

Resultados

NORMA: ASTM D2872

MUESTRA	1	2
MASA DE BOTELLA + ASFALTO ANTES (g):	205.388	203.230
MASA DE BOTELLA + ASFALTO DESPUÉS (g):	205.358	203.179

CAMBIO DE MASA (%):	-0.015	-0.0255
CAMBIO DE MASA PROMEDIO (%):	-0.020	

< 1.0 CUMPLE

Tabla 2.21 Película delgada en horno rotatorio

Según la norma NTE INEN 2515:2014, tabla 7, el cambio de masa es de máximo 1.00 %, para el tipo de cemento asfáltico AC-20.

2.3.9 Viscosidad, 60°C del (RTFO)

Este ensayo provee información sobre el comportamiento que tendrá el asfalto en una etapa después del envejecimiento, este valor es comparado con la viscosidad absoluta inicial que es una muestra de cemento asfáltico original.

Resultados

NORMA:

Temperatura de ensayo (°C):	60
Número de viscosímetro:	200
Código de viscosímetro:	K 596
Constante del viscosímetro (Pa.s/s):	11.95

TIEMPO DE FLUJO (s):	65.2
VISCOSIDAD (Pa.s)	779.14

< 800 CUMPLE

Tabla 2.22 Viscosidad absoluta 60°C, RTFO

Según la norma NTE INEN 2515:2014, tabla 7, el valor máximo de viscosidad absoluta es de 800, para el tipo de cemento asfáltico AC-20.

2.3.10 Ductilidad, 25°C, 5 cm/min

El ensayo de ductilidad permite determinar la deformación del asfalto bajo la acción de una fuerza, llegando hasta la ruptura, los materiales dúctiles tienen mejores propiedades aglomerantes, que al ser mezclados con agua alcanzan resistencia mecánica, y tienen deformaciones importantes antes de la ruptura.

Resultados

NORMA: ASTM D113-07

Temperatura de ensayo: 25°C

DISTANCIA DE ROTURA (cm):		ENSAYO NORMAL:	
D1	52	SI	
D2	53	SI	> 50 CUMPLE
D3	52	SI	

Tabla 2.23 Ductilidad

Según la norma NTE INEN 2515:2014, tabla 7, el rango mínimo de ductilidad es de 50, para el tipo de cemento asfáltico AC-20.

2.4 Resumen de resultados caracterización al asfalto

ENSAYO DE LOS AGREGADOS	RANGOS		RESULTADOS			
	NORMA: NTE INEN 2515:2014, tabla 7					
	MIN	MAX				
Viscosidad absoluta, 60°C	200 ± 40		Viscosidad (Pa.s)	203.23	SI CUMPLE	
Viscosidad cinemática, 135°C	300	----		364.301	SI CUMPLE	
Punto de inflamación y combustión	232	----	Punto de Chispa (°C)	302	SI CUMPLE	
			Punto de Llama (°C)	331		
Gravedad específica, 25°C	----		Gb	1.011	----	
Índice de penetración	-1.5 a 1			-1	SI CUMPLE	
Película delgada en horno rotatorio	----	1.0	Cambio de Masa Promedio	-0.020	SI CUMPLE	
Viscosidad, 60°C del (RTFO)	----	800	Viscosidad (Pa.s)	779.14	SI CUMPLE	
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min	50	----	Distancia de Rotura	D1	52	SI CUMPLE
				D2	53	
				D3	52	

Tabla 2.24 Resumen de resultados de la caracterización al asfalto comparado con la norma NTE INEN 2515:2014.

3. CAPÍTULO III: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA NO MODIFICADA EN CALIENTE

3.1 Determinación de las fracciones disponibles de agregados para el diseño de mezclas asfálticas

3.1.1 Determinación del porcentaje en peso que pasa a través de los tamices para la mezcla asfáltica en caliente para el diseño, de acuerdo con el método Marshall

Para determinar los límites para curva granulométrica del tipo de mezcla asfáltica que se va a utilizar, es necesario conocer el tamaño máximo del agregado que va a intervenir en la mezcla asfáltica en caliente, con esto se establece el porcentaje en peso que pasa a través de los tamices.

En las especificaciones Generales para la Construcción

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4
1" (25.4 mm)	100	--	--	--
3/4" (19.0 mm)	90-100	100	--	--
1/2" (12.7 mm)	--	90-100	100	--
3/8" (9.50 mm)	56-80	--	90-100	100
N° 4 (4.75 mm)	35-65	44-74	55-85	80-100
N° 8 (2.36 mm)	23-49	28-58	32-67	65-100
N° 16 (1.16 mm)	--	--	--	40-80
N° 30 (0.60 mm)	--	--	--	25-65
N° 50 (0.30 mm)	23-19	5-21	7-23	7-40
N° 100 (0.15 mm)	--	--	--	3-20
N° 200 (0.075 mm)	2-8	2-10	2-10	2-10

Tabla 3.1 Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices.

Nota. Fuente: Ministerio de transportes y obras públicas. (2002). Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F 2002 (p. VIII-85, 687). Tabla 405-5.1. Ecuador.

3.1.2 Determinación y mezcla de las fracciones disponibles de agregados para el diseño de mezclas asfálticas

A partir de la granulometría de los tipos de agregado que se tenga se determina la cantidad de material que debe contener la mezcla, tomando en cuenta los rangos ya especificados anteriormente.

Para que esto se cumpla se determina un porcentaje de cada agregado, esto se comprueba en la curva granulométrica donde se encuentra graficado el espécimen mínimo y máximo. La curva granulométrica de la mezcla debe quedar dentro de estas dos curvas.

Cada muestra debe contener un total de 1100 gr, que es equivalente a la sumatoria de los pesos correspondientes a los diferentes tamaños de agregado.

Tamiz #	1	3.4	1.2	3.8	4	8	30	50	100	200	p #200
Tz mm.	25.4	19	12.7	9.5	4.76	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075	p 0,075
mat. A	100.00	98.80	33.19	8.09	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
mat. B	100.00	100.00	99.44	83.27	25.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
mat. C	100.00	100.00	100.00	100.00	95.47	67.36	28.31	14.40	6.91	2.82	
mat. D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
mezcla	100.00	99.76	86.53	78.27	62.72	40.42	16.99	8.64	4.15	1.69	
Ret.Ac.	0.00	0.24	13.47	21.73	37.28	59.58	83.01	91.36	95.85	98.31	1.69
Ret.Parc.	0.00	0.24	13.23	8.25	15.55	22.30	23.43	8.35	4.49	2.45	
peso	0.00	2.64	145.57	90.79	171.07	245.34	257.73	91.81	49.43	26.99	
p. acum.	0.00	2.64	148.21	239.01	410.08	655.42	913.15	1004.96	1054.39	1081.39	1100.00
Espec mín	100	90	---	56	35	23	---	5	---	2	
Espec máx	100	100	---	80	65	49	---	19	---	8	

Tabla 3.2 Peso necesario en cada tamiz para la mezcla.

% DE MEZCLA		
A	0.20	20
B	0.20	20
C	0.60	60
D	0	0

Tabla 3.3 Porcentaje de agregado para la mezcla

Espec mín	100	90	73	56	35	23	11	5	3.5	2
Espec máx	100	100	90	80	65	49	29	19	13.5	8
Tz mm.	25.4	19	12.7	9.5	4.76	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075

Tabla 3.4 Rangos en peso para cada tamiz

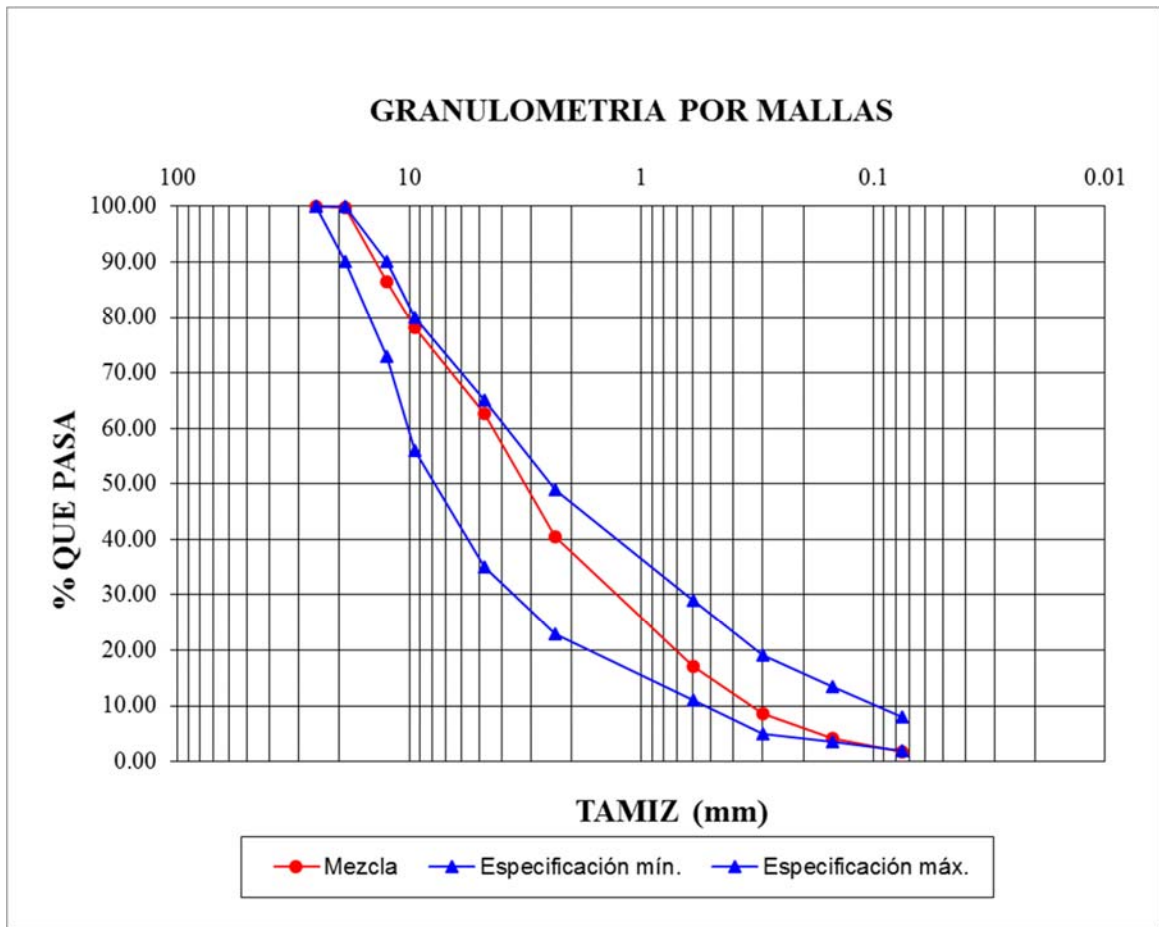


Figura 3.1 Granulometría por mallas, especificación del rango para la mezcla

3.2 Determinación del contenido de cemento asfáltico

Dentro del método Marshall es necesario preparar una serie de muestras; denominadas briquetas, con diferentes porcentajes de asfalto, para que de esta manera las curvas muestren relaciones bien definidas. El porcentaje de asfalto que se utiliza tiene un diseño esperado, a partir de esta se toma al menos dos contenidos por encima y dos contenidos por debajo del valor de diseño esperado, con una variación de 0.5 % del contenido de asfalto. El contenido de asfalto puede calcularse de diferentes formas, éstas son: experiencia, fórmula computacional, o realizar la equivalencia de kerosene centrífuga (Asphalt Institute, 2014, p. 78).

Para la presente disertación se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%P = M * S^{\frac{1}{5}}$$

Donde:

$$S = 0.17G + 0.33g + 2.3A + 12a + 135f$$

G = 100 - Porcentaje de mezcla tamiz N° 3/8

g = Porcentaje de mezcla tamiz N° 3/8 - Porcentaje de mezcla el tamiz N° 4.

A = Porcentaje de mezcla tamiz N° 4 - Porcentaje de mezcla tamiz N° 50.

a = Porcentaje de mezcla tamiz N° 50 - Porcentaje de mezcla tamiz N° 200.

f = Porcentaje de mezcla tamiz N° 200.

M =Varía 3.75 – 4.25. En base a la absorción del agregado

Resultados

Cálculo del Porcentaje de Asfalto		
G:	21.73	0.21728
g:	15.55	0.15552
A:	54.08	0.54080
a:	6.95	0.06948
f:	1.69	0.01692
S:	4.45006	
P (%):	5.39	

Tabla 3.5 Porcentaje óptimo de asfalto

Se determinó una base de 6%, a partir de este valor se toma dos contenidos por encima y dos contenidos por debajo:

Porcentaje de asfalto				
1	2	3	4	5
5.0	5.5	6.0	6.5	7.0

Tabla 3.6 Porcentajes a utilizarse en la mezcla

3.3 Diseño de mezcla asfáltica no modificada en caliente, obtención parámetros Marshall

El diseño de la mezcla asfáltica está sujeto al tamaño del agregado como se mencionó anteriormente en los porcentajes descritos, se adiciona el cemento asfáltico correspondiente y

se realizan tres briquetas de acuerdo a cada porcentaje, lo que nos da un total de 15 especímenes.

El proceso de elaboración de los especímenes es el siguiente:

- De acuerdo con el porcentaje de agregados se completa baches de 1100 gramos aproximadamente.
- Tanto el cemento asfáltico como los baches deben colocarse en el horno pre calentado a una temperatura de 153° C a 158° C esto depende de la carta de plasticidad obtenida de la caracterización de agregados y asfalto. Posteriormente se procede a mezclar ambos componentes hasta que el agregado quede cubierto totalmente de asfalto. Durante la mezcla se debe mantener la temperatura especificada en la carta de plasticidad (142ª C a 147°C).
- Se debe pre calentar el martillo y molde previo a la colocación de la mezcla, una vez colocada se procede a compactar usando el martillo Marshall de 10 libras. Se efectúa 75 golpes en cada cara a una altura de 18”, el número de golpes se determina a partir de la cantidad de tráfico de acuerdo a las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP – 001 – F 2002. Para desmoldar las briquetas se debe esperar a que se encuentren frías. Las dimensiones normalizadas de las probetas son 63.5mm de altura y 101.6mm de diámetro.

TIPO DE TRAFICO	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
CRITERIOS MRSHALL	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	----				

Tabla 3.7 Criterios Marshall

Nota. Fuente: Ministerio de transportes y obras públicas. (2002). Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F 2002 (p. IV-105, 309). Ecuador.

3.3.1 Gravedad específica bulk para el agregado total

Cuando el agregado total consiste en fracciones separadas de agregado grueso, aglomerado fino y carga mineral, todas con diferentes gravedades específicas, la gravedad específica total para el agregado total se calcula usando (Asphalt Institute, 1997, p. 47):

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

Donde:

Gsb = Gravedad específica Bulk para el agregado total

P1, P2, Pn = Porcentajes individuales en peso de agregado

G1, G2, Gn = Gravedad Específica Bulk individual del agregado

Resultados

Parámetros	Agregado 3/4	Agregado 1/2	Agregado 1/4
Porcentajes individuales en peso de agregado	20	20	60
Gravedad específica bulk	2.437	2.366	2.360
Gsb	2.376		

Tabla 3.8 Gravedad específica Bulk

3.3.2 Gravedad Específica Efectiva del Agregado (Gse)

Cuando se basa en la gravedad específica máxima de una mezcla de pavimentación, Gmm, medida usando ASTM D2041, la gravedad específica efectiva del agregado, Gse, incluye todos los espacios vacíos en las partículas agregadas excepto aquellas que absorben asfalto. Gse está determinado usando (Asphalt Institute, 1997, p. 48):

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}}$$

Donde:

Gse: gravedad específica del agregado

Gmm: Gravedad específica máxima de la mezcla

Pmm: porcentaje en peso de la mezcla suelta total = 100.

Pb: contenido de asfalto en el que se realizó la prueba de ASTM, porcentaje del peso total de la mezcla

Gb: Gravedad específica del asfalto.

Resultados

Parámetros	Mezcla total
Porcentaje de la mezcla en peso total	100
Contenido de asfalto	5
Gravedad específica máxima	2.411
Gravedad específica del asfalto	1.010
Gse	2.601

Tabla 3.9 Gravedad específica efectiva

3.3.3 *Máxima Gravedad Específica de las mezclas con diferentes contenidos de asfalto (Gmm)*

Al diseñar una mezcla de pavimentación con un agregado dado, la gravedad específica máxima, Gmm, en cada contenido de asfalto es necesaria para calcular el porcentaje de vacíos de aire para cada contenido de asfalto por ASTM D 2041, la precisión de la prueba es la mejor cuando la mezcla está cerca del contenido de asfalto de diseño. Además, es preferible medir la gravedad específica máxima por duplicado o por triplicado.

Después de calcular la gravedad específica efectiva del agregado a partir de cada gravedad específica máxima medida y promediar los resultados de Gse, se puede obtener la gravedad específica máxima para cualquier otro contenido de asfalto como se indica a continuación. Para todos los propósitos, la gravedad específica efectiva del agregado es constante porque la absorción del asfalto no varía apreciablemente con las variaciones en el contenido de asfalto (Asphalt Institute, 1997, p. 48).

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gb}}$$

Donde

Gmm: Gravedad específica máxima de la mezcla

Pmm: porcentaje en peso de la mezcla suelta total = 100.

Ps: Contenido de agregado, porcentaje por peso total de la mezcla.

Pb: Contenido de asfalto, porcentaje por peso total de la mezcla.

Gse: gravedad específica del agregado

Gb: Gravedad específica de asfalto

Resultados

Porcentaje de asfalto	5	5.5	6	6.5	7
Gmm	2.411	2.379	2.359	2.335	2.310

Tabla 3.10 Gravedad específica máxima agregado total

3.3.4 Gravedad específica aparente

La relación entre el peso en el aire de una unidad de volumen de un material impermeable a una temperatura determinada y el peso en aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada, libre de gas a una temperatura determinada (Asphalt Institute, 1997, p. 44).

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

Donde:

Gsa = Gravedad específica Bulk para el agregado total

P1, P2, Pn = Porcentajes individuales en peso de agregado

G1, G2, Gn = Gravedad Específica aparente individual del agregado

Resultados

Parámetros	Agregado 3/4	Agregado 1/2	Agregado 1/4
Porcentajes individuales en peso de agregado	20	20	60
Gravedad Aparente	2.725	2.677	2.689
Gsa	2.694		

Tabla 3.11 Gravedad específica aparente

3.3.5 Porcentaje de VAM en la mezcla asfáltica compactada

Los vacíos en el agregado mineral, VMA, se definen como el espacio de huecos intergranulares entre las partículas de agregado en una mezcla de pavimento compactado que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total. El VMA se calcula sobre la base del peso específico masivo si el agregado y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla de pavimento compactado. Por lo tanto, el VMA puede calcularse restando el volumen del agregado determinado por su volumen específico del volumen total de la mezcla de pavimento compactado. Se ilustra un método de cálculo para cada tipo de contenido porcentual de mezcla (Asphalt Institute, 1997, p. 51).

$$VMA = 100 - \frac{Gmb Ps}{Gsb}$$

VMA: Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen bulk

Gsb: Gravedad específica bulk del agregado total

Gmb: Gravedad específica bulk de la mezcla compactada.

Ps: contenido de agregado, porcentaje por peso total de la mezcla.

3.3.6 Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada

Los vacíos de aire, Va, en la mezcla de pavimentación total compactada consisten en los espacios de aire pequeños entre las partículas de árido revestidas. El porcentaje de volumen de los vacíos de aire en una mezcla compactada se puede determinar usando (Asphalt Institute, 1997, p. 51):

$$Va = 100x \frac{Gmm - Gmb}{Gmm}$$

Va: vacíos de aire en mezcla compactada, porcentaje de volumen total.

Gmm: gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica.

Gmb: Gravedad específica Bulk de la mezcla compactada.

3.3.7 Porcentaje VAF en Mezcla compactada

Los vacíos llenos de asfalto, VFA, es el porcentaje del espacio vacío intergranular entre las partículas agregadas (VMA) que están llenas de asfalto. El VFA, sin incluir el asfalto absorbido, se determina utilizando (Asphalt Institute, 1997, p. 52):

$$VFA = \frac{100(VMA - Va)}{VMA}$$

Dónde:

VFA = vacíos llenos de asfalto, porcentaje de VMA

VMA = Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen a granel

Va = Huecos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total

Resultados

Briqueta	Porcentaje Asfalto	Peso Aire	Peso Sat. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm3)	D. Bulk g/cm3	Gmm g/cm3	V. a. %	V. agr. %	VAM %	VAF %
1	5.0	1140.32	1147.65	599.45	548.2	2.080	2.411	13.72	83.2	16.85	18.54
2	5.0	1136.81	1144.66	599.15	545.5	2.084	2.411	13.57	83.3	16.69	18.74
3	5.0	1135.66	1141.91	591.94	550.0	2.065	2.411	14.35	82.5	17.45	17.76
					PROMEDIO	2.076	2.411	13.9	83.0	17.0	18.3
4	5.5	1144.60	1150.19	600.18	550.0	2.081	2.379	12.52	82.8	17.25	27.39
5	5.5	1149.79	1155.15	605.79	549.4	2.093	2.379	12.02	83.2	16.77	28.32
6	5.5	1150.72	1156.54	610.82	545.7	2.109	2.379	11.36	83.8	16.15	29.63
					PROMEDIO	2.094	2.379	12.0	83.3	16.7	28.4
7	6.0	1152.51	1155.88	613.56	542.3	2.125	2.359	9.91	84.1	15.94	37.81
8	6.0	1158.43	1164.27	611.23	553.0	2.095	2.359	11.21	82.9	17.15	34.65
9	6.0	1159.41	1164.51	613.49	551.0	2.104	2.359	10.80	83.2	16.77	35.58
					PROMEDIO	2.108	2.359	10.6	83.4	16.6	36.0
10	6.5	1164.51	1168.49	618.24	550.3	2.116	2.335	9.36	83.3	16.74	44.04
11	6.5	1161.72	1167.83	612.78	555.1	2.093	2.335	10.36	82.3	17.65	41.29
12	6.5	1161.87	1165.41	618.80	546.6	2.126	2.335	8.97	83.6	16.37	45.22
					PROMEDIO	2.112	2.335	9.6	83.1	16.9	43.5
13	7.0	1169.24	1172.21	622.16	550.1	2.126	2.310	7.98	83.2	16.81	52.55
14	7.0	1173.77	1177.53	626.42	551.1	2.130	2.310	7.80	83.3	16.65	53.16
15	7.0	1167.81	1171.26	621.67	549.6	2.125	2.310	8.01	83.2	16.85	52.43
					PROMEDIO	2.127	2.310	7.9	83.2	16.8	52.7

Tabla 3.12 Resumen propiedades volumétricas de la mezcla normal

3.3.8 Ensayo de estabilidad y flujo

Estabilidad

La estabilidad es la capacidad que tiene una mezcla asfáltica para resistir la deformación ante el efecto de las cargas impuestas por el tráfico. La carga máxima registrada hasta que la probeta falle indica como la estabilidad de la mezcla (González & Negrete, 2010, p. 4).

