

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

**DISERTACIÓN DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**EVALUACIÓN DE PORCENTAJES DE ADITIVOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS
TIBIAS, UTILIZANDO LOS ADITIVOS SÚRFAX TB - 1 Y ZYCOTHERM CON
MATERIALES PROVENIENTES DE LAS MINAS MULALÓ Y OSORIO,
PROPIETARIO INGENIERO MARCO NARANJO**

AUTORES:

ESTEBAN MAURICIO ESTRELLA CORNEJO

CHRISTOPHER ORLANDO PAUCAR ROBLES

DIRECTOR: ING. PATRICIO CASTRO.

QUITO, ABRIL 2021

Resumen

Las mezclas asfálticas en caliente generan un problema ambiental con su producción en masa. El calor emitido durante la mezcla, la emisión de gases, el gasto excesivo de combustible al crear una carpeta asfáltica, son algunos factores por la cual se optó mejorar el procedimiento de la mezcla asfáltica caliente a una mezcla asfáltica tibia.

El desarrollo de esta investigación tiene como objetivo principal, la modificación del asfalto tradicional en caliente mediante el uso de aditivos que se encuentran dentro del comercio local. Aditivos comercializados en la producción de una carpeta asfáltica Zycotherm y Súrfax TB-1. Determinando su desempeño dentro del laboratorio y verificando que la modificación, cumpla con los requisitos para una mezcla asfáltica en caliente.

Dentro del laboratorio se preparó, ensayó y analizó varias muestras de mezclas asfálticas. Muestras asfálticas en caliente con diferente porcentaje de asfalto para determinar el asfalto óptimo, mezclas asfálticas en tibio sin aditivo, mezclas asfálticas con aditivo Súrfax TB-1 a diferentes porcentajes de aditivo y mezclas asfálticas tibias a diferentes porcentajes de aditivo Zycotherm.

Se evaluaron las características físicas, mecánicas y volumétricas de los agregados pétreos y del asfalto, usado para las mezclas asfálticas en laboratorio. Tomando como referencia al Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y las normas internacionales American Society for Testing and Materials (ASTM) y American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), que son las normas que rigen dentro de

nuestro país, para la elaboración de carreteras, según lo establece la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMMOP).

Objetivo:

Evaluar los porcentajes de aditivos en mezclas asfálticas tibias, utilizando las marcas Súrfax TB – 1 y Zycotherm, con materiales provenientes de las minas de Mulaló y Osorio, propiedad del Ing. Marco Naranjo.

Materiales y métodos:

Los materiales usados para el diseño de las mezclas asfálticas, fueron obtenidos de la planta asfáltica Naranjo López, ubicada en el sector de Pifo. Los laboratorios en los cuales se desarrolló las prácticas pertenecen a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE), el cual cuenta con los equipos necesarios para una valoración técnica de materiales pétreos, bitúmenes y mezclas asfálticas.

La investigación realizada fue de forma aplicada, cuantitativa y experimental la cual, con bases teóricas, se desarrolló de forma práctica nuevas estrategias para abordar la problemática del asfalto caliente. Tomando datos de las muestras y analizando sus resultados, se obtuvo información con la cual se puede predecir el comportamiento de la mezcla asfáltica tibia con diferentes porcentajes de aditivos.

Resultados:

El aditivo Zycotherm con un porcentaje de 0.100% y 0.125% por material ligante, presentó resultados satisfactorios, cumpliendo con los requisitos establecidos por el método Marshall.

Mientras que el aditivo Súrfax TB-1, no cumplió con los requisitos establecidos, se observó un comportamiento similar a un exceso de asfalto sobre la mezcla, generando un menor porcentaje de vacíos de la mezcla, permitidos por los criterios del método Marshall.

Conclusiones:

El uso de aditivos dentro de una mezcla asfáltica en tibio, puede generar un rendimiento similar a una mezcla asfáltica en caliente, reduciendo los problemas generados por este tipo de mezcla. Reduciendo el tiempo de cuidado y disminuyendo su costo de producción, debido a la disminución de uso de combustible.

Palabras clave:

Mezclas asfálticas tibias, aditivos, método Marshall, Zycotherm, Súrfax TB-1, briquetas, temperatura de mezcla.

Abstract

The asphalt mixtures in hot generate an environmental problem with their production in mass. The heat emitted during the mixture, the gas discharge, the excessive cost of fuel when creating an asphalt folder, is some factors by which it was chosen to improve the procedure of the hot mix asphalt pavement (HMA) to a warm mixture asphalt pavement (WMA).

The development of this investigation has like primary target, the modification of traditional asphalt in hot by means of the additive use that is within the local commerce. Among them are the additives Zycotherm and Súrfax TB-1. To determine its performance within the laboratory and to verify that the modification, fulfills the requirements for a hot mix asphalt.

Within the laboratory one prepared, it tried and it analyzed several samples of asphalt mixtures. Asphalt samples in hot with different percentage from asphalt determining optimal asphalt, asphalt mixtures in warm without additive, warm asphalt mixtures with additive Súrfax TB-1 to different percentage from additive and warm asphalt mixtures from different percentage from Zycotherm additive.

The physical, mechanical and volumetric characteristics were evaluated of stony aggregates and the asphalt used for the asphalt mixtures on laborite. Taking like reference Ecuadorian Rules (INEN) and Internacional Rules (ASTM), that are the norms that prevail within our country, for the elaboration of highways, according to it establishes the Metropolitan Mobility and Public Works Company (EPMMOP).

Objective:

Evaluate the percentages of additives in warm asphalt mixtures, using the brands Súrfax TB-1 and Zycotherm, with materials from the Mulaló and Osorio mines, owned by Mr. Marco Naranjo.

Materials and methods:

The materials used for the design of the asphalt mixtures were obtained from the Naranjo López asphalt plant, located in the Pifo sector. The laboratories in which the practices were developed belong to the Pontifical Catholic University of Ecuador, which has the necessary equipment for a technical evaluation of stone materials, bitumen and asphalt mixtures.

The research carried out was applied, quantitative and experimental which, with theoretical bases, developed in a practical way new strategy to address the problem of hot asphalt. Taking data from the samples and analyzing their results, we obtain information with which the behavior of the warm asphalt mix with different percentages of additives can be predicted.

Results:

The Zycotherm additive with a percentage of 0.100% and 0.125% per binder material, obtained satisfactory results, complying with the requirements established by the Marshall method.

While the additive Súrfax TB-1 did not meet the required requirements, a behavior similar to an excess of asphalt over the mix was observed, generating a lower percentage of voids in the mix, allowed by the Marshall method criteria.

Conclusions:

The use of additives within a warm asphalt mix can generate a similar performance to a hot asphalt mix, reducing the problems generated by this type of mix. Reducing the care time and reducing its production cost, due to the decrease in fuel use.

Keywords:

Warm Asphalt Mixes, Additives, Marshall Method, Zycotherm, Súrfax TB-1, Mix Temperature.

Glosario:

PUCE: Pontificia Universidad Católica del Ecuador

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización

ASTM: American Society of Testing Materials

EPMMOP: Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas

MTOP: Ministerio de Transporte y Obras Públicas

HMA: Hot Mix Asphalt (mezcla asfáltica en caliente)

WMA: Warm Mix Asphalt (mezcla asfáltica en tibio)

VFA: Voids Filled with Asphalt (vacíos rellenos con asfalto VAF)

VMA: Voids in Mineral Aggregate (vacíos en el agregado mineral VAM)

U.S.A.C.E: Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos

T.M.N.: Tamaño máximo nominal

Agradecimientos

Agradecer a nuestros familiares, amigos y compañeros, los cuales nos han brindado paciencia y apoyo incondicional a lo largo de nuestra vida universitaria, siendo una base sobre la cual nos hemos desarrollado como profesionales debido a sus valores aportados para nuestro crecimiento profesional y personal.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por darnos la oportunidad de estudiar la maravillosa carrera de Ingeniería Civil, aportándonos conocimientos sólidos para nuestra vida como profesionales. A los profesores que a lo largo de la carrera incrementaban nuestro conocimiento y nos enseñaban valores, recalcando el lema del patrono de nuestra universidad, San Ignacio de Loyola. “Ser más para servir mejor”.

A la empresa Naranjo-López la cual facilitó la obtención de los materiales para el desarrollo del trabajo de disertación, con mención especial al Ing. José Guanuche, quien fue el mediador para la obtención de todas las necesidades con respecto a la empresa.

