PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

DISERTACION PREVIA A LA OBTENCION DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MODIFICADA CON CALAMINA (RESIDUO GENERADO EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL ALAMBRÓN DE ACERO) MEDIANTE EL PROCESO EN SECO

AUTORES:

CRISTHIAN RAFAEL ARIAS TACO

KEVIN DAVID LÓPEZ PIEDRA

DIRECTOR: ING. GUSTAVO YÁNEZ

QUITO, 2020

AGRADECIMIENTO

A Dios, por bendecir mi vida.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, la Facultad de Ingeniería, profesores y director de tesis por permitir mi formación.

A mi madre que siempre confía en mí y cree en mis sueños, por ser mi más grande apoyo con su amor incondicional y tener siempre para mí un abrazo y una sonrisa.

A mi padre por sus valiosos concejos y enseñanzas que ahora valoro más y sobre todo por alentarme en todo proyecto que empiezo.

A mis amigos, mi gran fortuna. Gracias por ser mi soporte, por alegrar y hacer más divertida mi vida.

A mi compañero de tesis por su empeño y perseverancia en la realización de este trabajo.

Cristhian Rafael Arias Taco

AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios por tener su bendición y permitir una meta cumplida en mi vida.

A mis padres Jhenny Piedra y Julio López y mi hermano Steven López, una de las mejores herencias aparte de inculcarme desde pequeño y proyectarme por un buen camino es agradecerles por el sacrificio que han hecho por darme el estudio. Por todo su esfuerzo, amor y paciencia que han tenido hacia mí para poder culminar con esta etapa de mi vida.

A mis abuelitos Lupita y Pepito por todo el apoyo brindado y a toda mi familia que estuvo pendiente a lo largo de toda mi carrera.

A mi novia May una razón en mi vida que me guio siempre al éxito; gracias por toda su ayuda, amor y motivación. Por ser una pieza fundamental en mi vida y siempre contar con su apoyo.

A mi director de tesis, correctores y a todos los profesores por su enseñanza a lo largo de toda la carrera y sus conocimientos impartidos para ser un buen profesional.

A todos mis amigos por su amistad, a mi compañero de tesis Cristhian Arias por todo su esfuerzo y dedicación.

Kevin David López Piedra

DEDICATORIA

A mis padres e hijo porque son las personas que más amo en el mundo y de las que me siento inmensamente orgulloso, son ustedes mi gran fuente de inspiración y esfuerzo para crecer día a día.

Cristhian Rafael Arias Taco

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo le dedico a Dios por darme la fortaleza para culminar esta etapa de mi vida. A mis padres Jhenny Piedra y Julio López y mi hermano Steven López por todo su respaldo, sin ellos no hubiera sido posible la realización de este sueño. A mis abuelitos Lupita y Pepito por la ayuda y cariño de ellos y a toda mi familia por todo su apoyo.

A la persona que cambio mi vida, mi novia que siempre creyó en mí y estuvo a mi lado ayudándome a salir adelante en todo momento, por ser mi amiga, mi cómplice y mi confidente.

Kevin David López Piedra

RESUMEN

El hombre y las empresas evolucionan progresivamente generando diversas problemáticas con sus desechos industriales. El almacenamiento excesivo de desperdicios afecta económica, ambiental y socialmente a las organizaciones y a la población; no obstante, emerge la necesidad de buscar una solución para la reutilización de desperdicios y revertir el declive en los ámbitos afectados.

Los desechos industriales son el resultado de una producción de materiales fabricados a grandes cantidades, la dificultad se presenta por su utilidad final debido a que se almacena y diariamente va creciendo a gran escala causando una afectación al medio ambiente por ser residuos lixiviados que ocasionan una contaminación al suelo, agua, etc. Por la percolación producida por el líquido que arrastra las partículas de los sólidos que atraviesa.

En el ámbito de la construcción, la innovación se encuentra en constante avance con materiales nuevos, en obras viales los elementos que conforman la mezcla asfáltica son los agregados pétreos, puesto que son recursos no renovables por lo cual es necesario encontrar una alternativa de un elemento sustituto para incorporar a la nueva mezcla.

Las investigaciones continúan a medida de la necesidad constructiva, con el fin de encontrar la utilidad en varios materiales, resultados de desperdicios industriales. Este es el caso de la calamina, subproducto proveniente del decapado mecánico proceso que se realiza para la limpieza del alambrón, este desecho es el óxido que protege al alambre hasta su uso, su composición química posee un alto contenido de hierro.

En Ecuador no se encuentra información suficiente de la implementación de la calamina en pavimentos flexibles, por esto se propone una investigación de la reutilización de la calamina proveniente de desechos industriales e implementar en el diseño de mezclas asfálticas. Una de las ventajas de la utilización de este material es la cantidad suficiente que produce diariamente la empresa y cuenta con la capacidad necesaria para el uso en la mezcla asfáltica.

La presente disertación de grado tiene como finalidad el estudio y análisis de desempeño de una mezcla asfáltica que incorpora material calamina a su estructura, atreves de una equiparación de propiedades mecánicas entre una mezcla asfáltica usual y una mezcla asfáltica modificada. La modificación en la mezcla resulta de la adhesión por vía seca de material calamina en porcentajes del 5%,15% ,25% y 35% del volumen total de agregado usado para el diseño de una mezcla asfáltica.

Las mezclas asfálticas se diseñan a partir del método Marshall y son comparadas con la finalidad de establecer si existe cambios en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, de forma que sea factible plantear su uso a gran escala con el propósito de mejorar propiedades mecánicas en mezclas asfálticas con este estudio se busca potenciar la utilidad del mismo para evitar su sobreproducción.

En primera instancia, se determinan los materiales usados en el presente trabajo con sus respectivas definiciones, propiedades y origen del material. Además, se aplica una descripción de ensayos realizados para determinar si los materiales cumplen o no con especificaciones establecidas para el diseño de mezcla asfáltica. Por último, se detallan y analizan los resultados obtenidos de la mezcla asfáltica modificada para establecer si la incorporación de la calamina mejora las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica.

OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar las características de mezclas asfálticas en caliente modificada con calamina (residuo generado en el proceso de fabricación del alambrón de acero) mediante el proceso en seco.

Objetivos Específicos

- Caracterizar los áridos y cemento asfáltico, materiales que componen la mezcla asfáltica en caliente mediante el proceso en seco procedentes de la planta de producción de la EPMMOP.
- Determinar el porcentaje de agregados (grueso, intermedio, fino), verificando el cumplimiento de las especificaciones MOP-001- F para emplear en una mezcla asfáltica.
- Definir la cantidad óptima de asfalto utilizando el método de ensayo diseño Marshall, con el fin de elaborar una mezcla asfáltica en caliente modificada con calamina mediante el proceso en seco.
- Estimar el porcentaje óptimo de calamina, evaluando los cambios de las propiedades de la mezcla asfáltica modificada para comparar con el diseño original.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I....14
1. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES....14
1.1 Cemento Asfáltico....14
1.2 Áridos....16
1.3 Calamina....18
CAPITULO II....23
2. DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS REALIZADOS DE AGREGADOS, CEMENTO ASFÁLTICO. 23
2.1 Ensayos de agregados. 23
2.2 Ensayos de material bituminoso AC-20 27
CAPITULO III....34
3. MEZCLAS ASFÁLTICAS 34
3.1 Generalidades 34
3.2 Método Marshall. 36
3.3 Diseño de Mezclas Asfálticas....45
CAPITULO IV 63
4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS....63
4.1 Mezcla asfáltica original 63
4.2 Mezcla asfáltica modificada con calamina....63
CAPITULO V 68
5.1 Conclusiones....68
5.2 Recomendaciones 71
Bibliografía....72
Anexos 74

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1: Origen del Cemento Asfáltico 16
Ilustración 1.2: Origen de los Agregados 18
Ilustración 1.3: Calamina 19
Ilustración 1.4: Proceso de fabricación del alambre 20
Ilustración 1.5: Procedimiento de la fabricación el alambre y obtención de la calamina ...22
Ilustración 2.1: Ensayo granulometría agregado fino y grueso 23
Ilustración 2.2: Ensayo equivalente de arena 24
Ilustración 2.3: Ensayo absorción del agua 24
Ilustración 2.4: Ensayo abrasión 25
Ilustración 2.5: Ensayo durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos 26
Ilustración 2.6: Ensayo gravedad específica 28
Ilustración 2.7: Ensayo de penetración 28
Ilustración 2.8: Ensayo de ductilidad 29
Ilustración 2.9: Ensayo de viscosidad. 30
Ilustración 2.10: Ensayo punto de inflamación y combustión 31
Ilustración 2.11: Ensayo punto de ablandamiento 32
Ilustración 2.12: Ensayo horno de película delgada rodante 32
Ilustración 3.1: Compactador Marshall 37
Ilustración 3.2: Muestras de briquetas 41
Ilustración 3.3: Peso sumergido en agua 42
Ilustración 3.4: Masa saturada con superficie seca 42
Ilustración 3.5: Ensayo Marshall 43
Ilustración 3.6: Gravedad máxima teórica 44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Clasificación para los tipos comprendidos de 200 dmm a 20 dmm de penetración 15

Tabla 1.2: Propiedades químicas de la calamina 22

Tabla 2.1: Cuadro resumen caracterización agregados 26

Tabla 2.2: Cuadro resumen caracterización asfalto AC-20 33

Tabla 3.1: Rango de temperaturas de mezclado y compactación 37

Tabla 3.2: Parámetros para el cálculo del porcentaje teórico de asfalto 40

Tabla 3.3: Cantidad de calamina 51

Tabla 3.4: Datos previos para el diseño Marshal 58

Tabla 4.1: Análisis de mezcla asfáltica original 63

Tabla 4.2: Análisis de mezcla asfáltica modificada 64

Tabla 4.3: Comparación parámetros mezcla original 6.0% vs. mezcla modificada con 5.0% de calamina 64

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3.1: Superficie especifica de los áridos.....40

Ecuación 3.2: Porcentaje del asfalto 40

Ecuación 3.3: Gravedad especifica Bulk 41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: MOP-001-F tabla 405.5.4(pág. 309) 74

Anexo 2: MOP-001-F tabla 405.5.1 "3/4" (pág. 299) 75

Anexo 3: MOP-001-F tabla 810.2.1 (pág. 670).....76

Anexo 4: NYE INEN 2515 Enmienda 1 tabla 7 (pág. 2) 77

Anexo 5: Granulometría agregado fino 78

Anexo 6: Granulometría agregado intermedio 80

Anexo 7: Granulometría agregado grueso 82

Anexo 9: Gravedad específica y absorción del agregado fino.....84

Anexo 9: Gravedad específica y absorción del agregado intermedio 85

Anexo 11: Gravedad específica del agregado grueso.....86

Anexo 12: Durabilidad del agregado fino a la acción de los sulfatos 87

Anexo 12: Durabilidad del agregado intermedio 3/8 a la acción de los sulfatos 88

Anexo 13: Durabilidad del agregado grueso 3/4 a la acción de los sulfatos 89

Anexo 15: Equivalente de Arena.....90

Anexo 16: Resistencia a la Abrasión del agregado grueso 91

Anexo 17: Granulometría.....92

Anexo 18: Absorción de la calamina 94

Anexo 19: Penetración de materiales bituminosos.....95

Anexo 19: Punto de ablandamiento de bitumen (Aparato de anillo y bola).....96

Anexo 21: Índice de penetración.....97

Anexo 22: Densidad de materiales bituminosos semisólidos (método del picnómetro) 98

Anexo 23: Punto de inflamación y combustión con el equipo de copa abierta Cleveland .99

Anexo 24: Viscosidad con viscosímetro capilar al vacío 100

Anexo 25: Horno de película delgada rodante (RFTO) 101

Anexo 26: Ductilidad (RFTO) 102

Anexo 27: Viscosidad con viscosímetro capilar al vacío (RFTO) 103

Anexo 28: Carta normalizada de viscosidad – Temperatura para asfaltos 104
Anexo 28: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (5% Asfalto).....105
Anexo 30: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (5.5% Asfalto).....106
Anexo 31: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (6% Asfalto).....107
Anexo 32: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (6.5% Asfalto).....108
Anexo 33: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (7% Asfalto).....109
Anexo 34: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (Óptimo de asfalto - 6%).....110
Anexo 35: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (5% Calamina).....112
Anexo 35: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (15% Calamina).....114
Anexo 36: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (25% Calamina).....116
Anexo 37: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (35% Calamina).....118

CAPITULO I

1. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES

1.1 Cemento Asfáltico

El betún asfáltico es utilizado desde el tiempo prehistórico por ser un material adhesivo, impermeable, duradero y de alta resistencia (The Asphalt Institute,1982). El cemento asfáltico proviene del petróleo material natural no renovable, su clasificación corresponde a una variada gama de tipos de asfalto se nombra los más usados en la industria de la construcción: asfalto líquido, asfalto emulsificado, asfalto soplado y cemento asfáltico.

El asfalto se considera la parte más importante en el proceso de mezclado ya que es el encargado de ligar todos los materiales obteniendo una mezcla uniforme cubriendo toda la superficie, para cumplir con esta aplicación debe ser lo suficientemente fluido para envolver los agregados teniendo como objetivo la adherencia entre ellos.

1.1.1 Definición

El cemento asfáltico es un material que se manifiesta con una consistencia sólida, semisólida o liquida, presenta un color negro o pardo oscuro. El bitumen se define como un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero, funciona como un material aglutinante en la conformación de carpetas asfálticas (The Asphalt Institute,1982).

1.1.2 Propiedades del Cemento Asfáltico

En el campo amplio de la caracterización del bitumen es importante describir las propiedades que definen al material, a continuación, se especifica las características fundamentales para cumplir con las normas requeridas para la mezcla asfáltica:

1.1.2.1 Propiedades Físicas

- Durabilidad. - es la resistencia de mantener su composición original que presenta el asfalto frente a factores externos causantes del deterioro. Para determinar esta propiedad se realiza el ensayo de laboratorio correspondiente a la película delgada en horno rotatorio.

- Adhesión. - es una característica que define la capacidad de adherencia que presenta el asfalto al momento de combinarse con los agregados.
- Cohesión. - es la capacidad de mantener unidas y firmes las partículas, después del proceso de mezclado de los materiales. El ensayo de ductilidad asocia la cohesión y adhesión.
- Vulnerabilidad a la Temperatura. - el asfalto es un material que puede alterar su forma al estar expuesta a temperaturas excesivamente altas. Esta propiedad es indispensable, ya que al momento del proceso de mezclado debe tener la suficiente fluidez para que los áridos se puedan cubrir de asfalto, y favorecer a la movilidad de los agregados mientras se compacta. A continuación, se deberá poner viscoso a temperatura ambiente y así conservar las partículas juntas.
- Endurecimiento. - producido por el proceso de oxidación esto es el asfalto combinado con el oxígeno, ocurre a grandes temperaturas. El endurecimiento más severo ocurre en la etapa de mezclado, cuando el asfalto se encuentra a altas temperaturas mientras que está revistiendo las partículas de agregado.

1.1.3 Origen del Cemento Asfáltico

La procedencia del asfalto empleado en el siguiente análisis fue facilitada por la planta de producción de materiales asfalticos de la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMMOP), localizado en la Av. Interoceánica, empresa responsable del mantenimiento de las vías del Distrito Metropolitano de Quito.

Dentro de la clasificacion del cemento asfaltico justificado por medio de los ensayos de laboratorio al asfalto catalogado en un rango de 200 dmm a 20 dmm de penetracion se encuantran los sieguientes tipos:

Tabla 1.1: Clasificación para los tipos comprendidos de 200 dmm a 20 dmm de penetración

Tipo	Viscosidad a 60 °C Pascal segundo (Pa s)
AC-2,5	25 ± 5
AC-5	50 ± 10
AC-10	100 ± 20
AC-20	200 ± 40
AC-40	400 ± 80

Fuente : NTE INEN 2 515:2010, p 2.

En la presente investigacion se emplea Asfalto AC -20 por su particular comportamiento viscoelastico, homogéneo y su propiedad ligante hace que sea el material bituminoso mas empleado en carpeta asfáltica en Ecuador.

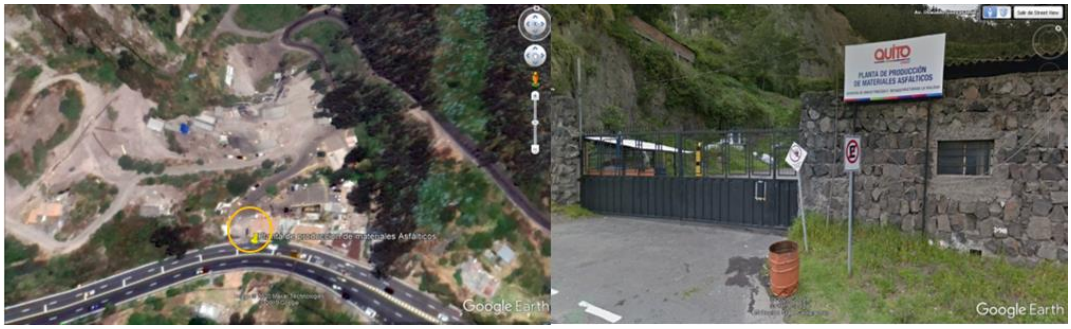


Ilustración 1.1: Origen del Cemento Asfáltico

1.2 Áridos

Uno de los factores para el desarrollo de la civilización humana se debe gracias a los materiales pétreos, a tal punto que el crecimiento económico de un sector se ve reflejado en el índice de producción y venta de los agregados en el sector de la construcción, los materiales pétreos por su comportamiento mecánico es un material versátil que se puede emplear de forma individual o en mezclas dosificadas con otros materiales aglutinantes, con el fin de crear composiciones de alta resistencia en la construcción.

El resultado final de la mezcla asfáltica depende directamente de las propiedades tanto de los áridos como del cemento asfáltico, ya que dichos agregados comprenden el 90% en peso de esta composición.

1.2.1 Definición

Se define como árido a un material inerte, sólido utilizado en la fabricación de productos resistentes con las granulometrías adecuadas mediante su mezcla con materiales como: cal, cemento, ligante bituminoso, etc. (López, 1994).

Una de las principales características de la estructura del pavimento es la resistencia mecánica, durabilidad y su textura. Como se mencionó previamente los agregados conforman una cantidad fundamental en el volumen total de la mezcla y determinan la calidad del resultado final y los años de vida útil del pavimento.

Los materiales que forman esta composición asfáltica se clasifican en:

- Polvo mineral. - material pasante del tamiz N°200.
- Áridos Finos. - material pasante del tamiz N°8.
- Áridos Gruesos. - Material que retiene el tamiz N°8.

1.2.2 Propiedades de los áridos

Entre las propiedades más relevantes de los agregados se encuentran las físicas y las geométricas, estas características definen el comportamiento adecuado de los materiales. A continuación, se detalla cada una de las propiedades.

1.2.2.1 Propiedades Físicas

- Dureza. - efecto donde el agregado es sujeto a impactos, es decir el grado de resistencia que presenta el árido frente a fuerzas externas que puede alterar su condición física.
- Absorción de agua. - asociada con la permeabilidad, es la propiedad que define la cantidad de líquido que atraviesa los poros que posee el árido y no altera su composición interna. La durabilidad es dependiente de esta característica.
- Densidad. - se define como la relación masa-volumen determinando los poros existentes en el agregado conforme se presenta el grado de saturación del árido y pueda verse afectado en la composición asfáltica. La particularidad que presenta la densidad son los dos tipos catalogados en densidad relativa y aparente.
- Porosidad. - define los espacios vacíos que posee en su estructura interna y ligada con la conducción de fluidos en el interior del elemento, se estima mediante el cociente entre el volumen de poros y el volumen total del componente.

1.2.2.2 Propiedades Geométricas

- Granulometría. - se define como la distribución de los diferentes tamaños de las partículas de un agregado, expresado como un porcentaje en relación con el peso total de la muestra seca.
- Forma. - indispensable para la caracterización del material, debido a lo cual la resistencia mecánica se ve perjudicada si esta característica no cumple con las especificaciones requeridas para mezcla asfáltica.

- Caras de fractura. - Define la cantidad de material que poseen una o más caras fracturadas de la muestra analizada. Este desgaste tiene una considerable relevancia en los agregados, debido a que, a mayor angulosidad, mayor resistencia del conglomerado.

1.2.3 Origen de los Agregados

Los agregados utilizados tienen un tamaño máximo de partícula de 3/4 (Agregado grueso) 3/8 (agregado medio) y agregado fino, procedentes de la cantera de la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMMOP), localizado en la Av. Interoceánica.

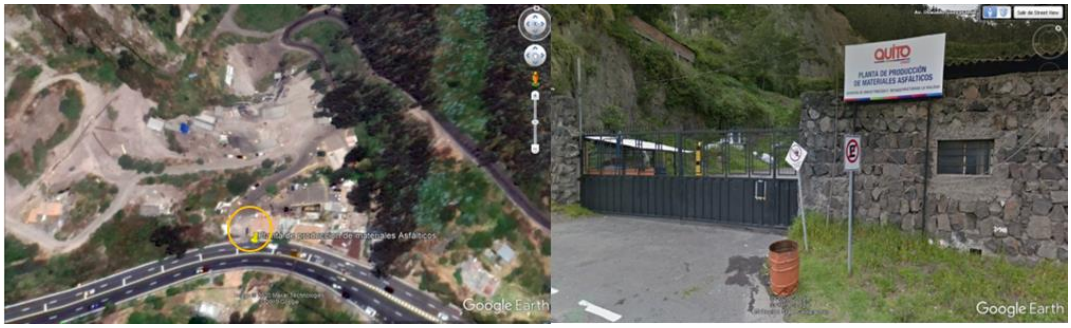


Ilustración 2.2: Origen de los Agregados

1.3 Calamina

1.3.1 Antecedentes

En un planeta donde se puede observar el deterioro ambiental y desgaste de los recursos naturales se encuentra una fuente causante de este problema que son las industrias.

Las industrias generan un residuo el cual no tienen una disposición final que sea adecuada para el medio ambiente esto también sucede en la fabricación del alambre. Se denomina alambre a todo tipo de hilo delgado que se obtiene mediante el estiramiento de diferentes tipos de metales, material empleado en diferentes usos como son: mallas, resortes, clavos, estribos, todo tipo de construcción. En el proceso de fabricación se obtiene un residuo a este material se define como calamina, esta cascarilla se forma por el proceso de oxidación del alambre, el material se desprende en el proceso de decapado del alambre que es la limpieza de este.

La empresa produce una tonelada diaria de este residuo la cual no tienen un plan de reciclaje ni reutilización, por esta razón, se realiza la presente investigación para incorporar

la calamina en la fabricación de mezclas asfálticas con la posibilidad de mejorar las características de mezclas tradicionales.

1.3.2 Definición

La calamina es un residuo que se forma por la oxidación del alambre y se obtiene en el proceso de decapado mecánico del alambrón. Esta escoria presenta una granulometría de partículas pequeñas, lisas y de color gris azulado.



Ilustración 3.3: Calamina

1.3.3 Proceso de obtención de la calamina

1.3.3.1 Proceso de fabricación del alambre



Ilustración 1.4: Proceso de fabricación del alambre

El proceso inicia con la materia prima, rollos gigantes de acero conocidos como alambrones de diferentes diámetros aproximadamente con un peso de 2 toneladas cada rollo, en los exteriores donde es almacenado el material entra a un proceso de oxidación esto se debe al contacto del material con el aire. Para comenzar la fabricación del alambre se realiza una limpieza del material con la finalidad de extraer el óxido por medio del proceso de decapado mecánico que consiste en doblar el alambre para eliminar impurezas, entra en el decapado donde se elimina la cascarilla. En las siguientes ilustraciones se observa el proceso de extracción de la calamina.





Decapado

Calamina



Disminucion del diámetro

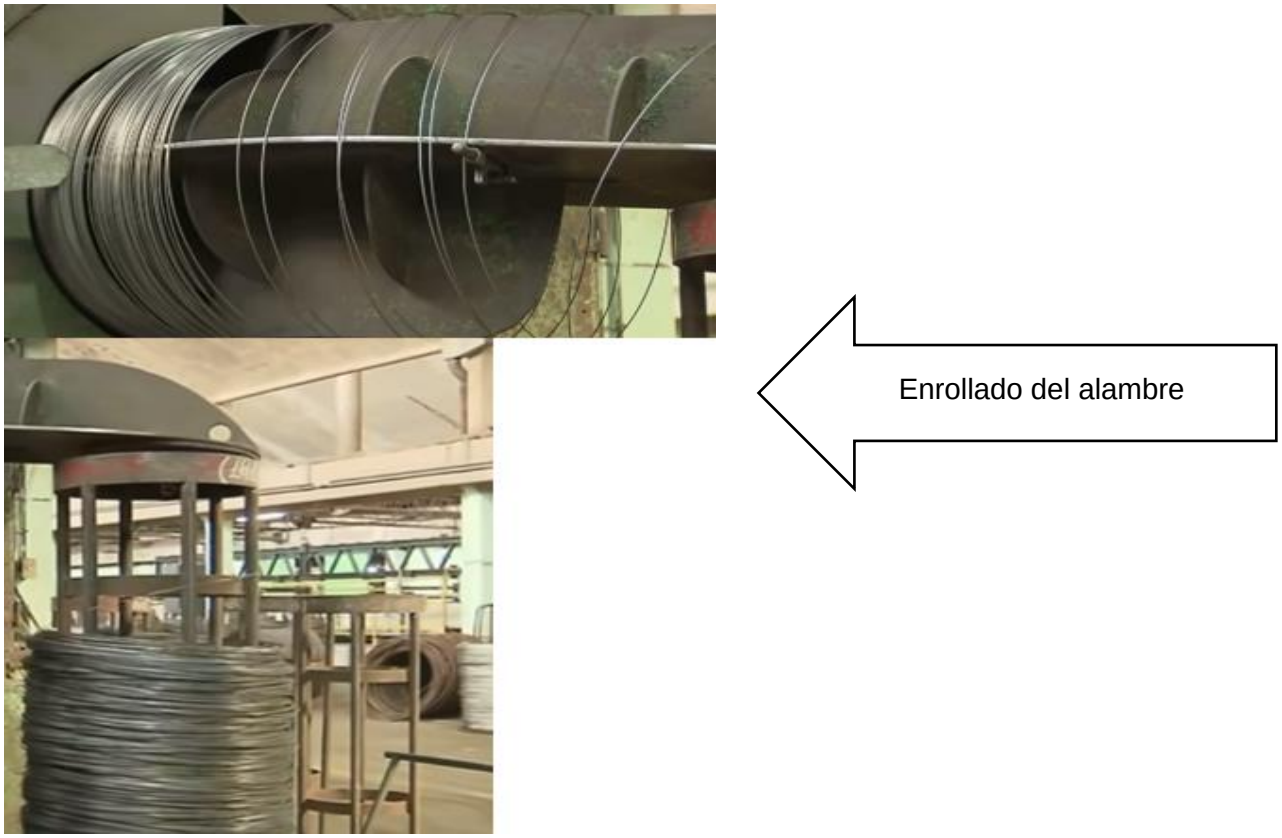


Ilustración 1.5: Procedimiento de la fabricación el alambre y obtención de la calamina

1.3.4 Propiedades químicas de la calamina

Tabla 1.2: Propiedades químicas de la calamina

Parámetro	Datos	Límites EPA 6020
Hierro (mg/L)	7.75	N/A
Arsénico (mg/L)	<0.006	5
Bario (mg/L)	<0.2	100
Cadmio (mg/L)	<0.07	1
Cromo (mg/L)	<0.02	5
Níquel (mg/L)	<0.3	N/A
Plata (mg/L)	<0.06	5
Selenio (mg/L)	<0.005	1
Mercurio (mg/L)	<0.002	0.2
Plomo (mg/L)	<0.40	5
Óxido Férrico (mg/L)	7.8	N/A
Óxido Ferroso (mg/L)	1.4	N/A

Fuente: Tesis Elaboración de bloques de mortero tipo estructural mediante secado natural empleando la calamina 2012.