En la norma Mix Design Methods del Instituto del asfalto especifica que la estabilidad debe tener una corrección, esta depende del volumen de la briqueta, que se especifica en la tabla 5.1 Stability correlations ratios.

Flujo

Es la deformación sufrida por la probeta (disminución del diámetro) entre el comienzo de aplicación de la carga y el instante de rotura (González & Negrete, 2010, p. 7).

Mide la cantidad de deformación que ocurre en la mezcla bajo carga.

Resultados

Briqueta	Porcentaje Asfalto	Volumen Briqueta (cm ³)	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01"
			Medida	F Correc.	Corregida	
1	5.0	548.2	2650	0.89	2359	8
2	5.0	545.5	2350	0.93	2186	12
3	5.0	550.0	2400	0.89	2136	10
		PROMEDIO			2227	10
4	5.5	550.0	2600	0.89	2314	9
5	5.5	549.4	2450	0.89	2181	9
6	5.5	545.7	2700	0.93	2511	10
		PROMEDIO			2335	9
7	6.0	542.3	3000	0.93	2790	10
8	6.0	553.0	3250	0.89	2893	11
9	6.0	551.0	2850	0.89	2537	9
		PROMEDIO			2740	10
10	6.5	550.3	2925	0.89	2603	10
11	6.5	555.1	3150	0.89	2804	10
12	6.5	546.6	3150	0.89	2804	10
		PROMEDIO			2737	10
13	7.0	550.1	2900	0.89	2581	11
14	7.0	551.1	3250	0.89	2893	11
15	7.0	549.6	2550	0.89	2270	11
		PROMEDIO			2581	11

Tabla 3.13 Resumen resultados estabilidad y flujo

3.3.9 Determinación del porcentaje óptimo de asfalto

Resultados

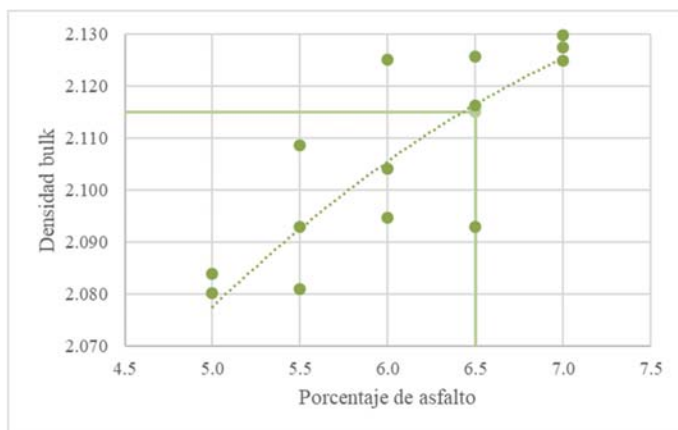


Figura 3.2 Porcentaje de asfalto vs. Densidad bulk

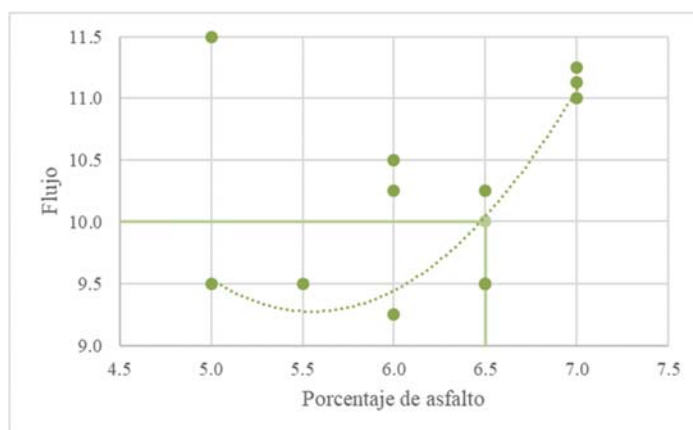


Figura 3.3 Porcentaje de asfalto vs. Flujo

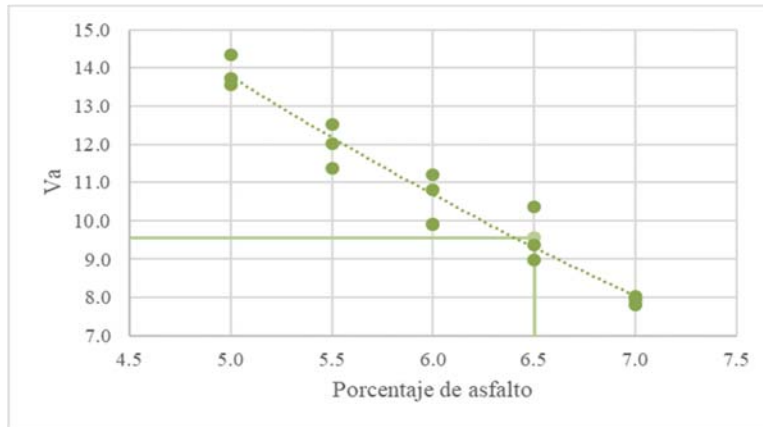


Figura 3.4 Porcentaje de asfalto vs. Va

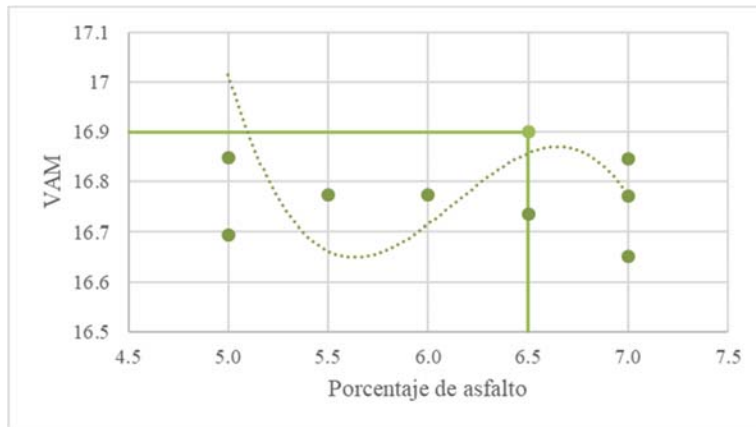


Figura 3.5 Porcentaje de asfalto vs. VAM

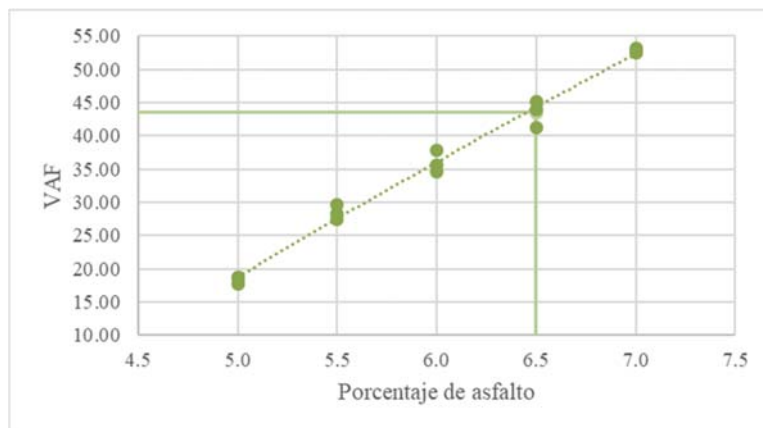


Figura 3.6 Porcentaje de asfalto vs. VAF

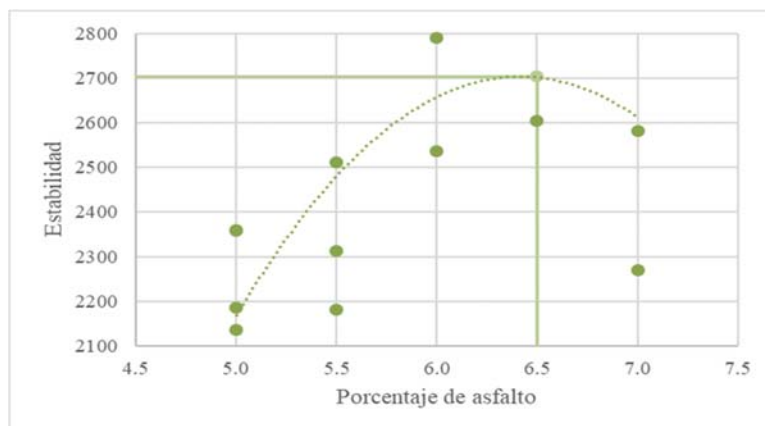


Figura 3.7 Porcentaje de asfalto vs. Estabilidad

Para determinar el porcentaje óptimo de asfalto que se utiliza para la mezcla modificada es necesario colocarse en la curva de porcentaje de asfalto versus estabilidad, donde el punto más alto de la curva determina el porcentaje óptimo, como se aprecia en la figura 3.7, el porcentaje de asfalto de 6.5 se el punto más alto por lo que se toma ese valor como el óptimo.

Resultados

Porcentaje óptimo de asfalto: 6.5%

ENSAYOS A LA MEZCLA	Criterios Marshall Instituto del Asfalto y MOP – 001 – F 2002		Criterios Marshall FAA AC 150/5370-10G		RESULTADOS		
	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	RESULTADOS MARSHALL	Instituto del Asfalto y MOP – 001 – F 2002	FAA AC 150/5370-10G
Va	3	5	2	5	9.6	NO CUMPLE	NO CUMPLE
VAM	Ver Tabla 5.3		14 (Ver Tabla 2)	---	16	NO SE PUEDE ESPECIFICAR	SI CUMPLE
VAF	65	75	---			SI CUMPLE	---
Estabilidad	1800	---	1800	---	2737	SI CUMPLE	SI CUMPLE
Flujo	8	14	8	18	10	SI CUMPLE	SI CUMPLE

Tabla 3.14 Tabla de resumen resultados propiedades Marshall mezcla normal

Criterios Marshall Instituto del Asfalto y MOP – 001 – F 2002

Criterios de mezcla del método Marshall	Tráfico liviano		Tráfico mediano		Tráfico pesado	
	Superficie y base		Superficie y base		Superficie y base	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Compactación, número de golpes en cada extremo de la muestra	35		50		75	
Estabilidad, N	3336		5338		8006	
(lb.)	(750)	--	(1200)	--	(1800)	--
Flujo, 0.25 mm (0.01 pulg.)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos de aire	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA)	Ver Tabla 5.3					
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75

Tabla 3.15 Parámetros Marshall rangos mínimos y máximos Instituto del Asfalto y MOP – 001 – F 2002

Nota. Fuente: Asphalt Institute. (1997). Mix Design Methods (p. MS-2, 69). Lexington, Kentucky.

Tamaño de partícula máximo nominal		Mínimo VMA, porcentaje Diseño vacíos de aire, Porcentaje		
mm	pulg	3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	No. 4	16.0	17.0	18.0
9.50	3/8	14.0	15.0	16.0
12.50	1/2	13.0	14.0	15.0
19.00	3/4	12.0	13.0	14.0
25.00	1.0	11.0	12.0	13.0
37.50	1.5	10.0	11.0	12.0
50.00	2.0	9.5	10.5	11.5
63.00	2.5	9.0	10.0	11.0

Tabla 3.16 Rangos VMA Instituto del Asfalto y MOP – 001 – F 2002

Nota. Fuente: Asphalt Institute. (1997). Mix Design Methods (p. MS-2, 70). Tabla 5.3. Lexington, Kentucky.

Crterios Marshall FAA AC 150/5370-10G

Prpiedades de la Prueba	Pavimentos diseados para pesos brutos de aeronaves de 60000 Lbs (27216 kg) o mäs o presiones de llantas de 100 psi o mäs		Pavimentos diseados para pesos brutos de aeronaves inferiores a 60000 Lbs (27216 kg) o presiones de llantas inferiores a 100 psi	
	75 GOLPES		50 GOLPES	
N° de golpes	MÍN	MAX	MIN	MAX
Estabilidad, libras	1800		100	
Flujo, 0.01 pulgadas (0.25mm)	8	18	8	20
Volumen de Vacios (%)	2	5	2	5
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral	Ver Tabla 2		Ver Tabla 2	

Tabla 3.17 Criterios de Diseo Marshall norma FAA AC 150/5370-10G

Nota. Fuente: FAA AC 150/5370-10G. (2014). Standards for Specifying Construction of Airports (p. 247). USA.

Agregado	Mínimo VAM
Gradación 3 (Tamaño máximo del agregado 1/8)	16.0%
Gradación 2 (Tamaño máximo del agregado 1/2)	15.0%
Gradación 1 (Tamaño máximo del agregado 3/4)	14.0%

Tabla 3.18 Rangos VMA FAA AC 150/5370-10G

Nota. Fuente: FAA AC 150/5370-10G. (2014). Standards for Specifying Construction of Airports (p. 247). USA.

3.4 Ensayo módulo de rigidez

Para determinar el comportamiento de un pavimento ante la carga vehicular es necesario el ensayo de módulo de rigidez, es un método no destructivo de tracción indirecta por carga diametral a probetas cilíndricas 63.5mm de altura y 101.6mm de diámetro, por lo que el ensayo puede repetirse de ser necesario, esto se puede realizar después de 24 horas de realizado el ensayo. Tanto la prueba de fatiga como la de deformación permanente también pueden ser utilizadas para medir la rigidez de las mezclas asfálticas, no es un método que garantiza que se obtenga mejores respuestas en el análisis.

Las pruebas se realizan en material bituminoso compactado bajo una carga sinusoidal u otra carga controlada. Se ensayan núcleos fabricados en laboratorio o recuperados de pavimento colocado, este procedimiento puede variar temperaturas y duración de carga, con este ensayo se determinan siete resultados de la aplicación de cargas de compresión.

En este ensayo se proporciona pulsos de cargas con períodos de descanso en forma repetitiva. El tiempo hasta la carga vertical máxima es medido desde la carga cero hasta su máximo valor, este tiempo deberá ser de 124 ± 4 ms. En la Figura 3.8 se presenta la forma del pulso de carga:

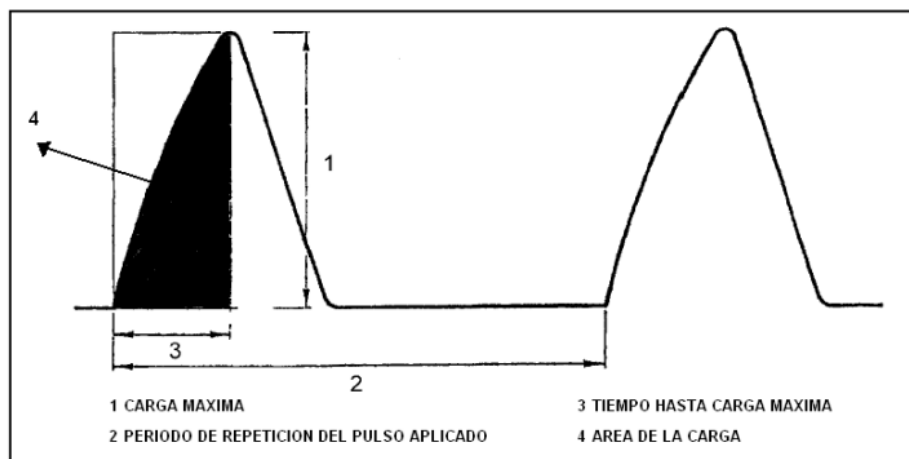


Figura 3.8 Forma de pulso de carga y factor de área de carga

Nota. Fuente: Sandoval, R. (2010). Estudio de comportamiento del módulo de rigidez en mezclas asfálticas, determinado mediante ensayos de laboratorio y obtenidos con instrumentación de terreno (p. 28. Figura 2-6). Santiago de Chile.

Resultados

NORMA: EN 12697-26:2012

Probeta 1. Mezcla normal 6.5% de asfalto

Temperatura del busto (°)	25	Pulsos acondicionadores	10
Densidad bulk (Kg/m ³)	0	Coefficiente de Poisson	0.35
Diametro (mm)	101	A&B Tiempo de subida (ms)	124
Espesor (mm)	70	A&B Tiempo de deformación (um)	5

Resultados de la prueba	1A	2A	3A	4A	5A	Media A
Carga pico a pico (kN)	0.482	0.482	0.478	0.482	0.475	0.480
Esfuerzo horizontal (kPa)	43.5	43.5	43.1	43.5	42.9	43.3
Factor de área de carga	0.57	0.57	0.58	0.58	0.60	0.58
Deformación horizontal (um)	6.54	6.54	6.54	6.54	6.54	6.54
Carga tiempo de subida (ms)	123	124	122	122	117	121
Rigidez medida (MPa)	674	674	674	683	681	677
Módulo de rigidez ajustado (MPa)	667	667	669	680	681	673

Resultados de la prueba	1B	2B	3B	4B	5B	Media B	Media A&B
Carga pico a pico (kN)	0.423	0.421	0.424	0.424	0.424	0.423	0.452
Esfuerzo horizontal (kPa)	38.1	38	38.3	38.3	38.3	38.2	40.7
Factor de área de carga	0.62	0.62	0.64	0.61	0.61	0.62	0.60
Deformación horizontal (um)	6.26	6.26	6.26	6.26	6.26	6.26	6.4
Carga tiempo de subida (ms)	123	123	118	126	124	123	122
Rigidez medida (MPa)	634	638	657	661	666	651	664
Módulo de rigidez ajustado (MPa)	639	642	665	662	668	655	664

Tabla 3.19 Parámetros Módulo de Rigidez mezcla normal probeta 1

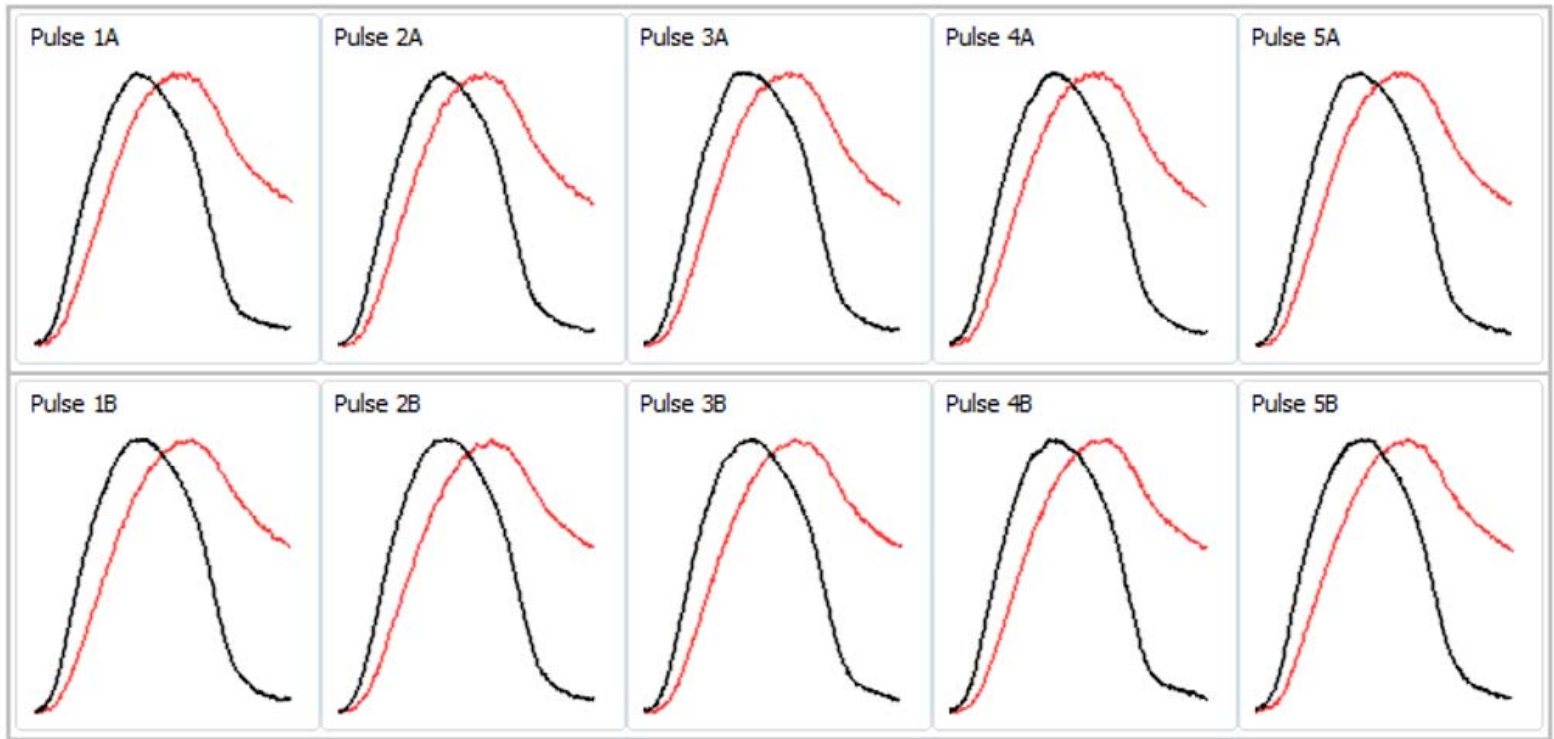


Figura 3.9 Respuesta de carga probeta 1

Probeta 2. Mezcla normal 6.5% de asfalto

Temperatura del busto (°)	25
Densidad bulk (Kg/m ³)	0
Diametro (mm)	102
Espesor (mm)	70