Al laboratorio de Materiales y Pavimentos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por permitirnos realizar los ensayos necesarios para la culminación de nuestro trabajo de disertación, con especial mención al Sr. Jhovanny Muñoz por guiarnos en cada una de las prácticas realizadas en el sector de pavimentos.

Y para culminar, a todas las personas las cuales aportaron de una u otra forma a la culminación del trabajo de disertación y nuestra carrera universitaria.

Gracias totales.

Índice de contenidos

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. General	4
1.3.2. Específicos	4
1.4. Alcance	6
CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO	7
2.1. Cronología del Asfalto	7
2.2. Ubicación geográfica de la planta asfáltica Naranjo López	9
2.3. Agregado mineral	10
2.3.1. Origen y composición	10
2.3.2. Características del agregado	10
2.3.3. Agregado grueso y medio (Mina Mulaló)	10
2.3.4. Agregado fino (Mina Osorio)	10
2.4. Estructura de la vía	11
2.4.1. Capa de rodadura asfáltica flexible	12
2.4.2. Asfalto	14
2.4.2.1. Tipos de asfalto	15

Cemento asfáltico	15
Asfalto diluido.....	17
Asfalto emulsificado	17
2.4.3. Mezclas asfálticas convencionales	19
2.4.3.1. Definición	19
2.4.3.2. Composición.....	19
2.4.3.3. Agregados.....	20
2.4.3.4. Ligante.....	20
2.4.3.5. Propiedades del asfalto convencional	21
Durabilidad	21
Adhesión y cohesión	21
Susceptibilidad a la temperatura	23
Endurecimiento y envejecimiento.....	23
Ductilidad.....	25
CAPÍTULO III : MEZCLAS ASFÁLTICAS	26
3.1. Mezclas asfálticas calientes (HMA)	28
3.2. Mezclas asfálticas tibias (WMA).....	29
3.3. Diseño de mezclas asfálticas	31
3.3.1. Método Marshall.....	31
3.4. Aditivos.....	38

3.4.1. Aditivo Súrfax TB - 1.....	39
Beneficios del Súrfax TB-1.....	41
3.4.2. Aditivo Zycotherm.....	42
Beneficios del Zycotherm.....	46
3.5. Propiedades que se benefician de una mezcla combinada.....	47
CAPÍTULO IV ENSAYOS DE MATERIALES.....	48
4.1. Ensayos de agregados	48
4.1.1. Granulometría.....	50
4.1.1.1. Agregado Grueso.....	52
4.1.1.2. Agregado Medio	53
4.1.1.3. Agregado Fino	54
4.1.2. Clasificación de materiales.....	55
4.1.3. Densidad, gravedad específica y absorción del agregado fino.....	55
4.1.4. Densidad, gravedad específica y absorción del agregado grueso y medio	59
4.1.5. Peso unitario y porcentaje de vacíos en el agregado.....	63
4.1.6. Durabilidad del material pétreo	67
4.1.7. Equivalente de arena	75
4.1.8. Desgaste a la abrasión.....	78
4.2. Ensayos de asfaltos.....	82

4.2.1. Viscosidad absoluta.....	82
4.2.2. Viscosidad cinemática.....	84
4.2.3. Punto de chispa y llama.....	87
4.2.4. Densidad del asfalto.....	90
4.2.5. Penetración de materiales bituminosos.....	93
4.2.6. Punto de reblandecimiento.	95
4.2.7. Cambio de masa	97
4.2.8. Determinación de la ductilidad de materiales bituminosos	99
CAPÍTULO V MÉTODO MARSHALL	101
5.1. Mezclas asfálticas en caliente (HMA).....	102
5.1.1. Diseño.....	102
5.1.1.1. Determinación del porcentaje de asfalto teórico	102
5.1.1.2. Porcentaje de asfalto óptimo	107
5.1.1.2.1. Propiedades volumétricas	110
Gravedad específica Bulk (Gsb).....	111
Gravedad específica aparente (Gsa)	112
Gravedad específica efectiva (Gse)	112
Vacíos en el agregado mineral (VAM).....	113
Vacíos rellenados con asfalto (VAF)	114
5.1.1.2.2. Estabilidad y flujo Marshall	115

5.1.1.2.3. Densidad teórica máxima (Ensayo RICE).....	117
5.1.2. Resultados.....	121
5.2. Mezclas asfálticas tibias.....	126
5.2.1. Diseño.....	126
5.2.2. Resultados.....	130
Asfalto tibio sin aditivo.....	130
Asfalto tibio con aditivo Zycotherm.....	131
Asfalto tibio con aditivo Súrfax TB-1	133
CAPÍTULO VI ANÁLISIS DE RESULTADOS	135
6.1. Comparación de aditivo Zycotherm y aditivo Súrfax tb-1.....	159
CAPÍTULO VII ANÁLISIS ECONÓMICO	161
CAPÍTULO VIII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	163
Conclusiones	163
Recomendaciones	166
BIBLIOGRAFÍA	168
ANEXOS.....	176

Índice de ilustraciones

Ilustración II-1 Representación esquemática de la estructura vial,

Ilustración II-2 Ubicación de la capa de rodadura.

Ilustración II-3 Esquema de comportamiento del pavimento flexible.

Ilustración II-4 Comportamiento visco - elástico del cemento asfáltico según su temperatura en °C.

Ilustración II-5 Emulsión aniónica - catiónica.

Ilustración II-6 Comportamiento mecánico del trabajo de Adhesión vs Cohesión.

Ilustración II-7 Etapa en proceso de envejecimiento.

Ilustración III-1 Diagrama de fases de mezclas asfálticas

Ilustración III-2 Parámetro de Diseño volumétrico.

Ilustración III-3 Clasificación de mezclas asfálticas (°F).

Ilustración III-4 Propiedades de mezcla asfáltica vs % asfalto

Ilustración III-5 Enlace químico entre asfalto y agregados pétreos.

Ilustración III-6 Combinación entre bis-hexametilentriamina y estearato de glicerilo.

Ilustración III-7 Estructura química de los asfáltenos

Ilustración III-8 Composición química del asfalto.

Ilustración III-9 Esquema del enlace químico en superficies áridas de hidrófila a hidrófoba con el uso del Zycotherm.

Ilustración III-10 Adherencia superior del agregado - asfalto con Zycotherm.

Ilustración IV-1 Imagen descriptiva, proceso de tamización de agregados.

Ilustración IV-2 Estados naturales que representa el suelo.

Ilustración IV-3 Comprobación visual del estado saturado a superficie seca.

Ilustración IV-4 Representación del picnómetro.

Ilustración IV-5. Distribución distribución de agua en el agregado.

Ilustración IV-6 Representación de acomodo de partículas.

Ilustración IV-7 Imagen descriptiva de resistencia a los sulfatos.

Ilustración IV-8. Equivalente de arena.

Ilustración IV-9 Máquina de los Ángeles.

Índice de tablas

Tabla II.1 Requisitos para cemento asfáltico graduado por viscosidad

Tabla II.2 Tipo de asfaltos diluidos

Tabla II.3 Clasificación de emulsiones

Tabla III.1 Criterios Marshall

Tabla III.2 Porcentaje mínimo VAM

Tabla III.3 Características Físicas Aditivo Súrfax TB-1

Tabla III.4 Formulaciones Típicas Aditivo Súrfax TB-1

Tabla III.5 Características Físicas Aditivo Zycotherm

Tabla III.6 Dosificación aditivo Zycotherm

Tabla IV.1 Normas aplicadas en ensayos de agregados

Tabla IV.2 Granulometría agregado grueso

Tabla IV.3 Granulometría agregado medio

Tabla IV.4 Granulometría agregado fino

- Tabla IV.5** Densidad, densidad Bulk y absorción de árido fino
- Tabla IV.6** Densidad, densidad Bulk y absorción de árido grueso
- Tabla IV.7** Densidad, densidad Bulk y absorción de árido medio
- Tabla IV.8** Capacidad de medida
- Tabla IV.9** Peso unitario en estado suelto y compactado del árido grueso
- Tabla IV.10** Peso unitario en estado suelto y compactado del árido medio
- Tabla IV.11** Peso unitario en estado suelto y compactado del árido fino
- Tabla IV.12** Tamaño de tamices
- Tabla IV.13** Cantidad de masa a ensayar
- Tabla IV.14** Fracciones de muestra para el agregado grueso
- Tabla IV.15** Desgaste del agregado grueso – 1/2”
- Tabla IV.16** Desgaste del agregado grueso – 3/4”
- Tabla IV.17** Desgaste del agregado medio – 3/8”
- Tabla IV.18** Desgaste del agregado fino – N°4
- Tabla IV.19** Desgaste del agregado fino – N°8
- Tabla IV.20** Desgaste del agregado fino – N°16
- Tabla IV.21** Desgaste del agregado fino – N°30
- Tabla IV.22** Desgaste del agregado fino – N°50
- Tabla IV.23** Equivalente arena
- Tabla IV.24** Clasificación de muestras de prueba
- Tabla IV.25** Número de esferas según su muestra
- Tabla IV.26** Desgaste a la abrasión – agregado grueso
- Tabla IV.27** Desgaste a la abrasión – agregado medio
- Tabla IV.28** Ensayo de viscosidad absoluta a 60°C