CAPITULO II

2. DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS REALIZADOS DE AGREGADOS, CEMENTO ASFÁLTICO.

2.1 Ensayos de agregados.

2.1.1 Ensayo de granulometría.

El ensayo permite determinar la gradación de partículas de áridos finos y gruesos de acuerdo a su tamaño con la utilización de tamices dispuestos en forma descendente con respecto a la dimensión de su abertura, su importancia radica en que la distribución granulométrica de los agregados es usada en el control de especificaciones y para producción de hormigón o mezclas asfálticas, además facilita información que puede ser usado para la determinación de porosidad y compactación de las partículas (INEN 696, 2011).



Ilustración 2.1: Ensayo granulometría agregado fino y grueso

2.1.2 Ensayo de equivalente de arena.

Este ensayo permite determinar de manera estándar proporciones relativas de arcillas o finos plásticos en relación a partículas de polvo que se encuentran en suelos granulares y en agregados finos que atraviesan el tamiz N°4 (Ayala del Toro, Delgado, Cuellar, & Salazar, 2019). Con los resultados se puede obtener correlaciones.



Ilustración 2.2: Ensayo equivalente de arena

2.1.3 Ensayo de gravedad específica de los agregados y absorción de agua.

La gravedad especifica es la relación entre la masa perteneciente al agregado y la masa de agua de idéntico volumen que el agregado (Ayala del Toro et al., 2019)

Su uso está determinado para establecer el volumen que podría ocupar el agregado en la producción de mezclas asfálticas (ASTM C127, 2015).

La absorción del agua se usa para definir los cambios de masa que puede presentar el agregado al ingresar agua a los poros interiores del mismo (INEN 857, 2010).



Ilustración 2.3: Ensayo absorción del agua

2.1.4 Ensayo de abrasión.

El objetivo de este ensayo es definir la degradación en masa que se produce en las partículas de agregado grueso sometido al desgaste por fricción e impacto en la máquina de los ángeles, donde los agregados presentan un tamaño menor a los 37,5mm (ASTM C131, 2014).

El ensayo permite determinar la tenacidad en los agregados gruesos, debido a los impactos que son sometidos en las etapas de producción, colocación y compactación; con el fin de elaborar una mezcla asfáltica que cumpla con las especificaciones técnicas para evitar fallas de durabilidad y resistencia en su vida útil (Ayala del Toro et al, 2019).



Ilustración 2.4 Ensayo abrasión

2.1.5 Ensayo de durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos.

El principal objetivo de realizar el ensayo es definir la degradación en los agregados a causa del intemperismo mediante el uso de sulfato de sodio o magnesio (Ayala del Toro et al, 2019).

La aplicación del sulfato de sodio o sulfato de magnesio en el ensayo tiene la finalidad de simular la exposición de los agregados a condiciones climáticas ya sea que estos se desarrollen como mezclas asfálticas u hormigón. El ensayo se realiza a través de la repetición de cinco ciclos consecutivos que consisten en la inmersión de agregado grueso y fino diferenciados por su tamaño de partícula en sulfato de sodio o magnesio por un tiempo determinado para después ser secado, al finalizar los ciclos se procede con el lavado y tamizado de las partículas de los agregados, de esta manera es posible comparar

la masa de la muestra de agregado sobrante de la masa inicial del ensayo como resultado de la degradación por intemperismo del agregado (INEN 863, 2011).



Ilustración 2.5: Ensayo durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos

2.1.6 Resumen caracterización agregados

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización de los agregados.

Tabla 2.1: Cuadro resumen caracterización agregados

Agregado Grueso					
Ensayo	**Valor**	**Unidad**	**Especificación**	**Norma**	**Observación**
Gravedad específica Bulk (Ge)	2.33	gr/cm3	N/A	ASTM C127	-
Gravedad específica saturada con superficie seca (Ges)	2.4	gr/cm3	N/A	ASTM C127	-
Gravedad específica aparente (Gea)	2.49	gr/cm3	N/A	ASTM C127	-
Durabilidad a los sulfatos	4.43	%	ASTM C88: Máx 12	ASTM C88	CUMPLE
Abrasión	25.11	%	ASTM C131: Máx 50	ASTM C131	CUMPLE

Agregado Intermedio					
Ensayo	**Valor**	**Unidad**	**Especificación**	**Norma**	**Observación**
Gravedad específica Bulk (Ge)	2.38	gr/cm3	N/A	ASTM C127	-
Gravedad específica saturada con superficie seca (Ges)	2.44	gr/cm3	N/A	ASTM C127	-
Gravedad específica aparente (Gea)	2.52	gr/cm3	N/A	ASTM C127	-
Absorción	2.33	%	N/A	ASTM C127	-
Durabilidad a los sulfatos	3.04	%	ASTM C88: Máx 12	ASTM C88	CUMPLE
Agregado Fino					
Ensayo	**Valor**	**Unidad**	**Especificación**	**Norma**	**Observación**
Gravedad específica Bulk (Ge)	2.43	gr/cm3	N/A	ASTM C127	-
Gravedad específica saturada con superficie seca (Ges)	2.49	gr/cm3	N/A	ASTM C127	-
Gravedad específica aparente (Gea)	2.59	gr/cm3	N/A	ASTM C127	-
Absorción	2.63	%	N/A	ASTM C127	-
Durabilidad a los sulfatos	13.4	%	ASTM C88: Máx 12	ASTM C88	CUMPLE
Equivalente de arena	89.9	%	ASTM D2419: Mín 50	ASTM D2419	CUMPLE

2.2 Ensayos de material bituminoso AC-20

2.2.1 Ensayo de gravedad específica

La gravedad especifica es la relación entre la masa de una cantidad de material bituminoso y una masa de agua de idéntico volumen al material bituminoso, en iguales condiciones de temperatura con la utilización del picnómetro. La importancia de este ensayo se debe a que es posible realizar correcciones de volumen cuando se encuentran en altas temperaturas, además es usado como un factor en mezclas asfálticas para el establecimiento de los vacíos (The Asphalt Institute, 1982).



Ilustración 2.6: Ensayo gravedad específica

2.2.2 Ensayo de penetración

El ensayo permite determinar la consistencia de los materiales bituminosos a través de la penetración de una aguja normalizada en forma vertical sobre la superficie de una muestra de material bituminoso o cemento asfáltico bajo condiciones establecidas de carga tiempo y temperatura. La distancia que penetra la aguja es medida en décimas de milímetro, es importante mencionar que penetración significa que el material bituminoso presenta una consistencia suave (ASTM D5, 2013).



Ilustración 2.7: Ensayo de penetración

2.2.3 Ensayo de ductilidad

El objetivo del ensayo es determinar la ductilidad de materiales bituminosos mediante mediciones de tensión, característica importante que es usada en especificaciones para el diseño de mezclas asfálticas. El ensayo consiste en la elongación de material bituminoso en el ductilímetro donde una muestra de dicho material colocado en una briqueta es separada desde sus extremos bajo condiciones especificadas de temperatura y velocidad (ASTM D113, 2017).

En la producción de mezclas asfálticas es importante que el cemento asfáltico presente propiedades dúctiles debido a que puede desarrollar deformaciones elásticas para evitar fallas estructurales como si sucede con mezclas asfálticas frágiles (Rondón & Reyes, 2015).

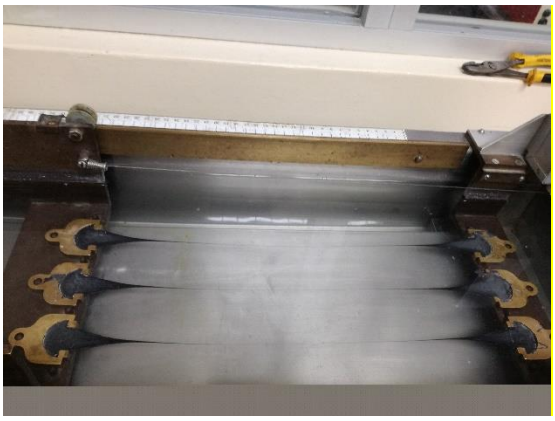


Ilustración 2.8: Ensayo de ductilidad

2.2.4 Ensayo de viscosidad

La viscosidad es definida como la resistencia que presenta un material líquido al movimiento entre capas y sobre la superficie influenciada por la gravedad, para su determinación en necesario emplear viscosímetros capilares al vacío a una temperatura especificada de 60°C, aquí el material bituminoso debe fluir a través del tubo capilar con un volumen constate y medir el tiempo que tarda en realizar la operación (ASTM D2171, 2010) .

La principal función del ensayo es determinar las propiedades de fluidez que presenta un material bituminoso a diferentes temperaturas para aplicación o producción de mezclas asfálticas (The Asphalt Institute, 1982)



Ilustración 2.9: Ensayo de viscosidad.

2.2.5 Ensayo punto de inflamación y combustión

La realización del ensayo tiene como objetivo la determinación de puntos de temperatura en los cuales materiales bituminosos o derivados de petróleo pueden presentar características de inflamación y encendido. Este ensayo es aplicable para materiales bituminosos en los que previsiblemente su punto de inflamación se encuentre entre los 79°C y 400°C. La realización del ensayo consiste en la colocación de una muestra de material bituminoso en una copa de prueba conocida como copa abierta de Cleveland que es sometida al aumento gradual de temperatura y al paso repetitivo de una flama sobre la muestra que va de un lado al otro. El punto de inflamación es determinado como la menor temperatura donde los vapores de la muestra junto al paso de la flama provocan una chispa y el punto de encendido o combustión es la temperatura en la cual se genera una combustión de la muestra de por lo menos 5 segundos (ASTM D92, 2013) (ASTM D92, 2013).

Es importante mencionar que mientras el punto de inflamación se encuentra a muy altas temperaturas la posibilidad de presentar problemas de inflamación o combustión durante la transportación de material bituminoso o en la producción de mezclas asfálticas se reduce (Rondón & Reyes, 2015).



Ilustración 2.10: Ensayo punto de inflamación y combustión

2.2.6 Ensayo punto de ablandamiento

El ensayo permite la determinación del punto de ablandamiento en materiales bituminosos a temperaturas que se encuentran entre los 30°C y 157°C, mediante el uso de equipo designado como anillo y bola donde el aumento de temperatura al que es sometido la muestra de material bituminoso cambia sus propiedades físicas de un estado sólido a uno menos viscoso similar a un líquido, además la determinación del punto de ablandamiento es empleada para la clasificación de bitúmenes (ASTM D36, 2014).

En la producción y vida útil de mezclas asfálticas es importante que no se presenten temperaturas en la que se produzca un punto de ablandamiento ya que comprometería estructura al afectar su rigidez (Rondón & Reyes, 2015).

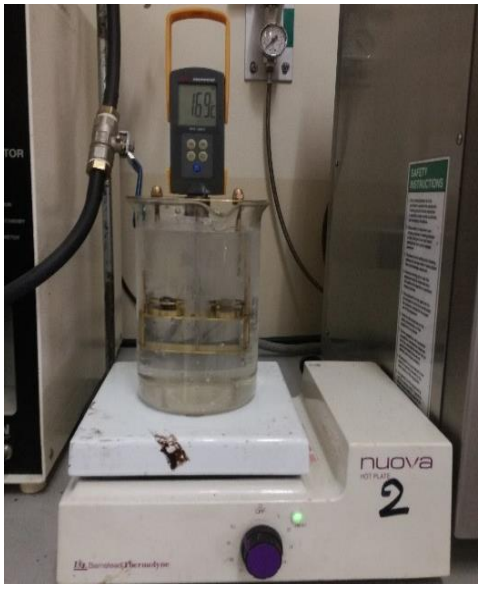


Ilustración 2.11: Ensayo punto de ablandamiento

2.2.7 Ensayo horno de película delgada rodante

El ensayo tiene como propósito la determinación de cambios en las propiedades de un material bituminoso o cemento asfáltico, que ha sufrido variaciones durante la producción de mezclas asfálticas en caliente que se realizan aproximadamente a 150°C de acuerdo a resultados de ensayos de viscosidad junto a varias otras mediciones reológicas, al final del ensayo se obtendría un residuo semejante a las condiciones que presentaría el asfalto al ser adherido al pavimento. Los resultados obtenidos del ensayo permiten también determinar el cambio de masa que es una medida de volatilidad de material bituminoso (ASTM D2872, 2012).



Ilustración 2.12: Ensayo horno de película delgada rodante

2.2.8 Tabla de resumen caracterización de cemento asfaltico AC-20

El cuadro resumen de la caracterización del cemento asfáltico es el producto de la comparación de resultados obtenidos en los ensayos con los requisitos que debe tener el cemento asfáltico de acuerdo a la Norma MOP 001-F tabla 810.2.1 (Anexo 3) y la norma NYE INEN 2515 Enmienda 1 tabla 7 (Anexo 4), de forma que sea factible determinar si el cemento asfáltico usado cumple con las especificaciones.

Tabla 2.2: Cuadro resumen caracterización asfalto AC-20

Asfalto AC-20					
Ensayo	**Valor**	**Unidad**	**Especificación**	**Norma**	**Observación**
Gravedad específica	1.006	gr/cm3	MOP 001-F Tabla 810.2.1: Mín 1.0	ASTM D70	CUMPLE
Penetración	74	dmm	MOP 001-F Tabla 810.2.1: Mín 60	ASTM D5	CUMPLE
Viscosidad	232.556	Pa.s/s	ASTM D2171: Mín 160 Máx 240	ASTM D2171	CUMPLE
Punto de inflamación	305	°C	MOP 001-F Tabla 810.2.1: Mín 232	ASTM D92	CUMPLE
Punto de combustión	333	°C	-	ASTM D92	-
Punto de ablandamiento	48.75	°C	MOP 001-F Tabla 810.2.1: Mín 48 Máx 57	ASTM D36	CUMPLE
Asfalto AC-20 envejecida					
Ensayo	**Valor**	**Unidad**	**Especificación**	**Norma**	**Observación**
Horno de película delgada rodante	0.025	%	ASTM D2872: Máx 1	ASTM D2872	CUMPLE
Ductilidad	34	cm	MOP 001-F Tabla 810.2.1: Mín 50	ASTM D113	NO CUMPLE
Viscosidad	864.734	Pa.s/s	ASTM D2171: Máx	ASTM D2171	CUMPLE

CAPITULO III

3. MEZCLAS ASFÁLTICAS

3.1 Generalidades

3.1.1 Concepto

Las mezclas asfálticas son el producto resultante de la composición de agregados pétreos con ligantes asfálticos usualmente elaborados en plantas asfálticas, aunque en ciertas ocasiones también son producidas en situ (Rondón & Reyes, 2015).

3.1.2 Propiedades de las mezclas asfálticas

3.1.2.1 Propiedades fundamentales en las mezclas

Las principales propiedades que debería presentar una mezcla asfáltica son las siguientes:

- Resistencia a la tracción y deformaciones permanentes
- Resistencia a la fatiga
- Resistencia al deslizamiento
- Resistencia al envejecimiento
- Resistencia a condiciones climáticas
- Impermeabilidad
- Durabilidad
- Economía

Al presentar las propiedades mencionadas en mezclas asfálticas se puede asegurar que en la producción y desempeño de la misma será factible el cumplimiento de requisitos mínimos de calidad (Rondón & Reyes, 2015).

3.1.2.2 Propiedades volumétricas

La determinación y estudio de las propiedades volumétricas de una mezcla asfáltica compacta tiene importancia ya que provee de información de cómo podría ser su desempeño al entrar en funcionamiento. Las propiedades volumétricas de una mezcla

asfáltica compacta son los vacíos de aire (Va); vacíos del agregado mineral (VMA); vacíos llenados con asfaltos (VFA), y contenido de asfalto efectivo (Pbe) (Asphalt Institute, 2014).

Los agregados minerales por lo general presentan características porosas por lo que tienen la capacidad de absorber agua y asfalto en diferentes medidas, además el cociente de absorción varía de acuerdo al tipo de agregado, por estas consideraciones existen tres métodos de medir su gravedad específica y estos son la gravedad especifica neta, aparente y efectiva (Asphalt Institute, 2014)

3.1.2.2.1 Gravedad especifica neta (Gsb)

Es la fracción de masa en aire perteneciente a un volumen unitario de un material a una temperatura específica, tomando en cuenta los vacíos permeables e impermeables de este; en relación a una masa en aire de un volumen llena de agua destilada sin presencia de gas con similar densidad y una temperatura específica (Asphalt Institute, 2014).

3.1.2.2.2 Gravedad especifica aparente (Gsa)

Es la Fracción de masa en aire perteneciente a un volumen unitario de un material impermeable en relación a una masa en aire de similar volumen llena de agua destilada, medidos a una temperatura específica (Asphalt Institute, 2014).

3.1.2.2.3 Gravedad especifica efectiva (Gse)

Es la Fracción de masa en aire perteneciente a un volumen unitario de un material permeable sin tomar en cuenta los vacíos permeables de asfalto; en relación a una masa en aire de similar volumen llena de agua, medidos a una temperatura específica (Asphalt Institute, 2014).

3.1.2.2.4 Vacíos de aire (Va)

Es el volumen del total de bolsas de aire entre las partículas de agregados en una mezcla asfáltica compactada, se lo expresa en porcentaje resultante del contenido total de la muestra de mezcla asfáltica compactada (Asphalt Institute, 2014).

3.1.2.2.5 Vacíos del agregado mineral (VMA)

Es el volumen del total de espacios vacíos entre las partículas de agregados perteneciente a una mezcla asfáltica compactada que está conformada por vacíos de aire además de asfalto efectivo y se lo expresa en porcentaje resultante del contenido total de la muestra (Asphalt Institute, 2014).

3.1.2.2.6 Vacíos llenados con asfaltos (VFA)

Es una fracción del volumen del total de espacios vacíos entre las partículas de agregados perteneciente a una mezcla asfáltica compactada que es llenada de asfalto efectivo y se lo expresa como la diferencia entre los vacíos del agregado mineral y los vacíos de aire (Asphalt Institute, 2014).

3.1.2.2.7 Contenido de asfalto efectivo (Pbe)

Es el total del contenido de asfalto que pertenece a una mezcla asfáltica restando la parte del asfalto que es absorbido por las partículas del agregado (Asphalt Institute, 2014).

3.2 Método Marshall.

3.2.1 Diseño Marshall

El objetivo del diseño Marshall es determinar el porcentaje óptimo de cantidades tanto en los agregados pétreos como en el asfalto, este procedimiento se realiza exclusivamente en mezclas asfálticas en caliente, con la finalidad de cumplir las propiedades fundamentales de las mezclas. Además, permite realizar la caracterización por separado tanto de los agregados como del asfalto, para las mezclas es importante ensayar por combinado estos materiales, los datos que arroja el ensayo son la estabilidad y flujo estos aspectos definen la calidad y durabilidad del pavimento, tomando en cuenta las características que este presenta como son los vacíos con aire en la mezcla y vacíos en los agregados minerales. Es un método utilizado para la dosificación de materiales sólidos y ligantes bituminosos, el material granular utilizado es un tamaño máximo de 1 pulgada (2.54cm).

3.2.2 Proceso de las mezclas asfálticas en caliente.

El procedimiento de este método inicia con la elaboración de las briquetas, las cuales están normadas con un espesor de 6.35 cm y de diámetro 10 cm (ASTM D6927, 2006). Se realizaron 15 briquetas en total, 3 briquetas por cada porcentaje de asfalto. Una vez preparados los moldes, se coloca una mezcla de asfalto con agregados que previamente son mezclados en una temperatura que es definida en la carta de viscosidad (Anexo 27) realizada en la caracterización de los materiales, el ligante bituminoso cubre completamente las partículas de los agregados y se obtiene una mezcla homogénea en temperatura de mezclado y compactación.

Tabla 3.1: Rango de temperaturas de mezclado y compactación

Rango de temperaturas	
Mezclado	150.8 - 156.4 °C
Compactación	139.1 - 144.2 °C

La mezcla se coloca en un molde precalentado; seguido, se ubica la briqueta en el compactador Marshall y; finalmente, se procede a la compactación. El diseño se proyecta para tráfico muy pesado y se compacta 75 golpes a cada cara de la briqueta. El número de golpes respectivos se encuentra normado por la MOP 001-F Tabla 405.5.4 (Anexo 1).



Ilustración 3.1: Compactador Marshall

3.2.2.1 Mezcla de agregados.

La mezcla de los agregados se realiza mediante las granulometrías del agregado grueso, intermedio y fino. Los resultados de la granulometría ingresan en análisis de límites máximos y mínimos, establecidos en la especificación MOP-001-F Tabla 405.5.1 "3/4"(Anexo 2), para determinar el peso de los agregados retenido en cada tamiz y el porcentaje teórico óptimo de asfalto.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: MOP-001-F Tabla 405.5.1 "3/4"

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

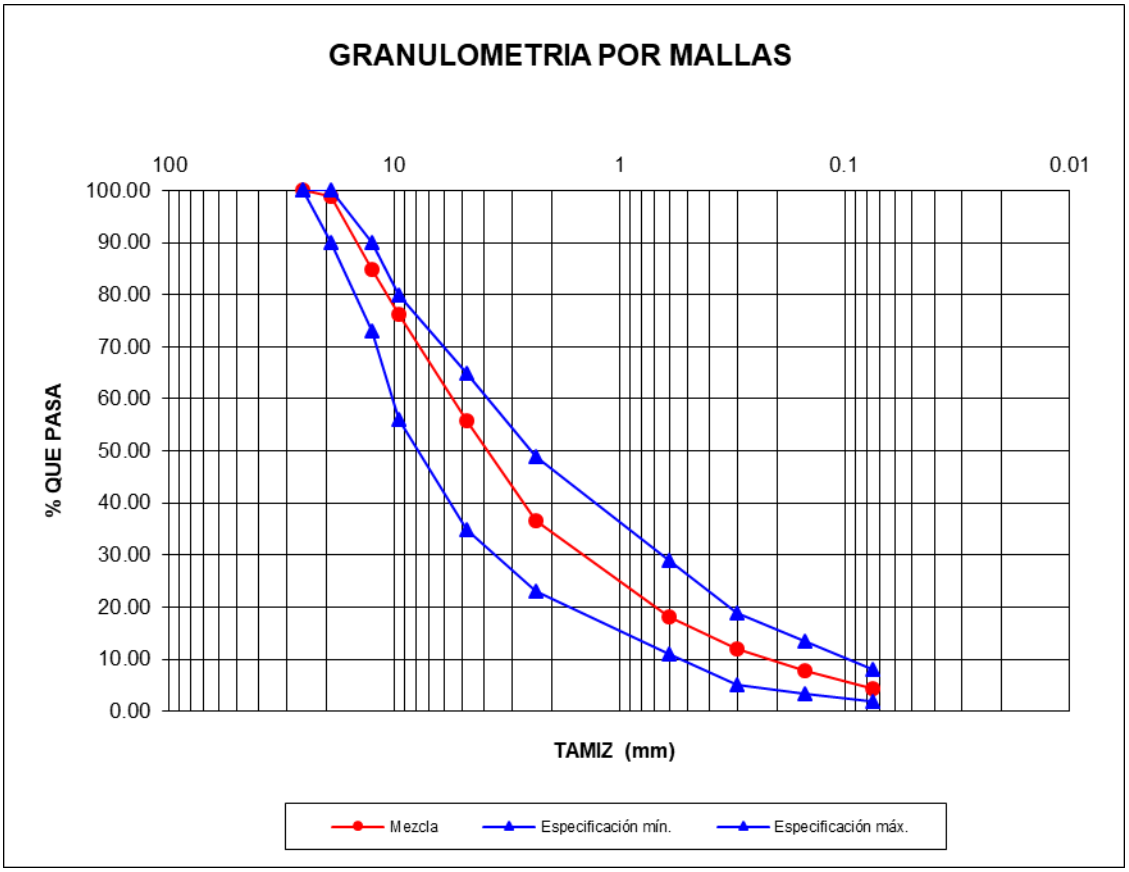
MEZCLAS DE AGREGADOS

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	96.15	50.81	29.75	14.60	8.58	4.92	3.94	3.06	2.09	
mat. B	100.00	100.00	97.65	86.60	29.37	13.17	7.29	5.46	3.90	2.45	
mat. C	100.00	100.00	100.00	100.00	90.87	62.62	30.43	19.52	12.34	6.69	
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**	**98.84**	**84.77**	**76.24**	**55.69**	**36.51**	**18.15**	**12.03**	**7.87**	**4.46**	
Ret.Ac.	0.00	1.16	15.23	23.76	44.31	63.49	81.85	87.97	92.13	95.54	4.46
Ret.Parc.	0.00	1.16	14.07	8.53	20.56	19.17	18.37	6.12	4.16	3.41	
peso	0.00	12.71	154.79	93.81	226.11	210.91	202.02	67.27	45.79	37.52	
p. acum.	0.00	12.71	167.50	261.31	487.43	698.34	900.35	967.62	1013.41	1050.94	1100.00
Espec mín	**100**	**90**	**---**	**56**	**35**	**23**	**---**	**5**	**---**	**2**	
Espec máx	**100**	**100**	**---**	**80**	**65**	**49**	**---**	**19**	**---**	**8**	

Material A	Material Grueso
Material B	Material Intermedio
Material C	Material Fino

% DE MEZCLA		
A	0.30	30
B	0.20	20
C	0.50	50
D	0	0

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	12.5	9.5	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075



3.2.2.2 Determinación de porcentaje teórico.

El cálculo del diseño teórico es el porcentaje de asfalto realizado mediante fórmulas en base de la caracterización de los materiales, este porcentaje es utilizado como punto base para el diseño es decir se toma 2 porcentajes por arriba y 2 porcentajes por debajo del óptimo teórico con un intervalo de 0.5%. Este porcentaje se calcula mediante las siguientes formulas:

Tabla 3.2: Parámetros para el cálculo del porcentaje teórico de asfalto

Parámetros para el cálculo del porcentaje teórico de asfalto			
Parámetro	**Definición**	**Porcentaje (%)**	**Resultado**
G	100 % - Porcentaje del material correspondiente al 3/8"	23.76	0.23756
g	Diferencia entre el porcentaje de material de 3/8" y #4	20.56	0.20556
A	Diferencia entre el porcentaje de material #4 y #50	43.65	0.43654
a	Diferencia entre el porcentaje de material #50 y #200	7.57	0.07574
f	Porcentaje del material correspondiente al #200	4.46	0.0446

$$\mathbf{S=}\ 0.17G+0.33g+2.3A+12a+135f$$

Ecuación 3.1: Superficie especifica de los áridos

$$\mathbf{S=}\ 8.04261$$

$$\mathbf{P=}\ M*S^{1/5}$$

Ecuación 3.2: Porcentaje del asfalto

$$\mathbf{P=}\ 6.07\ \%$$

Donde:

- S= Superficie especifica de los áridos
- P= porcentaje del asfalto en peso / al peso total
- M= Coeficiente del tráfico (3.75-4.25); M= 4.00

El porcentaje teórico de asfalto es de 6% de modo que, los porcentajes analizarse son: 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%, 7.0%, esto servirá para determinar y hallar el porcentaje óptimo de asfalto en la mezcla.