Pulsos acondicionadores	10
Coefficiente de Poisson	0.35
A&B Tiempo de subida (ms)	124
A&B Tiempo de deformación (um)	5

Resultados de la prueba	1A	2A	3A	4A	5A	Media A
Carga pico a pico (kN)	0.551	0.539	0.543	0.543	0.543	0.544
Esfuerzo horizontal (kPa)	49.6	48.5	48.8	48.8	48.8	48.9
Factor de área de carga	0.69	0.70	0.70	0.69	0.69	0.69
Deformación horizontal (um)	5.56	5.56	5.56	5.56	5.56	5.56
Carga tiempo de subida (ms)	126	128	130	128	130	128
Rigidez medida (MPa)	972	1078	1109	1122	1127	1081
Módulo de rigidez ajustado (MPa)	1005	1121	1151	1163	1167	1121

Resultados de la prueba	1B	2B	3B	4B	5B	Media B	Media A&B
Carga pico a pico (kN)	0.474	0.474	0.471	0.470	0.468	0.471	0.508
Esfuerzo horizontal (kPa)	42.6	42.6	42.4	42.3	42.1	42.4	45.7
Factor de área de carga	0.67	0.67	0.67	0.69	0.70	0.68	0.69
Deformación horizontal (um)	6.69	6.69	6.69	6.69	6.69	6.69	6.12
Carga tiempo de subida (ms)	130	131	129	128	127	129	129
Rigidez medida (MPa)	691	815	833	850	854	809	945
Módulo de rigidez ajustado (MPa)	706	836	854	878	886	832	977

Tabla 3.20 Parámetros Módulo de Rigidez mezcla normal probeta 2

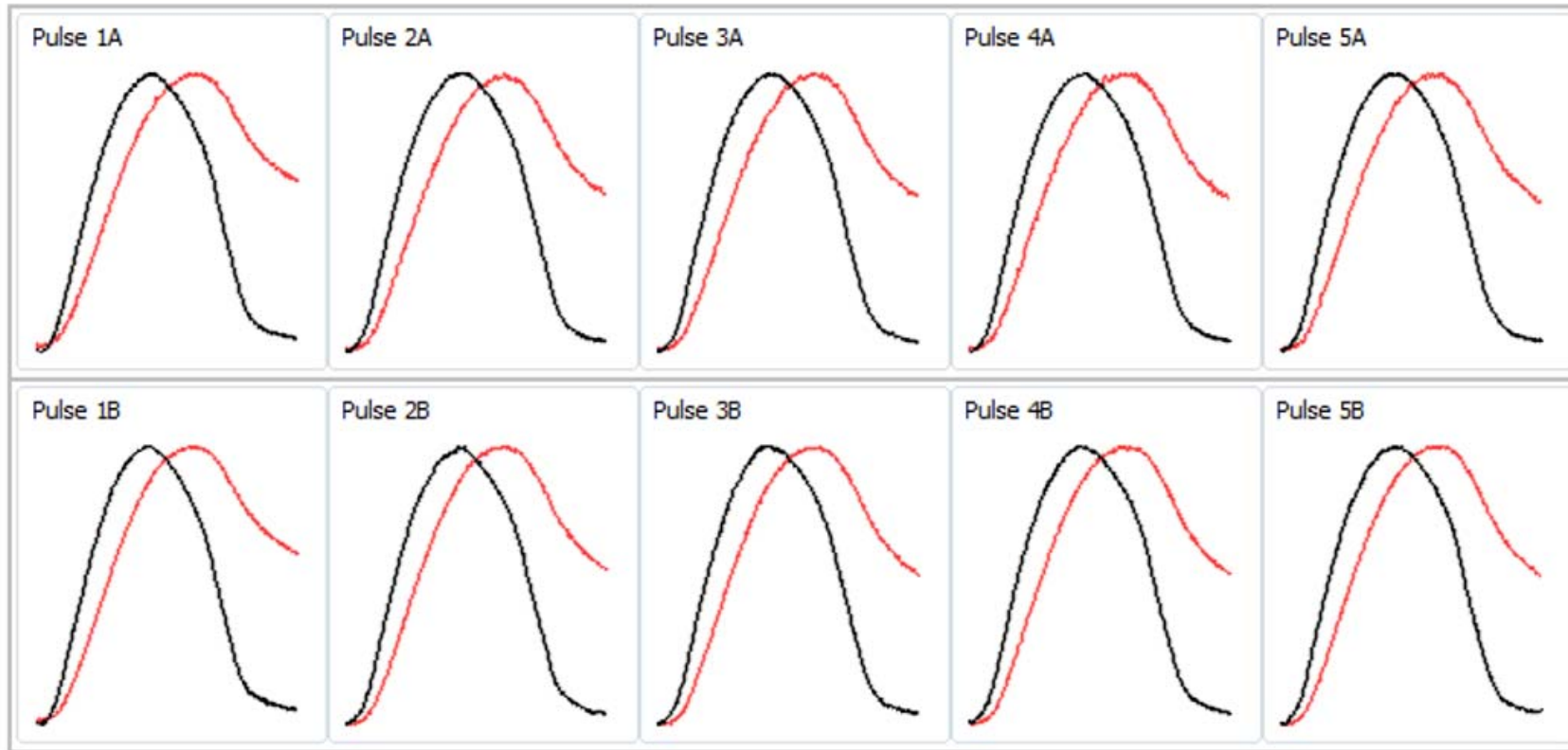


Figura 3.10 Respuesta de carga probeta 2

Tabla de resumen	
Módulo de rigidez ajustado (Mpa)	820.5
Deformación horizontal (um)	6.26

Tabla 3.21 Módulo de rigidez promedio muestra normal

Para evaluar la resistencia a la tensión de la mezcla asfáltica el ensayo utilizado es el antes descrito de módulo de rigidez, con este ensayo se obtiene parámetros primordiales como la deformación horizontal y el módulo de rigidez a tensión. Esto se calcula mediante aplicaciones de carga que se pueden ver en las gráficas anteriores, que muestran los pulsos aplicados a cada briqueta de ensayo (Garnica, Flores, Gómez, Delgado, 2005, p. 50).

Estos valores son indicadores potenciales del agrietamiento que puede sufrir el pavimento, una deformación alta a la falla, indica que la mezcla asfáltica puede tolerar deformaciones altas antes de fallar, lo cual significa que probablemente resista más el agrietamiento que una mezcla con una deformación baja a la falla (Garnica, Flores, Gómez, Delgado, 2005, p. 50).

4. CAPÍTULO V: DISEÑO MEZCLA MODIFICADA

4.1 Elaboración de briquetas modificadas con el contenido óptimo de asfalto y resultados de parámetros Marhsall

A partir de la granulometría del residuo de caucho se determina que el mayor porcentaje retenido es en los tamices No. 50, 100, 200 y pasante del tamiz No. 200, por lo que se reemplaza el material fino de la muestra normal de 1100 gr proporcionalmente en un porcentaje de 25, 50, 75, 100 % del material retenido en los tamices mencionados anteriormente, utilizando el porcentaje de asfalto óptimo obtenido en la mezcla original.

Para la mezcla modificada se realizan seis briquetas para cada porcentaje, lo que da un total de 24 especímenes.

4.2 Diseño de mezcla asfáltica modificada en caliente, obtención parámetros Marshall

El diseño de la mezcla asfáltica modificada se realiza con el mismo proceso de elaboración de especímenes que se utiliza en la mezcla original.

4.2.1 Gravedad Específica Efectiva del Agregado (Gse)

Resultados

Parámetros	Mezcla total
Porcentaje de la mezcla en peso total	100
Contenido de asfalto	6.5
Gravedad específica máxima	2.296
Gravedad específica del asfalto	1.010
Gse	2.519

Tabla 4.1 Gravedad específica efectiva para mezcla modificada

4.2.2 Máxima Gravedad Específica de la mezcla, para diferentes contenidos de residuo de caucho (Gmm)

Resultados

Porcentaje de Residuo de Caucho	25	50	75	100
Gmm	2.296	2.262	2.246	2.243

Tabla 4.2 Gravedad específica máxima agregado total para mezcla modificada

4.2.3 Propiedades Volumétricas

Resultados

Porcentaje	Briqueta	Porcentaje Asfalto	Peso Aire	Peso Sat. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm3)	D. Bulk g/cm3	Gmm g/cm3	V. a. %	V. agr. %	VAM %	VAF %
25%	1	6.5	1156.69	1162.34	611.23	551.1	2.099	2.296	8.59	82.6	17.42	50.71
	2	6.5	1160.40	1166.86	613.93	552.9	2.099	2.296	8.60	82.6	17.43	50.69
	3	6.5	1164.19	1168.13	609.77	558.4	2.085	2.296	9.19	82.0	17.97	48.86
	4	6.5	1154.96	1160.35	611.65	548.7	2.105	2.296	8.32	82.8	17.18	51.57
	5	6.5	1165.33	1169.63	613.20	556.4	2.094	2.296	8.78	82.4	17.60	50.09
	6	6.5	1158.15	1162.85	608.91	553.9	2.091	2.296	8.94	82.3	17.74	49.61
							PROMEDIO	2.095	2.296	8.7	82.4	17.6
50%	7	6.5	1156.32	1159.38	598.29	561.1	2.061	2.262	8.89	81.1	18.92	52.99
	8	6.5	1156.22	1158.99	595.59	563.4	2.052	2.262	9.27	80.7	19.26	51.84
	9	6.5	1159.29	1152.14	594.32	557.8	2.078	2.262	8.12	81.8	18.23	55.45
	10	6.5	1159.29	1162.11	603.15	559.0	2.074	2.262	8.31	81.6	18.40	54.83
	11	6.5	1151.71	1155.22	596.74	558.5	2.062	2.262	8.83	81.1	18.86	53.18
	12	6.5	1159.06	1161.35	596.92	564.4	2.054	2.262	9.22	80.8	19.21	52.01
							PROMEDIO	2.064	2.262	8.8	81.2	18.8

Tabla 4.3 Resumen de propiedades volumétricas mezcla modificada 25%-50%

Porcentaje	Briqueta	Porcentaje 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 %
75%	13	6.5	1167.36	1159.50	603.77	555.7	2.101	2.246	6.47	82.6	17.35	62.69
	14	6.5	1158.29	1160.87	600.07	560.8	2.065	2.246	8.04	81.3	18.74	57.09
	15	6.5	1151.39	1153.70	580.39	573.3	2.008	2.246	10.58	79.0	20.98	49.57
	16	6.5	1169.92	1162.81	607.52	555.3	2.107	2.246	6.19	82.9	17.11	63.79
	17	6.5	1151.93	1154.60	599.70	554.9	2.076	2.246	7.57	81.7	18.32	58.68
	18	6.5	1159.46	1162.14	583.56	578.6	2.004	2.246	10.78	78.8	21.16	49.06
							PROMEDIO	2.060	2.246	8.3	81.1	18.9
100%	19	6.5	1154.52	1156.42	591.45	565.0	2.044	2.243	8.89	80.4	19.60	54.62
	20	6.5	1155.40	1159.18	597.09	562.1	2.056	2.243	8.36	80.9	19.13	56.31
	21	6.5	1153.94	1157.34	590.27	567.1	2.035	2.243	9.28	80.1	19.94	53.47
	22	6.5	1158.78	1160.88	595.24	565.6	2.049	2.243	8.67	80.6	19.40	55.33
	23	6.5	1156.25	1158.17	589.41	568.8	2.033	2.243	9.37	80.0	20.02	53.21
	24	6.5	1155.65	1157.36	590.74	566.6	2.040	2.243	9.07	80.2	19.76	54.09
							PROMEDIO	2.043	2.243	8.9	80.3	19.7

Tabla 4.4 Resumen de propiedades volumétricas mezcla modificada 75%-100%

4.2.4 Ensayo de estabilidad y flujo

Resultados

Porcentaje	Briqueta	Porcentaje Asfalto	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01"
			Medida	F Correc.	Corregida	
25%	1	6.5	3200	0.89	2848	12
	2	6.5	3325	0.89	2959	12
	3	6.5	3200	0.89	2848	13
	4	6.5	3625	0.89	3226	11
	5	6.5	3450	0.89	3071	14
	6	6.5	3050	0.89	2715	12
						2944
50%	7	6.5	3550	0.86	3053	16
	8	6.5	3300	0.86	2838	13
	9	6.5	2925	0.89	2603	11
	10	6.5	3330	0.89	2964	16
	11	6.5	3400	0.89	3026	14
	12	6.5	3350	0.86	2881	13
						2894
75%	13	6.5	3650	0.89	3249	14
	14	6.5	3900	0.86	3354	13
	15	6.5	3300	0.86	2838	15
	16	6.5	3950	0.89	3516	13
	17	6.5	3750	0.89	3338	13
	18	6.5	3175	0.83	2635	14
						3147
100%	19	6.5	3650	0.86	3139	15
	20	6.5	3425	0.86	2946	14
	21	6.5	3800	0.86	3268	17
	22	6.5	3700	0.86	3182	14
	23	6.5	3175	0.86	2731	14
	24	6.5	3550	0.86	3053	14
						2892

Tabla 4.5 Resumen resultados estabilidad y flujo para cada porcentaje mezcla modificada

4.2.5 Determinación de Mezcla óptima

Para determinar el porcentaje de residuos de caucho óptimo para la mezcla se toma en cuenta los valores más próximos de los especímenes ensayados, y para realizar las gráficas se toman los valores con un porcentaje de residuo de caucho de 0, 25, 50, 75, y 100%.

La tabla resumida de los parámetros Marshall para la mezcla modificada, se muestra a continuación:

% Residuo de caucho	Bulk	Va	VAM	VAF	Estabilidad	Flujo
0	2.112	9.6	17.1	44.0	2737	10
25	2.102	8.5	18.3	53.9	3093	11
50	2.076	8.2	19.3	57.5	2783	13
75	2.104	6.3	18.3	65.3	3249	14
100	2.052	8.5	20.4	57.5	2946	14

Tabla 4.6 Resumen propiedades Marshall mezcla modificada

Resultados

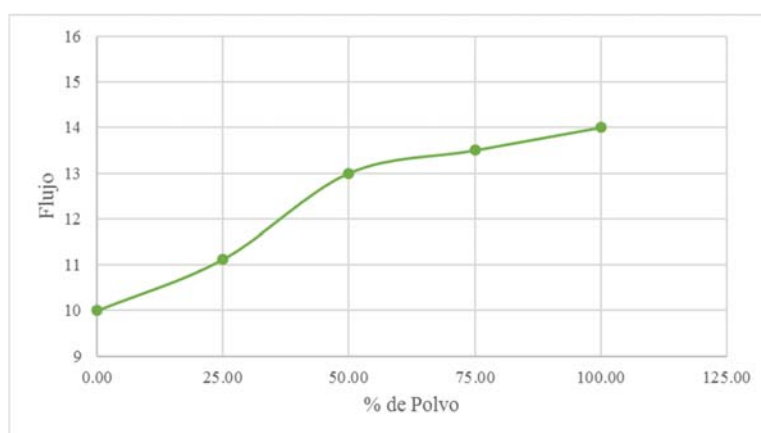


Figura 4.1 Porcentaje de residuo de caucho vs. Flujo mezcla modificada

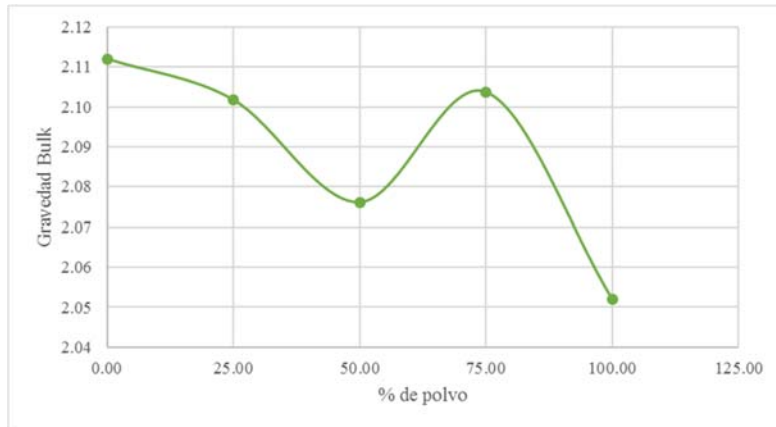


Figura 4.2 Porcentaje de residuo de caucho vs. Densidad bulk mezcla modificada

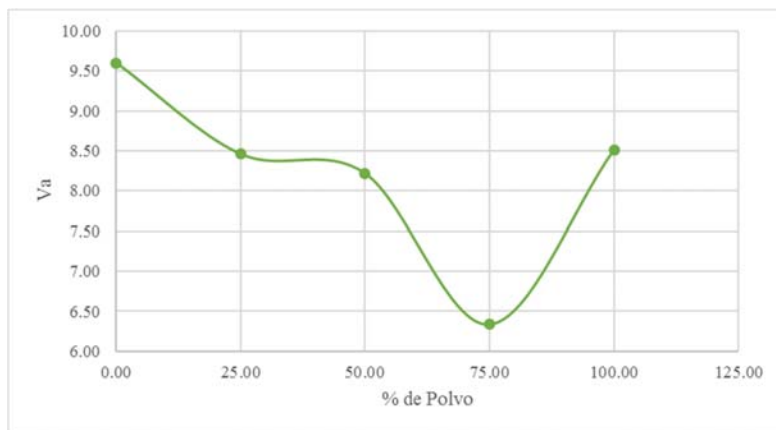


Figura 4.3 Porcentaje de residuo de caucho vs. Va mezcla modificada

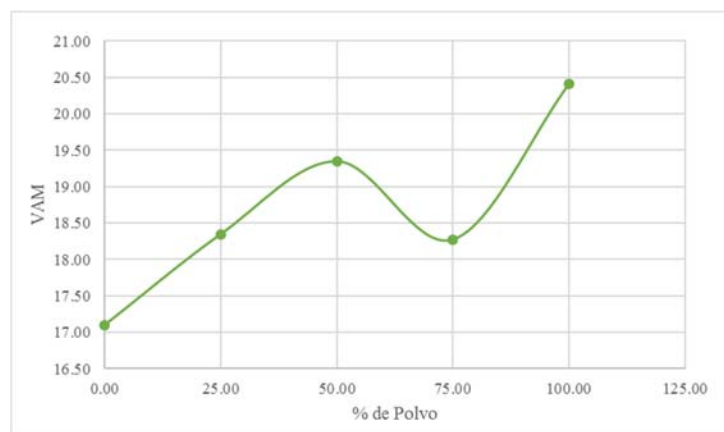


Figura 4.4 Porcentaje de residuo de caucho vs. VAM mezcla modificada

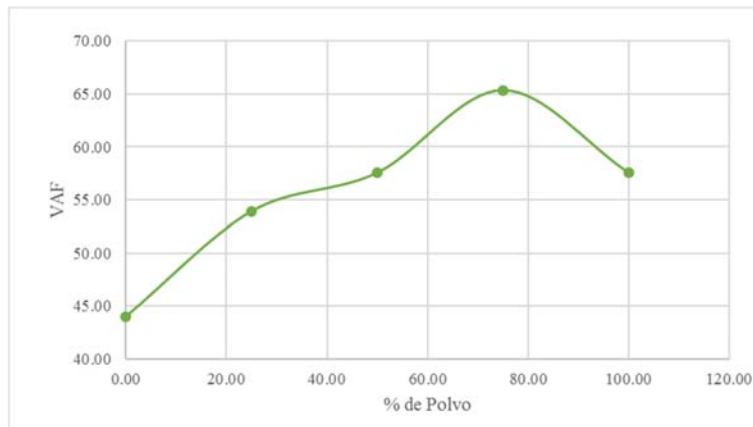


Figura 4.5 Porcentaje de residuo de caucho vs. VAF mezcla modificada

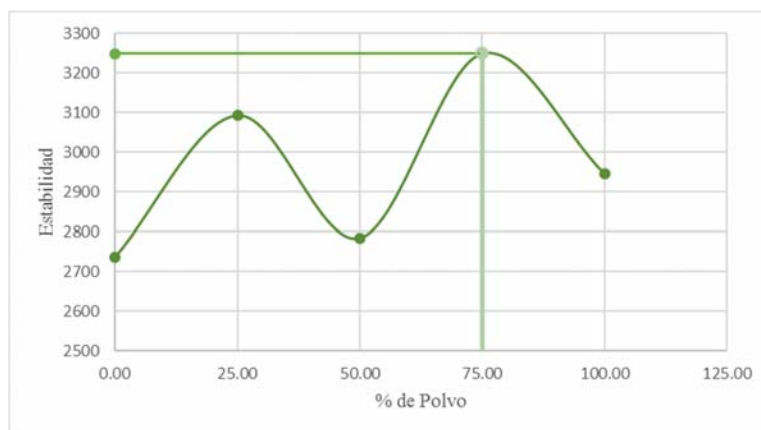


Figura 4.6 Porcentaje de residuo de caucho vs. Estabilidad mezcla modificada

Resultados

Porcentaje de asfalto: 6.5%

Porcentaje óptimo residuo de caucho: 75%

ENSAYOS A LA MEZCLA	Criterios Marshall Instituto del Asfalto y MOP – 001 – F 2002		Criterios Marshall FAA AC 150/5370- 10G		RESULTADOS		
	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	RESULTADO S MARSHALL	Instituto del Asfalto y MOP – 001 – F 2002	FAA AC 150/5370- 10G
Va	3	5	2	5	6.3	NO CUMPLE	NO CUMPLE
VAM	Ver Tabla 5.3		14 (Ver Tabla 2)	---	18.3	NO SE PUEDE ESPECIFICAR	SI CUMPLE
VAF	65	75	---		65.3	SI CUMPLE	---
Estabilidad	1800	---	1800	---	3249	SI CUMPLE	SI CUMPLE
Flujo	8	14	8	18	14	SI CUMPLE	SI CUMPLE