- Tabla IV.29** Viscosidad cinemática a 135°C y 170°C
- Tabla IV.30** Temperatura de mezclado y compactación del asfalto
- Tabla IV.31** Temperatura de chispa y llama
- Tabla IV.32** Datos de ensayo de densidad del asfalto
- Tabla IV.33** Densidad del agua a diferentes temperaturas
- Tabla IV.34** Densidad de la muestra
- Tabla IV.35** Ensayo de penetración del asfalto
- Tabla IV.36** Ensayo anillo - bola
- Tabla IV.37** Ensayo para determinar el cambio de masa
- Tabla IV.38** Ductilidad del asfalto
- Tabla V.1** Rango de trabajo
- Tabla V.2** Granulometría para la mezcla asfáltica
- Tabla V.3** Porcentaje y peso de asfalto para cada briqueta
- Tabla V.4** Factores de corrección para valores de estabilidad
- Tabla V.5** Peso aproximado para ensayo RICE
- Tabla V.6** Diseño Marshall en caliente
- Tabla V.7** Propiedades obtenidas del diseño Marshall en caliente
- Tabla V.8** Diseño Marshall en tibio sin aditivo
- Tabla V.9** Propiedades obtenidas del diseño Marshall en tibio sin aditivo
- Tabla V.10** Diseño Marshall en tibio con aditivo Zycotherm
- Tabla V.11** Propiedades obtenidos del diseño Marshall en tibio con aditivo Zycotherm
- Tabla V.12** Diseño Marshall en tibio con aditivo Súrfax TB-1
- Tabla V.13** Propiedades obtenidas del diseño Marshall en tibio con aditivo Súrfax TB-1
- Tabla VI.1** Resultados - Ensayos de agregados pétreos

- Tabla VI.2** Resultados - Ensayos de asfalto AC-20
- Tabla VI.3** Valores del porcentaje de asfalto óptimo
- Tabla VI.4** Resumen diseño Marshall en tibio sin aditivo
- Tabla VI.5** Resumen de valores aditivo Zycotherm al 0.025%
- Tabla VI.6** Resumen de valores aditivo Zycotherm al 0.05%
- Tabla VI.7** Resumen de valores aditivo Zycotherm al 0.075%
- Tabla VI.8** Resumen de valores aditivo Zycotherm al 0.1%
- Tabla VI.9** Resumen de valores aditivo Zycotherm al 0.125%
- Tabla VI.10** Resumen Aditivo Zycotherm
- Tabla VI.11** Resumen de valores aditivo Súrfax TB-1 al 2%
- Tabla VI.12** Resumen de valores aditivo Súrfax TB-1 al 2.5%
- Tabla VI.13** Resumen de valores aditivo Súrfax TB-1 al 3%
- Tabla VI.14** Resumen de valores aditivo Súrfax TB-1 al 3.5%
- Tabla VI.15** Resumen de valores aditivo Súrfax TB-1 al 4%
- Tabla VI.16** Resumen Aditivo Súrfax TB-1
- Tabla VI.17** Comparación entre aditivo Súrfax TB-1 y Zycotherm
- Tabla VII.1** Precios de mezclas asfálticas satisfactorias con los criterios Marshall

Índice de fotografías

Fotografía N° II.1 Ubicación geográfica planta asfáltica Naranjo López

Fotografía N° IV.1 Imagen descriptiva de pesos volumétricos

Fotografía N° IV.2 Viscosímetro para varias temperaturas

Fotografía N° IV.3 Ensayo copa Cleveland

Fotografía N° IV.4 Picnómetro AMK

Fotografía N° IV.5 Máquina de penetración

Fotografía N° IV.6 Ensayo anillo – bola

Fotografía N° IV.7 Contenedores y horno para determinar cambio de masa

Fotografía N° IV.8 Ensayo de ductilidad

Fotografía N° V.1 Proceso de mezclado

Fotografía N° V.2 Compactador Marshall

Fotografía N° V.3 Peso de muestras sumergido y en seco

Fotografía N° V.4 Baño maría a 60°C para ensayo Marshall

Fotografía N° V.5 Extractor de vacíos ensayo RICE

Fotografía N° V.6 Llenado de agua al contenedor, ensayo RICE

Fotografía N° V.7 Mezcla asfáltica con aditivo Súrfax TB-1

Fotografía N° V.8 Prueba aditivo Zycotherm

Fotografía N° V.9 Recipientes con mezcla Asfalto-Zycotherm

Fotografía N° V.10 Mezcla asfáltica tibia a 120°C

Índice de ecuaciones

(IV-1) Porcentaje retenido

(IV-2) Porcentaje pasante

(IV-3) Masa de agua añadida al matraz

(IV-4) Gravedad específica Bulk agregado fino (Ge)

(IV-5) Gravedad específica saturada con superficie seca agregado fino (Ges)

(IV-6) Gravedad específica aparente agregado fino (Gea)

(IV-7) Porcentaje de absorción agregado fino (%Abs)

(IV-8) Gravedad específica Bulk agregado grueso (Ge)

(IV-9) Gravedad específica saturada con superficie seca agregado grueso (Ges)

(IV-10) Gravedad específica aparente agregado grueso (Gea)

(IV-11) Porcentaje de absorción agregado grueso (%Abs)

(IV-12) Peso volumétrico suelto (PVS)

(IV-13) Peso volumétrico por varillado (PVV)

(IV-14) Porcentaje retenido parcial

(IV-15) Porcentaje que pasa

(IV-16) Porcentaje desgaste parcial

(IV-17) Equivalente de arena

(IV-18) Porcentaje de desgaste en máquina de los ángeles

(IV-19) Punto de inflamación corregido

(IV-20) Densidad relativa del asfalto

(IV-21) Densidad del asfalto

(IV-22) Índice de penetración

- (V-1) Cantidad de asfalto teórico
- (V-2) Peso de asfalto
- (V-3) Gravedad específica Bulk (Gsb) agregado total
- (V-4) Gravedad específica efectiva (Gse) agregado total
- (V-5) Vacíos en el agregado Mineral (VAM)
- (V-6) Porcentaje de vacíos (Va)
- (V-7) Vacíos llenados con asfalto (VAF)
- (V-8) Densidad teórica máxima (Gmm)

Índice de gráficos

- Gráfico N° IV.1** Curva granulométrica del agregado grueso
- Gráfico N° IV.2** Curva granulométrica del agregado medio
- Gráfico N° IV.3** Curva granulométrica del agregado fin
- Gráfico N° IV.4** Carta de viscosidad
- Gráfico N° V.1** Curva granulométrica de la mezcla asfáltica
- Gráfico N° V.2** % Va vs % Asfalto
- Gráfico N° V.3** % VAF vs % Asfalto
- Gráfico N° V.4** % VAM vs % Asfalto
- Gráfico N° V.5** Estabilidad vs % Asfalto
- Gráfico N° V.6** Flujo vs % Asfalto
- Gráfico N° V.7** Densidad Bulk vs % Asfalto
- Gráfico N° VI.1** Densidad Bulk vs % Aditivo Zycotherm

- Gráfico N° VI.2** % Va vs % Aditivo Zycotherm
- Gráfico N° VI.3** % VAM vs % Aditivo Zycotherm
- Gráfico N° VI.4** % VAF vs % Aditivo Zycotherm
- Gráfico N° VI.5** Estabilidad vs % Aditivo Zycotherm
- Gráfico N° VI.6** Flujo vs % Aditivo Zycotherm
- Gráfico N° VI.7** Densidad Bulk vs % Aditivo Súrfax TB-1
- Gráfico N° VI.8** % Va vs % Aditivo Súrfax TB-1
- Gráfico N° VI.9** % VAM vs % Aditivo Súrfax TB-1
- Gráfico N° VI.10** % VAF vs % Aditivo Súrfax TB-1
- Gráfico N° VI.11** Estabilidad vs % Aditivo Súrfax TB-1
- Gráfico N° VI.12** Flujo vs % Aditivo Súrfax TB-1