3.2.2.3 Determinación del análisis de vacíos (Gravedad especifica Bulk Gsb)

La determinación de este parámetro permite conocer la cantidad de vacíos que tiene la mezcla debido al proceso de compactación a la cual es sometida. El cálculo de la gravedad especifica bulk es la relación que existe entre el peso de la masa seca en el aire y la diferencia entre el peso de la masa saturado con superficie seca y peso en agua.

$$Gsb = \frac{\text{Peso en aire}}{\text{Peso saturado superficie seca-Peso en agua}}$$

Ecuación 3.3: Gravedad especifica Bulk

Para determinar la Gsb de las briquetas se procede con los siguientes pasos:

1. Se registra la altura y el diámetro de la briqueta, se realizan 3 mediciones por cada una, con el fin de obtener un promedio de la misma para cada porcentaje de asfalto.
2. Se determina el peso de la briqueta en seco.
3. Se sumerge la briqueta en agua a una temperatura aproximada de 25°C ± 1°C con un tiempo de 4 minutos, logrando la estabilización de la balanza de esta manera se toma el peso de la briqueta sumergida en agua.
4. Finalmente se retira la briqueta y con una franela se limpia los residuos de agua en la superficie de la briqueta, de esta forma se determina el peso de la masa saturada con superficie seca.



Ilustración 3.2: Muestras de briquetas



Ilustración 3.3: Peso sumergido en agua



Ilustración 3.4: Masa saturada con superficie seca

3.2.2.4 Estabilidad y Flujo

La estabilidad es un parámetro que define la resistencia al desplazamiento y deformación que tendrá el pavimento sometido a cargas externas de tráfico, depende directamente de la fricción y de la cohesión interna que tenga las partículas que conforman la mezcla, la carga máxima registrada en libras será la estabilidad del ensayo Marshall.

Flujo es la deformación que presenta la briqueta desde el inicio de la aplicación de la carga hasta que llegue a su resistencia máxima, se expresa en centésima de pulgada.

Una vez concluido el proceso de toma de datos para la gravedad específica Bulk, se coloca las briquetas en agua a temperatura aproximada de 60ºC por 1 hora, se coloca las probetas en mordazas especiales y se aplica la carga a una velocidad constante de deformación de 5 centímetros por minuto hasta que ocurra la falla, el equipo Marshall arroja como resultado la gráfica con el valor de la estabilidad y la deformación definida como flujo. Los valores de estabilidad y flujo se promedian para cada porcentaje de asfalto.



Ilustración 3.5: Ensayo Marshall

3.2.2.5 Gravedad máxima teórica (Gmm)

El ensayo rice determina la gravedad especifica máxima teórica y la densidad de mezcla asfáltica en caliente sin compactar a una temperatura ensayo de 25ºC, de tal manera que especifica el porcentaje de vacíos que afectan directamente a la calidad de la mezcla y permite establecer controles de calidad en la elaboración y colocación de las mezclas de concreto asfaltico.

Este proceso inicia con la elaboración de una mezcla sin compactar en estado suelto a una temperatura de 25 °C, se lo coloca en un contenedor el cual esta calibrado donde se elimina los vacíos realizando dos ciclos de 7.5 minutos en el equipo de rotación, cada ciclo en diferente rotación sentido horario y antihorario. Posteriormente se procede a colocar el contenedor con la muestra en agua a temperatura de ensayo. Finalmente se toma el peso de la muestra ensayada y se registra los siguientes pesos:

- Masa de muestra seca
- Masa de recipiente mas tapa con agua
- Masa del recipiente, muestra, agua y tapa



Ilustración 3.6: Gravedad máxima teórica

3.3 Diseño de Mezclas Asfálticas

3.3.1 Diseño original

3.3.1.1 Volumen de las briquetas

				Promedio			
Briquetas	**Lecturas**	**Diámetro(mm)**	**Altura(mm)**	**Diámetro(mm)**	**Altura(mm)**	**Área(cm2)**	**Volumen(cm3)**
1	1	101.93	69.86	102.40	69.88	82.35	575.49
	2	102.96	69.64				
	3	102.3	70.15				
2	1	101.69	71.48	101.73	71.56	81.28	581.65
	2	101.84	71.62				
	3	101.66	71.58				
3	1	103.23	69.58	102.96	69.42	83.25	577.91
	2	103	69.41				
	3	102.64	69.26				
4	1	102	72.03	101.88	71.91	81.52	586.19
	2	101.86	71.81				
	3	101.78	71.88				
5	1	103.2	69.47	103.36	69.33	83.91	581.75
	2	103.18	69.2				
	3	103.7	69.33				
6	1	102.58	70.08	102.56	69.9	82.61	577.42
	2	102.67	69.71				
	3	102.42	69.91				
7	1	102.97	68.96	102.9	68.89	83.16	572.87
	2	102.86	69.08				
	3	102.87	68.62				
8	1	102.07	69.79	101.86	69.76	81.49	568.53
	2	101.96	69.51				
	3	101.56	69.99				
9	1	101.66	70.77	101.63	70.5	81.12	571.87
	2	101.64	70.22				
	3	101.58	70.51				
10	1	103.04	68.98	103.04	69.17	83.38	576.78
	2	103.06	69.34				
	3	103.01	69.2				
11	1	101.85	70.27	101.87	70.14	81.50	571.64
	2	101.86	69.97				
	3	101.89	70.18				
12	1	103.01	68.86	102.91	68.88	83.18	572.95
	2	102.86	68.83				
	3	102.86	68.96				
13	1	102.73	68.36	102.79	68.43	82.98	567.86
	2	102.81	68.53				
	3	102.83	68.4				
14	1	102.51	69.84	102.43	69.63	82.41	573.78
	2	102.32	69.44				
	3	102.47	69.6				
15	1	103.3	68.31	103.08	68.56	83.45	572.14
	2	103.03	68.51				
	3	102.9	68.87				

3.3.1.2 Cálculo de la Densidad máxima teórica (Gmm)

Porcentaje de asfalto (%)	Masa de muestra seca (A) gr	Masa del recipiente más tapa con agua (D) gr	Masa del recipiente, muestra, agua y tapa (E) gr	Gmm	Promedio Gmm
5	2304	7413	8719	2.309	2.306
5	2313	7413	8722	2.304	
5.5	2313	7413	8673	2.197	2.237
5.5	2322	7413	8715	2.276	
6	2342	7413	8692	2.203	2.199
6	2337	7413	8685	2.194	
6.5	2345	7413	8688	2.192	2.217
6.5	2352	7413	8716	2.242	
7	2359	7413	8712	2.225	2.226
7	2346	7413	8705	2.226	

3.3.1.3 Diseño Marshall

- Peso específico de los agregados (Gsb)

Material	% de mezcla	Gravedad Específica
Agregado Grueso	30	2.33
Agregado Intermedio	20	2.38
Agregado Fino	50	2.43
	Gsb (g/cm3)	**2.389**

- Densidad teórico máximo (Gmm)= **2.306 g/cm3**

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMA: AASHTO T-245
ASTM D-1559

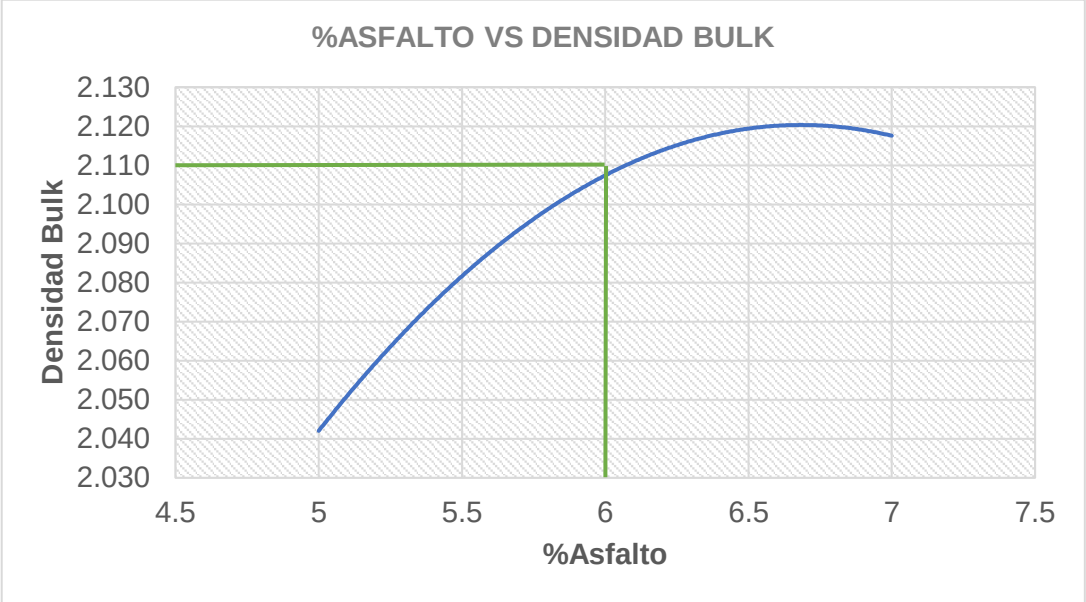
CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López

ENSAYO MARSHALL

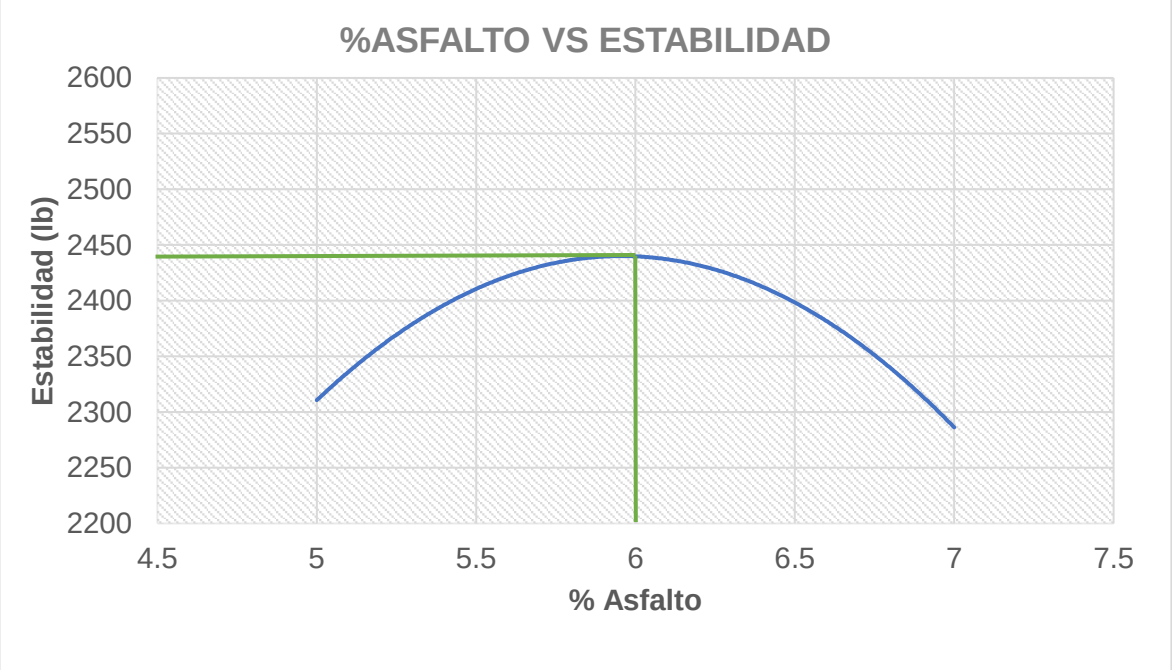
Briqueta	% de Bitumen	Pesos			Volumen (cm³)	Densidad Bulk g/cm³	Gmm g/cm³	Volumen				Estabilidad (lb)			Flujo 0.01"
		Masa Seca (gr)	Masa SSS (gr)	Masa sumergido en agua (gr)				Va	V.agr	VAM %	VAF %	Medida	F.Correc.	Corregida	
1	5	1137.42	1153.03	595.82	575	2.041		11.5	81.2	18.83	39.01	------	-----	------	------
2		1143.37	1152.66	595.11	582	2.051		11.1	85.8	14.17	21.80	2510	0.83	2083	12.5
3		1150.73	1158	595.32	578	2.045		11.3	85.6	14.40	21.39	3100	0.83	2573	13
PROMEDIO						**2.046**	**2.306**	**11.3**	**84.2**	**15.80**	**27.40**			**2328**	**13**
4	5.5	1151.66	1167.65	607.84	586	2.057		8.0	81.4	18.63	56.97	2850	0.81	2309	12
5		1162.45	1172.79	614.13	582	2.081		7.0	87.1	12.91	46.06	2800	0.83	2324	12.5
6		1150.68	1161.59	608.76	577	2.081		6.9	87.1	12.88	46.17	2870	0.83	2382	14
PROMEDIO						**2.073**	**2.237**	**7.3**	**85.2**	**14.81**	**49.73**			**2338**	**13**
7	6	1165.7	1170.01	617.75	573	2.111		4.0	83.0	16.95	76.39	3250	0.86	2795	12.5
8		1165.68	1171.61	620.03	569	2.113		3.9	88.5	11.55	66.35	2600	0.86	2236	13.5
9		1164.61	1170.69	618.38	572	2.109		4.1	88.3	11.74	65.08	3050	0.86	2623	13
PROMEDIO						**2.111**	**2.199**	**4.0**	**86.6**	**13.41**	**69.27**			**2551**	**13**
10	6.5	1164	1170.49	620.92	577	2.118		4.5	82.9	17.11	73.94	2800	0.83	2324	13.5
11		1168.66	1174.11	622.91	572	2.120		4.4	88.7	11.26	61.28	2550	0.86	2193	12
12		1172.35	1174.83	624.83	573	2.132		3.8	89.2	10.78	64.31	2850	0.86	2451	13
PROMEDIO						**2.123**	**2.217**	**4.2**	**86.9**	**13.05**	**66.51**			**2322**	**13**
13	7	1166.87	1170.26	616.09	568	2.106		5.4	82.0	18.04	70.10	2300	0.86	1978	15
14		1182.25	1183.6	626.51	574	2.122		4.6	88.8	11.18	58.41	3050	0.83	2532	15.5
15		1173.61	1176.18	621.9	572	2.117		4.9	88.6	11.38	57.24	2800	0.86	2408	13
PROMEDIO						**2.115**	**2.226**	**5.0**	**86.5**	**13.53**	**61.92**			**2306**	**15**

3.3.1.4 Gráficos

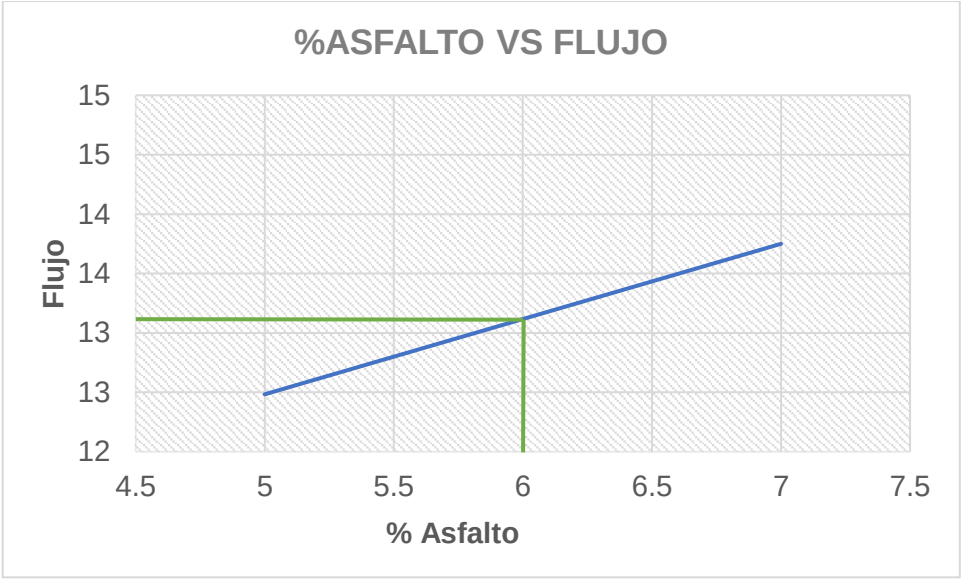
- %Asfalto vs Densidad Bulk



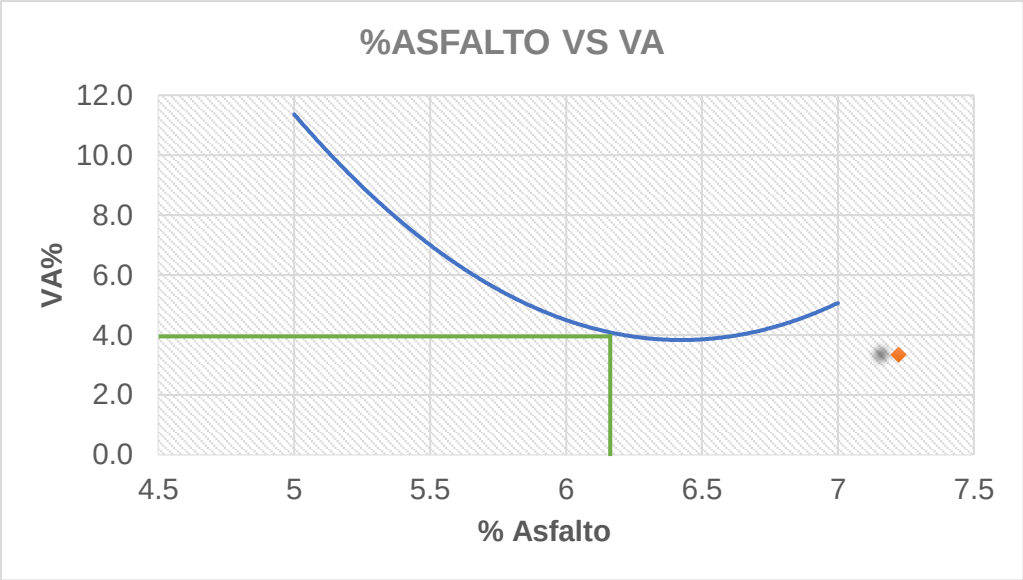
- %Asfalto vs Estabilidad



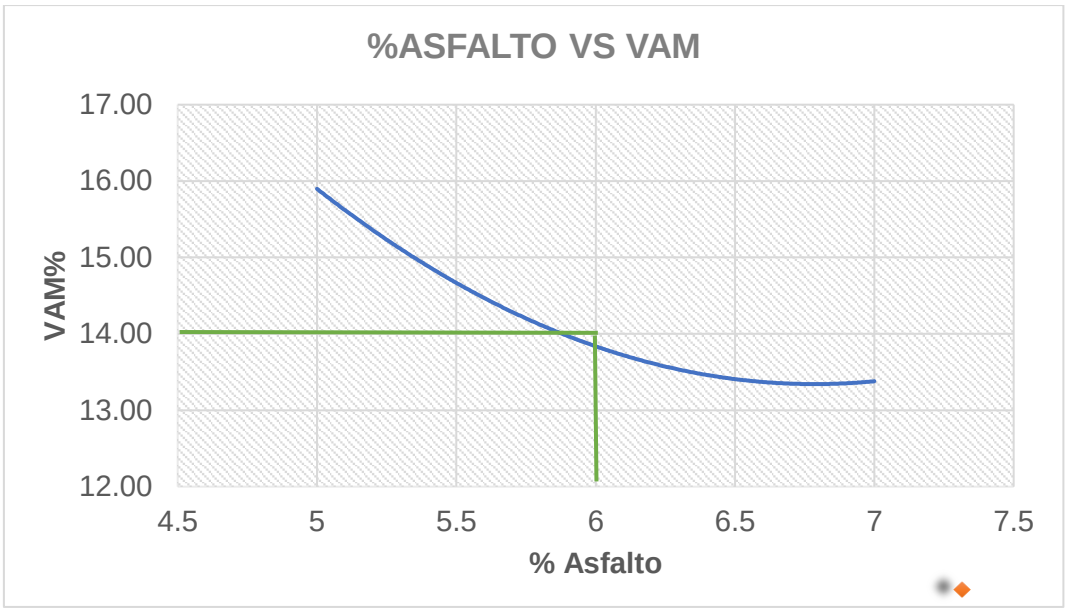
- %Asfalto vs Flujo



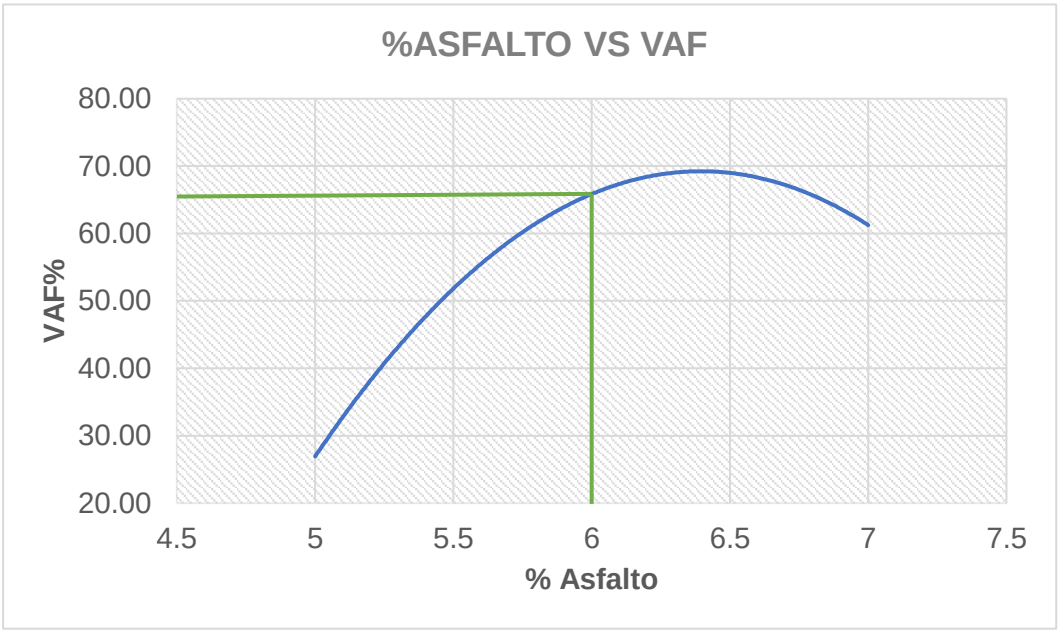
- %Asfalto vs Vacíos



- %Asfalto vs Vacíos de agregado mineral



- %Asfalto vs Vacíos de asfalto



El criterio utilizado para determinar el porcentaje óptimo de asfalto se basa en la gráfica de % Asfalto vs Va (vacíos), donde la norma define el rango de vacíos que va desde 3% a 5% tomando un valor intermedio de 4%, de modo que con el valor correspondiente de 4% de vacíos se entra en la gráfica con este porcentaje, indicando un porcentaje de asfalto óptimo correspondiente a 6.2%, para el diseño se toma un valor de 6.0%.

3.3.2 Diseño de mezcla asfáltica con calamina

Se procede a realizar la mezcla con calamina en porcentajes de: 0%, 5%, 15%, 25% y 35% y con el porcentaje óptimo del 6.0%. A continuación, se presentan las cantidades de calamina introducido en cada mezcla:

Tabla 3.3: Cantidad de calamina

% Calamina	Cantidad (gr)
5%	55
15%	165
25%	275
35%	385

3.3.2.1 Dosificación de agregados: 5% calamina – 95% agregados pétreos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMA: AASHTO T-245
ASTM D-1559

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López

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	96.15	50.81	29.75	14.60	8.58	4.92	3.94	3.06	2.09	
mat. B	100.00	100.00	97.65	86.60	29.37	13.17	7.29	5.46	3.90	2.45	
mat. C	100.00	100.00	100.00	100.00	90.87	62.62	30.43	19.52	12.34	6.69	
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**	**98.84**	**84.77**	**76.24**	**55.69**	**36.51**	**18.15**	**12.03**	**7.87**	**4.46**	
Ret.Ac.	0.00	1.16	15.23	23.76	44.31	63.49	81.85	87.97	92.13	95.54	4.46
Ret.Parc.	0.00	1.16	14.07	8.53	20.56	19.17	18.37	6.12	4.16	3.41	
peso	0.00	12.07	147.05	89.12	214.81	200.36	191.92	63.91	43.50	35.65	
p. acum.	0.00	12.07	159.12	248.25	463.06	663.42	855.34	919.24	962.74	998.39	1045.00
Espec mín	**100**	**90**	**---**	**56**	**35**	**23**	**---**	**5**	**---**	**2**	
Espec máx	**100**	**100**	**---**	**80**	**65**	**49**	**---**	**19**	**---**	**8**	

3.3.2.2 Dosificación de agregados: 15% calamina – 85% agregados pétreos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMA: AASHTO T-245
ASTM D-1559

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López

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	96.15	50.81	29.75	14.60	8.58	4.92	3.94	3.06	2.09	
mat. B	100.00	100.00	97.65	86.60	29.37	13.17	7.29	5.46	3.90	2.45	
mat. C	100.00	100.00	100.00	100.00	90.87	62.62	30.43	19.52	12.34	6.69	
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**	**98.84**	**84.77**	**76.24**	**55.69**	**36.51**	**18.15**	**12.03**	**7.87**	**4.46**	
Ret.Ac.	0.00	1.16	15.23	23.76	44.31	63.49	81.85	87.97	92.13	95.54	4.46
Ret.Parc.	0.00	1.16	14.07	8.53	20.56	19.17	18.37	6.12	4.16	3.41	
peso	0.00	10.80	131.57	79.74	192.20	179.27	171.72	57.18	38.92	31.89	
p. acum.	0.00	10.80	142.37	222.12	414.31	593.59	765.30	822.48	861.40	893.30	935.00
Espec mín	**100**	**90**	**---**	**56**	**35**	**23**	**---**	**5**	**---**	**2**	
Espec máx	**100**	**100**	**---**	**80**	**65**	**49**	**---**	**19**	**---**	**8**	

3.3.2.3 Dosificación de agregados: 25% calamina – 75% agregados pétreos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMA: AASHTO T-245
ASTM D-1559

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López

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	96.15	50.81	29.75	14.60	8.58	4.92	3.94	3.06	2.09	
mat. B	100.00	100.00	97.65	86.60	29.37	13.17	7.29	5.46	3.90	2.45	
mat. C	100.00	100.00	100.00	100.00	90.87	62.62	30.43	19.52	12.34	6.69	
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**	**98.84**	**84.77**	**76.24**	**55.69**	**36.51**	**18.15**	**12.03**	**7.87**	**4.46**	
Ret.Ac.	0.00	1.16	15.23	23.76	44.31	63.49	81.85	87.97	92.13	95.54	4.46
Ret.Parc.	0.00	1.16	14.07	8.53	20.56	19.17	18.37	6.12	4.16	3.41	
peso	0.00	9.53	116.10	70.36	169.59	158.18	151.51	50.45	34.34	28.14	
p. acum.	0.00	9.53	125.62	195.99	365.57	523.75	675.27	725.72	760.06	788.20	825.00
Espec mín	**100**	**90**	**---**	**56**	**35**	**23**	**---**	**5**	**---**	**2**	
Espec máx	**100**	**100**	**---**	**80**	**65**	**49**	**---**	**19**	**---**	**8**	