Tabla 4.7 Parámetros Marshall óptimos de la mezcla

4.3 Ensayo módulo de rigidez

Resultados

NORMA: EN 12697-26:2012

Probeta 1. Mezcla modificada 75% residuo de caucho

Temperatura del busto (°)	25
Densidad bulk (Kg/m ³)	0
Diametro (mm)	102
Espesor (mm)	71

Pulsos acondicionadores	10
Coefficiente de Poisson	0.35
A&B Tiempo de subida (ms)	124
A&B Tiempo de deformación (um)	5

Resultados de la prueba	1A	2A	3A	4A	5A	Media A
Carga pico a pico (kN)	0.585	0.581	0.582	0.582	0.582	0.582
Esfuerzo horizontal (kPa)	51.5	51.1	51.2	51.2	51.3	51.3
Factor de área de carga	0.77	0.81	0.80	0.80	0.82	0.80
Deformación horizontal (um)	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68
Carga tiempo de subida (ms)	131	124	127	128	124	127
Rigidez medida (MPa)	1321	1472	1511	1540	1557	1480
Módulo de rigidez ajustado (MPa)	1413	1604	1644	1673	1706	1608

Resultados de la prueba	2B	3B	4B	5B	Media B	Media A&B
Carga pico a pico (kN)	0.543	0.543	0.546	0.546	0.545	0.564
Esfuerzo horizontal (kPa)	47.8	47.8	48.0	48.0	48.0	49.6
Factor de área de carga	0.85	0.83	0.83	0.82	0.83	0.81
Deformación horizontal (um)	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.48
Carga tiempo de subida (ms)	112	117	117	119	116	122
Rigidez medida (MPa)	1540	1584	1599	1624	1547	1514
Módulo de rigidez ajustado (MPa)	1707	1743	1761	1781	1701	1655

Tabla 4.8 Parámetros Módulo de Rigidez mezcla modificada probeta 1

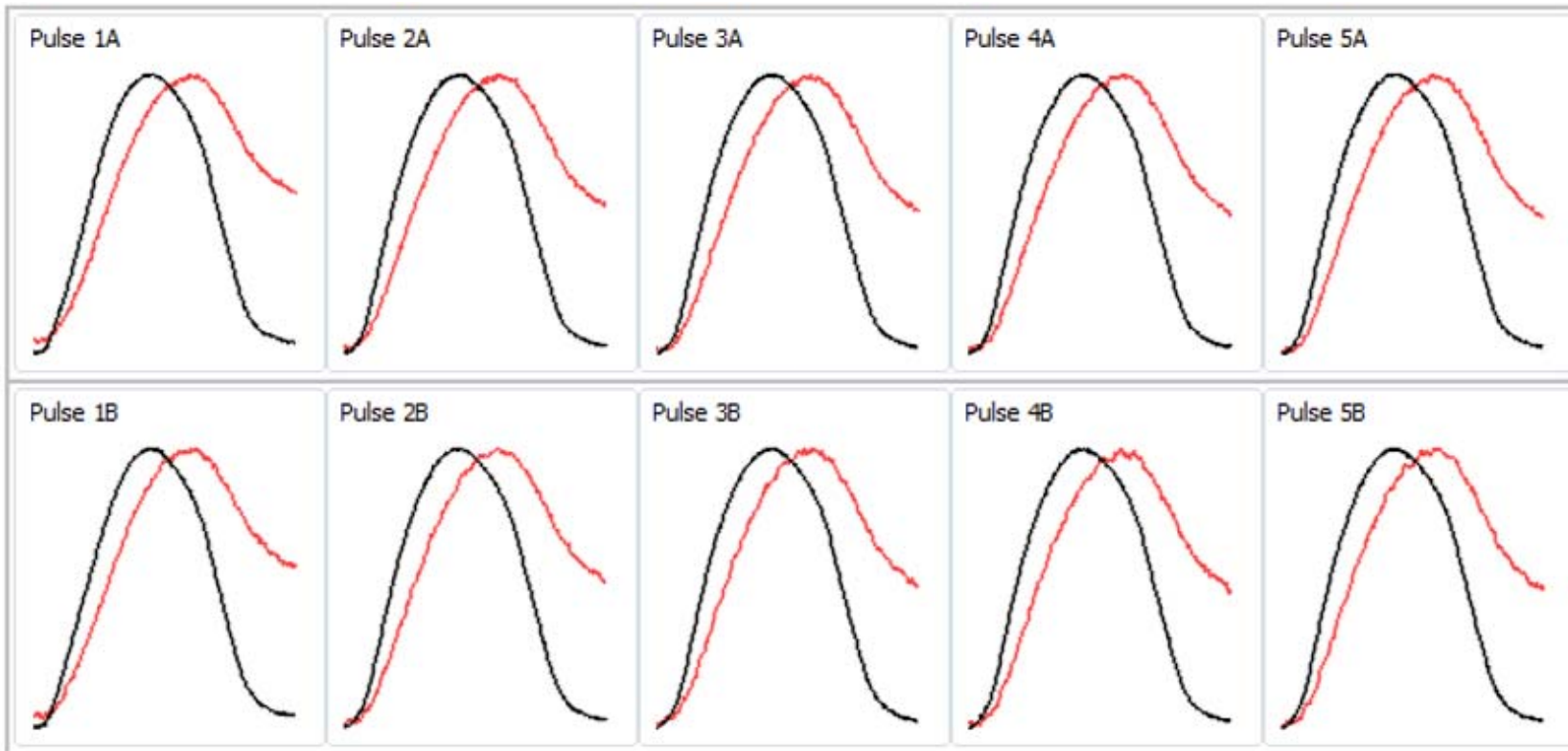


Figura 4.7 Respuesta de carga mezcla modificada probeta 1

Probeta 2. Mezcla modificada 75% residuo de caucho

Temperatura del busto (°)	25	Pulsos acondicionadores	10
Densidad bulk (Kg/m³)	0	Coefficiente de Poisson	0.35
Diametro (mm)	102	A&B Tiempo de subida (ms)	124
Espesor (mm)	71	A&B Tiempo de deformación (um)	5

Resultados de la prueba	1A	2A	3A	4A	5A	Media A
Carga pico a pico (kN)	0.661	0.702	0.660	0.661	0.663	0.669
Esfuerzo horizontal (kPa)	58.5	62.1	58.4	58.4	58.7	59.2
Factor de área de carga	0.74	0.71	0.71	0.70	0.73	0.72
Deformación horizontal (um)	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26
Carga tiempo de subida (ms)	72	75	75	78	73	75
Rigidez medida (MPa)	2135	2206	2238	2259	2246	2217
Módulo de rigidez ajustado (MPa)	2283	2329	2362	2372	2391	2347

Resultados de la prueba	1B	2B	3B	4B	5B	Media B	Media A&B
Carga pico a pico (kN)	0.615	0.610	0.610	0.607	0.615	0.612	0.640
Esfuerzo horizontal (kPa)	54.5	54.0	54.0	53.7	54.5	54.1	56.7
Factor de área de carga	0.81	0.82	0.83	0.83	0.83	0.83	0.77
Deformación horizontal (um)	4.14	4.14	4.14	4.14	4.14	4.14	3.70
Carga tiempo de subida (ms)	172	174	169	170	167	170	122
Rigidez medida (MPa)	1598	1697	1728	1741	1746	1702	1960
Módulo de rigidez ajustado (MPa)	1750	1865	1912	1928	1930	1877	2112

Tabla 4.9 Parámetros Módulo de Rigidez mezcla modificada probeta 2

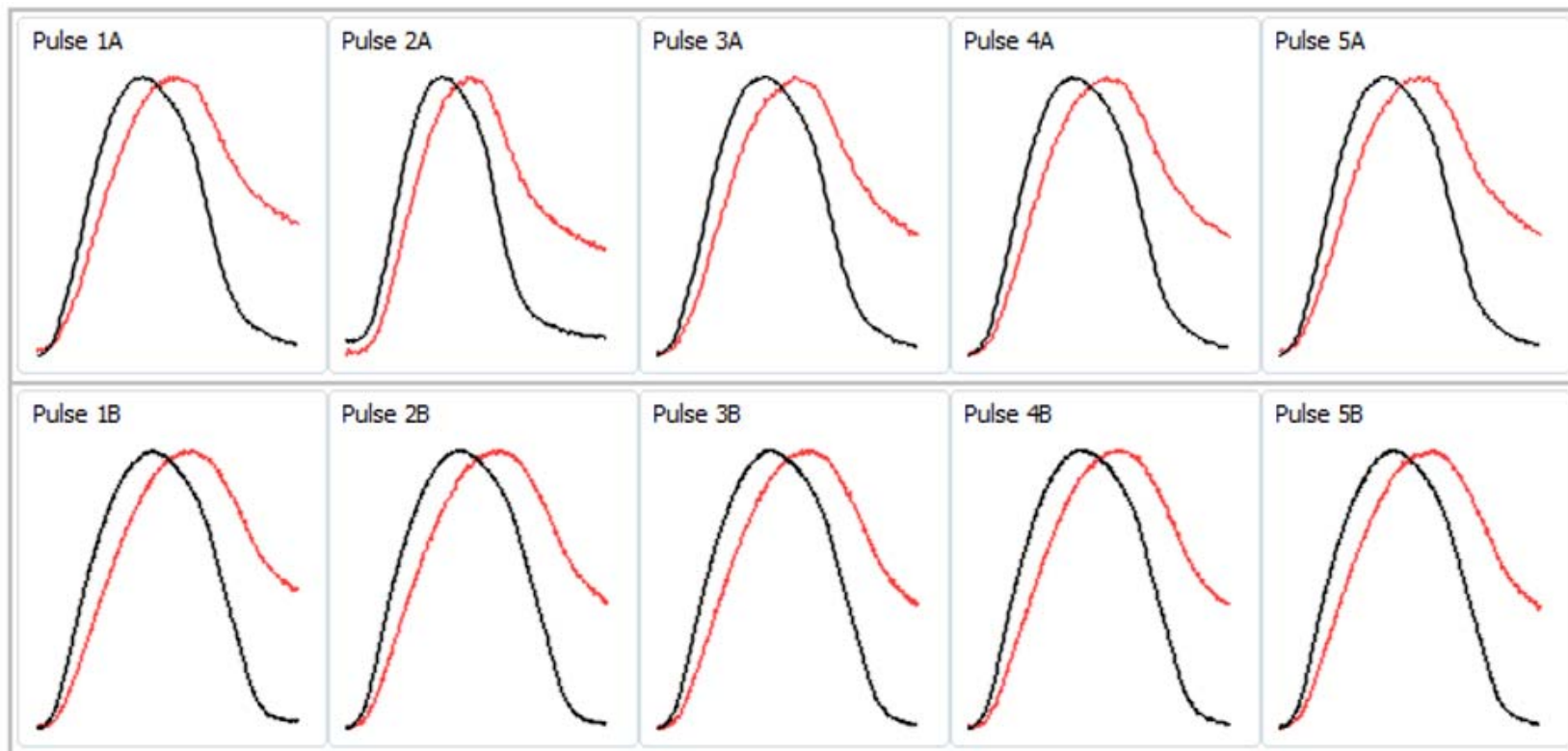


Figura 4.8 Respuesta de carga mezcla modificada probeta 2

Tabla de resumen	
Módulo de rigidez ajustado (Mpa)	1883.5
Deformación horizontal (um)	4.09

Tabla 4.10 Módulo de rigidez promedio muestra modificada

5. CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La Planta de Asfalto de Naranjo López Constructores Cía. Ltda. provee de mezcla asfáltica al Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, y el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha, por esta razón fueron aceptados los agregados para el presente trabajo de disertación.
- Los agregados pétreos utilizados para el estudio del presente trabajo de disertación cumplen con todos los requerimientos de caracterización de los agregados, que son expuestos en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP – 001 – F 2002, excepto el material fino 1/4 que, en el ensayo de desgaste a los sulfatos tuvo un 15.96%, siendo el máximo el 12%, sin embargo, este es compensado en la mezcla con los agregados gruesos 3/4 y 1/2 que tienen un desgaste a los sulfatos del 2.34% y 7.91% respectivamente que es inferior al límite máximo.
- El cemento asfáltico utilizado para el estudio del presente trabajo de disertación cumple con todos los requerimientos de caracterización del cemento asfáltico, que son expuestos en la norma NTE INEN 2515:2014.
- A partir de la granulometría de los agregados se obtiene el porcentaje óptimo de asfalto del 6%, con el cual se realiza la mezcla asfáltica con cinco porcentajes de asfalto 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%, obteniendo los parámetros Marshall, estabilidad, flujo, propiedades volumétricas.
- En base a los resultados obtenidos de la mezcla normal se determinó el porcentaje óptimo de asfalto de 6.5%, el mismo que es utilizado para la mezcla modificada.
- Con el ensayo de módulo de rigidez se obtiene la deformación horizontal simulando el comportamiento de la mezcla asfáltica en sitio. Según la norma UNE-EN 12697:26 2012 Anexo C.2.2.3.4 Nota 2, para una briqueta de 100 – 110 mm de diámetro nominal la deformación horizontal debe ser de (5 ± 2) μm , por lo que la mezcla normal cumple ya que tiene una deformación horizontal de 6.26 μm .
- La mezcla normal tiene un módulo de rigidez efectivo a la tracción indirecta de 820.5 MPa por lo que no se encuentra dentro del rango óptimo según la norma UNE-EN

12697:26 2012 Anexo C.2.2.4 que establece que este debe estar comprendido entre 1500 MPa y 3000 MPa.

- La durabilidad de un pavimento guarda relación con el contenido de aire, razón por la cual la mezcla original podría presentar desgaste prematuro debido a que es una mezcla abierta que permitiría el ingreso de aire y agua a la capa de rodadura. Este problema se redujo considerablemente tras la adición de los residuos de caucho a la mezcla asfáltica.
- La mezcla asfáltica para una carga de tráfico alta requería un valor de VFA bajo razón por el cual la mezcla modificada podría tener un buen comportamiento si se decide usarla en actividades de mantenimiento dentro del aeropuerto
- En la mezcla modificada para las gráficas de los parámetros Marshall se tomó los porcentajes de 0%, 25%, 50%, 75%, y 100% de residuo de caucho, de esta manera se determina que el porcentaje óptimo del mismo es 75%.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en las tablas 3.14 para mezcla normal y 4.7 para mezcla modificada se puede observar que el porcentaje de vacíos se encuentra sobre el límite máximo, mientras que la estabilidad y flujo son satisfactorias de acuerdo a las especificaciones mencionadas, lo cual se puede interpretar que este alto contenido de vacíos se relaciona con mezclas que tienen alta permeabilidad, por lo que se podría ocasionar un deterioro prematuro del asfalto debido a que existiría circulación de aire y agua a través del pavimento, también se puede presentar desprendimiento del agregado, o posible desprendimiento de asfalto en el agregado; por lo que se debe buscar disminuir los vacíos, independientemente que la estabilidad sea satisfactoria.
- En el porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) de la mezcla modificada mejoró con respecto de la mezcla normal obteniendo un valor de 65.3% cumpliendo con los requerimientos de la norma Mix Design Methods del Instituto del Asfalto que indica un rango entre 65-75%.
- A pesar de que el porcentaje de vacíos de aire (Va) se redujo en comparación con la mezcla normal, no logra cumplir con los requerimientos de la norma, ya que tiene un valor de 6.3% y la norma específica que debe estar en un rango de 3-5. Debido a que el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) es un valor que está en función del volumen de vacíos de aire (Va), no se puede ingresar en la tabla especificada.

- En el ensayo de módulo de rigidez para la mezcla modificada se obtiene una deformación horizontal de 4.09 μm disminuyendo el valor de la mezcla normal, y cumpliendo con la norma UNE-EN 12697:26 2012 Anexo C.2.2.3.4 Nota 2.
- La mezcla modificada tiene un módulo de rigidez efectivo a la tracción indirecta de 1883.5 MPa por lo que se encuentra dentro del rango óptimo según la norma UNE-EN 12697:26 2012 Anexo C.2.2.4 que establece que este debe estar comprendido entre 1500 MPa y 3000 MPa.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda la adición del residuo de caucho a la mezcla asfáltica, sin embargo, es necesario buscar otro material fino que pueda reemplazar al material que se seleccionó, ya que no cumple con las especificaciones de desgaste a los sulfatos, por esta razón no logra cumplir con el porcentaje de vacíos de aire, aun así, hay mejora en todos los demás parámetros Marshall.
- Es recomendable realizar el ensayo de Módulo de rigidez, ya que, como se explicó anteriormente este ensayo simula el comportamiento del pavimento en sitio, y de esta manera se conoce tanto la deformación como el módulo de rigidez efectivo.
- El módulo de rigidez y la deformación se encuentran en el rango especificado en la norma, por lo que sí es recomendable utilizar el residuo de caucho como parte de la mezcla asfáltica.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, A. (2014). Análisis de la correlación entre estabilidad y módulo de rigidez para mezclas asfálticas en caliente, empleando agregados pétreos del distrito metropolitano de Quito (Maestría). Recuperado de: www.puce.edu.ec
- Asphalt Institute. (1997). Mix Design Methods. Lexington, Kentucky. USA.
- Cedeño, J. 2 agosto 2009. Equivalente de Arena. Recuperado de: <http://javierlaboratorio.blogspot.com>
- Cuenca, E. 2008. Análisis de resultados tras el ensayo en laboratorio de las probetas en “Z” y las vigas. Recuperado de: <https://riunet.upv.es>
- Dávila, J. 2005. Análisis comparativo de módulo resiliente y ensayos de deformación permanente en mezclas asfálticas del tipo (MDC2) en briquetas compactadas con martillo Marshall y compactador giratorio. Recuperado de: <http://www.javeriana.edu.co>
- Domínguez, E. Módulo de rigidez en carpetas asfálticas y prueba de la rueda de Hamburgo. México. www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt272.com
- Flores, M & Garnica, P & Gómez, J & Delgado, H. (2005). Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas. Sanfandilla. Publicación técnica No. 267. Recuperado de: <http://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt267.pdf>
- Flores, M. & Garnica, P. & Gómez, J. & Delgado, H. & Romero, S. (2004). Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas. Sanfandilla. Publicación técnica No. 246. Recuperado de: <http://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt246.pdf>
- Garay, A. 1 diciembre 2014. Estado del Arte (Diseño de mezclas asfálticas). Recuperado de: <https://es.scribd.com>
- Instrucción para el diseño de firmes de la red de carreteras de Andalucía. Recuperado de:

http://www.carreteros.org/ccaa/legislacion/carreteras/andalucia/normativa/firmes/apartados/5_2.htm

- Lagila, M. 2014. análisis de la correlación entre estabilidad y módulo de rigidez para mezclas asfálticas en caliente, empleando agregados pétreos de la provincia de Imbabura, cantón Ibarra. Recuperado de: www.puce.edu.ec
- Limón, P. 10 abril 2015. Pruebas especiales en mezclas asfálticas. México. Recuperado de: <http://www.lasfalto.com.mx>
- Ministerio de Transportes y Obras Públicas (MTO). 2002. Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP – 001 – F 2002. Ecuador.
- Pérez, J & Gardey, A. 2009. Definición de ductilidad. Recuperado de: <https://definicion.de/ductilidad.com>
- Sandoval, G. diciembre 2010. Estudio de comportamiento del módulo de rigidez en mezclas asfálticas, determinado mediante ensayos de laboratorio y obtenidos con instrumentación de terreno. Chile. Recuperado de: <https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/1405/561158.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Uchuari, J. (2016). Análisis de la correlación entre estabilidad y módulo de rigidez para mezclas asfálticas en caliente, empleando agregados pétreos para la provincia de Suvumbíos (Maestría). Recuperado de: www.puce.edu.ec

ANEXOS



Ensayos a los agregados



Ensayo al asfalto: Punto de ablandamiento



Ensayo al asfalto: Punto de chispa



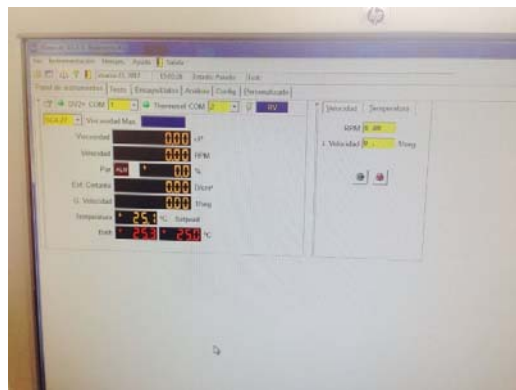
**Ensayo al asfalto:
Gravedad específica**



Película delgada en horno rotatorio



Viscosidad cinemática



Viscosidad absoluta



Asfalto a temperatura necesaria



Agregado para la muestra



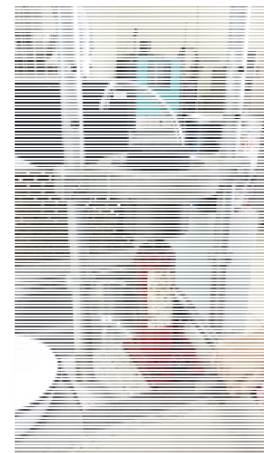
Mezcla asfáltica normal



Compactación (mezcla normal)



**Briquetas al 5.0% y 5.5% de asfalto
(Mezcla normal)**



**Desmolde de las briquetas
(Mezcla normal)**



Briquetas al 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7% de asfalto (Mezcla normal)



Ruptura de briquetas (Estabilidad y flujo)



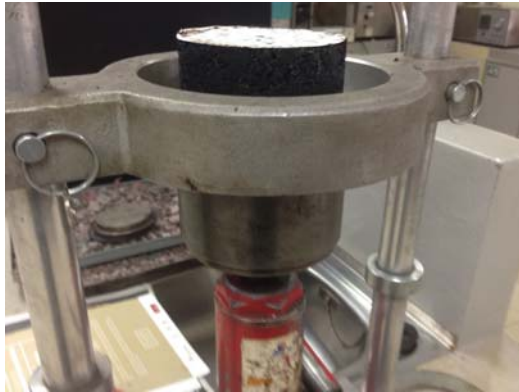
Mezcla normal para ensayo de vacíos



Ensayo de vacíos



Colocación de mezcla modificada en el molde



Desmolde de briquetas (Mezcla modificada)