Índice de anexos

- Anexo 1** Ensayo de durabilidad de los áridos a la acción de sulfatos (Parte a)
- Anexo 2** Ensayo de durabilidad de los áridos a la acción de sulfatos (Parte b)
- Anexo 3** Ensayo de abrasión e impacto por la máquina de los Ángeles
- Anexo 4** Ensayo de granulometría del agregado grueso
- Anexo 5** Ensayo de granulometría del agregado medio
- Anexo 6** Ensayo de granulometría del agregado fino
- Anexo 7** Ensayo de equivalente de arena para agregado fino
- Anexo 8** Ensayo de densidad, densidad relativa y absorción del agregado fino

- Anexo 9** Ensayo de densidad, densidad relativa y absorción del agregado grueso y medio
- Anexo 10** Ensayo de densidad aparente y huecos en el agregado grueso y medio
- Anexo 11** Ensayo de densidad aparente y huecos en el agregado fino
- Anexo 12** Ensayo de ductilidad
- Anexo 13** Ensayo de viscosidad a varias temperaturas
- Anexo 14** Ensayo de viscosidad absoluta
- Anexo 15** Ensayo de punto de ablandamiento (anillo y bola)
- Anexo 16** Ensayo para determinar el cambio de masa (RTFO)
- Anexo 17** Ensayo de punto de chispa y llama con el equipo de copa abierta Cleveland
- Anexo 18** Ensayo de penetración
- Anexo 19** Ensayo de densidad por el método del picnómetro
- Anexo 20** Ensayo RICE, Mezcla asfáltica caliente con 4.5% de asfalto
- Anexo 21** Ensayo RICE, Mezcla asfáltica caliente con 5.0% de asfalto
- Anexo 22** Ensayo RICE, Mezcla asfáltica caliente con 5.5% de asfalto
- Anexo 23** Ensayo RICE, Mezcla asfáltica caliente con 6.0% de asfalto
- Anexo 24** Ensayo RICE, Mezcla asfáltica caliente con 6.5% de asfalto
- Anexo 25** Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con 6.0% (% asfalto óptimo)
- Anexo 26** Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-al 2.0%
- Anexo 27** Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-al 2.5%
- Anexo 28** Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-al 3.0%
- Anexo 29** Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-al 3.5%
- Anexo 30** Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-al 4.0%
- Anexo 31** Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm al 0.025%

- Anexo 32** Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm al 0.050%
- Anexo 33** Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm al 0.075%
- Anexo 34** Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm al 0.100%
- Anexo 35** Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm al 0.125%
- Anexo 36** Datos de briquetas (Parte 1)
- Anexo 37** Datos de briquetas (Parte 2)
- Anexo 38** Datos de briquetas (Parte 3)
- Anexo 39** Datos de briquetas (Parte 4)
- Anexo 40** Datos de briquetas (Parte 5)
- Anexo 41** Ensayo Marshall en mezcla asfáltica caliente (estabilidad vs flujo) - Parte 1
- Anexo 42** Ensayo Marshall en mezcla asfáltica caliente (estabilidad vs flujo) - Parte 2
- Anexo 43** Ensayo Marshall en mezcla asfáltica caliente (estabilidad vs flujo) - Parte 3
- Anexo 44** Ensayo Marshall en mezcla asfáltica caliente (estabilidad vs flujo) - Parte 4
- Anexo 45** Ensayo Marshall en mezcla asfáltica caliente (estabilidad vs flujo) - Parte 5
- Anexo 46** Ensayo Marshall en mezcla asfáltica caliente (estabilidad vs flujo) - Parte 6
- Anexo 47** Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia sin aditivo (estabilidad vs flujo)
- Anexo 48** Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-1
(estabilidad vs flujo) - Parte 1
- Anexo 49** Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-1
(estabilidad vs flujo) - Parte 2
- Anexo 50** Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-1
(estabilidad vs flujo) - Parte 3
- Anexo 51** Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-1
(estabilidad vs flujo) - Parte 4

- Anexo 52** Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-1
(estabilidad vs flujo) - Parte 5
- Anexo 53** Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm (estabilidad vs flujo) - Parte 1
- Anexo 54** Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm (estabilidad vs flujo) - Parte 2
- Anexo 55** Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm (estabilidad vs flujo) - Parte 3
- Anexo 56** Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm (estabilidad vs flujo) - Parte 4
- Anexo 57** Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm (estabilidad vs flujo) - Parte 5
- Anexo 58** Análisis de precios unitarios de mezcla asfáltica convencional de material suelto en planta
- Anexo 59** Análisis de precios unitarios de mezcla asfáltica tibia con Aditivo Zycotherm al 0.100%, de material suelto en planta
- Anexo 60** Análisis de precios unitarios de mezcla asfáltica tibia con Aditivo Zycotherm al 0.125%, de material suelto en planta

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

A través de los años, el desarrollo de mezclas asfálticas ha tenido grandes avances tecnológicos, brindando una mejora a las características físico mecánicas del pavimento. Esto ha detonado un nivel de servicio excelente para los usuarios en el sector de transporte.

Los pavimentos flexibles son los más usados para carreteras, debido a su bajo costo de construcción en comparación a pavimentos rígidos, los cuales tienen un precio elevado. Para realizar los pavimentos flexibles se usan mezclas asfálticas en caliente generalmente, y mezclas asfálticas frías. La diferencia entre ambos, a parte de la temperatura a la que están sometidas, es la resistencia y durabilidad.

Las mezclas asfálticas calientes, tienen una mayor resistencia y durabilidad que las mezclas en frío. Debido a este problema, se desarrollaron las mezclas asfálticas tibias, las cuales tienen una temperatura menor de hasta 60°C, comparado con la temperatura de las mezclas asfálticas en caliente.

En los últimos años se ha generado una nueva forma de crear estas mezclas, el cual es conocido como mezclas asfálticas tibias (WMA). Estas son mezclas asfálticas que reducen la temperatura de producción, diseño y compactación, evitando variar las características reológicas del asfalto una vez colocado para su uso. Haciéndola más segura y óptima al momento de colocar el asfalto. Los asfaltos calientes no son capaces de soportar ciertas condiciones climáticas en su colocación como la lluvia, para ello se empleaba las mezclas en frío, teniendo como problemática su reducción de durabilidad y resistencia a agentes externos en comparación con el asfalto caliente. (Gutiérrez Muñiz, 2013)

En Ecuador, la red vial estatal tiene alrededor de 11 280.63 Km de vías intervenidas. Entre ellas, el 65.34% de vías se encuentran en buen estado. Dentro de la red vial estatal del Ecuador, actualizada hasta la fecha de septiembre del 2019, la provincia de Pichincha cuenta con una red de 548.49 km de los que el 38.45% se encuentran en condiciones de precaución. (MTOPE, 2019)

1.2. Justificación

El presente trabajo se debe a que, el Distrito Metropolitano de Quito se encuentra en un estado de emergencia de pavimentación. Usualmente se lo realiza con pavimento caliente debido a su gran resistencia y durabilidad. Pero en la presente fecha, el tiempo climático es un factor determinante en el proceso de pavimentación, el cual reduce la optimización del uso de este tipo de asfalto y notablemente la productividad que afecta a la ciudad. Otro factor importante es la distancia de acarreo de los materiales desde la planta hasta la obra, por las elevadas temperaturas en la que la mezcla asfáltica se fabrica, tiende a oxidar a los agregados, por lo que el uso de mezclas asfálticas tibias, nos ayuda a obtener un óptimo porcentaje de vacíos evitando el problema de oxidación.

Se realizará ensayos en laboratorio, usando el método Marshall, a diferentes porcentajes del aditivo Súrfax TB - 1, para obtener el porcentaje óptimo de aditivo que debería usarse específicamente en la mezcla de agregados. De igual manera se aplicará el método Marshall al aditivo Zycotherm con la finalidad de comparar y concluir cual aditivo tiene un mejor desempeño y el porcentaje óptimo para los materiales provenientes de la mina Osorio - Río Pita la cual provee el material pétreo fino y de la mina Mulaló la cual es la que provee el agregado grueso y medio.

La mina Osorio y la mina Mulaló, las cuales proveen el material para la pavimentación dentro del Distrito Metropolitano de Quito, están a cargo del Ing. Marco Naranjo, el cual desempeña el trabajo de reconstrucción y repavimentación.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Evaluar los porcentajes de aditivos en mezclas asfálticas tibias, utilizando las marcas Súrfax TB – 1 y Zycotherm, con materiales provenientes de las minas de Mulaló y Osorio, propiedad del Ing. Marco Naranjo.