3.3.2.4 Dosificación de agregados: 35% calamina – 65% agregados pétreos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMA: AASHTO T-245
ASTM D-1559

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López

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	96.15	50.81	29.75	14.60	8.58	4.92	3.94	3.06	2.09	
mat. B	100.00	100.00	97.65	86.60	29.37	13.17	7.29	5.46	3.90	2.45	
mat. C	100.00	100.00	100.00	100.00	90.87	62.62	30.43	19.52	12.34	6.69	
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**	**98.84**	**84.77**	**76.24**	**55.69**	**36.51**	**18.15**	**12.03**	**7.87**	**4.46**	
Ret.Ac.	0.00	1.16	15.23	23.76	44.31	63.49	81.85	87.97	92.13	95.54	4.46
Ret.Parc.	0.00	1.16	14.07	8.53	20.56	19.17	18.37	6.12	4.16	3.41	
peso	0.00	8.26	100.62	60.98	146.97	137.09	131.31	43.73	29.76	24.39	
p. acum.	0.00	8.26	108.87	169.85	316.83	453.92	585.23	628.96	658.72	683.11	715.00
Espec mín	**100**	**90**	**---**	**56**	**35**	**23**	**---**	**5**	**---**	**2**	
Espec máx	**100**	**100**	**---**	**80**	**65**	**49**	**---**	**19**	**---**	**8**	

3.3.2.5 Volumen de las briquetas

					Promedio			
% Calamina	**Briquetas**	**Lecturas**	**Diámetro(mm)**	**Altura(mm)**	**Diámetro(mm)**	**Altura(mm)**	**Área(cm2)**	**Volumen(cm3)**
0%	16	1	102.72	69.59	102.73	69.57	82.89	576.64
		2	102.7	69.93				
		3	102.77	69.19				
	17	1	102.78	70.59	102.86	70.26	83.10	583.84
		2	103	70.18				
		3	102.8	70.01				
	18	1	101.6	70.69	101.74	70.92	81.29	576.52
		2	101.86	70.85				
		3	101.75	71.22				
	19	1	102.79	70.04	102.98	69.9	83.29	582.20
		2	103.05	69.85				
		3	103.1	69.81				
	20	1	101.88	70.71	101.88	70.52	81.52	574.91
		2	101.87	70.47				
		3	101.89	70.39				
	21	1	103.02	70.01	103.05	69.46	83.40	579.30
		2	103.01	69.16				
		3	103.12	69.2				
5%	22	1	102.92	67.2	103.00	67.14	83.33	559.47
		2	102.94	66.95				
		3	103.15	67.27				
	23	1	101.62	68.24	101.9	68.27	81.55	556.79
		2	101.52	68.23				
		3	102.56	68.35				
	24	1	102.92	67.16	102.79	67.49	82.99	560.09
		2	102.67	67.58				
		3	102.79	67.73				
	25	1	103.16	67.78	102.98	67.75	83.29	564.27
		2	102.83	67.91				
		3	102.95	67.55				
	26	1	101.67	68.28	101.57	68.61	81.02	555.91
		2	101.56	69.32				
		3	101.47	68.24				
	27	1	101.64	67.4	101.74	67.84	81.29	551.48
		2	101.68	67.72				
		3	101.89	68.4				

15%	28	1	102.96	64.92	102.97	65.66	83.27	546.74
		2	102.87	67.52				
		3	103.07	64.54				
	29	1	101.88	66.1	101.83	65.97	81.45	537.27
		2	101.89	65.8				
		3	101.73	66				
	30	1	101.8	65.4	101.82	65.51	81.42	533.41
		2	101.81	65.37				
		3	101.84	65.77				
	31	1	103.13	64.29	103.25	64.25	83.72	537.89
		2	103.34	63.64				
		3	103.27	64.81				
	32	1	103	64.46	103.07	64.42	83.44	537.50
		2	103.03	64.76				
		3	103.19	64.03				
	33	1	103.26	64.65	103.04	64.75	83.39	539.93
		2	102.9	64.61				
		3	102.96	64.99				
25%	34	1	103.18	62.46	103.24	63.06	83.71	527.91
		2	103.17	62.66				
		3	103.37	64.07				
	35	1	101.7	64.68	101.73	64.36	81.28	523.10
		2	101.79	64.49				
		3	101.7	63.9				
	36	1	101.72	64.54	102.08	64.52	81.84	528.04
		2	102.76	64.57				
		3	101.76	64.45				
	37	1	103.28	62.68	103.21	63.11	83.66	527.99
		2	103.12	63.41				
		3	103.22	63.25				
	38	1	102.92	64.28	102.73	64.68	82.88	536.05
		2	102.37	65.05				
		3	102.89	64.7				
	39	1	103.1	62.85	103.21	62.92	83.66	526.41
		2	103.05	63				
		3	103.48	62.91				
35%	40	1	102.17	62.9	101.93	62.75	81.60	512.07
		2	101.87	62.58				
		3	101.75	62.78				
	41	1	101.92	62.93	102.03	63.07	81.76	515.61
		2	102.04	63.28				
		3	102.12	62.99				
	42	1	102.81	62.23	103.02	62.02	83.36	516.97
		2	103.03	61.92				
		3	103.22	61.91				
	43	1	103.27	61.91	103.35	62.29	83.89	522.52
		2	103.42	63				
		3	103.36	61.95				
	44	1	102.99	60.88	102.98	61.16	83.29	509.40
		2	102.9	60.85				
		3	103.05	61.75				
	45	1	102.89	62.8	103.02	62.38	83.35	519.96
		2	103.04	62.21				
		3	103.12	62.14				

3.3.2.6 Cálculo de la Densidad máxima teórica (Gmm)

Porcentaje de calamina (%)	Masa de muestra seca (A) gr	Masa del recipiente más tapa con agua (D) gr	Masa del recipiente, muestra, agua y tapa (E) gr	Gmm	Promedio Gmm
0	2342.1	7413	8690.3	2.200	2.195
0	2331.8	7413	8680.6	2.191	
5	2333.2	7413	8710.6	2.253	2.263
5	2337.7	7413	8722.1	2.273	
15	2339.18	7413	8|756.7	2.350	2.363
15	2340.8	7413	8768.8	2.376	
25	2340.2	7413	8805.39	2.469	2.472
25	2343.2	7413	8809.2	2.474	
35	2333.2	7413	8840.6	2.576	2.577
35	2336.7	7413	8843.1	2.577	

3.3.2.7 Diseño Marshall

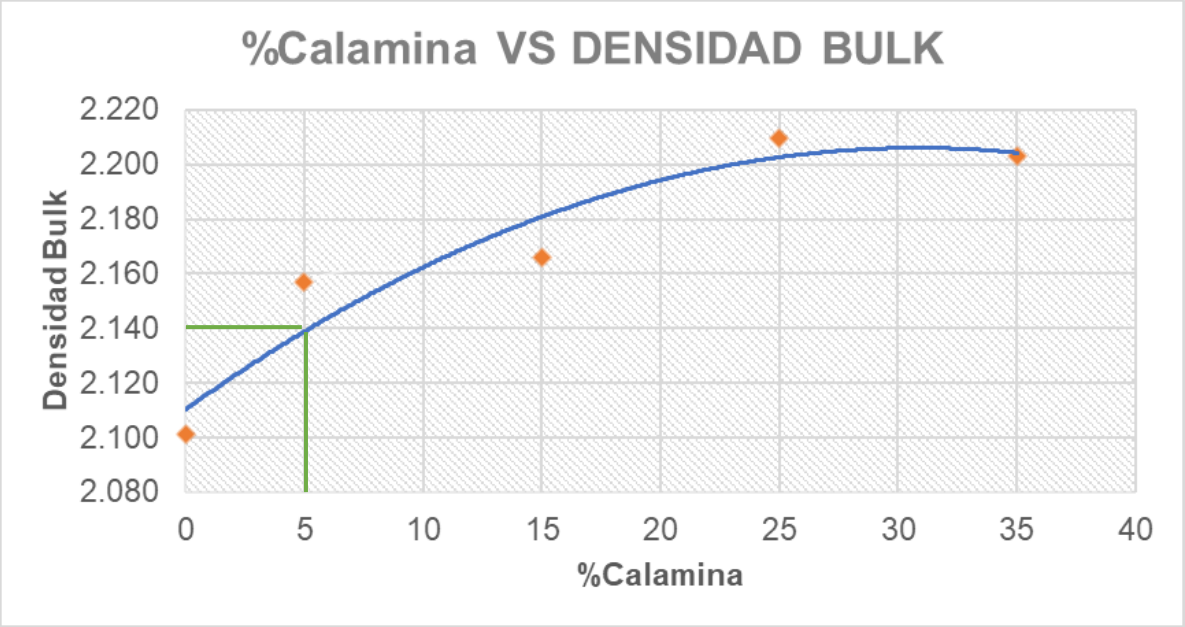
Tabla 3.4: Datos previos para el diseño Marshal

Peso específico de agregados (Gsb)	2.4 g/cm^3
Gravedad especifico Teórico máx. medido (Gmm)	2.577 g/cm^3
Porcentaje de asfalto óptimo	6.00%

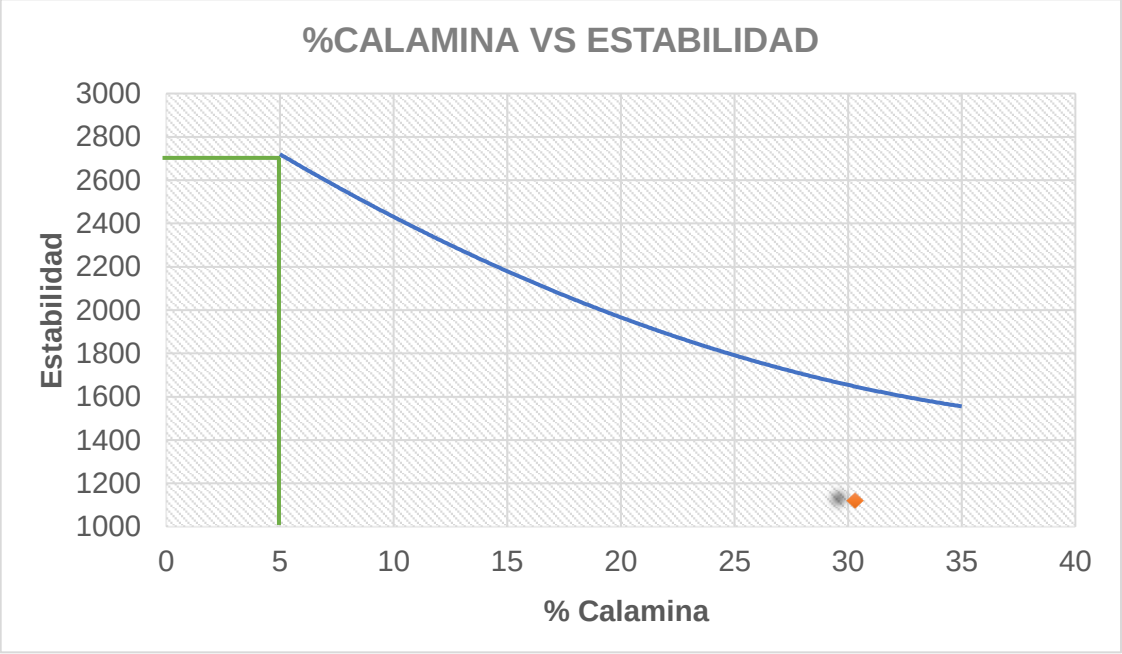
ENSAYO MARSHALL															
Briqueta	% de Calamina	Pesos			Volumen Briqueta (cm³)	D.Bulk g/cm³	Gmm g/cm³	Volumen				Estabilidad (lb)			Flujo 0.01"
		Masa Seca (gr)	Masa S.S.S (gr)	Masa sumergido en agua (gr)				V.a %	V.agr %	VAM %	VAF %	Medida	F.Correc.	Corregida	
16	0	1158.85	1170.77	621.55	577	2.110		3.9	81.4	18.55	79.04	2300	0.83	1909	13.5
17		1161.12	1172.31	616.3	584	2.088		4.9	80.6	19.39	74.85	2580	0.83	2141	12
18		1164.83	1174.22	618.9	577	2.098		4.5	81.0	19.03	76.60	3250	0.83	2698	12.5
19		1168.59	1176.18	622.46	582	2.110		3.9	81.5	18.54	79.13	2430	0.83	2017	14
20		1163.95	1173.11	621.06	575	2.108		4.0	81.4	18.61	78.73	3150	0.83	2615	12.5
21		1168.89	1178.84	620.45	579	2.093		4.6	80.8	19.20	75.79	3200	0.83	2656	12.5
PROMEDIO						**2.101**	**2.195**	**4.3**	**81.1**	**18.89**	**77.36**	**PROMEDIO**		**2339**	**13**
22	5	1152.89	1164.94	637.24	559	2.185		3.5	84.3	15.67	77.97	2800	0.89	2492	12.5
23		1155.51	1172.05	632.45	557	2.141		5.4	82.7	17.34	69.05	3450	0.89	3071	13
24		1152.25	1167.11	628.94	560	2.141		5.4	82.6	17.35	68.98	2600	0.86	2236	12.5
25		1157.56	1171.14	638.36	564	2.173		4.0	83.9	16.13	75.30	3050	0.86	2623	13
26		1153.29	1168.58	629.78	556	2.140		5.4	82.6	17.38	68.88	3400	0.89	3026	12
27		1156.03	1169.84	634.78	551	2.161		4.5	83.4	16.60	72.77	2950	0.89	2626	15
PROMEDIO						**2.157**	**2.263**	**4.7**	**83.3**	**16.74**	**72.16**	**PROMEDIO**		**2679**	**13**
28	15	1150.8	1161.89	626.8	547	2.151		9.0	83.0	16.98	47.06	2550	0.89	2270	12
29		1156.45	1167.41	630.66	537	2.155		8.8	83.2	16.83	47.56	2580	0.93	2399	14
30		1149.41	1159.78	629.32	533	2.167		8.3	83.6	16.36	49.22	2650	0.96	2544	11.5
31		1153.44	1165.25	637.73	538	2.187		7.5	84.4	15.60	52.09	2550	0.93	2372	13
32		1154.39	1167.3	636.8	538	2.176		7.9	84.0	16.00	50.53	2350	0.93	2186	12
33		1155.78	1169.28	634.79	540	2.162		8.5	83.5	16.53	48.61	2200	0.93	2046	12.5
PROMEDIO						**2.166**	**2.363**	**8.3**	**83.6**	**16.38**	**49.18**	**PROMEDIO**		**2303**	**13**
34	25	1145.7	1147.28	637.75	528	2.249		9.0	86.8	13.20	31.63	1780	0.96	1709	13
35		1150.24	1161.81	642.76	523	2.216		10.3	85.5	14.46	28.46	1920	0.96	1843	11.5
36		1148.25	1160.04	639.02	528	2.204		10.8	85.1	14.93	27.41	1870	0.96	1795	12
37		1151.26	1162.3	639.71	528	2.203		10.9	85.0	14.96	27.34	1750	0.96	1680	13
38		1151.87	1163.24	635.29	536	2.182		11.7	84.2	15.78	25.67	1270	0.93	1181	14
39		1154.1	1165.71	641.88	526	2.203		10.9	85.0	14.95	27.36	1880	0.96	1805	13.5
PROMEDIO						**2.209**	**2.472**	**10.6**	**85.3**	**14.72**	**27.98**	**PROMEDIO**		**1669**	**13**
40	35	1145.71	1146.97	636.58	512	2.245		12.9	86.7	13.35	3.45	1270	1.00	1270	12
41		1144.84	1165.97	640.54	516	2.179		15.4	84.1	15.89	2.81	1730	1.00	1730	11
42		1137.81	1159.92	634.84	517	2.167		15.9	83.6	16.35	2.72	1530	1.00	1530	12.5
43		1145.96	1157.34	632.09	523	2.182		15.3	84.2	15.78	2.84	1980	0.96	1901	12.5
44		1146.2	1157.2	639.1	509	2.212		14.1	85.4	14.60	3.11	1650	1.00	1650	11.5
45		1142.9	1154.57	643.03	520	2.234		13.3	86.2	13.76	3.33	1500	1.00	1500	12
PROMEDIO						**2.203**	**2.577**	**14.5**	**85.0**	**14.96**	**3.04**	**PROMEDIO**		**1597**	**12**

3.3.2.8 Gráficos

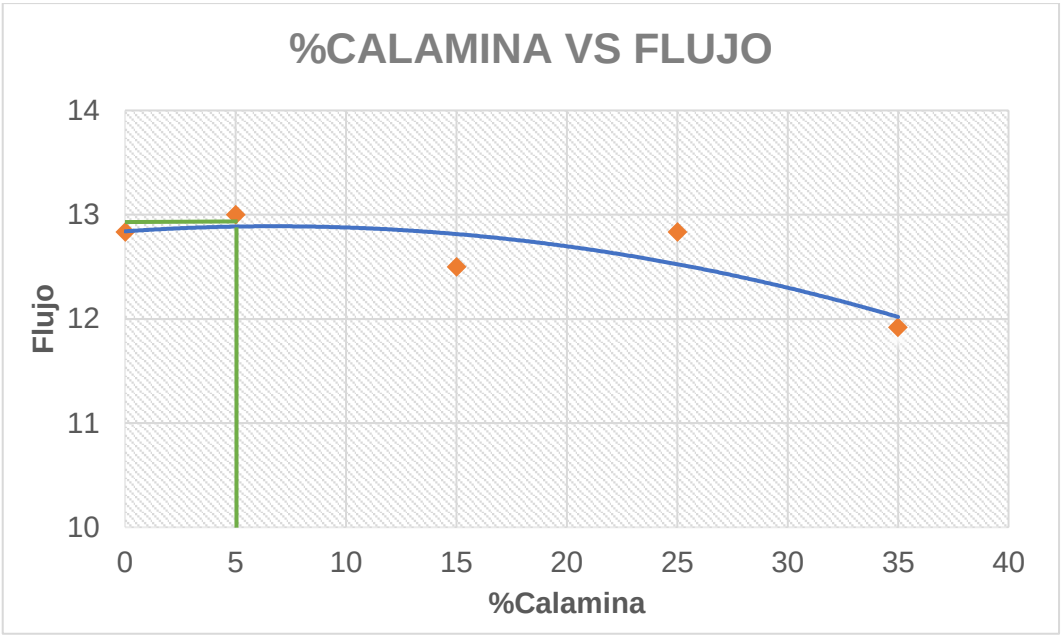
- %Calamina vs Densidad Bulk



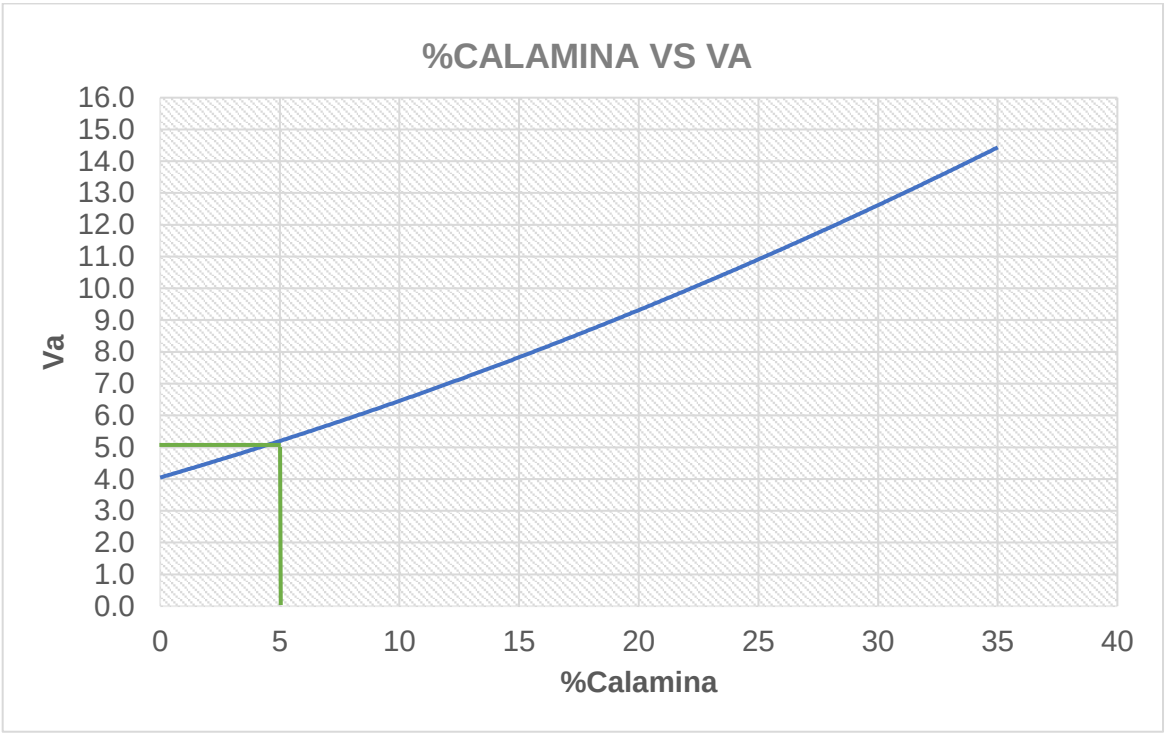
- %Calamina vs Estabilidad



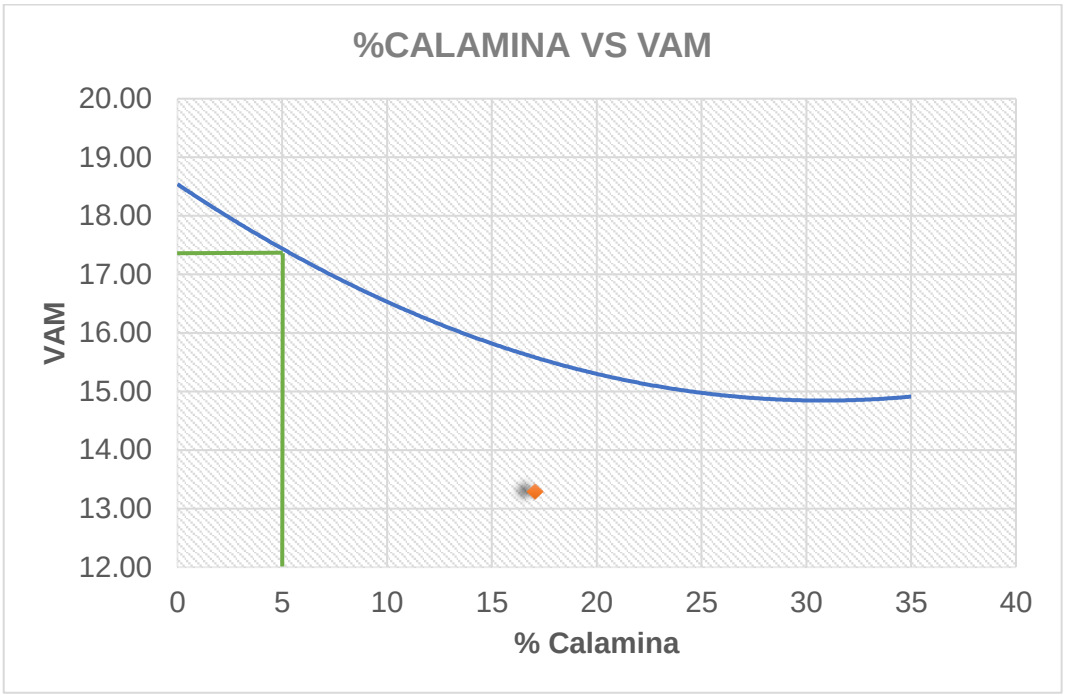
- %Calamina vs Flujo



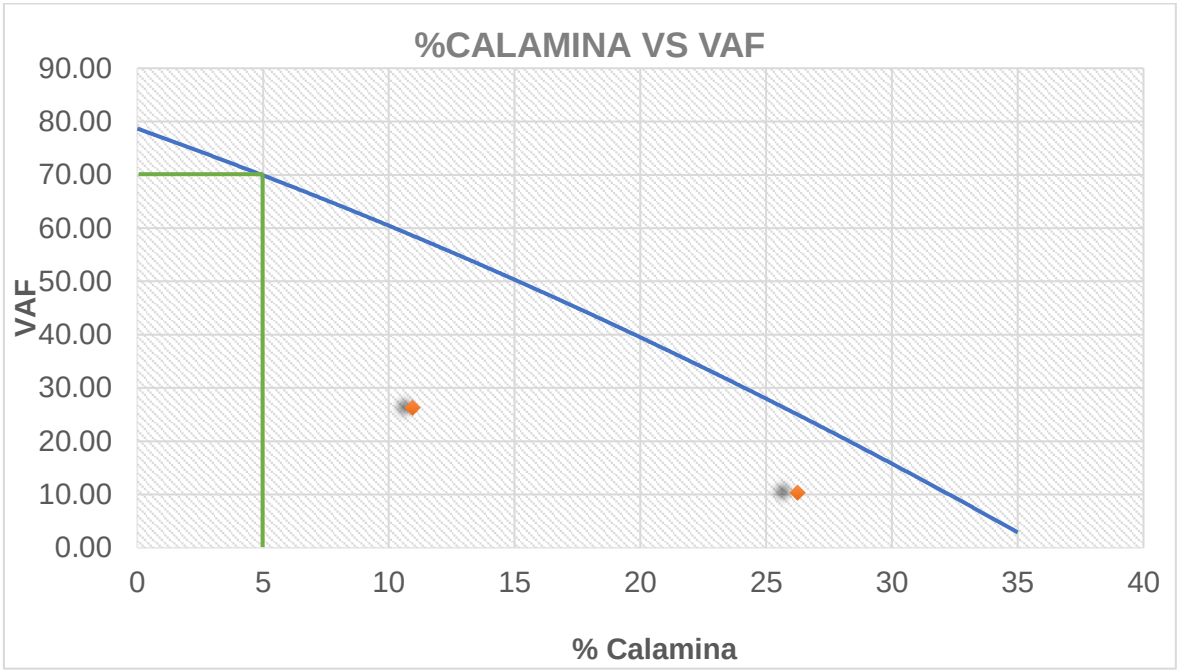
- %Calamina vs Vacíos



- %Calamina vs Vacíos de agregado mineral



- %Calamina vs Vacíos de asfalto



CAPITULO IV

4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Mezcla asfáltica original

Los resultados obtenidos mediante el método Marshall son sujetas a comparación y análisis con un porcentaje óptimo de asfalto del 6% respecto a la norma MOP 001 correspondiente a tráfico muy pesado según la tabla 405.5.4.

Tabla 4.1: Análisis de mezcla asfáltica original

Especificaciones	Unidad	Mezcla original 6.0% de bitumen	MOP 001-T 405.5.4 Tráfico muy pesado		Verificar	
			Mínimo	Máximo	Cumple	No cumple
Densidad Bulk	g/cm3	2.11	NA	NA	X	
Estabilidad	lb	2400	2200	-	X	
Flujo	0.01"	13	8	14	X	
VA	%	4	3	5	X	
VAM	%	14	14	-	X	
VAF	%	66	65	75	X	

4.2 Mezcla asfáltica modificada con calamina

Con el porcentaje óptimo de asfalto del 6.0%, se obtiene un porcentaje óptimo de calamina del 5%, mismo que cumple con cada una de las especificaciones normadas en la MOP 001-T correspondiente a tráfico muy pesado según la tabla 405.5.4.