Limpieza de briquetas modificadas para la ruptura



Ensayo módulo de rigidez



Briquetas mezcla normal



Briquetas mezcla modificada



Mezcla asfáltica (Muestra modificada)



LMC-MPT-5.4-AP-5-R1

ÁREA DE PAVIMENTOS
ENSAYO DE VISCOSIDAD CON VISCOSÍMETRO CAPILAR AL VACÍO

ORDEN DE TRABAJO N°

FECHA DE ENSAYO:

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA:

TEMPERATURA DE ENSAYO (°C):

NÚMERO DE VISCOSÍMETRO:

CÓDIGO DE VISCOSÍMETRO:

TIEMPO DE FLUJO (s):

B	C	D	E	F
<input type="text" value="65,2"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

OBSERVACIONES:

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD:

ENSAYO

INFORME



LMC-MPT-5.4-AP-2-R1

ÁREA DE PAVIMENTOS
ENSAYO DE DUCTILIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS

ORDEN DE TRABAJO N°

3902

FECHA DE ENSAYO:

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

Tesis

TEMPERATURA DE ENSAYO (°C):

25

ADITIVO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA:

NÚMERO DE RÉPLICAS:

DISTANCIA DE ROTURA (cm):

D1

52

D2

53

D3

57

ENSAYO NORMAL:

SI NO

SI NO

SI NO

OBSERVACIONES:

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD:

ENSAYO

INFORME



LMC-MPT-5.4-AP-1-R1

ÁREA DE PAVIMENTOS
ENSAYO DE PENETRACIÓN DE MATERIALES BITUMINOSOS

ORDEN DE TRABAJO N°

3902

FECHA DE ENSAYO:

21

03

17

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

Tesis Muñoz - Orquera

TEMPERATURA DE ENSAYO (°C):

25°

CARGA (g):

100

SEGUNDOS (s):

5

PENETRACIONES (Décimas de mm):

P1

71

P4

P2

71

P5

P3

72

P6

OBSERVACIONES:

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD:

ENSAYO

INFORME



LMC-MPT-5.4-AP-3-R1

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

ORDEN DE TRABAJO N°

3902

FECHA DE ENSAYO:

21

03

17

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

Tesis Huñoz - Orquera

MASA DE BOTELLA 1 + ASFALTO ANTES (g):

205,388

PARA CAMBIO DE
MASA

MASA DE BOTELLA 2 + ASFALTO ANTES (g):

203,230

PARA CAMBIO DE
MASA

MASA DE BOTELLA 1 + ASFALTO DESPUÉS (g):

205,358

PARA CAMBIO DE
MASA

MASA DE BOTELLA 2 + ASFALTO DESPUÉS (g):

203,149

PARA CAMBIO DE
MASA

OBSERVACIONES:

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD:

ENSAYO

INFORME



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°

3902

FECHA DE ENSAYO:

21

03

17

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

Tesis Muñoz - Orquera

PUNTO DE CHISPA (°C):

295

PUNTO DE LLAMA (°C):

324

PRESIÓN BAROMÉTRICA (mmHg):

548.4

OBSERVACIONES:

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD:

ENSAYO

INFORME



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Laboratorio de Materiales de Construcción**

**Control de Materiales Bituminosos
Formulario 000**

Proyecto			
Contratista			
Norma AASHTO	X	T 228-06	Gravedad Específica de Materiales Bituminosos Semisólidos
Norma ASTM		D 70-03	

Datos de muestra

Código Fecha Grado

Observaciones: Tesis



Datos de ensayo

- | | | | |
|---|--------------------------------|-------------------------------------|--|
| 1 | <input type="text" value="T"/> | <input type="text" value="25"/> | Temperatura de ensayo [°C] |
| 2 | <input type="text" value="A"/> | <input type="text" value="38,045"/> | Masa de picnómetro + tapón secos [g]
<i>Nota: Pesar con precisión de 0.001 g</i> |
| 3 | <input type="text" value="B"/> | <input type="text" value="62,335"/> | Masa del picnómetro + tapón + agua destilada @ T±0.1 °C [g]
<i>Nota: Sumergir por 30 min antes de pesar
Pesar con precisión de 0.001 g</i> |
| 4 | <input type="text" value="C"/> | <input type="text" value="55,931"/> | Masa del picnómetro + tapón + asfalto [g]
<i>Nota: Pesar con precisión de 0.001 g</i> |
| 5 | <input type="text" value="D"/> | <input type="text" value="62,520"/> | Masa del picnóm. + tapón + asfalto + agua destilada @ T±0.1 °C [g]
<i>Nota: Sumergir por 30 min antes de pesar
Pesar con precisión de 0.001 g</i> |

Resultados

<input type="text" value="Gb"/>	<input type="text" value="0.000"/>	Gravedad específica (a la milésima) <i>Calcular: (C-A) / [(B - A)-(D-C)]</i>
<input type="text" value="δ"/>	<input type="text" value="0"/>	Densidad <i>Calcular: G_b x W_T</i> <i>Nota: W_T @ 15 °C = 999.1 kg/m³</i> <i>W_T @ 25 °C = 997.0 kg/m³</i>

Notas

		No. Picnómetro:
	<input checked="" type="checkbox"/>	Hubbard-Carmick
	<input type="checkbox"/>	Hubbard

Ejecutado por

Operador Fecha

ÁREA DE PAVIMENTOS
INFORME DE ENSAYO

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

PROYECTO: *Tesis*

LOCALIZACIÓN:

NORMA DE REFERENCIA: ASTM D36/D36M - 12

PROCEDIMIENTO:

RECEPCIÓN N°

HOJA:

MUESTRA: *3902*

SOLICITA:

FISCALIZACIÓN:

CONTRATISTA:

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:

FECHA DE EMISIÓN: . . .

Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	<i>3902</i>
Líquido usado en el baño	<i>agua</i>

Registros de la muestra:

	<i>Anillo 1</i>	<i>Anillo 2</i>	<i>Promedio</i>
Punto de ablandamiento, °C	<i>47,1</i>	<i>47,8</i>	<i>47,45</i>

OBSERVACIONES:

VISCOSIDAD A VARIAS TEMPERATURAS

ORDEN: 39102
 HOJA: _____
 FECHA: 27/03/2017

MUESTRA 1 2 3 4 5 6

TEMPERATURA:	120.1					
VISCOSIDAD:	885,00					
VELOCIDAD:	50					
% PAR:	88,9					

TEMPERATURA:	170.2					
VISCOSIDAD:	86,22					
VELOCIDAD:	185,00					
% PAR:	31,9					

TEMPERATURA:						
VISCOSIDAD:						
VELOCIDAD:						
% PAR:						

TEMPERATURA:						
VISCOSIDAD:						
VELOCIDAD:						
% PAR:						

TEMPERATURA:						
VISCOSIDAD:						
VELOCIDAD:						
% PAR:						

TEMPERATURA:						
VISCOSIDAD:						
VELOCIDAD:						
% PAR:						

TEMPERATURA:						
VISCOSIDAD:						
VELOCIDAD:						
% PAR:						

OBSERVACION: _____
 REALIZADO POR: _____



LMC-MPT-5.4-AP-5-R1

ÁREA DE PAVIMENTOS
ENSAYO DE VISCOSIDAD CON VISCOSÍMETRO CAPILAR AL VACÍO

ORDEN DE TRABAJO N°

FECHA DE ENSAYO:

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA:

TEMPERATURA DE ENSAYO (°C):

NÚMERO DE VISCOSÍMETRO:

CÓDIGO DE VISCOSÍMETRO:

TIEMPO DE FLUJO (s):

B	C	D	E	F
<input type="text" value="66,30"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

OBSERVACIONES:

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD:

ENSAYO

INFORME

MEZCLAS DE AGREGADOS

Tamiz #	1	3.4	1.2	3.8	4	8	30	50	100	200	p #200
Tz mm.	25,4	19	12,5	9,5	4,75	2,36	0,6	0,3	0,15	0,075	p 0,075
mat. A	100,00	98,80	33,19	8,09	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
mat. B	100,00	100,00	99,44	83,27	25,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
mat. C	100,00	100,00	100,00	100,00	95,47	67,36	28,31	14,40	6,91	2,82	
mat. D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
mezcla	100,00	99,76	86,53	78,27	62,72	40,42	16,99	8,64	4,15	1,69	
Ret.Ac.	0,00	0,24	13,47	21,73	37,28	59,58	83,01	91,36	95,85	98,31	1,69
Ret.Parc.	0,00	0,24	13,23	8,25	15,55	22,30	23,43	8,35	4,49	2,45	
peso	0,00	2,64	145,57	90,79	171,07	245,34	257,73	91,81	49,43	26,99	18,67
p. acum.	0,00	2,64	148,21	239,01	410,08	655,42	913,15	1004,96	1054,39	1081,39	1100,00
Espec mín	100	90	---	56	35	23	---	5	---	2	
Espec máx	100	100	---	80	65	49	---	19	---	8	

% DE MEZCLA		
A	0,20	20
B	0,20	20
C	0,60	60
D	0	0



PUCE

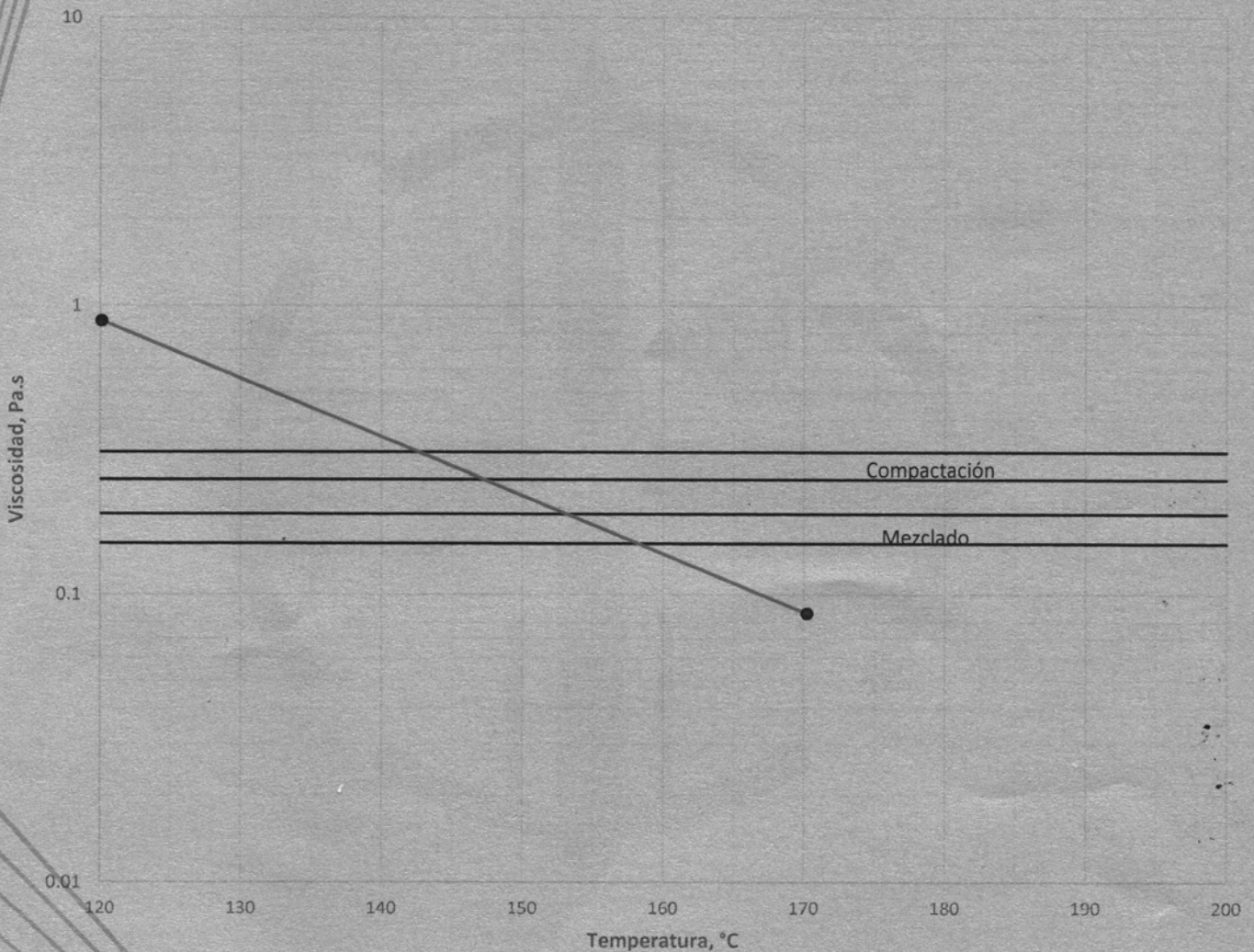
Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA
FACULTAD DE INGENIERÍA



ÁREA DE PAVIMENTOS

CARTA NORMALIZADA DE VISCOSIDAD-TEMPERATURA PARA ASFALTOS

NORMA: ASTM D 2493/D2493M - 09		ORDEN: 3902	HOJA: 1 de 1
CLIENTE: PUCE		SOLICITA: Adriana Muñoz/Maria Fernanda Orquera	
PROYECTO: TESIS		FISCALIZA: ---	
UBICACIÓN: QUITO		CONSTRUYE: ---	
PROVINCIA: PICHINCHA	CANTÓN:	EMISIÓN: 2017-03-27	



Muestra: Cemento asfáltico muestreado por cliente. No se proporcionan grado y origen.

Rangos normados de viscosidad (ASTM D6926 - 10):	Mezclado:	0.17 ± 0.02 Pa.s
	Compactación:	0.28 ± 0.03 Pa.s

Rangos de temperatura de trabajo para la muestra:	Mezclado:	153.0 - 158.5 °C
	Compactación:	142.5 - 147.0 °C

Carlos Mallama F.