1.3.2. Específicos

- Determinar las características geomecánicas de los materiales provenientes de las minas de Mulaló y Osorio, mediante ensayos en laboratorio.
- Determinar las características y propiedades del asfalto AC-20 a utilizar en la mezcla asfáltica.
- Modelar pavimento flexible con mezcla asfáltica caliente utilizando asfalto AC-20.
- Ensayar los modelos de mezcla asfáltica caliente por método Marshall.
- Obtener el porcentaje óptimo de asfalto requerido.
- Modelar briquetas con mezcla asfáltica tibia, con el porcentaje de asfalto óptimo obtenido.
- Modelar pavimentos flexibles con mezcla asfáltica tibia a 5 diferentes porcentajes del aditivo Súrfax TB - 1 mediante el método de Marshall.
- Ensayar las briquetas con aditivo Súrfax TB - 1.
- Evaluar resultados entre diferentes porcentajes de aditivo Súrfax TB - 1.
- Modelar pavimentos flexibles con mezcla asfáltica tibia a 5 diferentes porcentajes del aditivo Zycotherm mediante el método de Marshall.
- Ensayar las briquetas con aditivo Zycotherm.
- Evaluar resultados entre diferentes porcentajes de aditivo marca Zycotherm.

- Comparar resultados entre los resultados óptimos de los ensayos de cada aditivo.

1.4. Alcance

Para el análisis y desarrollo del proyecto, se ensayarán 15 briquetas de pavimento flexible en caliente sin aditivo presente, con el cual se obtiene el porcentaje de asfalto óptimo. Luego se realizará 3 briquetas con el porcentaje óptimo obtenido anteriormente, cambiando la temperatura de mezcla y compactación al rango de una mezcla asfáltica tibia, libre de aditivos, el cual será el punto inicial sirviendo como parámetros base para realizar el análisis posterior entre mezclas asfálticas tibias con aditivo Súrfax TB-1 y Zycotherm.

Se realizará un total de 15 briquetas con el aditivo Súrfax TB - 1, dentro del rango propuesto en la ficha técnica del aditivo. Se modelará 3 briquetas por cada porcentaje de aditivo que se varíe en laboratorio. La variación del aditivo se realizará dentro del rango base recomendado en la ficha técnica. Las variaciones se realizarán desde el 2% al 4% de aditivo por mezcla asfáltica, con un intervalo de 0.5% entre ellas. Obteniendo de esta forma un total de 15 briquetas con aditivo Súrfax TB - 1.

Del mismo modo se procederá a realizar ensayos con el aditivo Zycotherm. Se realizará 15 briquetas en total dentro del rango del porcentaje de aditivo recomendado por el proveedor, 3 briquetas por cada variación de porcentaje del aditivo, el cual cambiará en 0.025% dentro del rango dispuesto en la ficha técnica. El rango va de 0.025% a 0.1%, el cual se extenderá a 0.125% para obtener un total de 5 porcentajes, obteniendo un total de 15 briquetas con aditivo Zycotherm. Llegando así a un total de 48 briquetas de ensayo a lo largo de toda la investigación.

Con ello se realizará un análisis comparativo obteniendo el mejor aditivo con su porcentaje óptimo, para la construcción de pavimentos flexibles con mezclas asfálticas en tibio para la ciudad de Quito.

CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO

2.1. Cronología del Asfalto

Desde hace muchos siglos atrás, existe el ingenio de las personas por mejorar sus condiciones de traslado de un punto a otro punto, de una manera más eficaz, con mayor rapidez y con mayor seguridad, dando lugar a uno de los descubrimientos más importantes en el área de la construcción, el asfalto. Con el paso del tiempo, ha evolucionado científicamente convirtiéndose en la materia prima para la construcción de vías, que hasta el presente sigue siendo el material principal para la creación de vías, tanto ha sido así que, se tiene conocimiento de que el asfalto ha sido usado desde la antigua Babilonia (625 A.C) como material para construcción de carreteras. Los antiguos griegos también fueron grandes usuarios de este elemento, y lo denominaron “asfaltos” que traducido al castellano quiere decir “seguro”, he ahí el origen del nombre de asfalto.

El asfalto ha sido usado a lo largo del tiempo como material de sellado o impermeabilizante. En Roma, se usaba este material asfáltico como impermeabilizante para generar un mejor sistema hidro sanitario en baños y acueductos. En Mesopotamia en cambio su uso era similar al de los romanos, usado en sistemas hidro sanitarios para embalses de agua o tanque de agua, y en tiempos de faraones egipcios, se usó como material de recubrimiento de rocas a orillas del río Nilo, previniendo así la erosión del suelo generada por las crecidas del río, dando como resultado un material tanto óptimo como eficaz además de estético, que hasta la actualidad sigue siendo muy usado por la sociedad.

Civilizaciones antiguas descubrieron en el asfalto un medicamento, que se sigue usando hasta la época actual. Utilizándolo en tratamientos de enfermedades de la piel o desinfectante tópico. Debido a sus propiedades de combustión, fue usado con fines de uso

bélicos, creando así bolas de betún encendidas, las cuales eran arrojadas por catapultas, o creando pozos en formas de baño incandescente, hasta la Edad Media.

El betún natural fue descubierto por Cristóbal Colón, a mediados del siglo XVI, en el sector que actualmente es de Trinidad y Tobago. Walter Raleigh tomó posesión del lago natural de betún para la Corona Británica, un siglo después de su descubrimiento.

En el año de 1712, se realizó uno de los más grandes descubrimientos en la historia humana a cargo del griego Eirini D'Eyrinis, el cual, dio con la ubicación de dos grandes pozos de asfalto natural los cuales son Val Travers ubicado en Suiza y Seyssel ubicado en el Valle de Ródano. El descubrimiento de estos pozos naturales de asfalto dio paso a la creación del “mastic de asfalto” el cual se coloca en forma de capas en el revestimiento de caminos y senderos, siendo las ciudades de Burdeos y Lyon (Francia), en aplicar esta tecnología. Con ello, Lord Dundonald experimentó el uso de alquitrán y barniz de hulla para determinar su calidad. (Wulf Rodriguez, 2008)

La compañía Pillot et Eyquem, desarrolló adoquines asfálticos sólidos de alta resistencia, usados en la pavimentación de la Plaza de la Concordia y los Campos Elíseos ubicados en París. Quince años más tarde, se construyen las primeras vías de alta velocidad en París, dando comienzo a las construcciones viales con el asfalto de Val Travers. (Mail Coyopotl & Salinas Hernández, 2006). El uso del bitumen de Val de Travers fue un éxito, por lo cual se implementó en Inglaterra en 1869. El país de Estados Unidos adopta el procedimiento un año después, siendo el inicio del uso del asfalto en la construcción de vías.

En 1876, desarrollaron el primer pavimento tipo Sheet Asphalt, con asfalto virgen importado. Quince años más tarde se inicia el desarrollo de la mezcla asfáltica caliente, las cuales fueron usadas en las avenidas de París, con asfalto natural procedente de la Isla de Trinidad. (Wulf Rodriguez, 2008)

En 1902, Estados Unidos inicia el uso de asfaltos derivados del petróleo. Notando que, se obtuvo beneficios en economía y pureza, este tipo de asfalto se convierte en la mayor fuente de abastecimiento hasta la actualidad. (Wulf Rodriguez, 2008)

2.2. Ubicación geográfica de la planta asfáltica Naranjo López

Los materiales utilizados en el diseño de mezclas asfálticas, pertenecen a la mina Mulaló para el agregado grueso y medio, y la mina Osorio para el agregado fino. Estos materiales se encuentran en la planta asfáltica Naranjo López, perteneciente al Ing. Marco Naranjo, ubicada en la provincia de Pichincha, vía a Pifo, sector de Píntag, con coordenadas $0^{\circ}17'37.79''S$ en latitud y $78^{\circ}21'52.81''O$ en longitud.



Fotografía N° II.1 Ubicación geográfica planta asfáltica Naranjo López

Fuente: Google Earth Pro, 2020

2.3. Agregado mineral

2.3.1. Origen y composición

El agregado es de origen aluvial y volcánico que ha pasado por un proceso de trituración. Todo el material ha sido pasado por la trituradora cuaternaria o VSI. Según la sección 811-2.02 de las especificaciones que rigen en el país, el material corresponde a un material tipo A el cual indica que todo el material es obtenido por medio de trituración.