Tabla 4.2: Análisis de mezcla asfáltica modificada

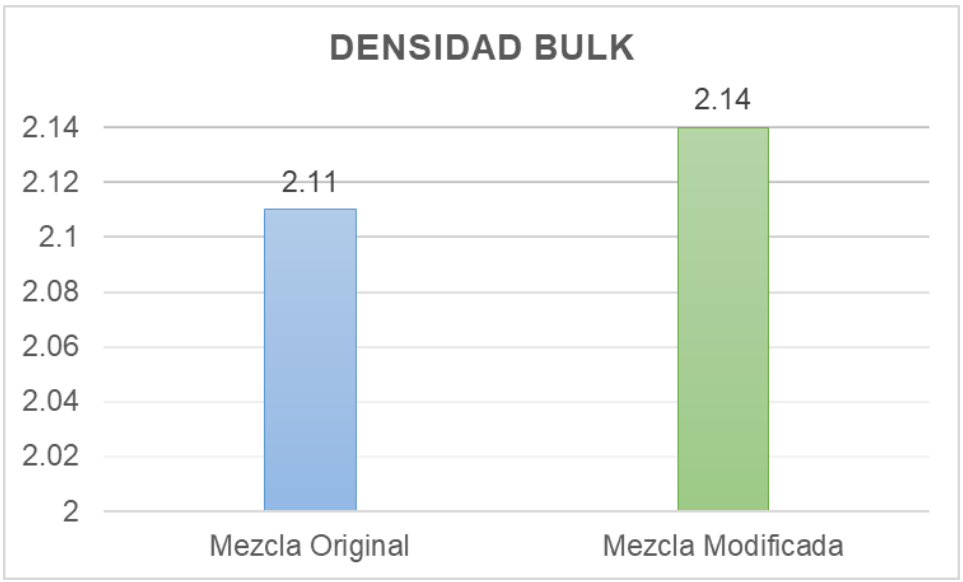
Especificaciones	Unidad	Mezcla con 5% de calamina	MOP 001-T 405.5.4		Verificar	
			Tráfico muy pesado			
			Mínimo	Máximo	Cumple	No cumple
Densidad Bulk	g/cm3	2.14	NA	NA	X	
Estabilidad	lb	2720	2200	-	X	
Flujo	0.01"	13	8	14	X	
VA	%	5	3	5	X	
VAM	%	17.1	14	-	X	
VAF	%	73.7	65	75	X	

En la tabla 4.3 se presentan los resultados de la mezcla original del 6.0% de asfalto y mezcla modificada con 5% de calamina.

Tabla 4.3: Comparación parámetros mezcla original 6.0% vs. mezcla modificada con 5.0% de calamina

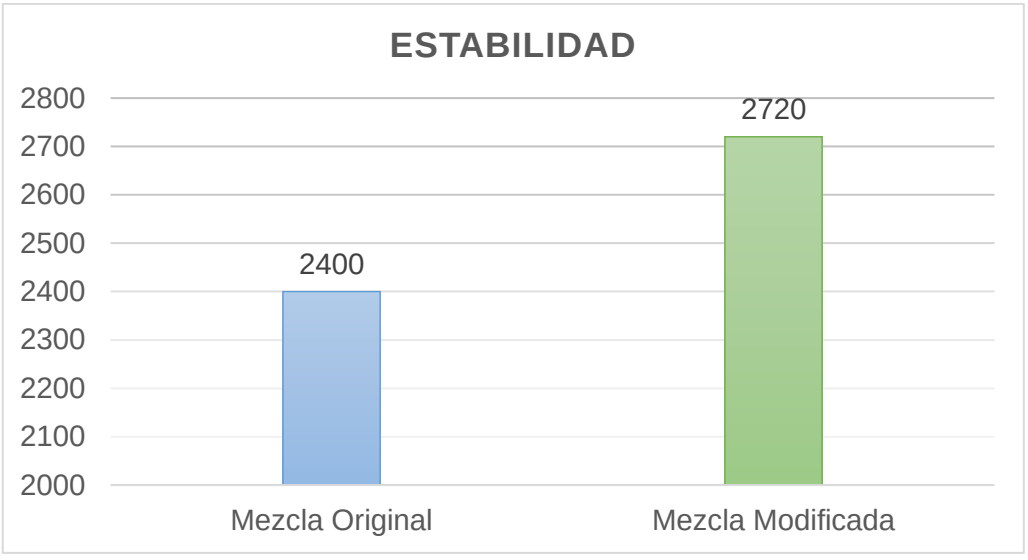
Especificaciones	Unidad	Mezcla original 6.0% de bitumen	Mezcla con 5% de calamina
Densidad Bulk	g/cm3	2.11	2.14
Estabilidad	lb	2400	2720
Flujo	0.01"	13	13
VA	%	4	5
VAM	%	14	17.1
VAF	%	66	73.7

- Densidad Bulk



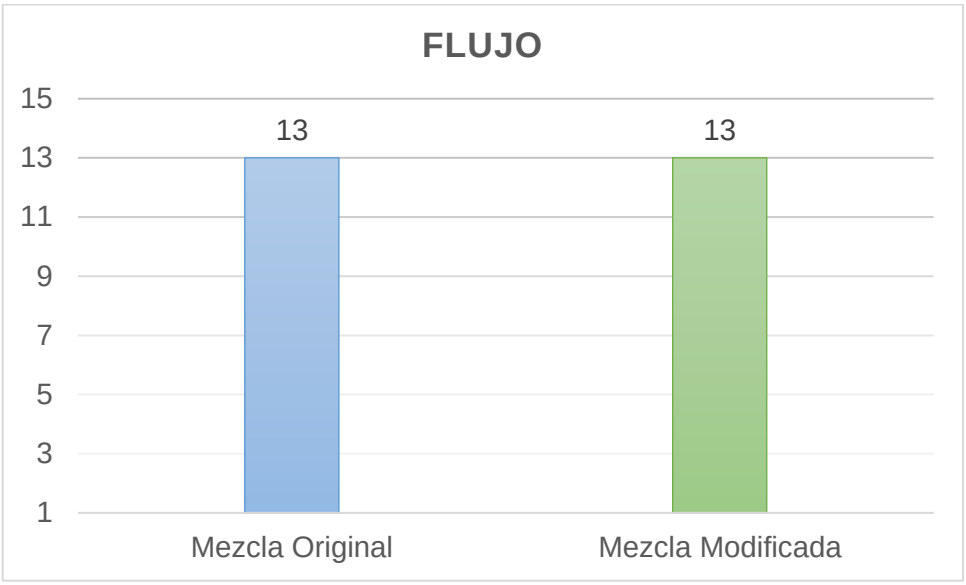
En la gráfica se puede observar un incremento de la mezcla modificada en un 2% con relación a la mezcla original.

- Estabilidad



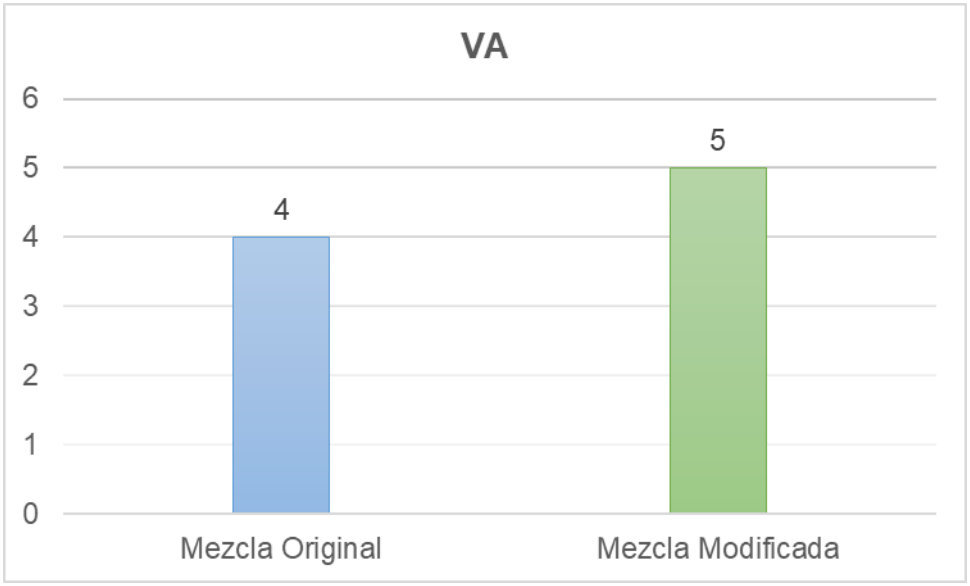
En la gráfica se puede observar un incremento de la mezcla modificada en 13.33% con relación a la mezcla original.

- Flujo



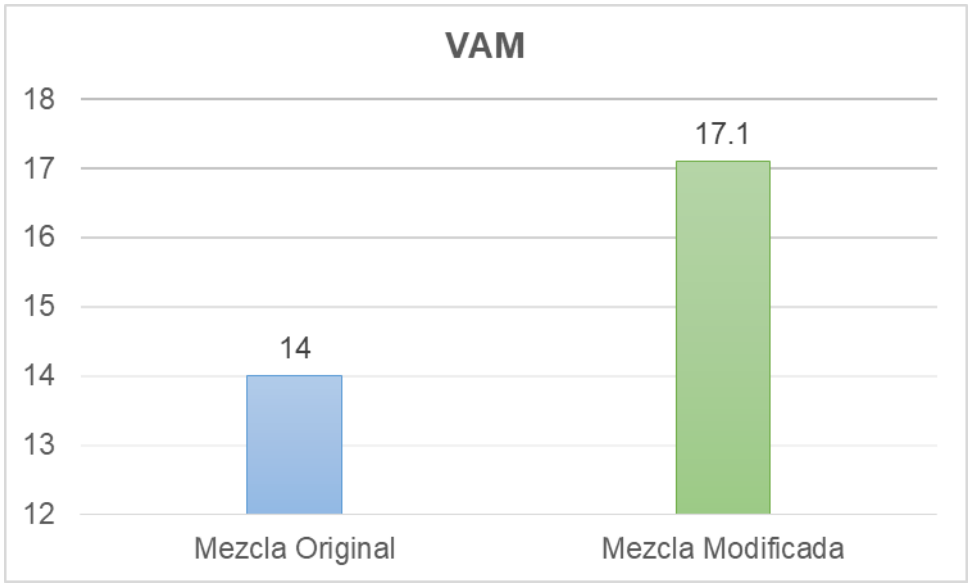
En la gráfica se puede observar que se mantiene el flujo mezcla modificada con relación a la mezcla original, no existe ningún tipo de cambios.

- Vacíos



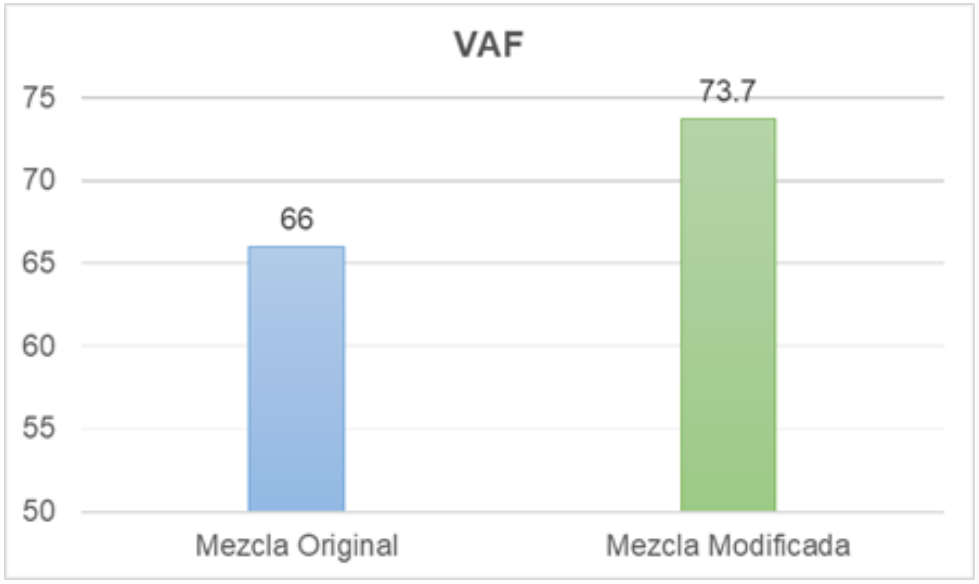
En la gráfica se puede observar un incremento de la mezcla modificada en un 25% con relación a la mezcla original.

- Vacíos de agregado mineral (VAM)



En la gráfica se puede observar un aumento de la mezcla modificada en un 22% con relación a la mezcla original.

- Vacíos de asfalto



En la gráfica se puede observar un incremento de la mezcla modificada en un 11% con relación a la mezcla original.

CAPITULO V

5.1 Conclusiones

Del análisis de resultados de los ensayos de laboratorio, cálculos y gráficos realizados en la presente investigación, se establecen las siguientes conclusiones:

- Los agregados pétreos provenientes de la cantera Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMMOP) cumplen con las especificaciones indicadas en la norma MOP-001-F 2002.

- Los resultados de la granulometría realizada a los agregados pétreos (grueso, medio y fino) presentan una curva continua, por la correlación que existe con los vacíos de la mezcla asfáltica se concluye que tanto la mezcla original como la modifica resultan ser una mezcla cerrada.

- El material aglutinante usado en el presente estudio corresponde al asfalto AC-20, el cual es ensayado en estado original cumpliendo con las especificaciones normadas en la norma MOP-001-F tabla 810.2.1 y estado envejecida (RFTO) presentando en el ensayo de ductilidad un incumplimiento de las especificaciones establecidas en las normas, esto se debe a la calidad de asfalto producido en el país.

- En los ensayos realizados de Calamina se observa una curva granulométrica gradual la cual indica una granulometría continua. Por otro lado, el ensayo de absorción define la forma que se comportará el material al momento de estar en contacto con el asfalto, el resultado obtenido es del 11.04% un porcentaje alto en comparación a los agregados, por esta razón se presente dificultad al realizar la mezcla asfáltica. Por consiguiente, se deduce que al incrementar la cantidad de calamina aumenta la cantidad de asfalto absorbido.

- En el ensayo Marshall para mezclas asfálticas en caliente determina el porcentaje óptimo de asfalto en la mezcla original de 6%, de este porcentaje se parte para la mezcla modificada con calamina. Cumpliendo con la norma MOP 001-T 405.5.4, correspondiente a tráfico muy pesado.

- En la comparación realizada con diferentes porcentajes de calamina se definió un porcentaje óptimo del 5%, el mismo presentó una mejora en las características mecánicas de la mezcla y al igual que la mezcla original cumple con las especificaciones para tráfico muy pesado.

- Según el análisis de la gráfica %Calamina vs Densidad Bulk, presenta un incremento de la densidad a medida que aumenta la cantidad de calamina, obteniendo una relación proporcional entre las dos variables.

- En la gráfica %Calamina vs Estabilidad, se concluye un decremento de la estabilidad a medida que aumenta la cantidad de calamina, presentando una correlación no proporcional.

- La ilustración %Calamina vs Flujo no presenta una variación considerable, mantiene un rango de 13 milésima de pulgada. Las mezclas a partir del 15% presentan una tendencia de mezcla plástica donde se observa que la estabilidad baja y una fluencia relativamente alta.

- En la gráfica %Calamina vs Vacíos se observa que el único porcentaje que cumple es el 5% de Calamina, estableciendo una relación de incremento proporcional es decir se aumenta la cantidad de calamina y los vacíos aumenta. Los porcentajes por encima del 5% no cumplen con la norma especificada ya que se generaría una mezcla asfáltica abierta.

- La mezcla modificada presenta un porcentaje de vacíos correspondiente al 5% el cual define como una mezcla cerrada con respecto a los vacíos.

- Como se puede observar en la ilustración %Calamina vs Vacíos de agregado mineral (VAM), se define un decremento en el VAM a medida que se aumenta la cantidad de calamina.

- En la gráfica representada %Calamina vs Vacíos de asfalto, se establece una relación no proporcional a medida que aumentamos la cantidad de calamina el VAF disminuye.

- En el análisis de la estabilidad realizado en la mezcla modificada da como resultado 2720 lb, lo cual representa un aumento de 13.3% en comparación a la mezcla original obteniendo como resultado 2400lb. En conclusión, mejora su resistencia al desplazamiento bajo cargas generadas por el tránsito, con este incremento se evita la aparición de ahuellamientos, ondulaciones que se puede presentar a lo largo de la utilidad del asfalto.

- El resultado de flujo no presenta ningún cambio mantiene su deformación con 13 centésimas de pulgada, esta deformación demuestra que la disminución en el diámetro de la briqueta está dentro los parámetros de diseño establecidos en la norma.

- En comparación con los resultados de vacíos de agregado mineral se obtiene como resultado en la mezcla original un porcentaje correspondiente al 14%, por otro lado, en la mezcla modificada un porcentaje de 17.1%, de modo que determina un aumento en un 22%. Se deduce que la calamina presenta un porcentaje alto de absorción aumentando el volumen de vacíos entre las partículas de agregado, debido al contenido de asfalto absorbido y huecos de aire.

- La diferencia de los vacíos de asfalto entre la mezcla original con un resultado de 66% y la mezcla modificada con un resultado 73.7%, de manera que presenta un incremento del 11% en la mezcla modificada con calamina, esto se debe a que existe un fenómeno de permeabilidad, en este caso no tan considerable porque está dentro de los parámetros establecidos en la norma, por esta razón se puede presentar a futuro una disminución de la vida útil del asfalto debido a un desprendimiento del agregado.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar un análisis químico al agua que estará en contacto con el asfalto para ver la cantidad de hierro que posee, Siendo el hierro el elemento que compone la calamina, sin embargo, existen varias formas para tratarlo en combinación con el agua, y así no tener complicaciones con el pavimento con exposición con la lluvia.

- El diseño modificado cumple con las especificaciones para tráfico muy pesado presenta la resistencia adecuada y el flujo correcto, por esta razón se recomienda que sea utilizado como capa de rodadura con un ajuste para disminuir los vacíos y así evitar las patologías futuras en el pavimento.

- Se sugiere añadir a la mezcla asfáltica pequeñas cantidades de calamina debido a su alto porcentaje de absorción de asfalto ocasionando una dificultad de conseguir una homogeneidad en la mezcla asfáltica cuando se tiene porcentajes altos.

- Para obtener un análisis detallado se recomienda utilizar en la investigación un asfalto que cumpla con todas las especificaciones de la norma, poniendo énfasis en los ensayos de asfalto envejecido donde se presenta un incumplimiento de la norma.

- Debido a que la mezcla modificada con 5% de calamina presentó una mejora en las características mecánicas de la mezcla, se recomienda la incorporación de nuevos porcentajes de calamina cercanos al 5% con variación del 1% para el diseño de nuevas mezclas modificadas y determinar si sus características mecánicas se acercan o mejoran en relación a la mezcla original.

- La implementación de calamina en una mezcla asfáltica es nueva en el país por lo que se recomienda ahondar su estudio y aplicarlo en el diseño de mezclas asfálticas para las vías de alto tráfico vehicular en el Ecuador, para de esta manera adquirir datos de su comportamiento.

Bibliografía

Asphalt Institute. (2014). *MS-2 Asphakt Mix Desing Methods.* USA: ASPHALT INSTITUTE.

ASTM C127. (2015). Standard Test Method forRelative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. *ASTM International* , 1.

ASTM C131. (2014). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. *ASTM International*, 2.

ASTM D113. (2017). Standard Test Method for Ductility of Asphalt Materials. *ASTM International*, 1-2.

ASTM D2171. (2010). Standard Test Method for Viscosity of Asphalts by Vacuum Capillary Viscometer. *ASTM International*, 1-2.

ASTM D2872. (2012). Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test). *ASTM International*, 1.

ASTM D36. (2014). Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus). *ASTM International*, 1-2.

ASTM D5. (2013). Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials. *ASTM International*, 1.

ASTM D6927. (2006). Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures. *ASTM International*, 1-2.

ASTM D92. (2013). Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. *ASTM International,*, 1-2.

Ayala del Toro, Y., Delgado, H., Cuellar, V., & Salazar, A. (2019). *MANUAL DE ENSAYOS PARA LABORATORIO AGREGADOS (AG) PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.* Querétaro: Sanfandila .

D6927-06, A. (2006). *Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures.* West Conshohocken: ASTM International.

INEN 696, N. (2011). ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS EN LOS ÁRIDOS FINO Y GRUESO. *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN*, 2.

INEN 857. (2010). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO. . *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN*, 3-4.

INEN 863. (2011). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA SOLIDEZ DE LOS ÁRIDOS . *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN* , 3.

López, J. (1994). *Áridos. Manual de prospección, explotación y aplicaciones .* Madrid: Entorno Gráfico.

MOP. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCION PARA LA CONSTRUCION.*

ORDOÑEZ, K., & VILLANUEVA, L. (2012). *ELABORACIÓN DE BLOQUES DE MORTERO TIPO ESTRUCTURAL.* Cartagena de Indias: UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA.

Rondón, H., & Reyes, F. (2015). *Pavimentos Materiales, construcción y diseño.* Bogotá: Ecoe ediciones.

The Asphalt Institute. (1982). *Manual del Asfalto.* Maryland: Collegue Park.

Anexos

Anexo 1: MOP-001-F tabla 405.5.4(pág. 309)

TABLA 405.5.4

TIPO DE TRAFICO	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
CRITERIOS MARSHALL	**Min.**	**Max.**	**Min.**	**Max.**	**Min.**	**Max.**	**Min.**	**Max.**
No. De Golpes/Cara	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	2200	----	1800	----	1200	----	1000	2400
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacíos en mezcla								
- Capa de Rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5
- Capa Intermedia	3	8	3	8	3	8	3	8
- Capa de Base	3	9	3	9	3	9	3	9
% Vacíos agregados	VER TABLA 405-5.5							
Relación filler/betún	0.8	1.2	0.8	1.2				
% Estabilidad retenida luego 7 días en agua temperatura ambiente								
- Capa de Rodadura	70	----	70	----				
- Intermedia o base	60	----	60	----				

Anexo 2: MOP-001-F tabla 405.5.1 "3/4" (pág. 299)

Tabla 405-5.1.

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

Anexo 3: MOP-001-F tabla 810.2.1 (pág. 670)

TABLA 810.2.1.

ENSAYOS	60-70		85-100	
Betún original	mínimo	máximo	mínimo	máximo
Penetración (25 °C, 100 gr, 5 s), mm/10.	60	70	85	100
Punto de ablandamiento A y B, °C.	48	57	45	53
Indice de penetración (*).	–1,5	+1,5	-1,5	+1,5
Ductilidad (25 °C, 5 cm/minuto), cm.	100	---	100	---
Contenido de agua (en volumen), % .	---	0,2	---	0,2
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	99	---	99	---
Punto de inflamación, Copa Cleveland, °C.	232	---	232	---
Densidad relativa, 25 °C/ 25 °C	1,00	---	1,00	---
Ensayo de la mancha (**)	NEGATIVO		NEGATIVO	
Contenido de parafinas, %.	---	2.2	---	2.2
Ensayos al residuo del TFOT:				
Variación de masa, %.	---	0,8	---	1,0
Penetración, % de penetración original.	54	---	50	---
Ductilidad , cm	50	---	75	---
Resistencia al endurecimiento (***).	---	5,0	---	5,0

Anexo 4: NTE INEN 2515 Enmienda 1 tabla 7 (pág. 2)

TABLA 7 Requisitos para Asfalto Cemento gradual Viscosidad a 60 °C [140 °F] a base de asfalto original

Ensayo	Unidad	Grado de Viscosidad										Norma de ensayo
		AC-6		AC-10		AC-20		AC-30		AC-42		
		Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa s	60 ± 20		100 ± 20		200 ± 40		300 ± 60		420 ± 60		ASTMD 2171
Viscosidad cinemática, 135 °C	mm^2s^{-1}	175	--	250	--	300	--	350	--	400	--	ASTMD 2170
Punto de Inflamación	°C	177	--	219	--	232	--	232	--	232	--	NTE INEN 808
w, Solubilidad en tricloroetileno,[C]	%	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	NTE INEN 915
Gravedad específica 25 ºC/25 ºC		Informe		Informe		Informe		Informe		Informe		ASTMD70
Índice de Penetración[B]		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		ASTM D5/D5M
Residuo de ensayos de película fina en horno rotatorio:												
Viscosidad, 60 °C	Pa s	--	300	--	500	--	800	--	1 200	--	2 000	ASTMD 2171
Cambio de masa,	% w/w	--	1,5	--	1,0	--	1,0	--	1,0	--	1,0	ASTMD 2872
Ductilidad[A], 25 °C [77 °F], 5 cm/min	cm	100	--	75	--	50	--	40	--	25	--	NTE INEN 916

[A] Si la ductilidad es menor a 100, el material debe ser aceptado, solo si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 a una velocidad de tiro de 5 cm/min.

[B] Índice de penetración $= \frac{1952 - 500 \log pen - 20\,SP}{50 \log pen - SP - 120}$

donde:

pen = penetración a 25 °C, 100 g, 5 s
SP = punto de ablandamiento (°C) ASTM D36

[C] Solubilidad en bromuro de propilo N puede ser un método alternativo a la solubilidad en TCE.