Responsable de Ensayo

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Ing. Jorge Albuja

Responsable de Área

Ing. Guillermo Realpe

Director LMC



JESUITAS ECUADOR



MARK SELECTION
□/□

5K / 10K

H-1322 CP

4.5K / 9K

4K / 8K

3.5K / 7K

3K / 6K

K, Lbf

2K / 4K

1.5K / 3K

1K / 2K

.5K / 1K

0

0

.05

.10

.15

.20

.25

.30

.35

.40

.45

.50

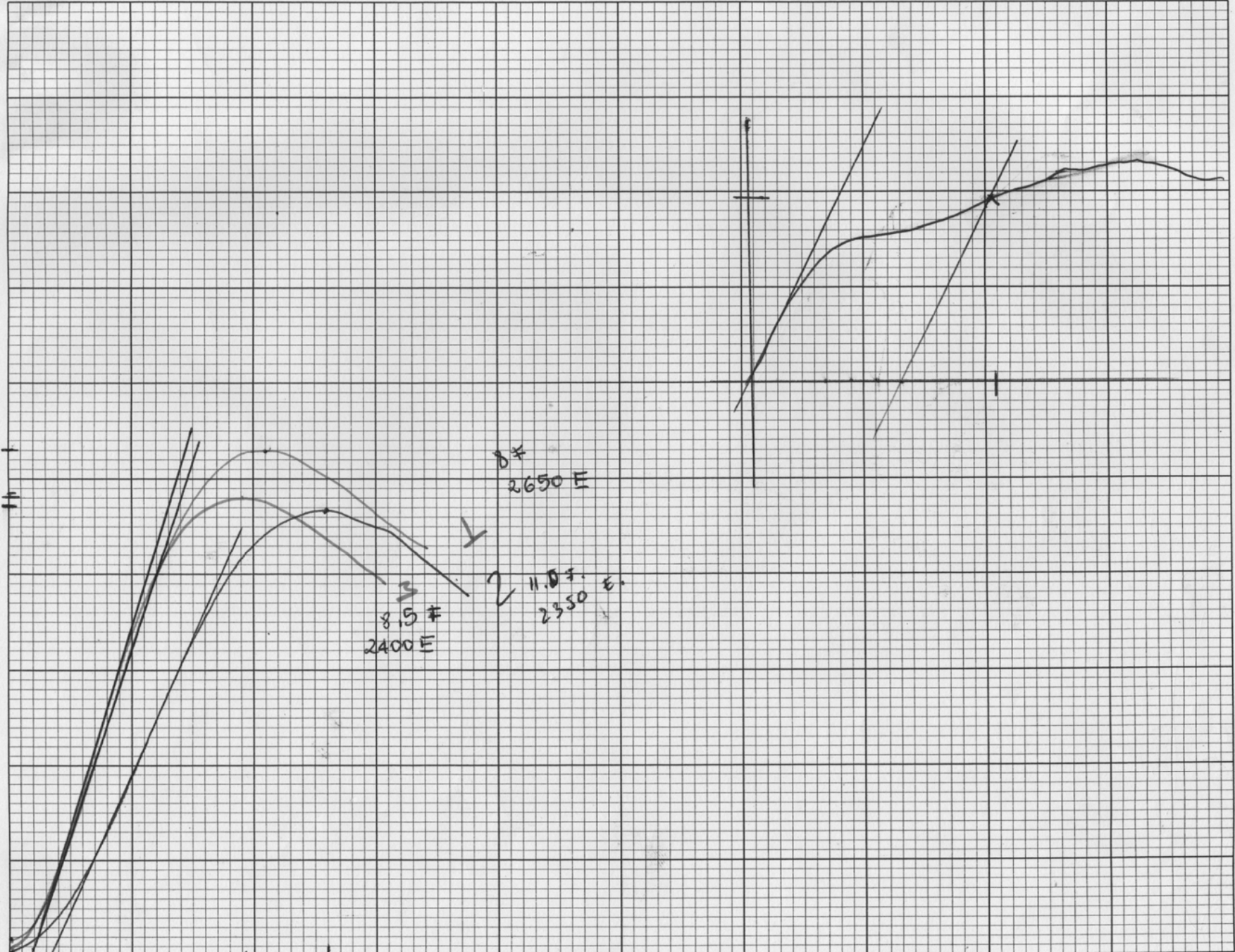
S
T
A
B
I
L
I
T
Y

8.5 #
2400 E

11.0 #
2350 E

8 #
2650 E

FLOW MEASUREMENTS
INCHES



MARK SELECTION
□/□

H-1322 CP



5K / 10K

4.5K / 9K

4K / 8K

3.5K / 7K

3K / 6K

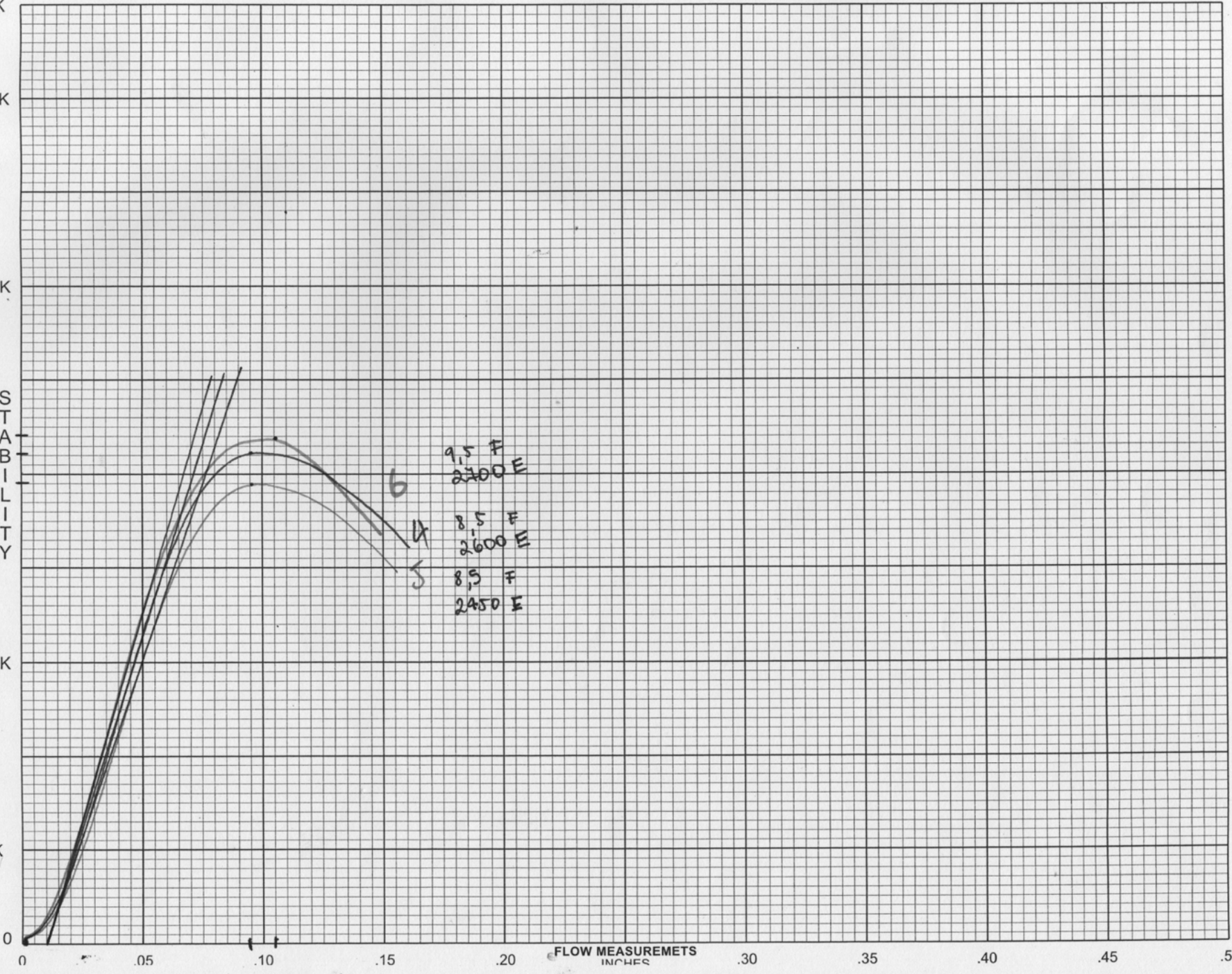
STABILITY
K, Lbf

2K / 4K

1.5K / 3K

1K / 2K

.5K / 1K



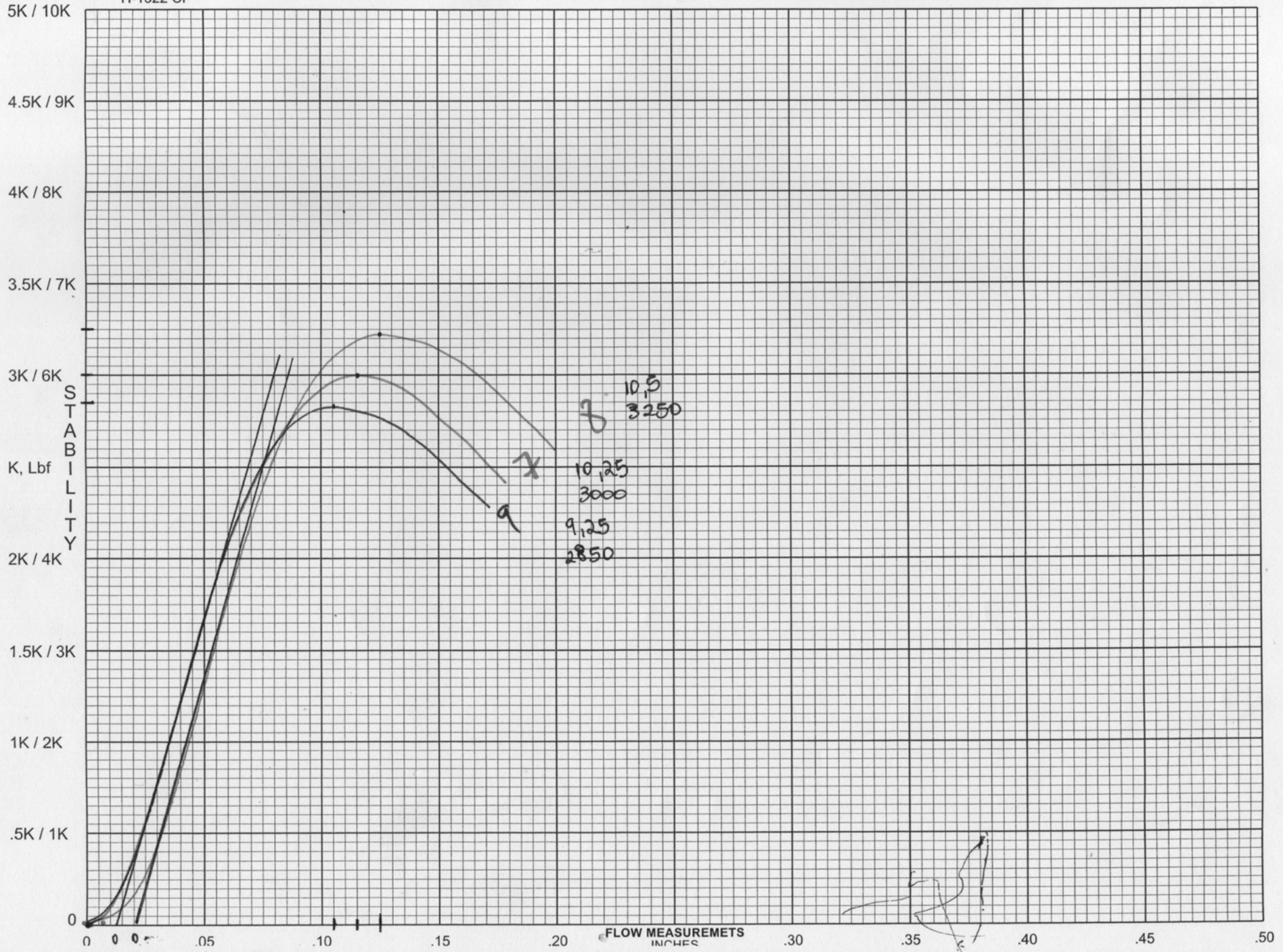
6 9.5 F 2700 E
4 8.5 F 2600 E
5 8.5 F 2450 E

FLOW MEASUREMENTS INCHES

0 .05 .10 .15 .20 .30 .35 .40 .45 .50

MARK SELECTION
□/□

H-1322 CP





MARK SELECTION

□/□

H-1322 CP

5K / 10K

4.5K / 9K

4K / 8K

3.5K / 7K

3K / 6K

K, Lbf

2K / 4K

1.5K / 3K

1K / 2K

.5K / 1K

0

0

.05

.10

.15

.20

FLOW MEASUREMENTS INCHES

.30

.35

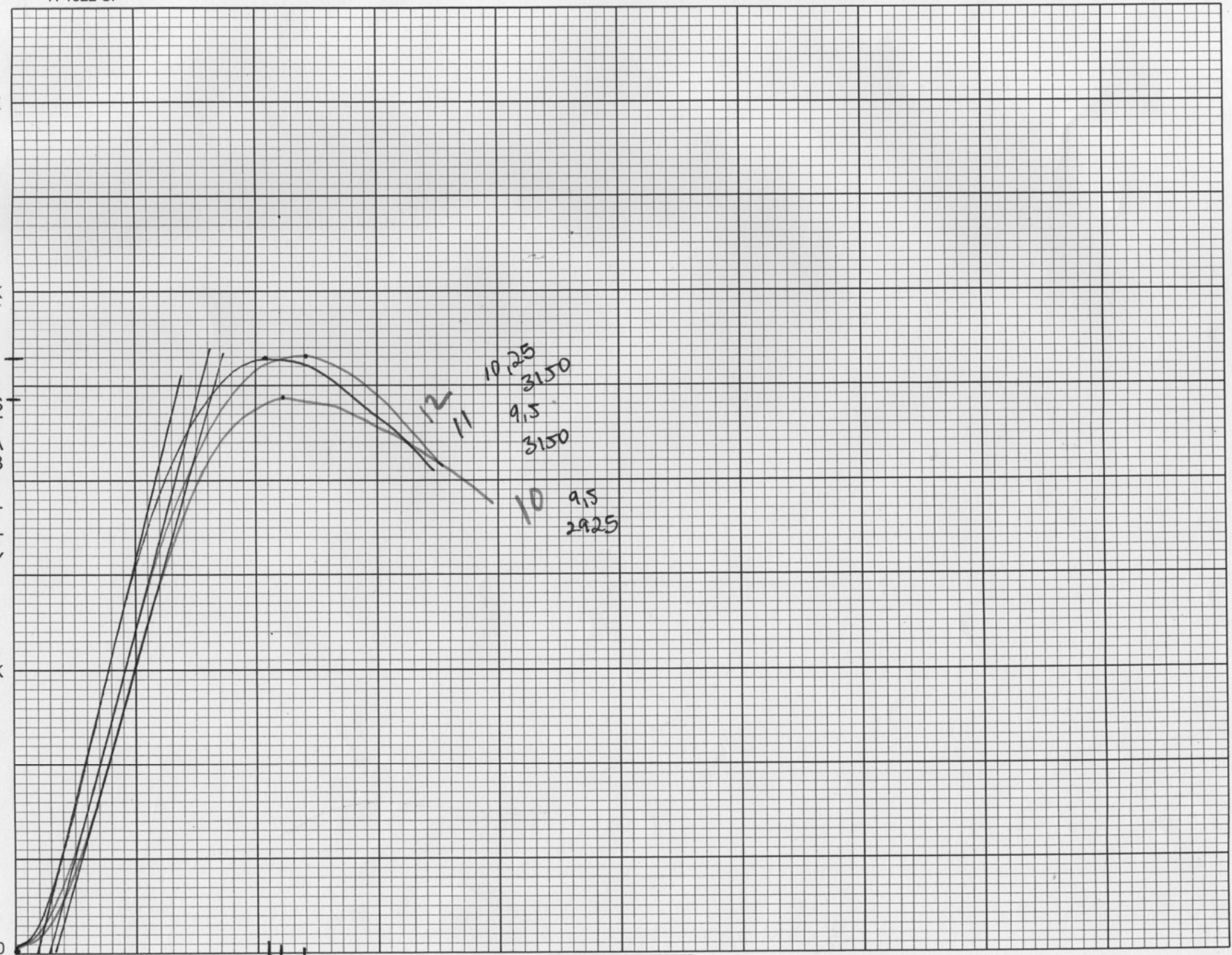
.40

.45

.50

S
T
A
B
I
L
I
T
Y

12 10.25 3150
11 9.5 3150
10 9.5 2925





MARK SELECTION
□/□

H-1322 CP

5K / 10K

4.5K / 9K

4K / 8K

3.5K / 7K

3K / 6K

K, Lbf

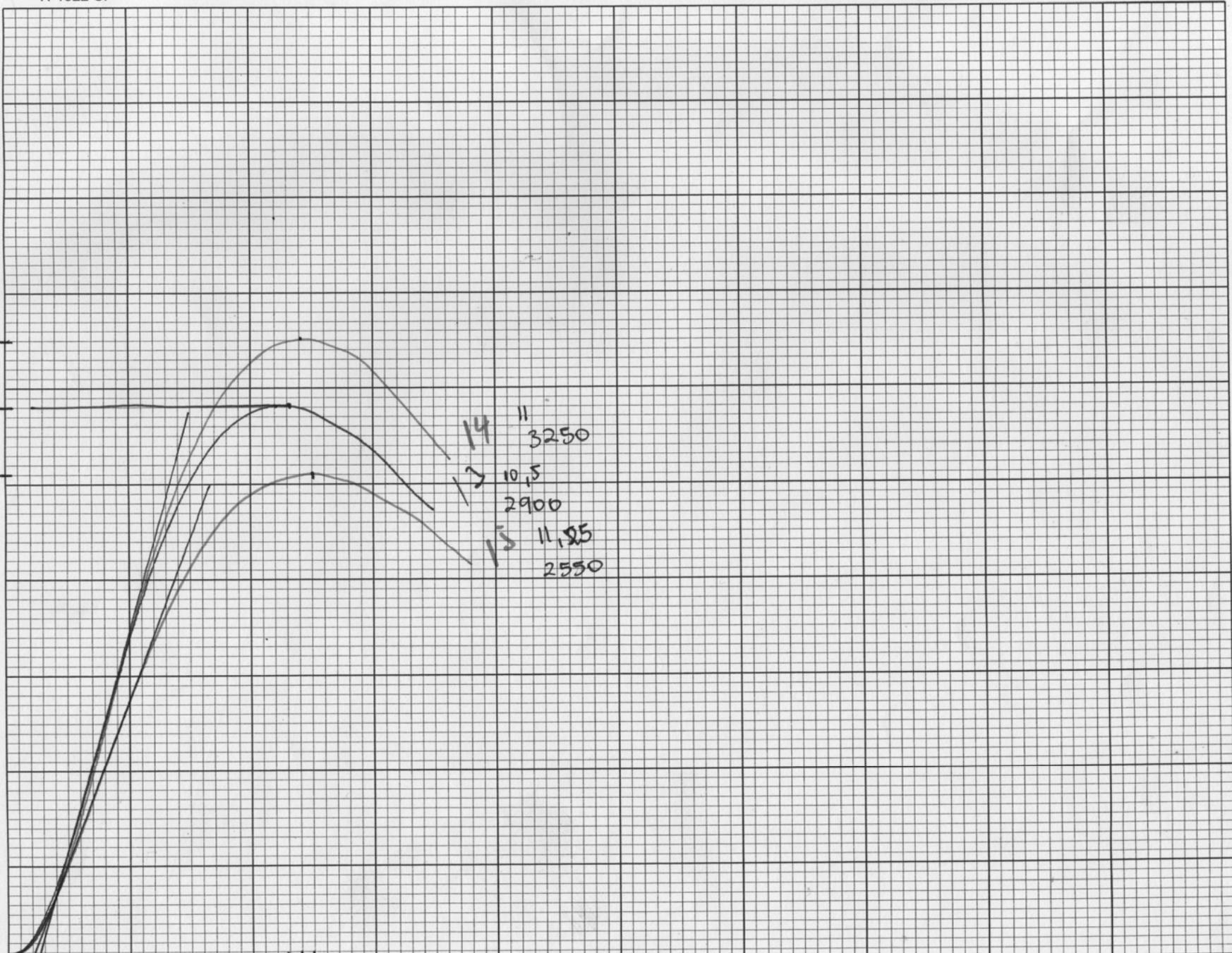
2K / 4K

1.5K / 3K

1K / 2K

.5K / 1K

S
T
A
B
I
L
I
T
Y



14 11 3250
12 10,5 2900
15 11,25 2550

0 00 .05 .10 .15 .20 .30 .35 .40 .45 .50 FLOW MEASUREMENTS INCHES

ÁREA DE PAVIMENTOS

FORMATO DE CAMPO

**Gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas en caliente compactadas (HMA) usando especímenes SSS
Método de Ensayo Normalizado para la Estabilidad y Flujo de Mezclas Bituminosas**

PROYECTO: Tesis 3902.

RECEPCIÓN: _____

HOJA: _____

FECHA DE ROTURA	BRIQUETA / NÚCLEO	DESCRIPCIÓN	ASTM D3549 Espesor del Especimen (mm)	Diámetro del Especimen (mm)	AASTHO T166-07 - MÉTODO DE ENSAYO A			ASTM D6927			
					Masa del Especimen Seco (gr)	Masa del Especimen Sumergido (gr)	Masa del Especimen Saturado Superficie Seca (gr)	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01"
								Medida	Factor de Corrección	Corregida	
31/08/2017	1 5%				1140,32	599.45	1147,65				
31/08/2017	2 5%				1136,81	599.15	1144.66				
31/08/2017	3 5%				1135,66	591.94	1141.91				
31/08/2017	4 5,5%				1144,60	600.18	1150,19				
31/08/2017	5 5,5%				1149,79	605.79	1155.15				
31/08/2017	6 5,5%				1150,72	610.82	1156.54				
31/08/2017	7 6,0%				1152,51	613.56	1155.88				
31/08/2017	8 6,0%				1158,43	611.23	1164.27				
31/08/2017	9 6,0%				1159,41	613.49	1164.51				

REALIZADO POR: _____

INFORME REALIZADO POR: _____

ÁREA DE PAVIMENTOS

FORMATO DE CAMPO

**Gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas en caliente compactadas (HMA) usando especímenes SSS
Método de Ensayo Normalizado para la Estabilidad y Flujo de Mezclas Bituminosas**

PROYECTO: Tesis 3902.

RECEPCIÓN: _____

HOJA: _____

FECHA DE ROTURA	BRIQUETA / NÚCLEO	DESCRIPCIÓN	ASTM D3549 Espesor del Especimen (mm)	Diámetro del Especimen (mm)	AASHTO T166-07 - MÉTODO DE ENSAYO A			ASTM D6927			
					Masa del Especimen Seco (gr)	Masa del Especimen Sumergido (gr)	Masa del Especimen Saturado Superficie Seca (gr)	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01"
								Medida	Factor de Corrección	Corregida	
31/08/2017	1 5%				1140,32	599.45	1147,65				
31/08/2017	2 5%				1136,81	599.15	1144.66				
31/08/2017	3 5%				1135,66	591.94	1141.91				
31/08/2017	4 5,5%				1144,60	600.18	1150,19				
31/08/2017	5 5,5%				1149,79	605.79	1155.15				
31/08/2017	6 5,5%				1150,72	610.82	1156.54				
31/08/2017	7 6,0%				1152,51	613.56	1155.88				
31/08/2017	8 6,0%				1158,43	611.23	1164.27				
31/08/2017	9 6,0%				1159,41	613.49	1164.51				

REALIZADO POR: _____

INFORME REALIZADO POR: _____

ÁREA DE PAVIMENTOS
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA:
CLIENTE:	SOLICITA:		
PROYECTO:	FISCALIZA:		
UBICACIÓN:	CONSTRUYE:		
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:			
MEZCLA:	FECHA ELAB:		
ORIGEN MUESTRA:			
MÉTODO:	MUESTREO:	POR:	
CONDICIÓN MUESTRA:	5%		
RECEPCIÓN:	POR:	ENSAYO:	

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
---------------------	----------	----------------	-------------------------------

M		Número de muestra
TM		Número total de muestras
A	2290.2	Masa de la muestra [g]
D	7413.0	Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C [g]
E	6584.9	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1 °C [g] +2164,2
PS		Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?

PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)

B		Masa de la bandeja [g]
Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]

CICLO	Masa [g]	Δ [%]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]
----	--	--

Gmm		Gravedad Específica Máxima Teórica
-----	--	------------------------------------

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

Ing. Jorge Albuja
Responsable Ensayos

Ing. Jorge Albuja
Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe
Director LMC

ÁREA DE PAVIMENTOS
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA:
CLIENTE:		SOLICITA:	
PROYECTO:		FISCALIZA:	
UBICACIÓN:		CONSTRUYE:	
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:			
MEZCLA:		FECHA ELAB:	
ORIGEN MUESTRA:			
MÉTODO:	MUESTREO:	POR:	
CONDICIÓN MUESTRA: 5.0 %			
RECEPCIÓN:	POR:	ENSAYO:	
TIPO DE CONTENEDOR: METÁLICO		PROCEDIMIENTO: DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE	
M		Número de muestra	
TM		Número total de muestras	
A	2278.0	Masa de la muestra [g]	
D	713	Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C [g]	
E	8750.9	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1 °C [g]	
PS		Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?	
PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)			
B		Masa de la bandeja [g]	
Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]	
CICLO	Masa [g]	Δ [%]	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]	
Gmm		Gravedad Específica Máxima Teórica	

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

Ing. Jorge Albuja
 Responsable Ensayos

Ing. Jorge Albuja
 Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe
 Director LMC

ÁREA DE PAVIMENTOS
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA:
CLIENTE:		SOLICITA:	
PROYECTO:		FISCALIZA:	
UBICACIÓN:		CONSTRUYE:	
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:			
MEZCLA:		FECHA ELAB:	
ORIGEN MUESTRA:			
MÉTODO:	MUESTREO:	POR:	
CONDICIÓN MUESTRA: 5.5			
RECEPCIÓN:	POR:	ENSAYO:	

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
M		Número de muestra	
TM		Número total de muestras	
A	2307.8	Masa de la muestra [g]	
D	7413.0	Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C [g]	
E	8750.9	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1 °C [g]	
PS		Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A?	

PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)

B		Masa de la bandeja [g]	
Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]	
CICLO	Masa [g]	Δ [%]	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]	
Gmm		Gravedad Específica Máxima Teórica	

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

Ing. Jorge Albuja
Responsable Ensayos

Ing. Jorge Albuja
Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe
Director LMC

ÁREA DE PAVIMENTOS
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA:
CLIENTE:			SOLICITA:
PROYECTO:			FISCALIZA:
UBICACIÓN:			CONSTRUYE:
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:			
MEZCLA:			FECHA ELAB:
ORIGEN MUESTRA:			
MÉTODO:	MUESTREO:	POR:	
CONDICIÓN MUESTRA:	5.5		
RECEPCIÓN:	POR:	ENSAYO:	

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
---------------------	----------	----------------	-------------------------------

M		Número de muestra
TM		Número total de muestras
A	2313.0	Masa de la muestra [g]
D		Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C [g]
E	8753.6	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1 °C [g]
PS		Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?

PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)

B		Masa de la bandeja [g]
Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]
CICLO	Masa [g]	Δ [%]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]

Gmm		Gravedad Específica Máxima Teórica
-----	--	------------------------------------

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

Ing. Jorge Albuja
Responsable Ensayos

Ing. Jorge Albuja
Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe
Director LMC

ÁREA DE PAVIMENTOS
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA:
CLIENTE:	SOLICITA:		
PROYECTO:	FISCALIZA:		
UBICACIÓN:	CONSTRUYE:		
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:			
MEZCLA:	FECHA ELAB:		
ORIGEN MUESTRA:			
MÉTODO:	MUESTREO:	POR:	
CONDICIÓN MUESTRA:	6%		
RECEPCIÓN:	POR:	ENSAYO:	

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
M		Número de muestra	
TM		Número total de muestras	
A	2327.6	Masa de la muestra [g]	
D	7413.0	Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C [g]	
E	8754.1	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1 °C [g]	
PS		Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?	

PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)

B		Masa de la bandeja [g]	
Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]	
CICLO	Masa [g]	Δ [%]	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]	
Gmm		Gravedad Específica Máxima Teórica	

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

Ing. Jorge Albuja
Responsable Ensayos

Ing. Jorge Albuja
Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe
Director LMC

ÁREA DE PAVIMENTOS
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA:
CLIENTE:			SOLICITA:
PROYECTO:			FISCALIZA:
UBICACIÓN:			CONSTRUYE:
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:			
MEZCLA:		FECHA ELAB:	
ORIGEN MUESTRA:			
MÉTODO:	MUESTREO:	POR:	
CONDICIÓN MUESTRA: 6.0%			
RECEPCIÓN:	POR:	ENSAYO:	

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
M		Número de muestra	
TM		Número total de muestras	
A	2329.6	Masa de la muestra [g]	
D		Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C [g]	
E	8754.6	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1 °C [g]	
PS		Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'	

PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)

B		Masa de la bandeja [g]	
MI		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]	
CICLO	Masa [g]	Δ [%]	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]	
Gmm		Gravedad Específica Máxima Teórica	

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

Ing. Jorge Albuja
Responsable Ensayos

Ing. Jorge Albuja
Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe
Director LMC

ÁREA DE PAVIMENTOS
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA:
CLIENTE:	SOLICITA:		
PROYECTO:	FISCALIZA:		
UBICACIÓN:	CONSTRUYE:		
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:			
MEZCLA:	FECHA ELAB:		
ORIGEN MUESTRA:			
MÉTODO:	MUESTREO:	POR:	
CONDICIÓN MUESTRA:	6.5%		
RECEPCIÓN:	POR:	ENSAYO:	

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
---------------------	----------	----------------	-------------------------------

M		Número de muestra
TM		Número total de muestras
A	2339.9	Masa de la muestra [g]
D	7413.0	Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C [g]
E	8752.1	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1 °C [g]
PS		Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?

PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)

B		Masa de la bandeja [g]
Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]

CICLO	Masa [g]	Δ [%]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]
----	--	--

Gmm		Gravedad Específica Máxima Teórica
-----	--	------------------------------------

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

Ing. Jorge Albuja
Responsable Ensayos

Ing. Jorge Albuja
Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe
Director LMC

ÁREA DE PAVIMENTOS
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA:
CLIENTE:		SOLICITA:	
PROYECTO:		FISCALIZA:	
UBICACIÓN:		CONSTRUYE:	
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:			
MEZCLA:		FECHA ELAB:	
ORIGEN MUESTRA:			
MÉTODO:	MUESTREO:	POR:	
CONDICIÓN MUESTRA: 6,6%			
RECEPCIÓN:	POR:	ENSAYO:	

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
M		Número de muestra	
TM		Número total de muestras	
A	2346,7	Masa de la muestra [g]	
D		Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C [g]	
E	8753,5	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1 °C [g]	
PS		Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?	

PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)

B		Masa de la bandeja [g]	
Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]	
CICLO	Masa [g]	Δ [%]	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]	
Gmm		Gravedad Específica Máxima Teórica	

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

Ing. Jorge Albuja
Responsable Ensayos

Ing. Jorge Albuja
Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe
Director LMC

ÁREA DE PAVIMENTOS
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA:
CLIENTE:	SOLICITA:		
PROYECTO:	FISCALIZA:		
UBICACIÓN:	CONSTRUYE:		
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:			
MEZCLA:	FECHA ELAB:		
ORIGEN MUESTRA:			
MÉTODO:	MUESTREO:	POR:	
CONDICIÓN MUESTRA:	7%		
RECEPCIÓN:	POR:	ENSAYO:	

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
---------------------	----------	----------------	-------------------------------

M		Número de muestra
TM		Número total de muestras
A	2356.2	Masa de la muestra [g]
D	7413.0	Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C [g]
E	8747.9	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1 °C [g]
PS		Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?

PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)

B		Masa de la bandeja [g]
Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]

CICLO	Masa [g]	Δ [%]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]
----	--	--

Gmm		Gravedad Específica Máxima Teórica
-----	--	------------------------------------

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

Ing. Jorge Albuja
Responsable Ensayos

Ing. Jorge Albuja
Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe
Director LMC

ÁREA DE PAVIMENTOS
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA:
CLIENTE:			SOLICITA:
PROYECTO:			FISCALIZA:
UBICACIÓN:			CONSTRUYE:
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:			
MEZCLA:	FECHA ELAB:		
ORIGEN MUESTRA: 4%			
MÉTODO:	MUESTREO:	POR:	
CONDICIÓN MUESTRA:			
RECEPCIÓN:	POR:	ENSAYO:	

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
M		Número de muestra	
TM		Número total de muestras	
A	2346,3	Masa de la muestra [g]	
D	7413,0	Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C [g]	
E	8745,3	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1 °C [g]	
PS		Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?	

PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)

B		Masa de la bandeja [g]	
Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]	
CICLO	Masa [g]	Δ [%]	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]	
Gmm		Gravedad Específica Máxima Teórica	

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

Ing. Jorge Albuja
 Responsable Ensayos

Ing. Jorge Albuja
 Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe
 Director LMC

	AGREGADO	25%		50%		75%		100%
		AG	CH	AG	CH	AG	CH	CH
50	91,81	68,86	22,95	45,91	45,91	22,95	68,86	91,81
100	49,43	37,07	12,36	24,72	24,72	12,36	37,07	49,43
200	27,00	20,25	6,75	13,50	13,50	6,75	20,25	27,00
PASANTE	18,61	13,96	4,65	9,31	9,31	4,65	13,96	18,61

1/2	3/8	4	8	30	50	50 CH(25%)	100	100 CH(25%)	200	200 CH(25%)	PASANTE	PAS CH (25%)
148,21	239,01	410,08	655,42	913,15	982,01	1004,96	1042,03	1054,39	1074,64	1081,39	1095,35	1100,00

1/2	3/8	4	8	30	50	50 CH(50%)	100	100 CH(50%)	200	200 CH(50%)	PASANTE	PAS CH (50%)
148,21	239,01	410,08	655,42	913,15	959,06	1004,96	1029,68	1054,39	1067,89	1081,39	1090,70	1100,00

1/2	3/8	4	8	30	50	50 CH(75%)	100	100 CH(75%)	200	200 CH(75%)	PASANTE	PAS CH (75%)
148,21	239,01	410,08	655,42	913,15	936,10	1004,96	1017,32	1054,39	1061,14	1081,39	1086,04	1100,00

1/2	3/8	4	8	30	50 CH (100%)	100 CH (100%)	200 CH (100%)	PAS CH (100%)
148,21	239,01	410,08	655,42	913,15	1004,96	1054,39	1081,39	1100,00

HB3:N27

ÁREA DE PAVIMENTOS

FORMATO DE CAMPO

**Gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas en caliente compactadas (HMA) usando especímenes SSS
Método de Ensayo Normalizado para la Estabilidad y Flujo de Mezclas Bituminosas**

PROYECTO: _____

RECEPCIÓN: _____

HOJA: _____

FECHA DE ROTURA	BRIQUETA / NÚCLEO	DESCRIPCIÓN	ASTM D3549 Espesor del Especimen (mm)	Diámetro del Especimen (mm)	AASHTO T166-07 - MÉTODO DE ENSAYO A			ASTM D6927			
					Masa del Especimen Seco (gr)	Masa del Especimen Sumergido (gr)	Masa del Especimen Saturado Superficie Seca (gr)	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01"
								Medida	Factor de Corrección	Corregida	
28/09/2017	1	25%			1156.69	611.23	1162.34				
	2	25%			1160.40	613.93	1166.86				
	3	25%			1164.19	609.77	1168.13				
	4	25%			1154.96	611.65	1160.35				
	5	25%			1165.33	613.20	1169.63				
	6	25%			1158.15	608.91	1162.85				
	7	50%			1156.32	548.29	1159.38				
	8	50%			1156.22	595.59	1158.99				
	9	50%			1159.29	594.32	1152.14				
	10	50%			1159.29	603.15	1162.11				

REALIZADO POR: _____

INFORME REALIZADO POR: _____

ÁREA DE PAVIMENTOS

FORMATO DE CAMPO

**Gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas en caliente compactadas (HMA) usando especímenes SSS
Método de Ensayo Normalizado para la Estabilidad y Flujo de Mezclas Bituminosas**

PROYECTO: _____

RECEPCIÓN: _____

HOJA: _____

FECHA DE ROTURA	BRIQUETA / NÚCLEO	DESCRIPCIÓN	ASTM D3549 Espesor del Especímen (mm)	Diámetro del Especímen (mm)	AASHTO T166-07 - MÉTODO DE ENSAYO A			ASTM D6927			
					Masa del Especímen Seco (gr)	Masa del Especímen Sumergido (gr)	Masa del Especímen Saturado Superficie Seca (gr)	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01"
								Medida	Factor de Corrección	Corregida	
	11	50 %			1151.71	596.74	1155.22				
	12	50 %			1159.06	596.92	1161.35				
	13	75 %			1167.36	603.77	1159.50				
	14	75 %			1158.29	600.07	1160.87				
	15	75 %			1151.39	580.39	1153.70				
	16	75 %			1169.92	607.52	1162.81				
	17	75 %			1151.93	599.70	1154.60				
	18	75 %			1159.46	583.56	1162.14				
	19	100 %			1154.52	591.45	1156.4				
	20	100 %			1155.40	597.09	1159.18				

REALIZADO POR: _____

INFORME REALIZADO POR: _____

ÁREA DE PAVIMENTOS

FORMATO DE CAMPO

**Gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas en caliente compactadas (HMA) usando especímenes SSS
Método de Ensayo Normalizado para la Estabilidad y Flujo de Mezclas Bituminosas**

PROYECTO: _____

RECEPCIÓN: _____

HOJA: _____

FECHA DE ROTURA	BRIQUETA / NÚCLEO	DESCRIPCIÓN	ASTM D3549 Espesor del Especimen (mm)	Diámetro del Especimen (mm)	AASTHO T166-07 - MÉTODO DE ENSAYO A			ASTM D6927			
					Masa del Especimen Seco (gr)	Masa del Especimen Sumergido (gr)	Masa del Especimen Saturado Superficie Seca (gr)	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01"
								Medida	Factor de Corrección	Corregida	
	21	100%			1153.94	590,27	1157,34				
	22	100%			1158.78	595,24	1160.88				
	23	100%			1156.25	589,41	1158,14				
	24	100%			1155.65	590,74	1157,36				