(MOP-001-F, 2002)

Las mezclas asfálticas tendrán material pétreo clasificado por su tamaño máximo nominal. La clasificación de los materiales pétreos es en: agregado grueso, medio y fino.

2.3.2. Características del agregado

Los agregados tienen características, físicas y mecánicas, que deben ser evaluadas por las especificaciones correspondientes. (MOP-001-F, 2002) que actualmente rige en el país. Las especificaciones se basan en varias normativas como INEN, AASTHO y ASTM. Estas normas son las que abordan los rangos mínimos y máximos de las características que debe tener el agregado para que sea apto para la construcción de pavimentos.

2.3.3. Agregado grueso y medio (Mina Mulaló)

El agregado medio y grueso provienen de la mina Mulaló, teniendo un origen aluvial y volcánico, los cuales han sido pasados por una trituradora cuaternaria.

2.3.4. Agregado fino (Mina Osorio)

El agregado fino se obtiene de la mina Osorio, el cual tiene como origen piedras en canto rodado. El material es triturado por medio de la trituradora VSI, obteniendo material fino triturado con tamaño máximo nominal de 4.75mm.

2.4. Estructura de la vía

Con la aparición y desarrollo, de la industria automotriz se obtuvo un gran avance tecnológico e investigativo en las nuevas formas de construir carreteras y calles a finales del siglo pasado. Desde ese momento, tanto la tecnología como los métodos constructivos, han ido evolucionando, mejorando la calidad y la optimización constructiva a grandes pasos. En la actualidad, los equipos y los procesos de fabricación usados para la elaboración y construcción de la estructura vial asfáltica tienen un gran avance tecnológico.

Una frase que ha surgido entre constructores y no ha tenido cambios durante el desarrollo vial es: Una buena estructura vial es tan buena como su material empleado y su proceso constructivo.

La infraestructura vial, denominada de forma técnica como, carpeta asfáltica, es el conjunto de diferentes componentes colocados en un orden específico, dependiendo de las solicitudes a las cuales está expuesto dicho elemento. Debe cumplir con normativas, especificaciones técnicas y diseño. Este elemento transmitirá al usuario, confort en su desplazamiento, visión óptica, seguridad, entre otros, al momento de transitar sobre este elemento estructural. (NEVI 12, 2013)

En este sentido, el Ecuador como una república independiente, creó el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, siendo la entidad competente para controlar y generar regulaciones, programas y proyectos planificados, para garantizar un sistema de transporte estandarizado regido por normas internacionales de primera, con el objetivo de lograr un desarrollo económico, social y medio ambiental. Tomando en cuenta que ninguna herramienta constructiva puede generar una construcción de calidad si los materiales y las técnicas son defectuosas.

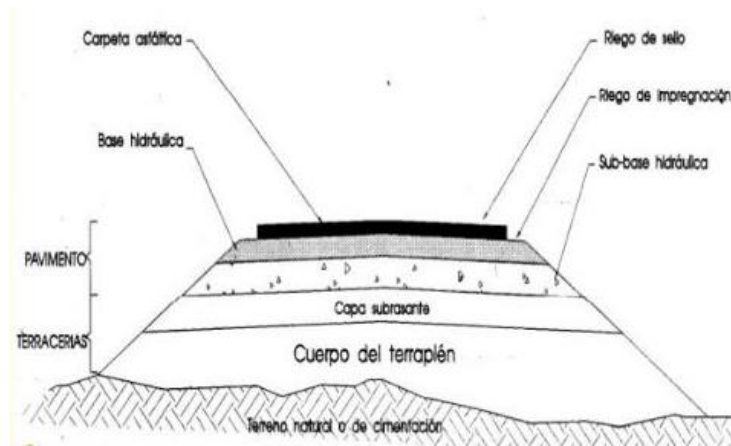


Ilustración II-1 Representación esquemática de la estructura vial,
Fuente: (M.T.O.P, 2003)

2.4.1. Capa de rodadura asfáltica flexible

Los pavimentos flexibles son los que caracterizan a la estructura vial por su comportamiento mecánico, el cual, puede ser flexible o elástico ante las cargas provenientes de los ejes vehiculares.

La capa de rodadura asfáltica flexible está conformada por una capa bituminosa, la cual, es la que tiene mayor capacidad de resistencia y es la más costosa económicamente con respecto a las otras dos capas que se encuentran por debajo, la base y la sub base, que son las más económicas y tiene menor capacidad de resistencia con respecto a la capa de rodadura.

La elaboración de este tipo de pavimentos se genera especialmente en sectores densamente poblados, dando como resultado un pavimento de alta calidad y económico con respecto a otros tipos de carpetas asfálticas. Poseen un periodo de vida alrededor de 10 – 15 años, tomando en cuenta que requiere mantenimiento periódico en intervalos de tiempo más cortos para cumplir con su periodo de vida útil de diseño.

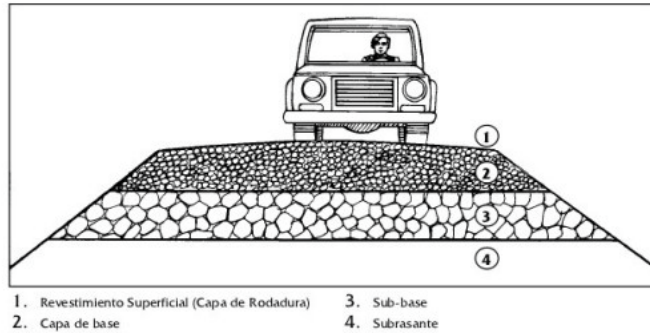


Ilustración II-2 Ubicación de la capa de rodadura.

Fuente: <https://sites.google.com/site/losbacheseniztapalapa/causas-del-problema>

Este tipo de estructura asfáltica se caracteriza, por la transmisión de esfuerzos de carga desde la capa de rodadura hasta la sub rasante en forma descendente llegando a la disipación de la energía transmitida por los ejes de los automóviles que transitan. (Institución Mexicana de Transporte, 2002).

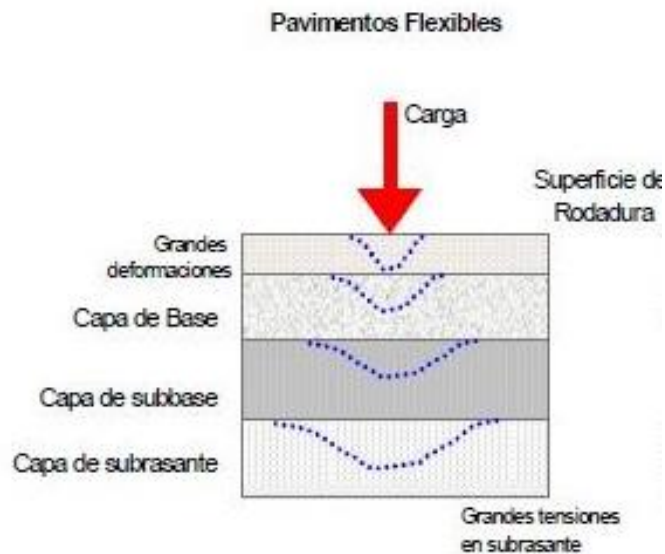


Ilustración II-3 Esquema de comportamiento del pavimento flexible.

Fuente: Elementos de la estructura del pavimento

2.4.2. Asfalto

Es la materia prima cementante para la conformación de la capa de bituminosa, el cual se extrae de depósitos naturales o de un proceso de destilación proveniente del petróleo, con características propias como viscosidad, pegajosidad y de color negro.

Además, es un material altamente impermeable, cohesivo y adherente, con lo cual, es óptimo para altos esfuerzos instantáneos y cargas permanentes. Al calentarse el material su estado varía de sólido a líquido, lo cual, permite envolver a los agregados de manera eficiente y con ello producir la capa de rodadura. Este material, dependiendo de su temperatura, se lo clasifica según su estado como material ligante, sólido o semisólido.

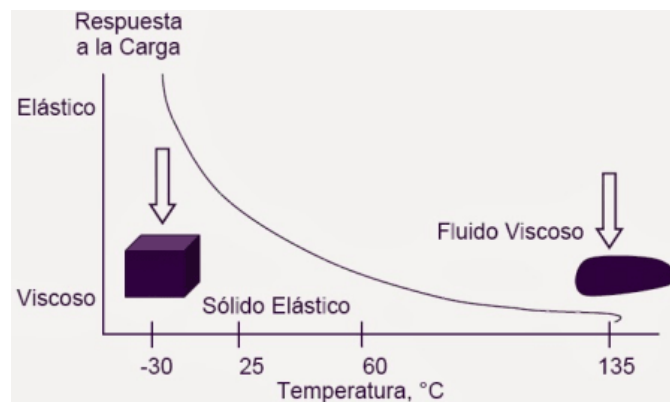


Ilustración II-4 Comportamiento visco - elástico del cemento asfáltico según su temperatura en °C.