- Caracterización de los agregados pétreos

Anexo 5: Granulometría agregado fino

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

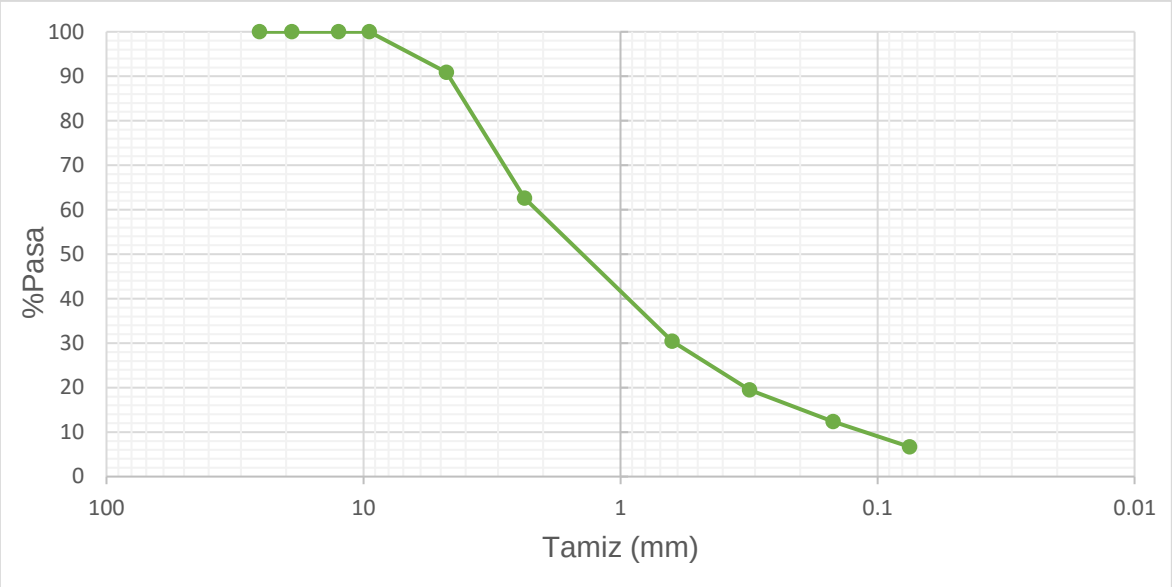
Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM C-136
AASHTO T-27
INEN 696

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO

Tamiz N°	Abertura del Tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	% Pasante
#4	4.75	95.55	9.13	9.13	90.87
#8	2.36	295.55	28.25	37.38	62.62
#30	0.60	336.75	32.19	69.57	30.43
#50	0.30	114.15	10.91	80.48	19.52
#100	0.150	75.05	7.17	87.66	12.34
#200	0.075	59.15	5.65	93.31	6.69
Pasante 200		70	6.69	100.00	0.00
	Σ	1046.2	100.00		


100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
%Pasa
100
10
1
0.1
0.01
Tamiz (mm)

Anexo 6: Granulometría agregado intermedio

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

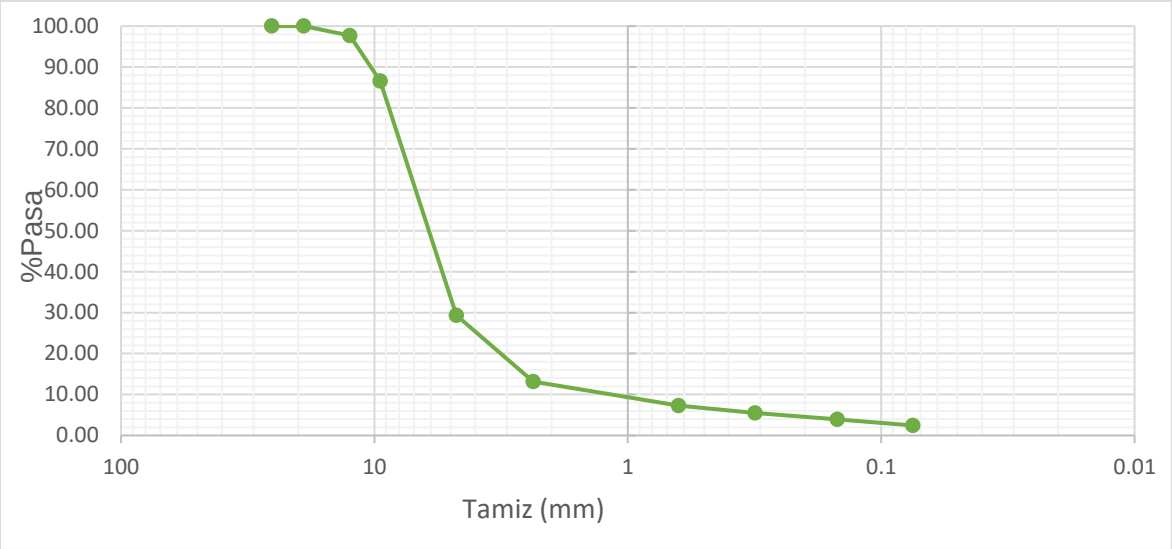
Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM C-136
AASHTO T-27
INEN 696

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

GRANULOMETRÍA AGREGADO INTERMEDIO

Tamiz N°	Abertura del Tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	% Pasante
1	25.4	0	0.00	0	100.00
3/4	19	0	0.00	0.00	100.00
1/2	12.50	241	2.35	2.35	97.65
3/8	9.50	1136	11.05	13.40	86.60
#4	4.75	5883	57.23	70.63	29.37
#8	2.36	1666	16.20	86.83	13.17
#30	0.630	604	5.88	92.71	7.29
#50	0.315	188	1.83	94.54	5.46
#100	0.149	161	1.56	96.10	3.90
#200	0.075	150	1.45	97.55	2.45
Pasante 200		251	2.45	100.00	0.00
	Σ	10280	100.00		


100.00
90.00
80.00
70.00
60.00
50.00
40.00
30.00
20.00
10.00
0.00
%Pasa
100
10
1
0.1
0.01
Tamiz (mm)

Anexo 7: Granulometría agregado grueso

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

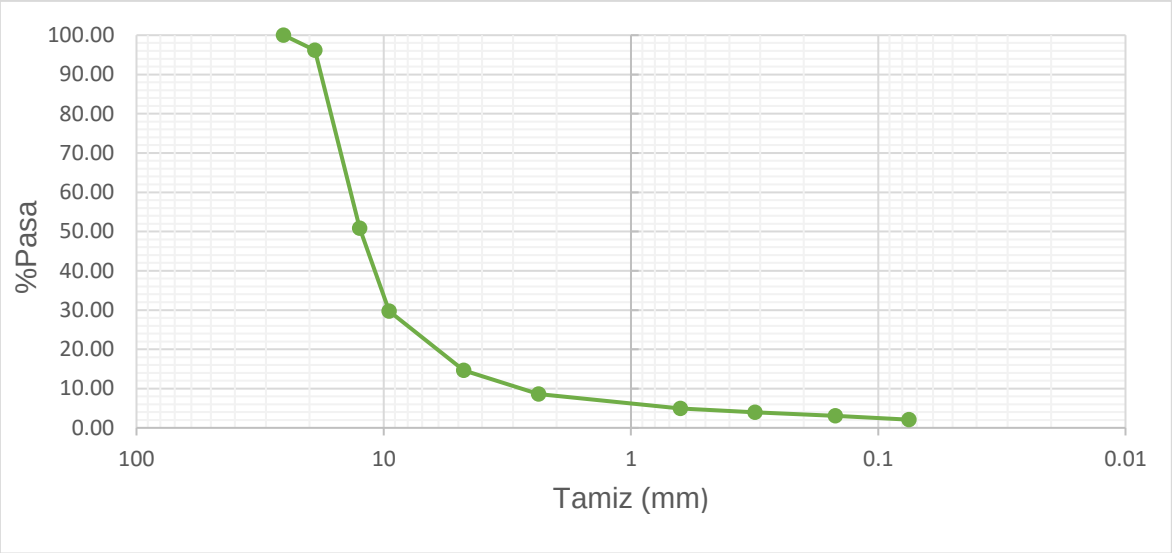
Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM C-136
AASHTO T-27
INEN 696

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO

Tamiz N°	Abertura del Tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	% Pasante
1	25.4	0	0.00	0	100.00
3/4	19	389	3.85	3.85	96.15
1/2	12.5	4584	45.34	49.19	50.81
3/8	9.5	2129	21.06	70.25	29.75
#4	4.75	1531	15.14	85.40	14.60
#8	2.36	609	6.03	91.42	8.58
#30	0.630	369	3.65	95.08	4.92
#50	0.315	99	0.98	96.06	3.94
#100	0.149	89	0.88	96.94	3.06
#200	0.075	99	0.98	97.91	2.09
Pasante 200		211	2.09	100.00	0.00
	Σ	10110	100.00		


100.00
90.00
80.00
70.00
60.00
50.00
40.00
30.00
20.00
10.00
0.00
%Pasa
100
10
1
0.1
0.01
Tamiz (mm)

Anexo 8: Gravedad específica y absorción del agregado fino

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM C-127
AASHTO T-84
INEN 856

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

Masa del matraz (g)	Mm	158
Masa del conjuto matraz, agua y muestra (g)	Mmw	961.7
Masa de la muestra saturada con superficie seca (g)	B	507.6
Masa de la muestra seca (g)	A	494.58

$$Ma = Mmw - (Mm + B)$$

Masa de agua añadida al matraz (gr)	Ma	296.1

$$Ge = \frac{A}{500-A} \qquad Gea = \frac{A}{500+A+Mm-Mmw}$$

$$Ges = \frac{B}{500-Ma} \qquad Ab = \frac{B-A}{A} * 100$$

Gravedad específica Bulk	Ge	2.43
Gravedad específica saturada con superficie seca	Ges	2.49
Gravedad específica aparente	Gea	2.59
Porcentaje de absorción (%)	Ab	2.63

Anexo 9: Gravedad específica y absorción del agregado intermedio

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM C-127
AASHTO T-84
INEN 856

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO INTERMEDIO

Masa del matraz (g)	Mm	148.3
Masa del conjuto matraz, agua y muestra (g)	Mmw	946.5
Masa de la muestra saturada con superficie seca (g)	B	505.3
Masa de la muestra seca (g)	A	493.8

$$Ma = Mmw - (Mm + B)$$

Masa de agua añadida al matraz (gr)	Ma	292.9

$$Ge = \frac{A}{500-A} \qquad Gea = \frac{A}{500+A+Mm-Mmw}$$

$$Ges = \frac{B}{500-Ma} \qquad Ab = \frac{B-A}{A} * 100$$

Gravedad específica Bulk	Ge	2.38
Gravedad específica saturada con superficie seca	Ges	2.44
Gravedad específica aparente	Gea	2.52
Porcentaje de absorción (%)	Ab	2.33

Anexo 10: Gravedad específica del agregado grueso

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM C-127
AASHTO T-84
INEN 856

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO		
Masa de la muestra saturada con superficie seca (Kg)	B	5.209
Masa de la muestra seca (Kg)	A	5.075
Masa de la muestra sumergida en agua (Kg)	C	3.035

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

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

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

Gravedad específica Bulk	**Ge**	2.33
Gravedad específica saturada con superfecie seca	**Ges**	2.4
Gravedad específica aparente	**Gea**	2.49

Anexo 11: Durabilidad del agregado fino a la acción de los sulfatos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM C-88
AASHTO T-104
INEN 863

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

DURABILIDAD DEL AGREGADO FINO A LA ACCION DE LOS SULFATOS

Numero del Tamiz		% Retenido parcial del agregado	Masas de las fracciones antes del ensayo	Masa de las fracciones después del ensayo	% que pasa- el tamiz mas fino despues del ensayo	% de desgaste parcial
Pasa	Retiene					
pulg.	pulg.					
#4	#4	9.13	107.4	87.5	18.53	1.69
#8	#8	28.25	101.4	81.5	19.63	5.54
#30	#30	32.19	109.6	94.1	14.14	4.55
#50	#50	10.91	106.3	90.6	14.77	1.61
					% Total de desgaste	**13.4**

Anexo 12: Durabilidad del agregado intermedio 3/8 a la acción de los sulfatos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM C-88
AASHTO T-104
INEN 863

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

DURABILIDAD DEL AGREGADO INTERMEDIO A LA ACCION DE LOS SULFATOS

Numero del Tamiz		% Retenido parcial del agregado	Masas de las fracciones antes del ensayo	Masa de las fracciones después del ensayo	% que pasa- el tamiz mas fino despues del ensayo	% de desgaste parcial
Pasa	Retiene					
pulg.	pulg.					
3/8	5/16	11.05	337.8	320.1	5.24	0.58
No. 4	No.5	57.23	309.9	296.6	4.29	2.46
					% Total de desgaste	**3.04**

Anexo 13: Durabilidad del agregado grueso 3/4 a la acción de los sulfatos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM C-88
AASHTO T-104
INEN 863

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO A LA ACCION DE LOS SULFATOS

Numero del Tamiz		% Retenido parcial del agregado	Masas de las fracciones antes del ensayo	Masa de las fracciones después del ensayo	% que pasa- el tamiz mas fino despues del ensayo	% de desgaste parcial
Pasa	Retiene					
pulg.	pulg.					
3/4	5/8	3.85	512.9	499.2	2.67	0.10
1/2	5/16	45.34	677.1	662.1	2.22	1.00
3/8	5/16	21.06	337	306.4	9.08	1.91
No. 4	No.5	15.14	309.1	280.3	9.32	1.41
					% Total de desgaste	**4.43**

Anexo 14: Equivalente de Arena

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM D2419-09
AASHTO T-176

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

EQUIVALENTE DE ARENA

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{\text{Lectura 2}}{\text{Lectura 1}} \times 100$$

Probeta	Nivel de arena(cm) lectura 1	Nivel de arcilla(cm) Lectura 2	Equivalente de arena	Promedio
1	4.9	4.4	89.80	**89.00**
2	4.6	4	86.96	

Anexo 15: Resistencia a la Abrasión del agregado grueso

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM C-131
AASHTO T-96
INEN 860,861

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

RESISTENCIA A LA ABRACSIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Metodo B - 11 esferas	
Tamiz Nº	**Masa (gr)**
1/2	2515
3/8	2510.5
Σ	5025.8

$$C = A - B$$

$$\text{Desgaste (\%)} = \frac{C \times 100}{A}$$

Masa inicial de la muestra (Kg)	A	5.0258
Masa final de la muestra retenida en el tamiz Nº 12 (Kg)	B	3.764
Material que pasa el tamiz Nº 12 (Kg)	C	1.2618
Porcentaje de desgaste		**25.11%**

- Caracterización de la calamina

Anexo 16: Granulometría

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

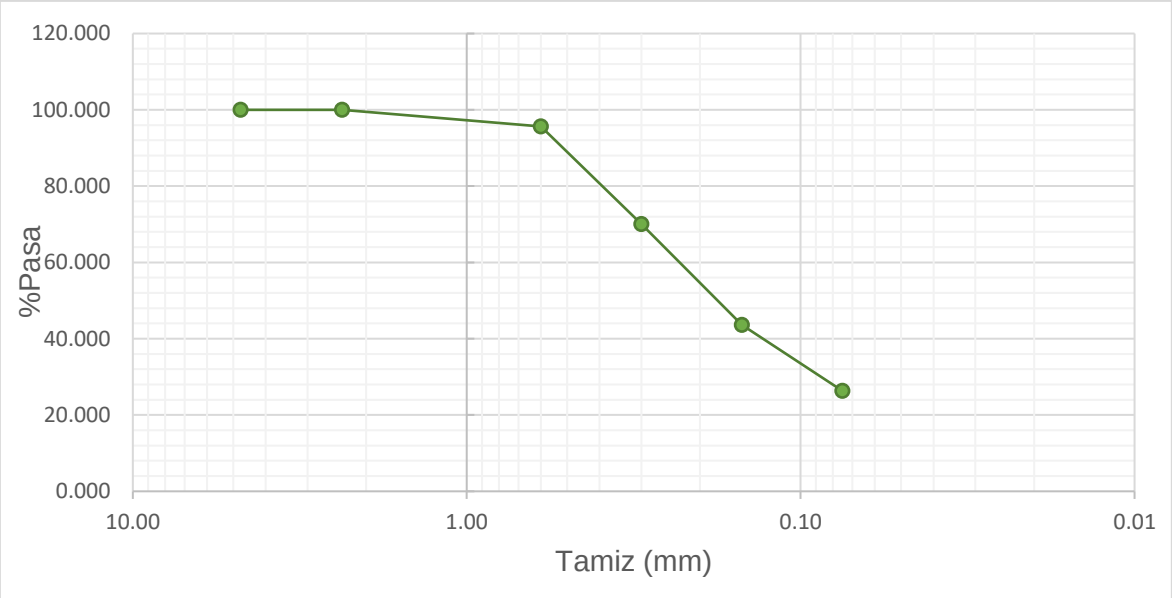
Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM C-136
AASHTO T-27
INEN 696

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

GRANULOMETRÍA CALAMINA

Tamiz N°	Abertura del Tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	% Pasante
#4	4.75	0	0.00	0.00	100.00
#8	2.36	0	0.00	0.00	100.00
#30	0.60	53.8	4.38	4.38	95.62
#50	0.30	314.2	25.59	29.98	70.02
#100	0.150	323.8	26.38	56.35	43.65
#200	0.075	212.4	17.30	73.66	26.34
Pasante 200		323.4	26.34	100.00	0.00
	Σ	1227.6	100.00		


120.000
100.000
80.000
60.000
40.000
20.000
0.000
%Pasa
10.00
1.00
0.10
0.01
Tamiz (mm)

Anexo 17: Absorción de la calamina

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM C-127
AASHTO T-84
INEN 856

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

ABSORCIÓN DE LA CALAMINA		
Masa de la muestra saturada con superficie seca (g)	B	509
Masa de la muestra seca (g)	A	458.40

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

Porcentaje de absorción (%)	**Ab**	**11.04%**

- Caracterización del asfalto AC-20

Anexo 18: Penetración de materiales bituminosos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM D-5
AASHTO T-49

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

PENETRACIÓN DE MATERIALES BITUMINOSOS

Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	AC-20
Temperatura de ensayo (ºC)	25,0
Carga (g)	100,01
Tiempo de carga (s)	5

Valores de penetración:

Punto	Penetración (0.1 mm)
1	73
2	74
3	75
Promedio	**74**

Resultado	Cumple

Anexo 19: Punto de ablandamiento de bitumen (Aparato de anillo y bola)

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM D-36
AASHTO T-53
INEN 920

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE BITUMEN

Información general del ensayo:

Indentificación de la muestra	AC-20
Liquido usado en el baño	agua destilada

Registros de la muestra:

	Anillo 1	Anillo 2	**Promedio**
Punto de ablandamiento (°C)	48.8	48.7	**48.75**

Anexo 20: Índice de penetración

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM D-3381

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

ÍNDICE DE PENETRACIÓN

Información del ensayo

Penetración a 25°C, 100g, 5s	74
Punto de ablandamiento (°C)	48.75

Resultado

Indice de penetración	**-0.6**

Resultado	Cumple

Anexo 21: Densidad de materiales bituminosos semisólidos (método del picnómetro)

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM D-70
AASHTO T-43
INEN 923

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

DENSIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS SEMISÓLIDOS

Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	AC-20
Temperatura de ensayo	25 °C
Densidad del agua a la temperatura de ensayo (kg/m3)	997

Masa del picnómetro + tapon secos	32.781
Masa del picnómetro + tapon + agua destilada	61.997
Masa del picnómetro + tapon + asfalto	52.856
Masa del picnómetro + tapon + asfalto + agua destilada	62.116

Resultados

Densidad relativa de la muestra (kg/m3)	**1.006**
Densidad de la muestra (kg/m3)	**1002.945**

Anexo 22: Punto de inflamación y combustión con el equipo de copa abierta Cleveland

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM D-92
AASHTO T-48

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

PUNTO DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN

Informacion del ensayo:

Identificaión de la muestra	AC-20
Punto de Inflamación (°C)	298
Punto de Combustión (°C)	326
Presión barométrica (mm Hg)	550.3

Punto de Inflamación corregido (°C)	**305**
Punto de combustiñon corregido (°C)	**333**

Resultado	Cumple

Anexo 23: Viscosidad con viscosímetro capilar al vacío

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM D-2171

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

VISCOSIDAD CON VISCOSÍMETRO CAPILAR AL VACÍO

Información del ensayo

Identificación de la muestra	Original
Temperatura de ensayo (°C)	60.00
Numero del viscosímetro	100
Serie del viscosímetro	L801

	Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D
Constante del viscosímetro (Pa.s/s)	3.177	1.608	1.071
Tiempo (s)	73.2	218.3	430.6
Viscosidad (Pa.s)	232.556	351.026	461.173

Resultado	
Viscosidad (Pa.s)	**232.556**

Resultado	Cumple

Anexo 24: Horno de película delgada rodante (RFTO)

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM D-2872

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

HORNO DE PELÍCULA DELGADA RODANTE (RFTO)

Masa de botella 1 + asfalto antes	202.936
Masa de botella 1 + asfalto después	202.884
Cambio de masa - botella 1 (%)	0.026

Masa de botella 2 + asfalto antes	196.19
Masa de botella 2 + asfalto después	196.142
Cambio de masa - botella 2 (%)	0.024

Cambio de masa promedio (%)	**0.025**

Resultado	Cumple

Anexo 25: Ductilidad (RFTO)

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM D-113

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

DUCTILIDAD

Información del ensayo:

Identificación de la muestra	Envejecido
Temperatura de ensayo (°C)	25
Se usa aditivo para la densidad del agua?	No
Número de replicas	3

Valores:

Molde	1	2	3	**Promedio**
Ductilidad (cm)	32	32	38	**34**

Resultado	No cumple

Anexo 26: Viscosidad con viscosímetro capilar al vacío (RFTO)

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM D-2171

CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

VISCOSIDAD CON VISCOSÍMETRO CAPILAR AL VACÍO (RFTO)

Información del ensayo

Identificación de la muestra	Envejecido
Temperatura de ensayo (°C)	59.97
Numero del viscosímetro	200
Serie del viscosímetro	K628

	Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D
Constante del viscosímetro (Pa.s/s)	10.82	5.792	3.993
Tiempo (s)	79.9	240.2	476.0
Viscosidad (Pa.s)	864.734	1390.949	1900.668

Resultado	
Viscosidad (Pa.s)	**864.734**

Resultado	cumple

Anexo 27: Carta normalizada de viscosidad – Temperatura para asfaltos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

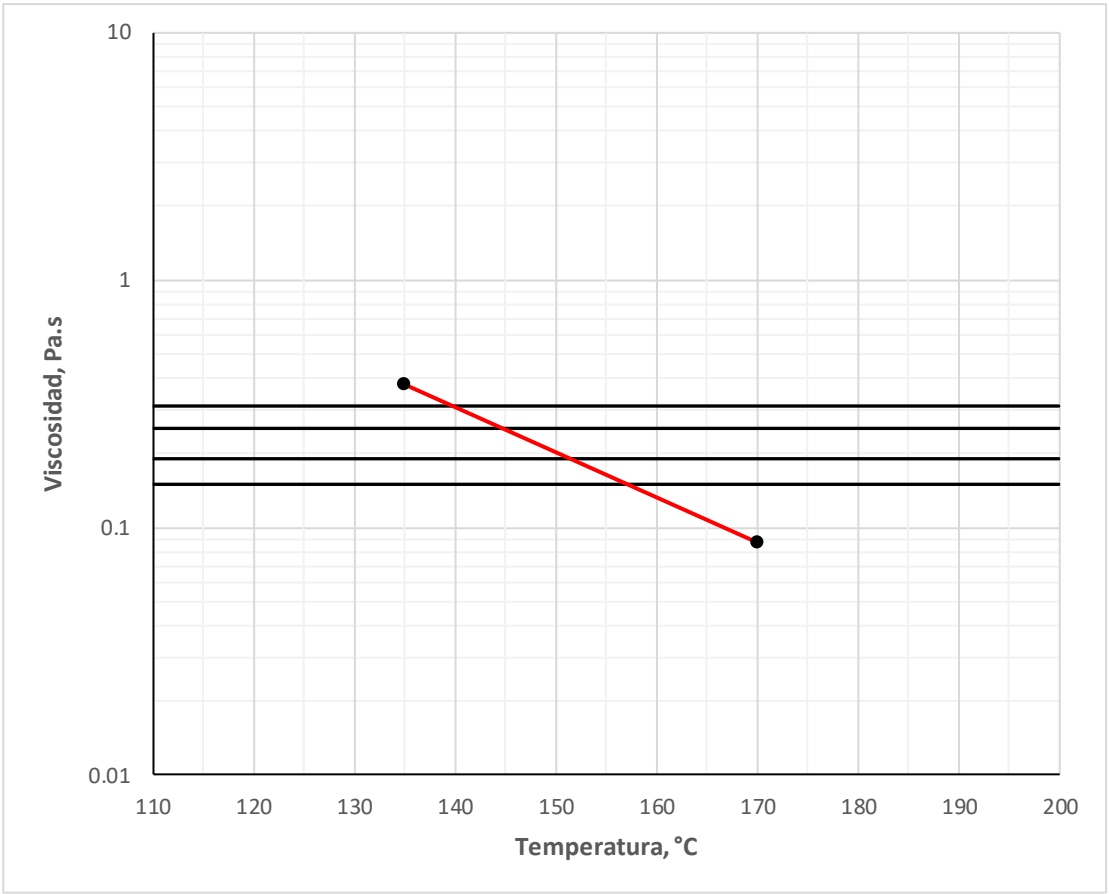
FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica

OBRA: Tesis
UBICACIÓN: Planta Asfáltica EPMMOP
NORMAS: ASTM D-2493

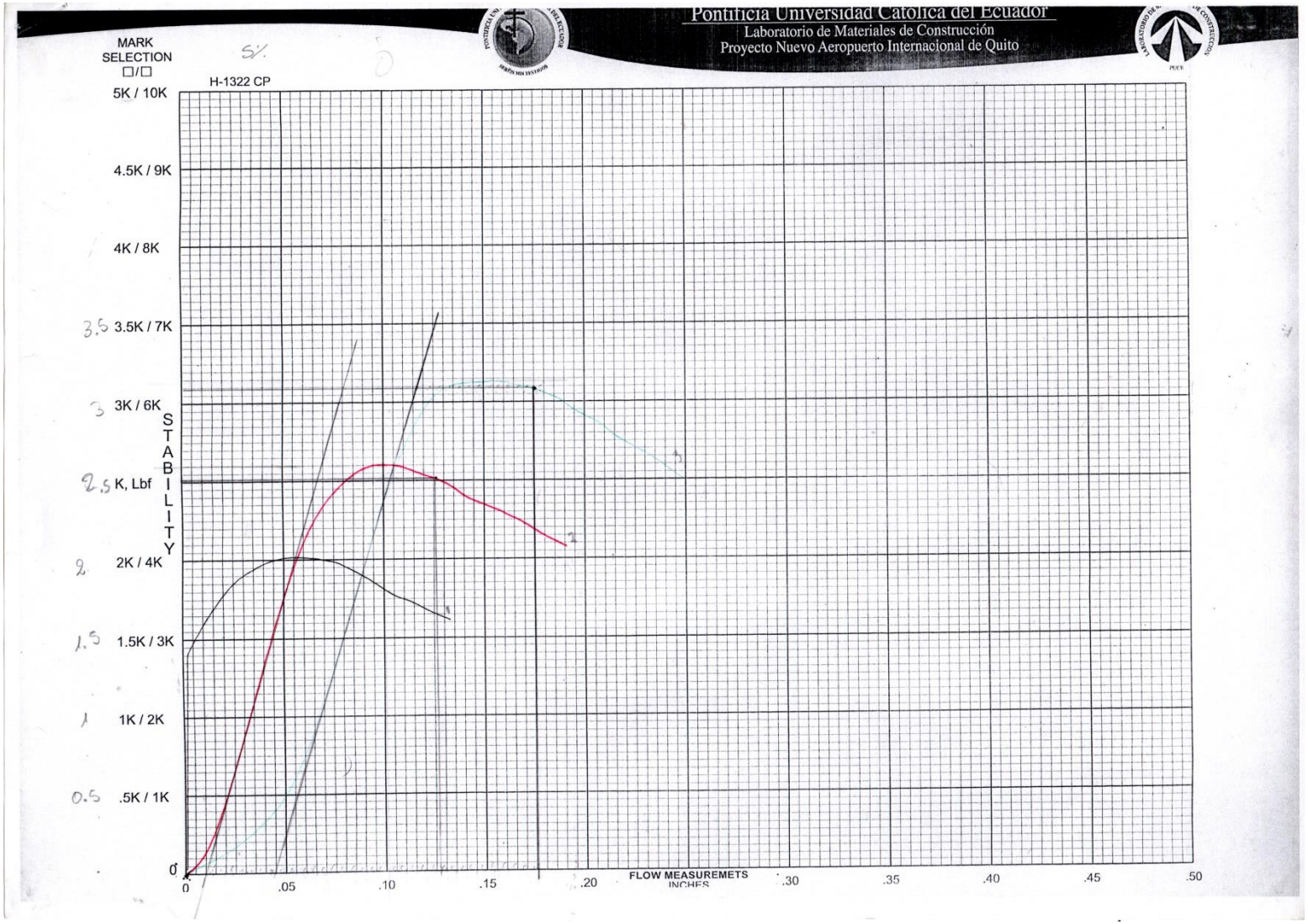
CERTIFICADO: Ing.Gustavo Yánez.
ELABORADO: Cristhian Arias
Kevin López
FECHA: Julio 2019