REALIZADO POR: _____

INFORME REALIZADO POR: _____



MARK SELECTION
 /

H-1322 CP

5K / 10K

4.5K / 9K

4K / 8K

3.5K / 7K

3K / 6K

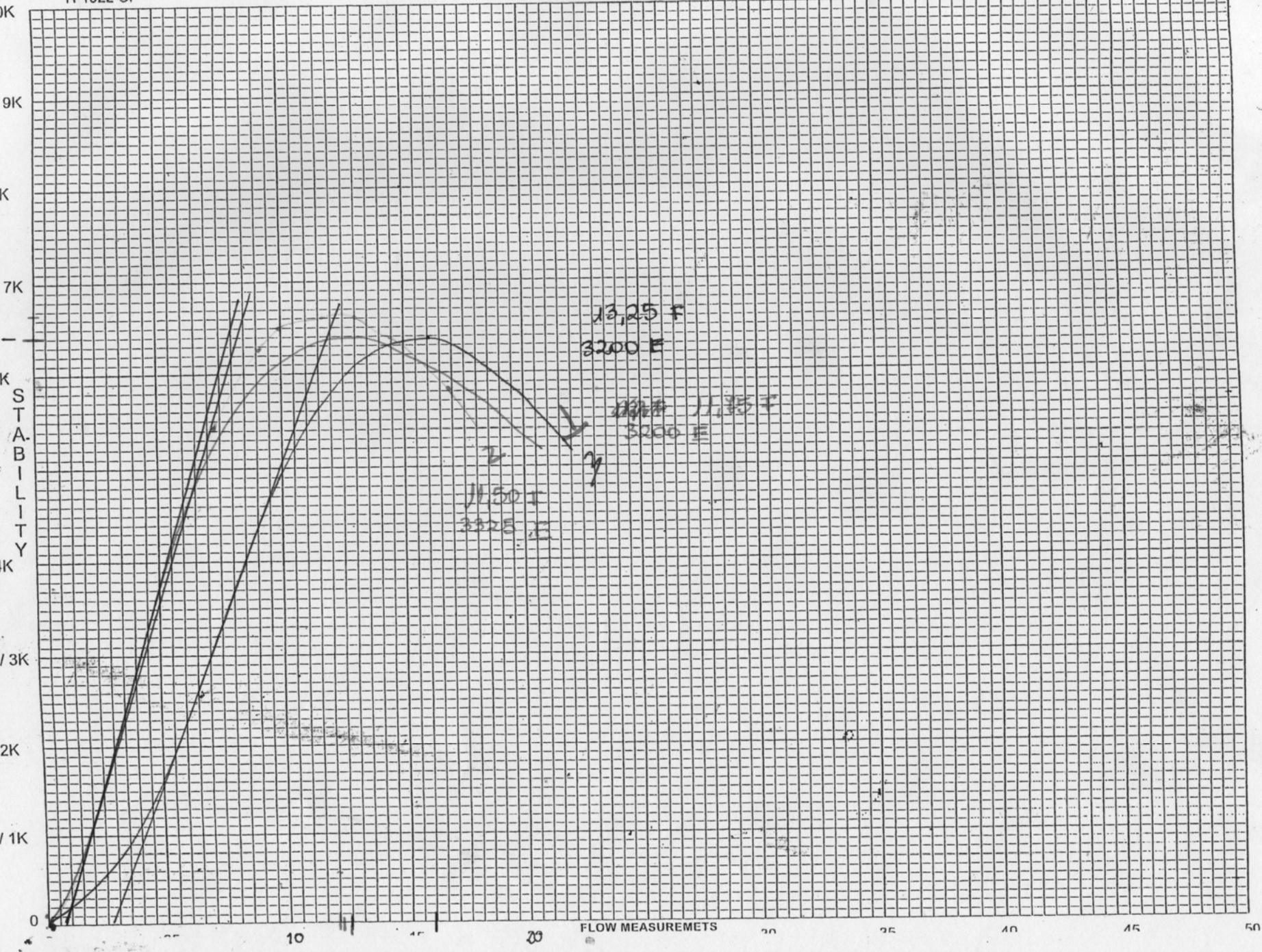
2K / 4K

1.5K / 3K

1K / 2K

.5K / 1K

0



FLOW MEASUREMENTS

10

20

30

40

50



MARK SELECTION
□/□

H-1322 CP

5K / 10K

4.5K / 9K

4K / 8K

3.5K / 7K

3K / 6K

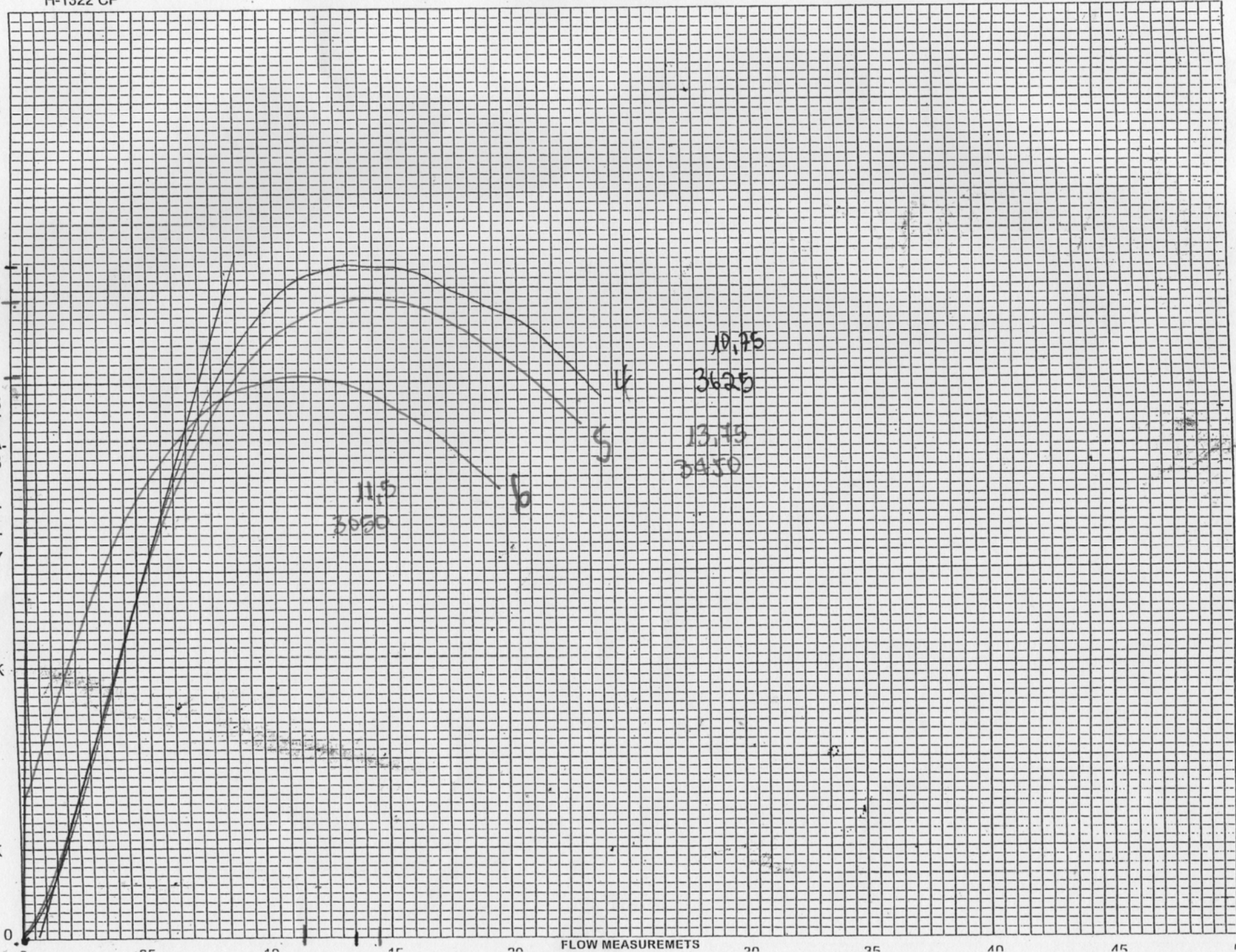
K, Lbf

2K / 4K

1.5K / 3K

1K / 2K

.5K / 1K



FLOW MEASUREMENTS

50



MARK SELECTION
 /

H-1322 CP

5K / 10K

4.5K / 9K

4K / 8K

3.5K / 7K

3K / 6K

K, Lbf

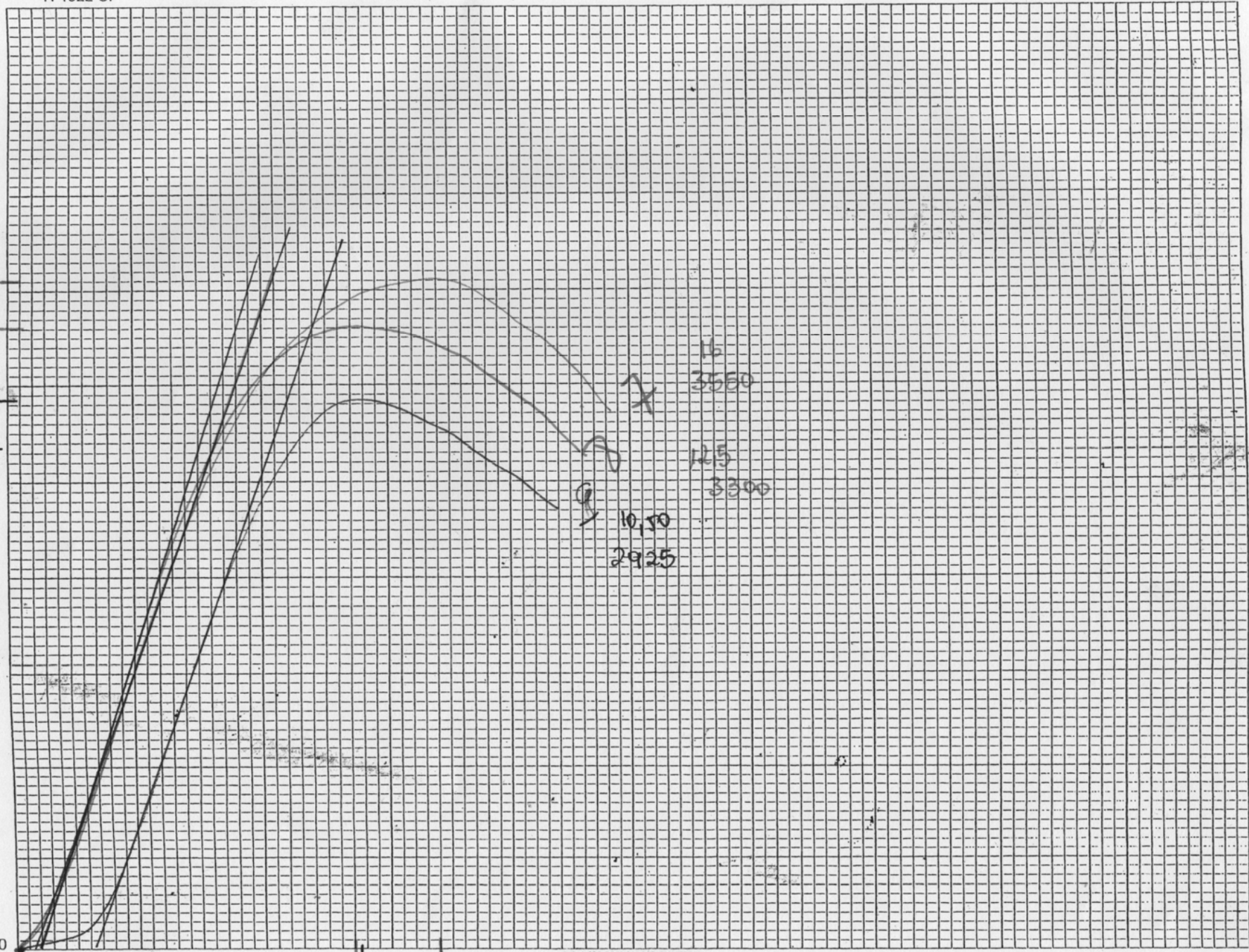
2K / 4K

1.5K / 3K

1K / 2K

.5K / 1K

S
T
A.
B
I
L
I
T
Y



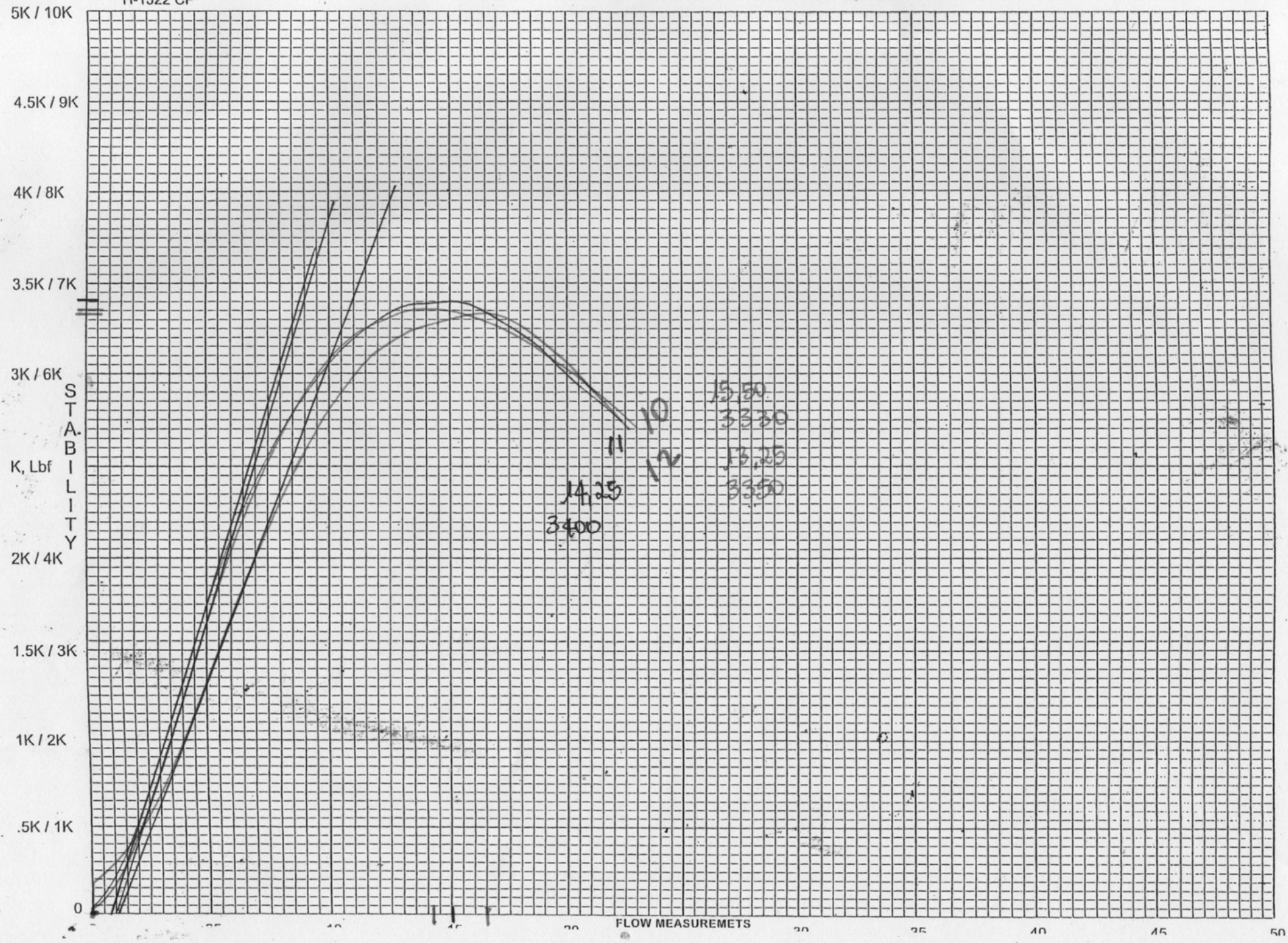
FLOW MEASUREMENTS

50



MARK SELECTION
□/□

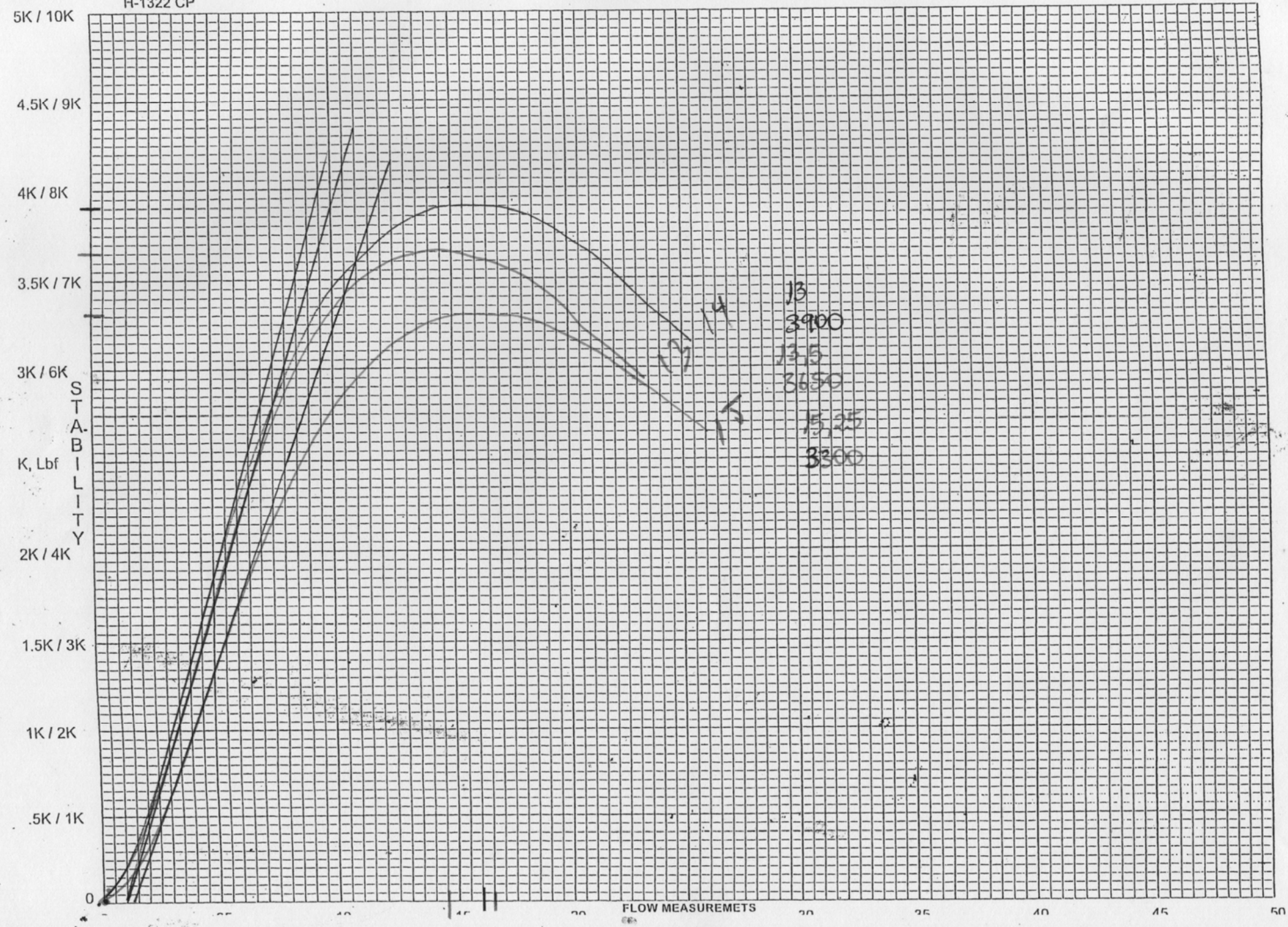
H-1322 CP





MARK SELECTION
□/□

H-1322 CP





MARK SELECTION □/□

H-1322 CP

5K / 10K

4.5K / 9K

4K / 8K

3.5K / 7K

3K / 6K

K, Lbf

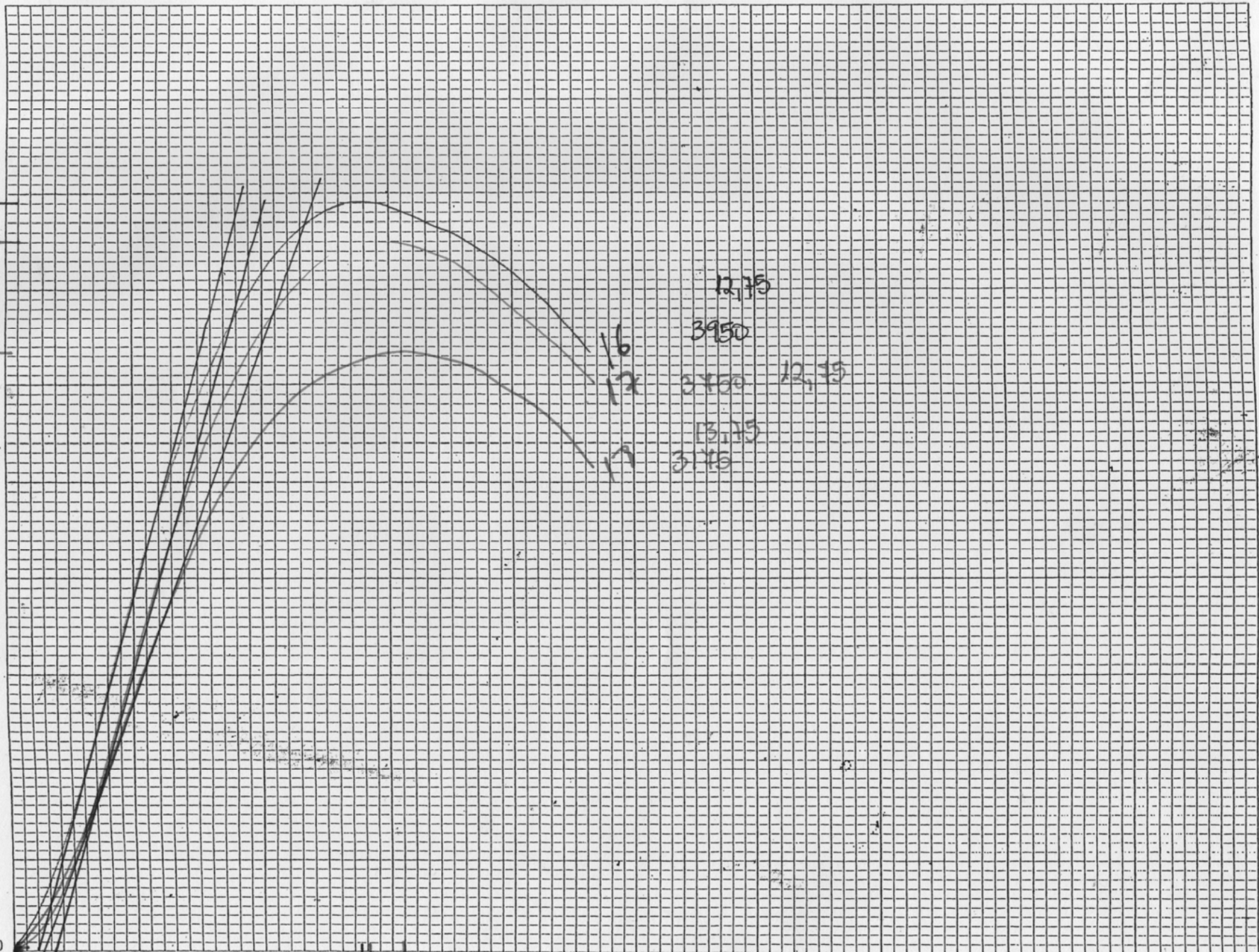
2K / 4K

1.5K / 3K

1K / 2K

.5K / 1K

S
T
A
B
I
L
I
T
Y



FLOW MEASUREMENTS

50

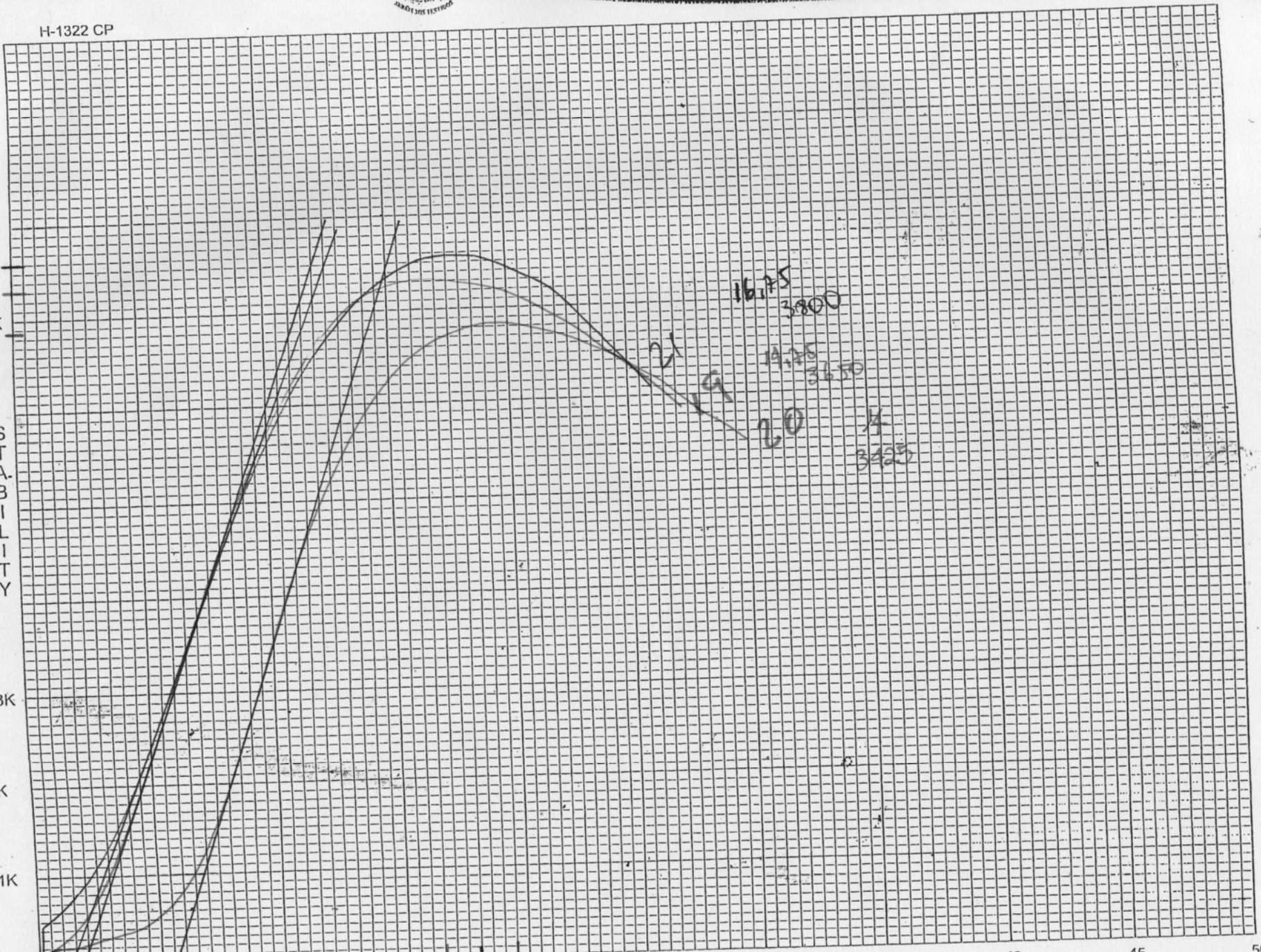


MARK SELECTION
 /
 5K / 10K

H-1322 CP

4.5K / 9K
 4K / 8K
 3.5K / 7K
 3K / 6K
 K, Lbf
 2K / 4K
 1.5K / 3K
 1K / 2K
 .5K / 1K
 0

S
T
A
B
I
L
I
T
Y



FLOW MEASUREMENTS

50



MARK SELECTION
□/□

H-1322 CP

5K / 10K

4.5K / 9K

4K / 8K

3.5K / 7K

3K / 6K

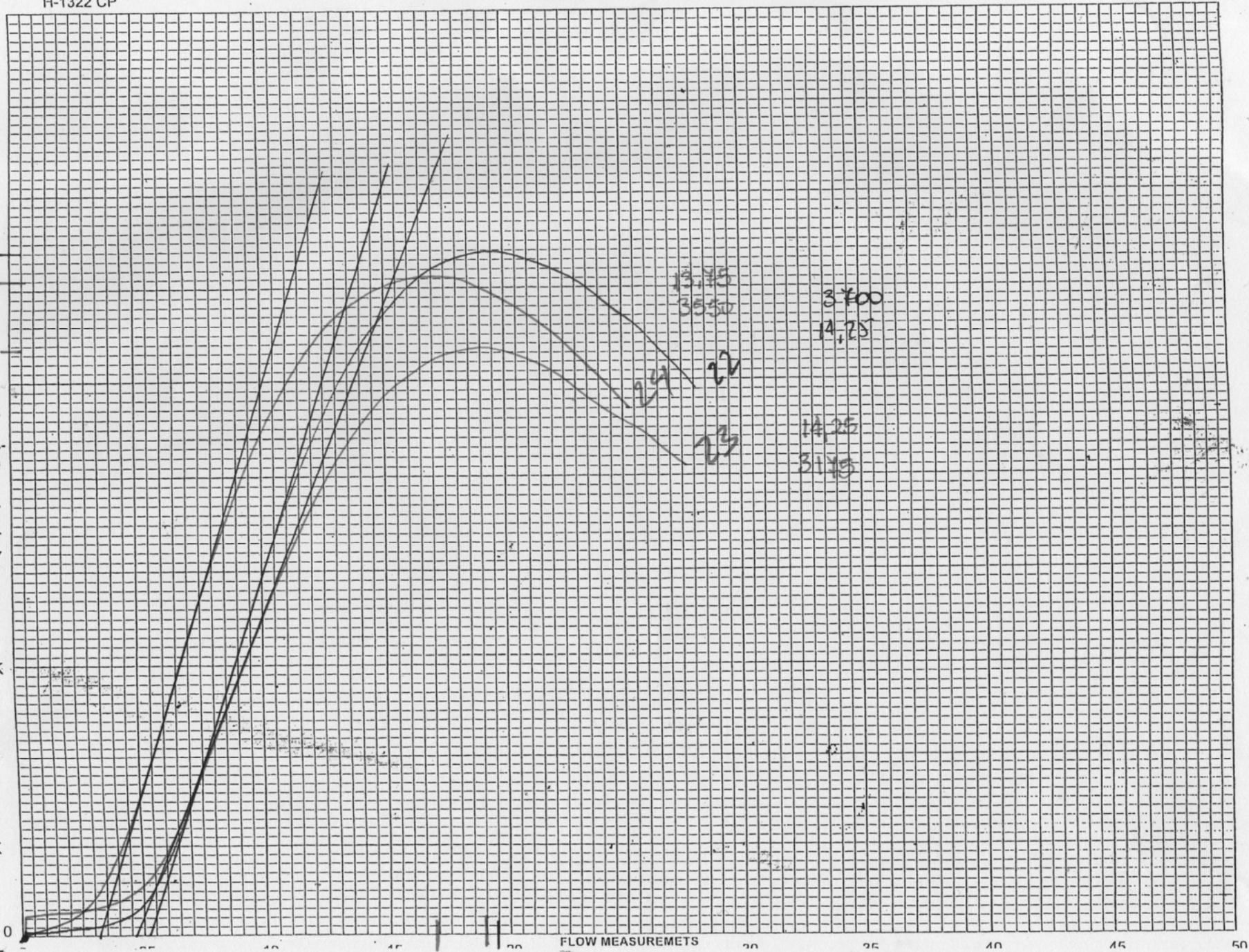
K, Lbf

2K / 4K

1.5K / 3K

1K / 2K

.5K / 1K



ÁREA DE PAVIMENTOS
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA:
CLIENTE:		SOLICITA:	
PROYECTO:		FISCALIZA:	
UBICACIÓN:		CONSTRUYE:	
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA: <i>Muestra Modificada</i>			
MEZCLA: <i>25%</i>		FECHA ELAB:	
ORIGEN MUESTRA:			
MÉTODO:	MUESTREO:	POR:	
CONDICIÓN MUESTRA:			
RECEPCIÓN:	POR:	ENSAYO:	
TIPO DE CONTENEDOR: METÁLICO		PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
M		Número de muestra	
TM		Número total de muestras	
A	<i>2334,3</i>	Masa de la muestra [g]	
D	<i>7413,00</i>	Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C [g]	
E	<i>8130,70</i>	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1 °C [g]	
PS		Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?	
PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)			
B		Masa de la bandeja [g]	
Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]	
CICLO	Masa [g]	Δ [%]	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]	
Gmm		Gravedad Específica Máxima Teórica	

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

Ing. Jorge Albuja
Responsable Ensayos

Ing. Jorge Albuja
Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe
Director LMC

ÁREA DE PAVIMENTOS
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA:
CLIENTE:	SOLICITA:		
PROYECTO:	FISCALIZA:		
UBICACIÓN:	CONSTRUYE:		
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:	Muestra Modificada		
MEZCLA:	50%	FECHA ELAB:	
ORIGEN MUESTRA:			
MÉTODO:	MUESTREO:	POR:	
CONDICIÓN MUESTRA:			
RECEPCIÓN:	POR:	ENSAYO:	

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
---------------------	----------	----------------	-------------------------------

M		Número de muestra
TM		Número total de muestras
A	2332.10	Masa de la muestra [g]
D	4413.00	Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C [g]
E	8713.9	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1 °C [g]
PS		Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?

PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)

B		Masa de la bandeja [g]
Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]

CICLO	Masa [g]	Δ [%]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]
----	--	--

Gmm		Gravedad Específica Máxima Teórica
-----	--	------------------------------------

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

Ing. Jorge Albuja
Responsable Ensayos

Ing. Jorge Albuja
Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe
Director LMC

ÁREA DE PAVIMENTOS
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA:
CLIENTE:		SOLICITA:	
PROYECTO:		FISCALIZA:	
UBICACIÓN:		CONSTRUYE:	
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA: Muestra Modificada			
MEZCLA: 75%		FECHA ELAB:	
ORIGEN MUESTRA:			
MÉTODO:	MUESTREO:	POR:	
CONDICIÓN MUESTRA:			
RECEPCIÓN:	POR:	ENSAYO:	

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
M		Número de muestra	
TM		Número total de muestras	
A	2338,9	Masa de la muestra [g]	
D	7413,00	Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C [g]	
E	8710,5	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1 °C [g]	
PS		Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?	

PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)

B		Masa de la bandeja [g]	
Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]	
CICLO	Masa [g]	Δ [%]	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]	
Gmm		Gravedad Específica Máxima Teórica	

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

Ing. Jorge Albuja
Responsable Ensayos

Ing. Jorge Albuja
Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe
Director LMC

ÁREA DE PAVIMENTOS
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA:
CLIENTE:			SOLICITA:
PROYECTO:			FISCALIZA:
UBICACIÓN:			CONSTRUYE:
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:	Muestra Modificada		
MEZCLA:	100%	FECHA ELAB:	
ORIGEN MUESTRA:			
MÉTODO:	MUESTREO:	POR:	
CONDICIÓN MUESTRA:			
RECEPCIÓN:	POR:	ENSAYO:	

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
---------------------	----------	----------------	-------------------------------

M		Número de muestra
TM		Número total de muestras
A	2333.7	Masa de la muestra [g]
D	443.00	Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C [g]
E	8706.4	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1 °C [g]
PS		Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?

PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)

B		Masa de la bandeja [g]
Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]

CICLO	Masa [g]	Δ [%]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]
----	--	--

Gmm		Gravedad Específica Máxima Teórica
-----	--	------------------------------------

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

Ing. Jorge Albuja
Responsable Ensayos

Ing. Jorge Albuja
Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe
Director LMC