Fuente: <http://elcementoasfaltico.blogspot.com/>

2.4.2.1. Tipos de asfalto

La clasificación de los asfaltos dentro de la manufacturación de mezclas asfálticas, depende del uso que se requiera en la vía en las diferentes etapas de elaboración, construcción y mantenimiento. La clasificación del asfalto de acuerdo al uso para pavimentación es:

Cemento asfáltico

Se caracteriza por ser un asfalto obtenido a través de la destilación del petróleo para la purificación y eliminación de solventes volátiles como aceites. Su principal característica que posee es la viscosidad que varía según su temperatura y composición. Otra característica importante son las resinas, las cuales producen adherencia entre el asfalto y los agregados, lo que le permite adherirse totalmente al agregado pétreo cubriéndolo completamente al encontrarse bajo la acción de altas temperaturas. El cemento asfáltico se clasifica bajo el siguiente sistema:

- Viscosidad
- Viscosidad después de envejecimiento
- Penetración
- Grado de desempeño

Tabla II.1 Requisitos para cemento asfáltico graduado por viscosidad

Ensayos	Grado de viscosidad					
	AC - 2.5	AC - 5	AC - 10	AC - 20	AC - 30	AC - 40
Viscosidad. 60°C (140°F). Pa-s (Poises)	25 ± 5 (250 ± 50)	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1000 ± 200)	200 ± 40 (2000 ± 400)	300 ± 60 (3000 ± 600)	400 ± 80 (4000 ± 800)
Viscosidad. 135°C (275°F). mm²/s - mínimo	125	175	250	300	350	400
Penetración. 25°C (77°F). 100 g. 5 s - mínimo	220	140	80	60	50	40
Punto de inflamación. COC. °C (°F) - mínimo	163 (325)	177 (350)	219 (425)	232 (450)	232 (450)	232 (450)
Solubilidad en tricloroetileno, en porcentaje - mínimo	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película delgada en horno						
Perdida por calentamiento, en porcentaje - máximo (opcional)		1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
Viscosidad. 60° (140°F). Pa-s (Poises) - máximo	100 (1000)	200 (2000)	400 (4000)	800 (8000)	1200 (12000)	1600 (16000)
Ductilidad. 25°C (77°F). 5 cm/min, cm - mínimo	100	100	75	50	40	25
Prueba de mancha (cuando y como se especifique) con:						
Solvente normal de nafta	Negativo para todos los grados					
Solvente de nafta - xileno, en porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados					
Solvente de heptano - xileno, en porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados					

Fuente: Norma AASHTO M 226 – 80

Asfalto diluido

Este tipo de asfalto también es conocido en su medio como asfalto rebajado, asfalto fluidificado o asfalto líquido. Como su nombre lo indica son asfaltos que poseen una consistencia fluida. Este tipo de asfalto se obtiene al diluirlo en aceite o fluidificante, generando una baja viscosidad. Este tipo de asfalto se emplea para facilitar la manejabilidad y colocación in-situ, con respecto a los asfaltos normalmente calentados a altas temperaturas.

Este tipo de asfalto es utilizado comúnmente para realizar mantenimiento vial, prolongando la vida útil de la estructura.

Tabla II.2 Tipo de asfaltos diluidos

Curado Rápido (RC)	Curado Medio (MC)	Curado Lento (LC)
Viscosidad Cinemática en Centistokes (Cts.)		
AASHTO M81-92 (2012)	AASHTO M82-75 (2012)	AASHTO D2016-97 (2010)

Fuente: (Ing. Méndez)

Asfalto emulsificado

Este tipo de asfaltos se caracterizan por ser una emulsión, lo que significa que es una dispersión fina establecida entre líquidos no compatibles (compuestos no miscibles) y se encuentran adheridos mediante un emulsificante que genera un asfalto menos volátil. (Ing. Méndez)

Estos tipos de asfaltos contienen dos fases, la fase continua y fase dispersa. Las cuales están conformadas por agua o solución acuosa y asfalto, respectivamente.

Este tipo de emulsiones poseen carbono en su estructura molecular, dando como resultado un peso molecular alto. Dentro de su composición tiene una sección hidrofóbica, que se disuelve en asfalto y otra sección que se disuelve en agua. (Ing. Méndez)

Tabla II.3 Clasificación de emulsiones

Aniónicas	Catiónicas		
AASHTO M140-03	AASHTO M208-01 (2009)		
	Rotura rápida (CRS - 1)	Rotura Media (CMS - 2)	Rotura lenta (CSS - 1)

Fuente: (Ing. Méndez)

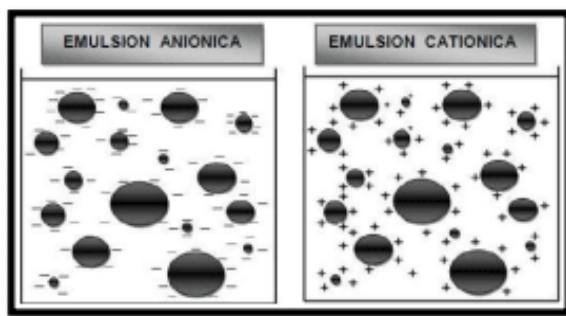


Ilustración II-5 Emulsión aniónica - catiónica.
Fuente: (Ing. Méndez)

2.4.3. Mezclas asfálticas convencionales

2.4.3.1. Definición

La elaboración y fabricación, de una mezcla convencional asfáltica, se genera con la combinación de porcentajes óptimos de agregados pétreos y con un porcentaje óptimo de ligante hidrocarbonado con respecto al porcentaje total del agregado pétreo, este ligante se denomina como aglomerante. (Yepes Piqueras, 2014)

Previamente al proceso constructivo y de elaboración de la mezcla asfáltica, se realizarán procesos normados en laboratorio para la obtención de un aglomerado con características únicas.

El resultado final obtenido es directamente proporcional a la calidad de los materiales usados, y las proporciones usadas para la mezcla, con lo cual nos da como resultado un aglomerado de alto o de bajo rendimiento.

2.4.3.2. Composición

La composición de la carpeta asfáltica, consta de dos partes. La primera parte es la materia prima, la cual, está conformada por porcentajes óptimos de agregados pétreos, tanto de gradación fina y gruesa, conformando el elemento estructural. Para conformar un material denominado como carpeta asfáltica con características mecánicas de mayor capacidad, es indispensable agregar la segunda parte que es un material cementante asfáltico denominado como material conglomerante, con un porcentaje el cual, realiza un proceso de sellado y unificación, dando como resultado la impermeabilización y enlace del agregado pétreo, con mejores características mecánicas dando su nombre como carpeta asfáltica.

2.4.3.3. Agregados

Para la realización o fabricación de mezclas asfálticas o construcción de terraplenes, la utilización del agregado pétreo en porcentajes estimados por laboratorio se compone según su tamaño máximo nominal en estado natural o procesado por su granulometría, el cual, nacen a partir de la degradación de la roca madre. (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

2.4.3.4. Ligante

Los autores definen y establecen conceptualmente a través de estudios y pruebas en laboratorio al ligante como: “Un material, el cual, es proveniente de la destilación del petróleo con propiedades naturales que posee aglomerantes, además de propiedades que facilitan la unión de los agregados pétreos que generan un mejor comportamiento mecánico en la interacción aglomerado y bitumen (ligante)”. (Guerrero Godoy & Pazmiño Chiliza, 2017)

Mientras que el autor establece su origen como: “Dichos ligante son producidos y obtenido con el resultado del proceso de destilación y refinamiento del petróleo en estado natural, existen varios tipos de asfaltos como el crudo de base asfáltica, base parafínica, crudo de base mixta, entre otros”. (Silva, 2015)

2.4.3.5. Propiedades del asfalto convencional

Para generar una mezcla asfáltica convencional de alta calidad es necesario que está posee las siguientes propiedades:

Durabilidad

El Asphalt Institute (2001), estable una definición conceptual para la durabilidad que debe poseer el asfalto, el cual, es la resistencia máxima que debe poseer ante cargas externas y por micro fisuras generadas por intemperización, que es un proceso natural de ciclos consecutivos que generan fallas estructurales en el pavimento llamados baches. Este fenómeno se analiza y se determina el comportamiento del pavimento en laboratorio con ensayos específicos, teniendo en cuenta que su comportamiento deriva de las características del agregado pétreo y del asfalto en nuestro caso del asfalto AC-20, y por último, considerando la mano de obra en construcción con respecto a la eficiencia que esta posee y las condiciones climáticas en in situ.