CARTA NORMALIZADA DE VISCOSIDAD- TEMPERATURA PARA ASFALTOS

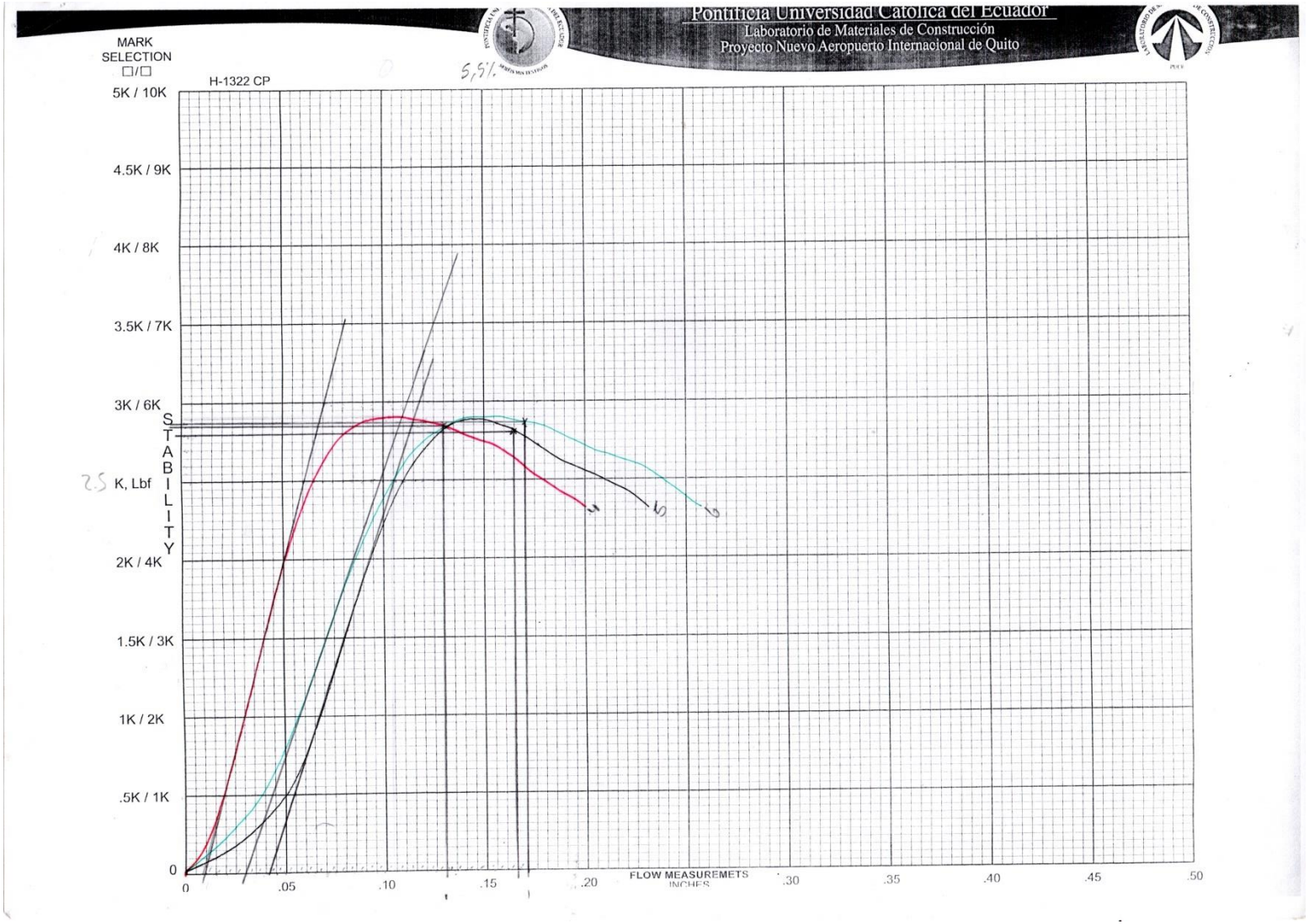


Rangos de temperatura de trabajo para la muestra	
Mezclado	150.8 - 156.4 °C
Compactación	139.1 - 144.2 °C

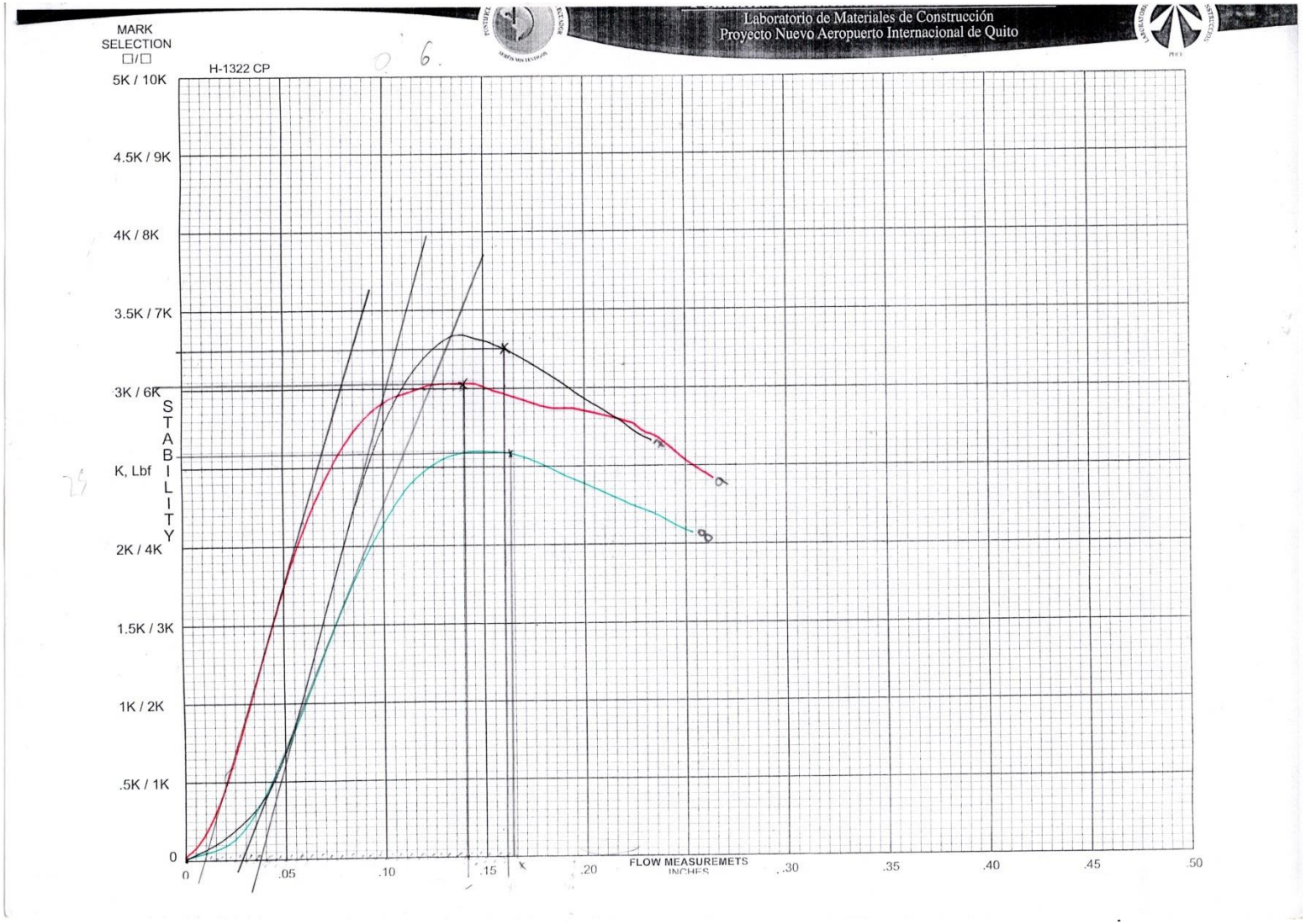
Anexo 28: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (5% Asfalto)



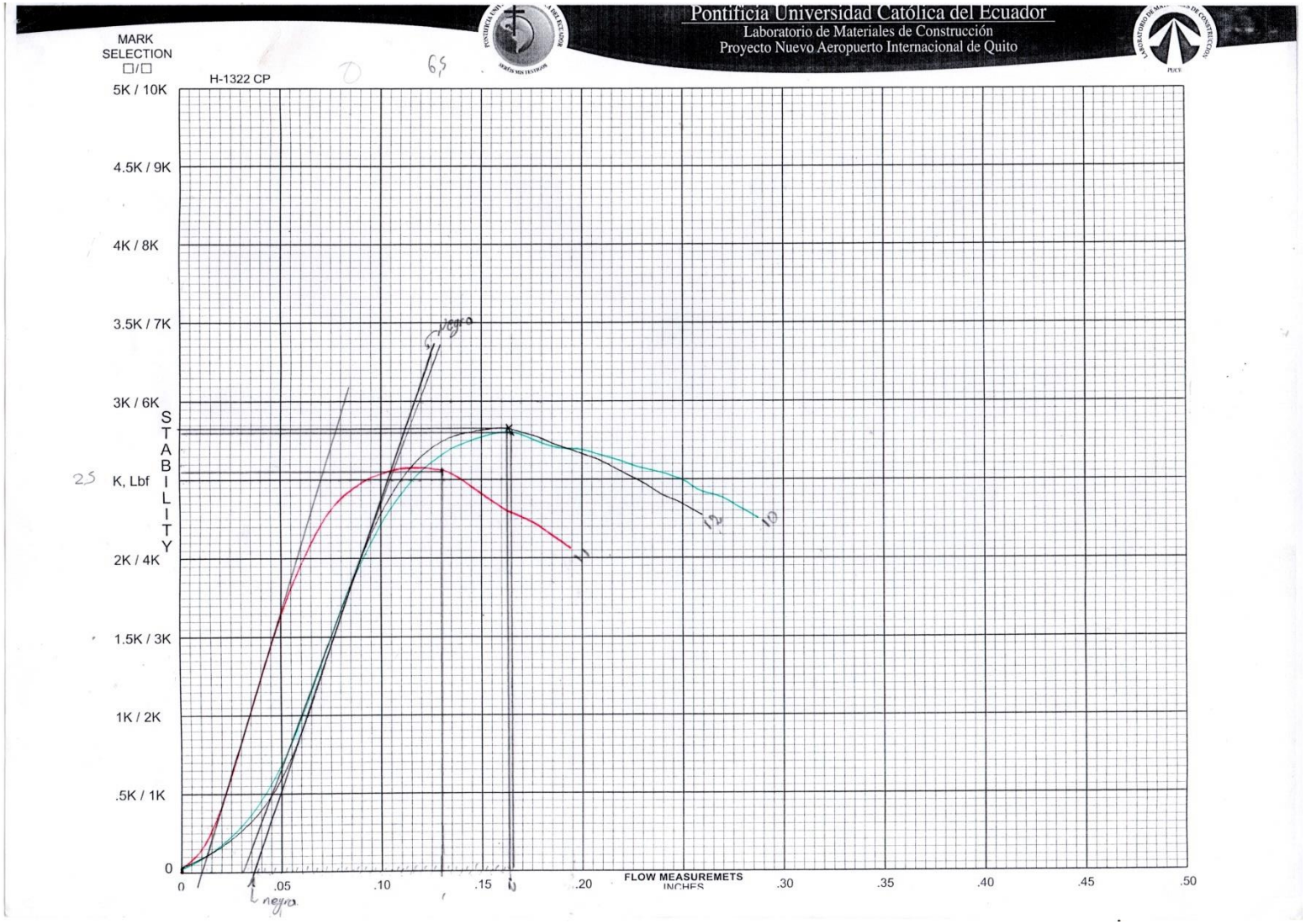
Anexo 29: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (5.5% Asfalto)



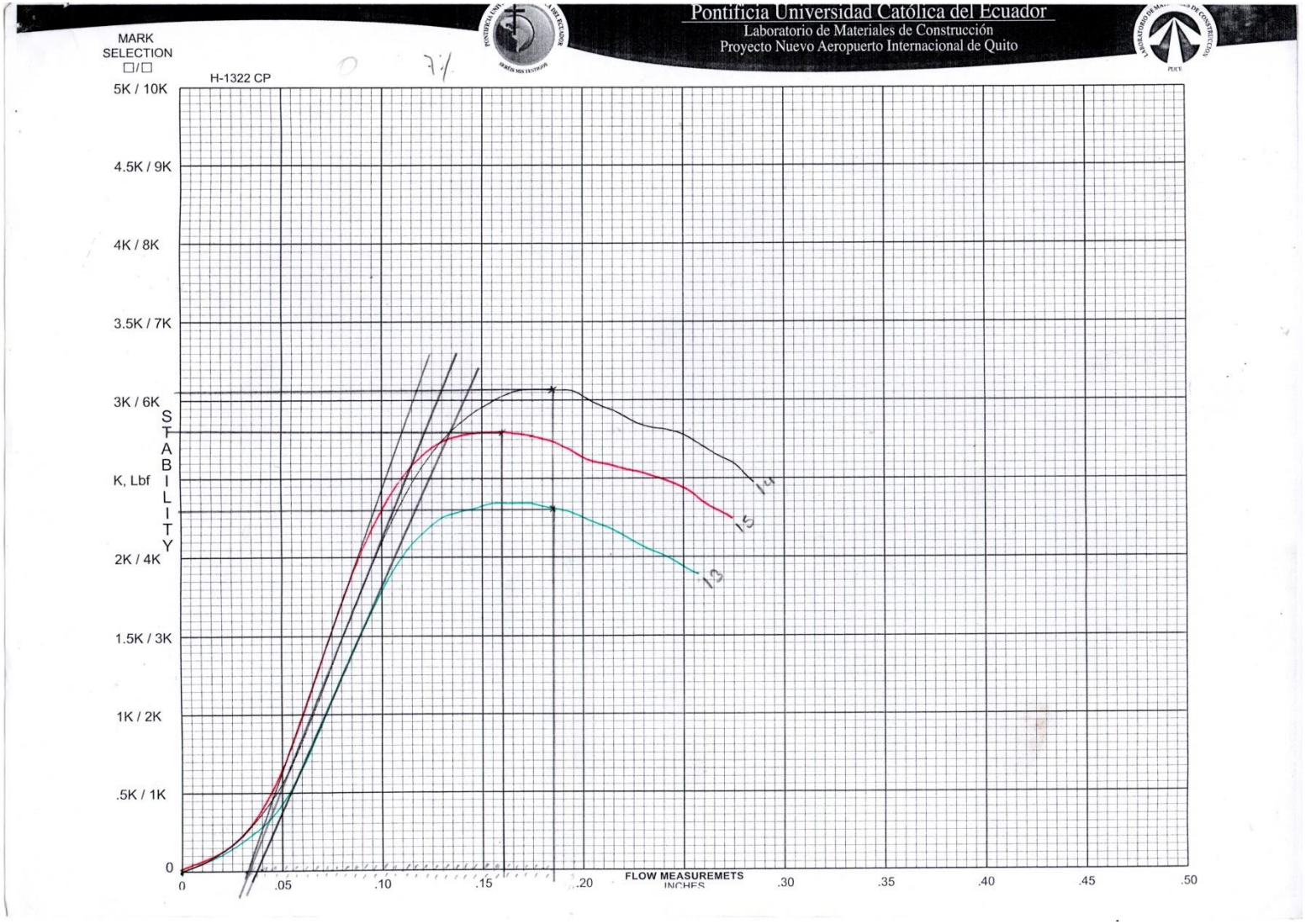
Anexo 30: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (6% Asfalto)



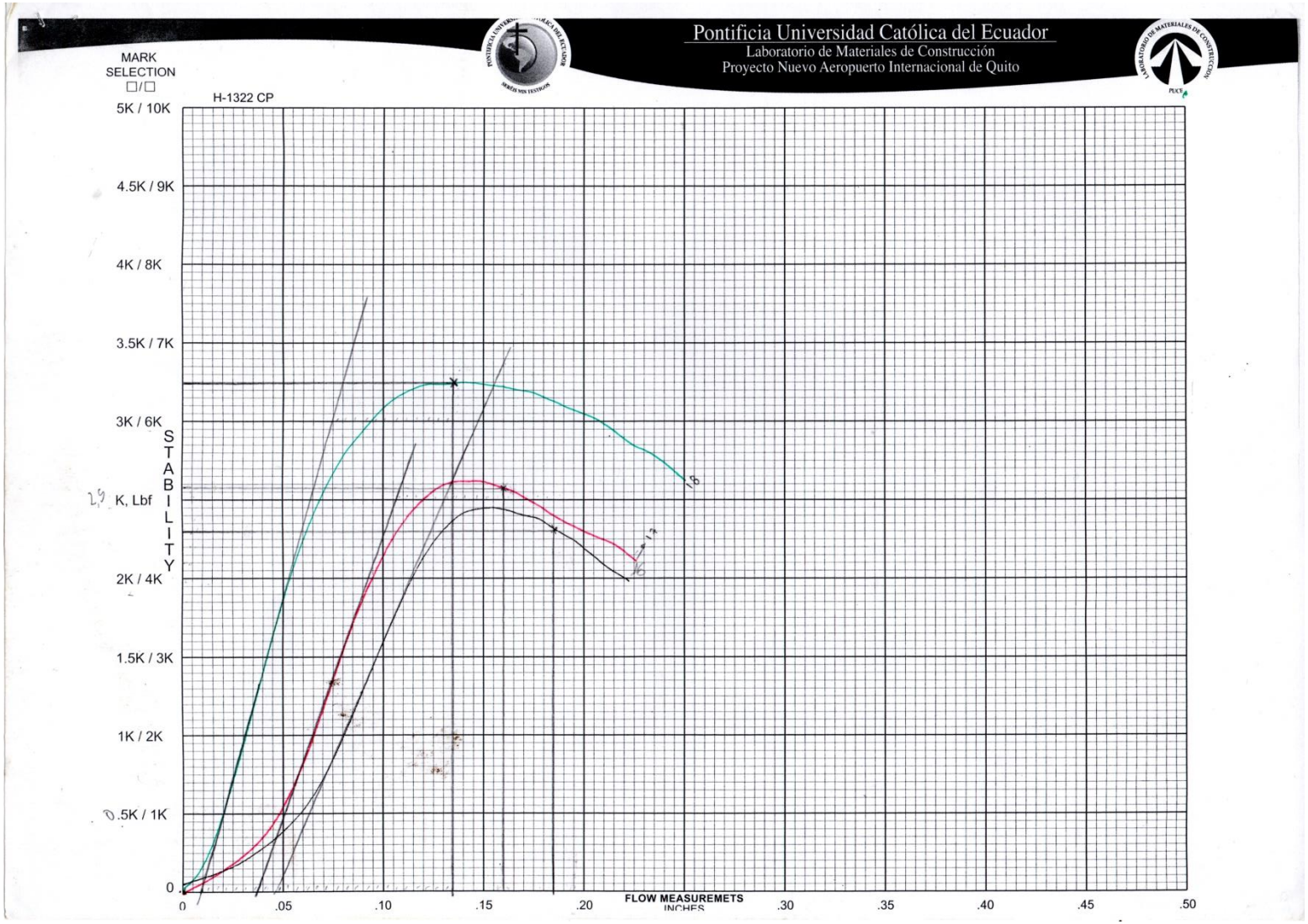
Anexo 31: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (6.5% Asfalto)

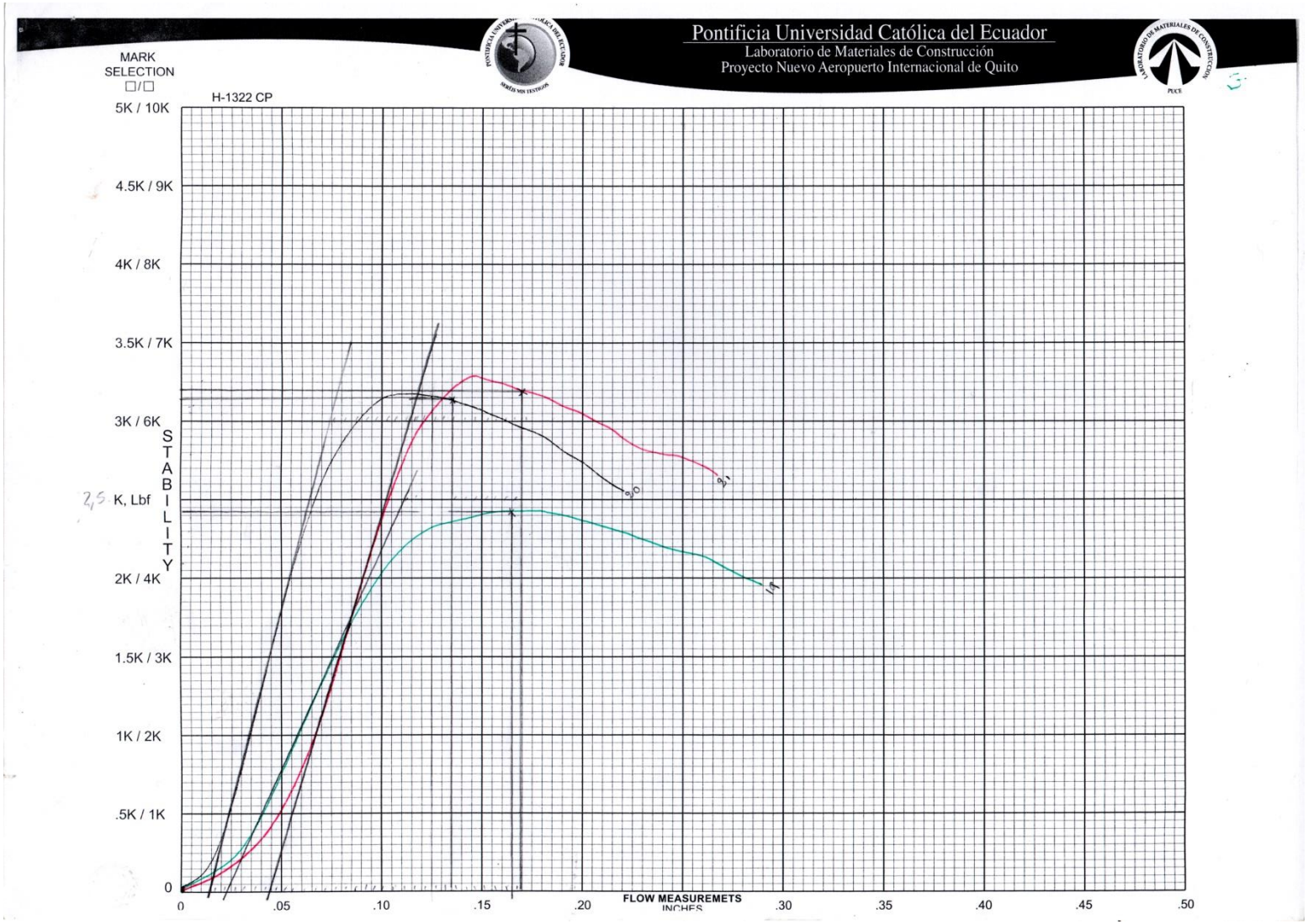


Anexo 32: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (7% Asfalto)

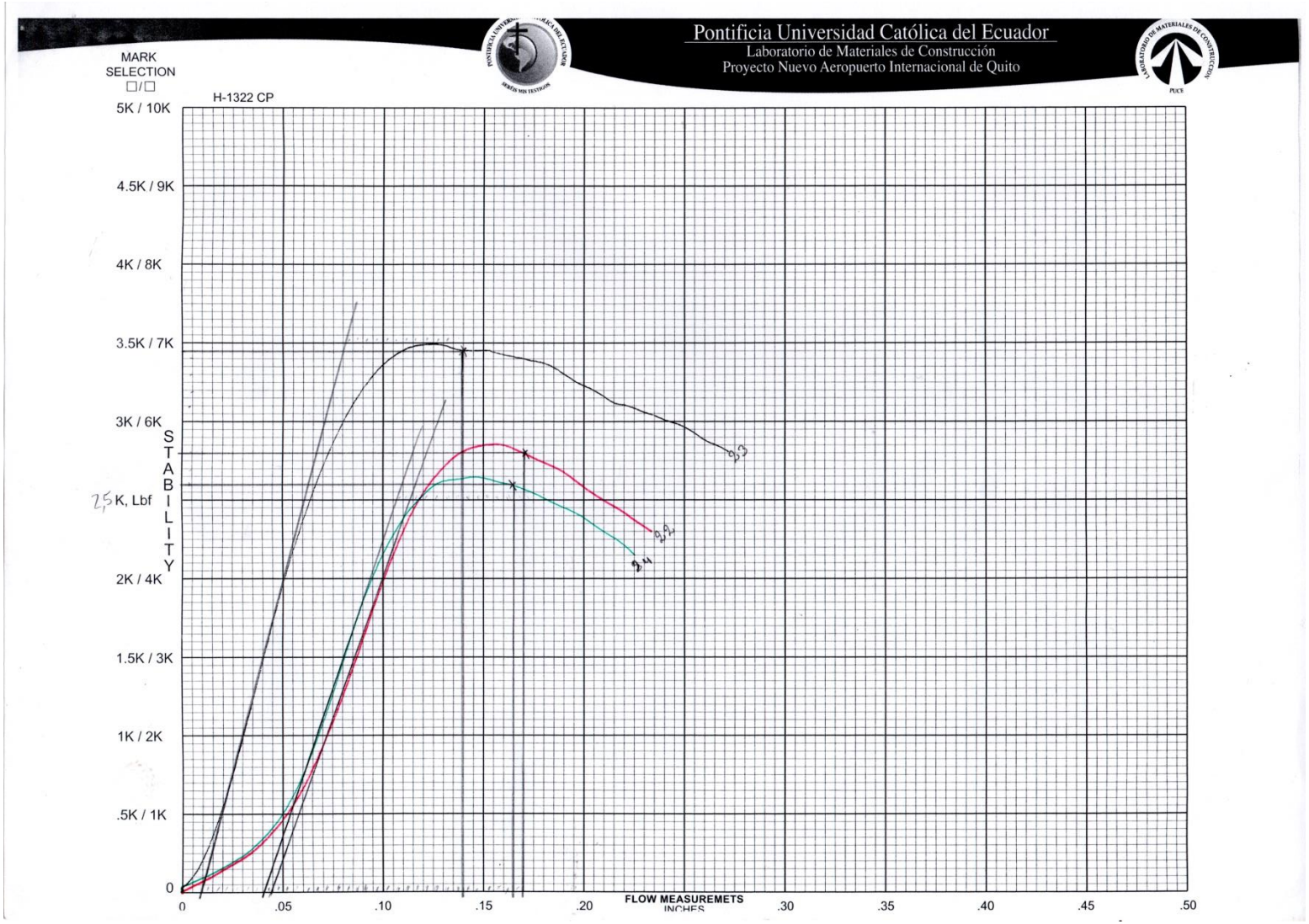


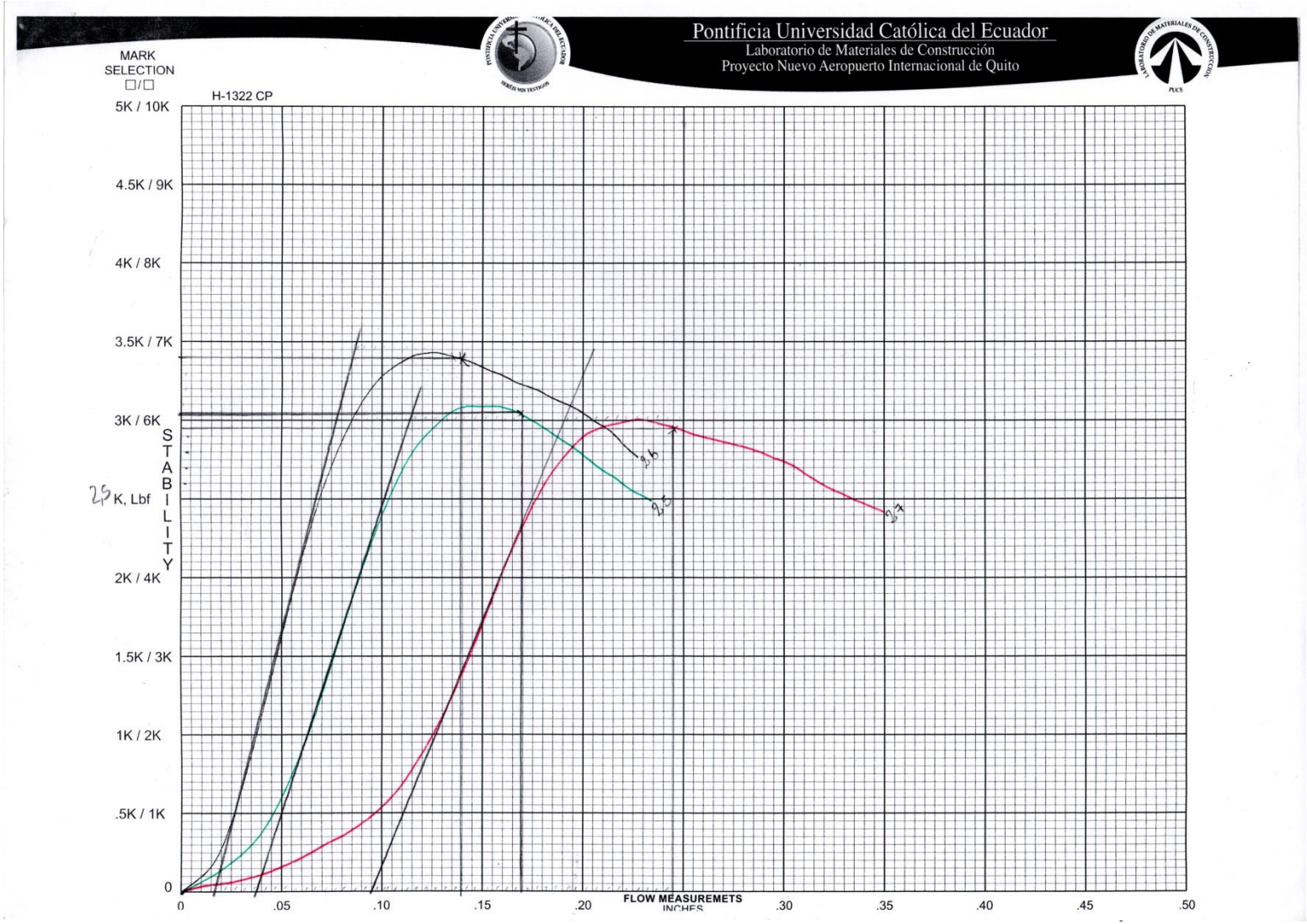
Anexo 33: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (Óptimo de asfalto - 6%)



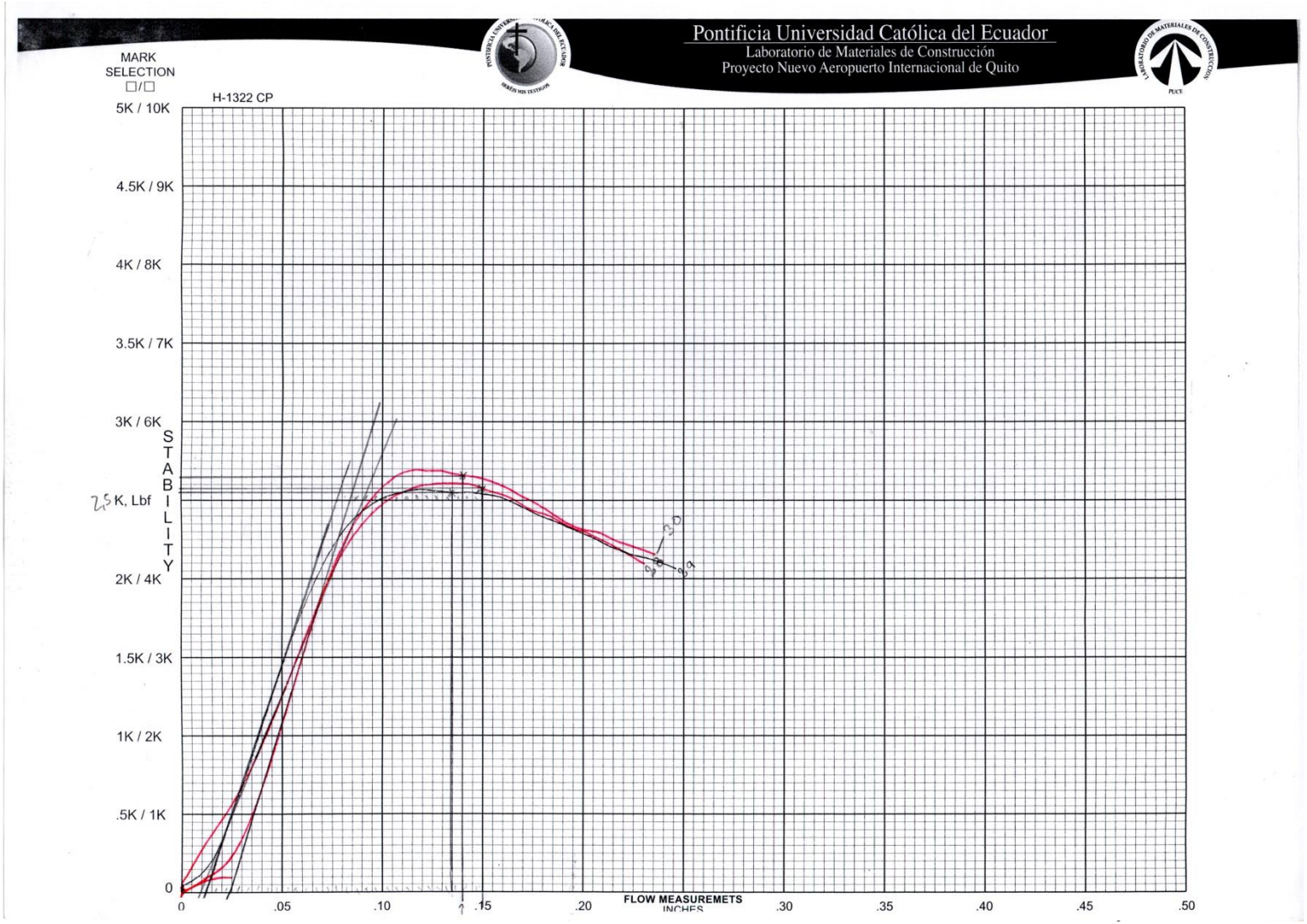

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Laboratorio de Materiales de Construcción
Proyecto Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito
MARK SELECTION
□/□
H-1322 CP
5K / 10K
4.5K / 9K
4K / 8K
3.5K / 7K
3K / 6K
2,5
K, Lbf
STABILITY
2K / 4K
1.5K / 3K
1K / 2K
.5K / 1K
0
0
.05
.10
.15
.20
.25
.30
.35
.40
.45
.50
FLOW MEASUREMETS
INCHES

Anexo 34: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (5% Calamina)

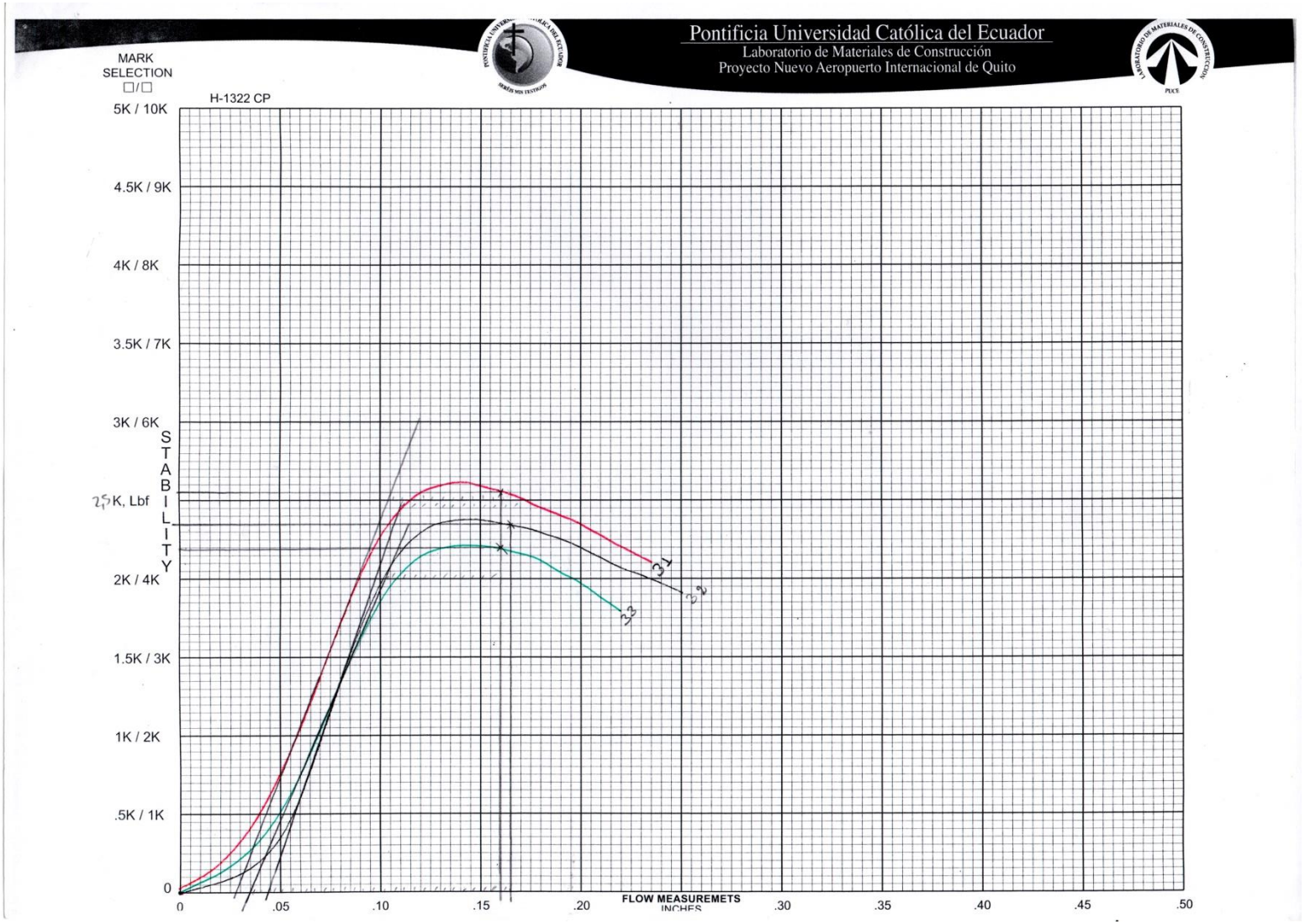



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Laboratorio de Materiales de Construcción
Proyecto Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito
MARK SELECTION □/□
H-1322 CP
5K / 10K
4.5K / 9K
4K / 8K
3.5K / 7K
3K / 6K
2.5K, Lbf
2K / 4K
1.5K / 3K
1K / 2K
.5K / 1K
0
STABILITY
0
.05
.10
.15
.20
.30
.35
.40
.45
.50
FLOW MEASUREMETS
INCHES

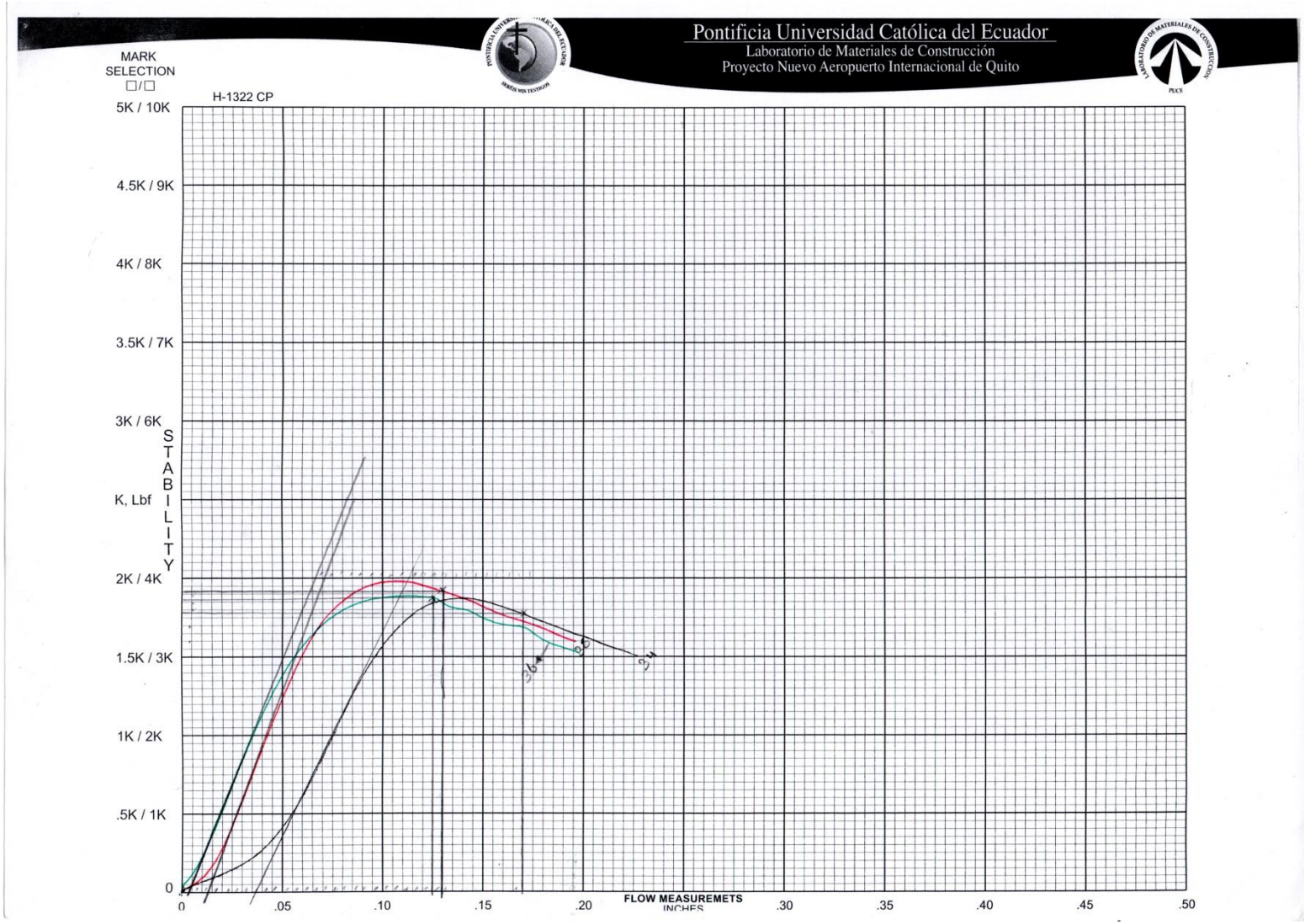
Anexo 35: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (15% Calamina)

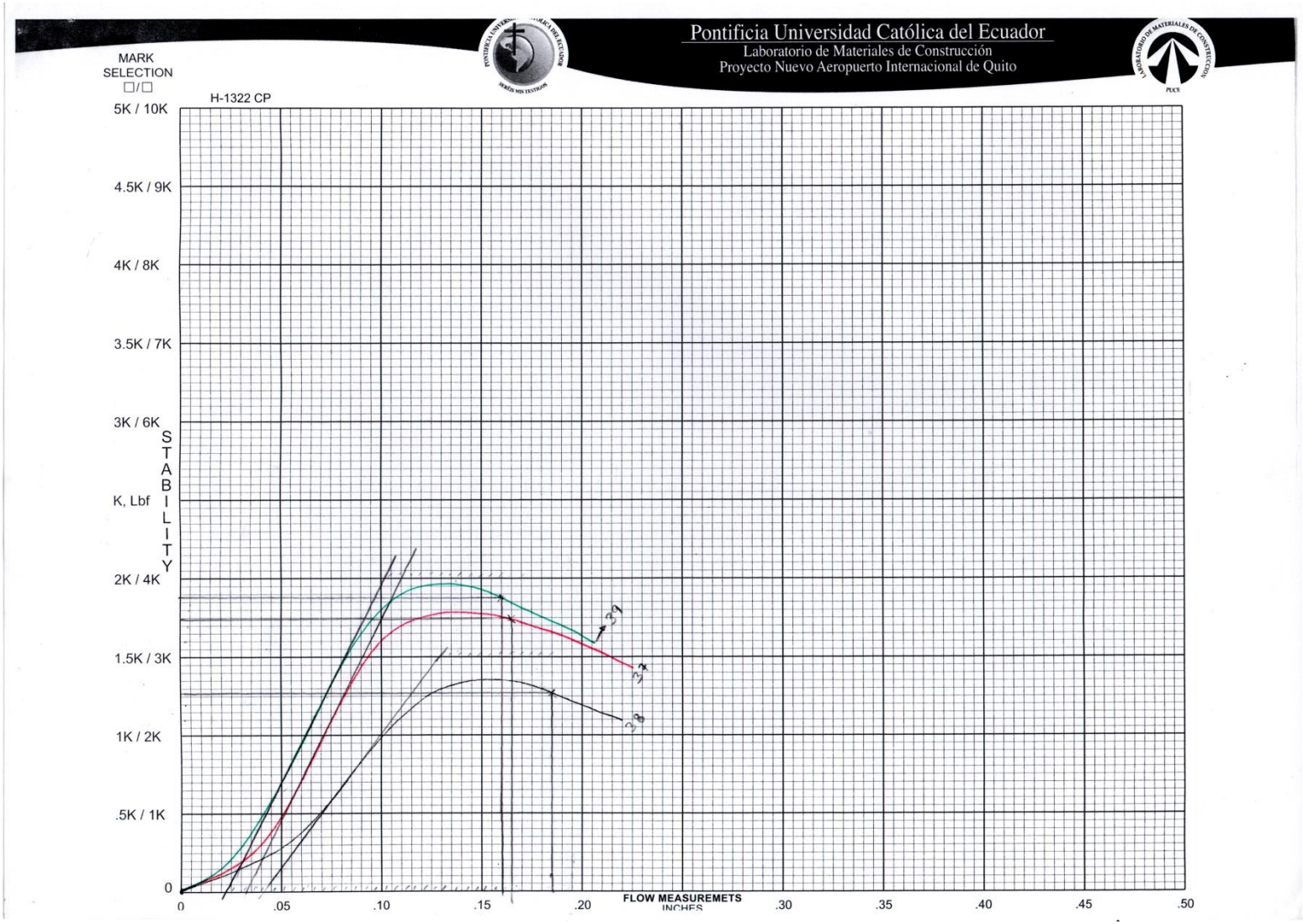


Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Laboratorio de Materiales de Construcción
Proyecto Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito

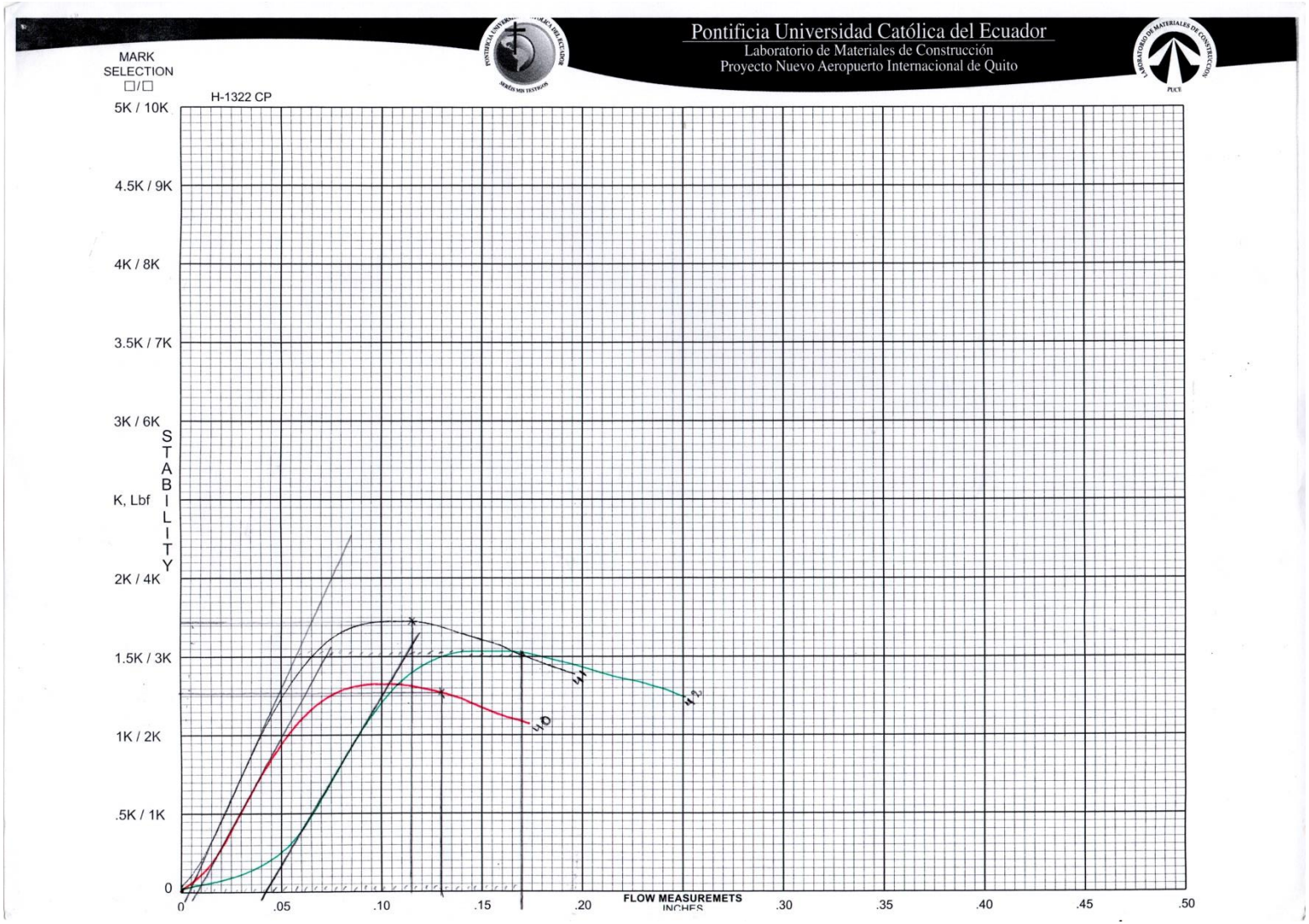


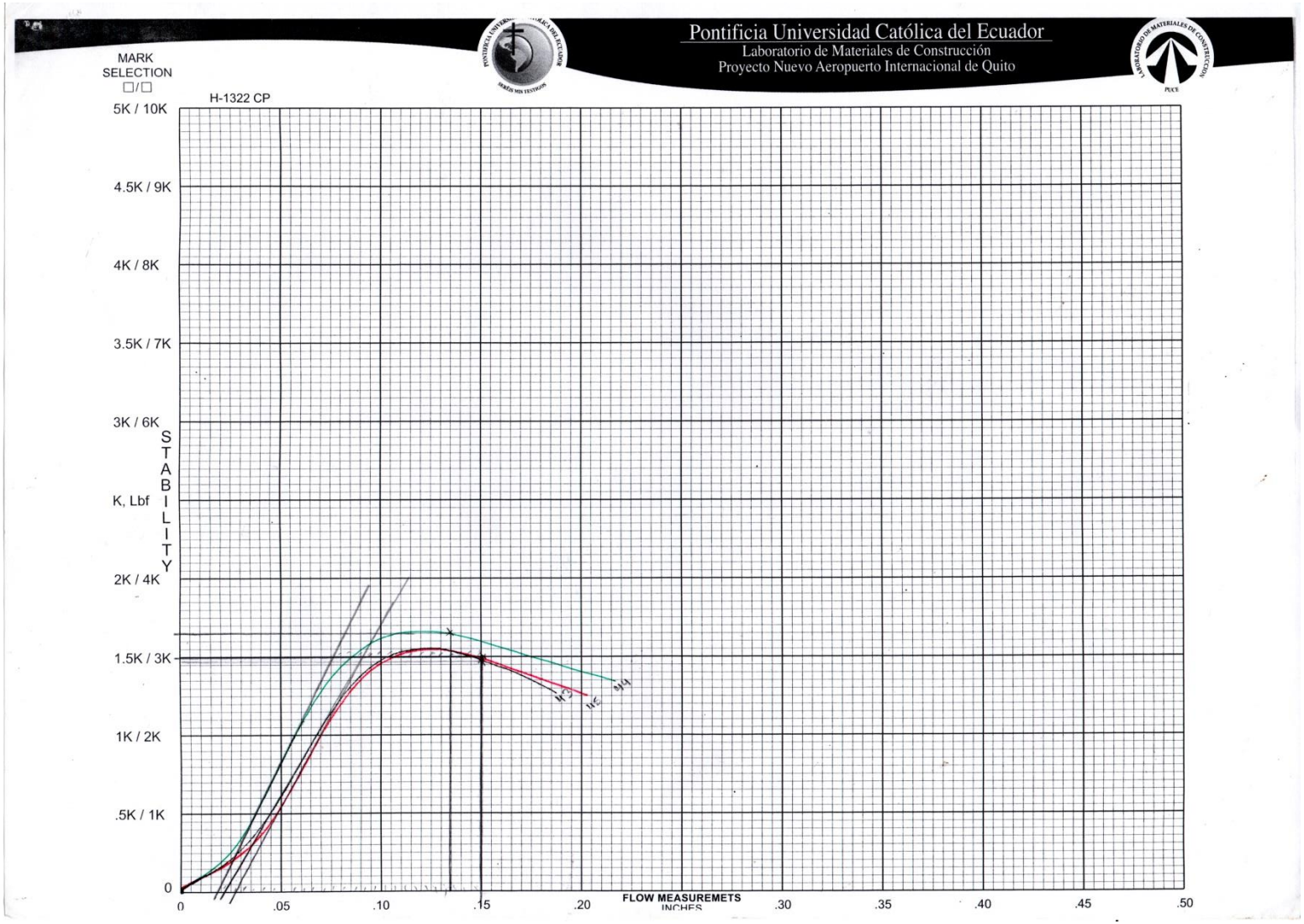
Anexo 36: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (25% Calamina)




Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Laboratorio de Materiales de Construcción
Proyecto Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito
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
STABILITY
K, Lbf
0
.05
.10
.15
.20
.30
.35
.40
.45
.50
FLOW MEASUREMETS
INCHES
37
37
28

Anexo 37: Representación gráfica: Estabilidad vs Flujo (35% Calamina)




Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Laboratorio de Materiales de Construcción
Proyecto Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito
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
0
0
.05
.10
.15
.20
FLOW MEASUREMETS
INCHES
.30
.35
.40
.45
.50