Por medio de ensayos en laboratorio, nos permiten determinar la durabilidad de los materiales, con lo cual, obtenemos características tales como la capacidad de desempeño que tendrá la carpeta asfáltica antes cargas externas que son proporcionadas por los vehículos, a partir de los resultados también podremos determinar las limitaciones y las especificaciones del material con respecto a la estructura.

Adhesión y cohesión

Se deberá tener en cuenta que la adhesión y la cohesión, son conceptos muy diferentes con respecto a la conformación de una capa asfáltica y no tiene nada que ver una con la otra en el aspecto mecánico que esta otorga a la carpeta asfáltica en funcionamiento.

El Asphalt Institute (2001) establece y determina que la adhesión: es la eficiencia e idoneidad que posee el bitumen procesado para mantener adherido los agregados pétreos en el proceso de mezcla y colocación in – situ.

En cambio, el comportamiento de la cohesión tiene que ver con respecto al tiempo y su eficiencia ante las cargas expuestas, esto quiere decir que es la capacidad de mantenerse adherido los agregados pétreos con el paso del tiempo una vez realizado el proceso de compactación.

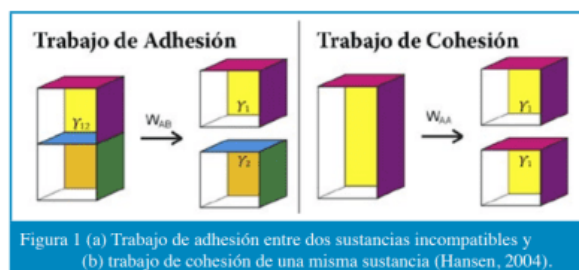


Ilustración II-6 Comportamiento mecánico del trabajo de Adhesión vs Cohesión.
Fuente: (Lanamme, 2014/Enero)

En la actualidad los avances tecnológicos han avanzado a grandes pasos generando ensayos estandarizados que generan respuestas de manera cualitativa y cuantitativa para generar un bitumen de alta calidad, generando errores cada vez menores.

Los estudios desarrollados y normados llevados a cabo por Asphalt Institute (2001), determinan y expresan que el ensayo de ductilidad, no tienen ningún resultado que afirme que la adhesión o la cohesión tengan alguna similitud entre sí. Para generar soporte ante lo anteriormente mencionado existe el ensayo “aprueba – no aprueba”, con lo cual, indica si es lo suficiente mente dúctil con los requisitos establecidos por normativa para determinar un cumplimiento mínimo y normado del desarrollo de la carpeta asfáltica.

Susceptibilidad a la temperatura

Este concepto es un tema muy importante, el cual, es clave para generar un conglomerado eficiente de elementos, ya que el bitumen tiene que ser elevado hasta una cierta temperatura en grados Celsius para permitir su trabajabilidad in – situ en la conformación de la carpeta asfáltica. En muchas circunstancias el asfalto es susceptible de cambios mecánicos en sus propiedades debido a la incidencia de la temperatura modificando sus alcances, por lo cual, estos cambios tienen lugar a nivel físico y químico.

El comportamiento que establece Asphalt Institute (2001) es muy variable, teniendo en cuenta que es un material visco elástico el cual a temperaturas bajas presenta una consistencia dura con alta viscosidad. En cambio, su consistencia presenta cambios muy notables al cambiar su composición de estado sólido a semi sólido con una viscosidad baja. Estos cambios son muy importantes de evaluar, ya que son muy relevantes en el proceso de construcción y mezclado. Es necesario realizar un control de fluidez del asfalto a temperaturas altas que no afecten su calidad en el proceso de envolvimiento del bitumen en los agregados pétreos. Una vez realizado el proceso de colocación es necesario que resultado final presente alta viscosidad para mantener enlazadas las partículas una con otra, además de una adecuada dureza capaz de aportar elasticidad.

Endurecimiento y envejecimiento

La capa asfáltica es un material, el cual, constantemente está expuesto a factores climáticos desfavorables, los cuales influyen el proceso de mezclado y construcción, in – situ que genera una clasificación óptima de elaboración como desfavorable. Los factores más desfavorables para la mezcla asfáltica es la exposición a altas temperaturas por

periodos de tiempo muy prolongados, que genera un envejecimiento del asfalto y un endurecimiento dando paso a fallas por el proceso denominado oxidación.

Para determinar la capacidad que posee el asfalto envejecido se realizara el ensayo denominado prueba de horno por película delgada y prueba de horno giratoria, respectivamente (TFO) y (RTFO). (Silva, 2015)

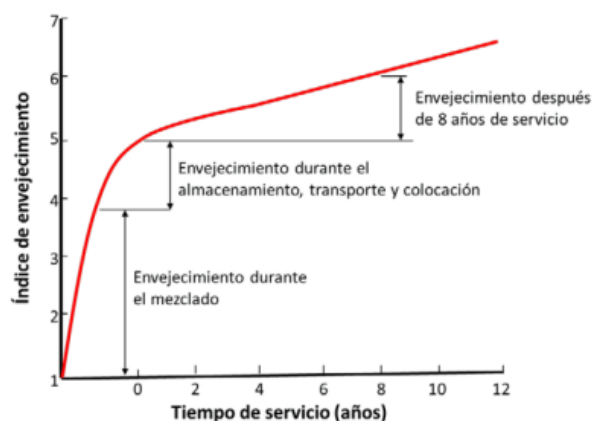


Ilustración II-7 Etapa en proceso de envejecimiento.

Fuente: Read & Whiteoak, 2003

Un comportamiento erróneo del asfalto con respecto al diseño en laboratorio genera un endurecimiento provocado por el choque térmico con el oxígeno, dando como resultado al proceso de oxidación, que se genera temperaturas altas con películas más finas de lo común. Un asfalto con el fenómeno descrito anteriormente provoca un aumento de viscosidad dando como resultado una modificación de las propiedades físico – mecánicas de diseño en su estructura mecánica. Lo cual, se tiene que ajustar las técnicas de mezcla y construcción in – situ. (Asphalt Institute, 2001)

Ductilidad

La ductilidad es la capacidad máxima de medida, a la cual, puede ser tensado una muestra de asfalto antes de la rotura, denominando como ductilidad al hilo que se genera del alargamiento máximo de la muestra de asfalto.

La realización del ensayo a la resistencia, por medio del estiramiento máximo de la muestra, de manera constante, determina si el asfalto o bitumen se comporta elásticamente durante el ensayo ante las deformación constante provocadas por los ejes de los vehículos de dos ejes a seis ejes que están expuestas constantemente, sin embargo, lo más importante ante este ensayo normado es determinar la capacidad o falta de elongación, teniendo en cuenta que las propiedades asfálticas en un bitumen son las que generan aglomerantes de alta calidad. (Asphalt Institute, 2001)

CAPÍTULO III : MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas son diseños estructurales, que son utilizados en construcción de pavimentos industriales, aeropuertos, carreteras, entre otros. Para proporcionar un medio de transporte desde un punto a otro punto con parámetros de seguridad para sus usuarios en todo momento.

Para la elaboración y diseño estructural de una vía, la combinación del asfalto como del agregado pétreo se realiza en proporciones exactas determinadas en laboratorio. Las proporciones a colocar de dichos materiales son los que proporcionan un correcto diseño de carpeta de rodadura.

Visto desde la rama de la química, la composición del material bituminoso tiene varios parámetros que la vuelven compleja. Los asfaltos, químicamente, tienen enlaces anisotrópicos – heterogéneos como discontinuos que lo vuelven coloidal y por otro lado, está constituida por un enlace asfaltenica – sólida como dispersa, por su composición físico – química se lo considera como un material termoplástico, al ser un derivado del petróleo.

Para determinar la funcionalidad de la muestra bituminosa, desarrollada y obtenida en laboratorio, se debe considerar un ensayo de desempeño estructural del pavimento. Para determinar el desempeño de la mezcla asfáltica, se utilizará el ensayo Marshall con sus parámetros establecidos por normativa.

La influencia de estos parámetros, son los que determinan su comportamiento mecánico en funcionamiento en la vida real.

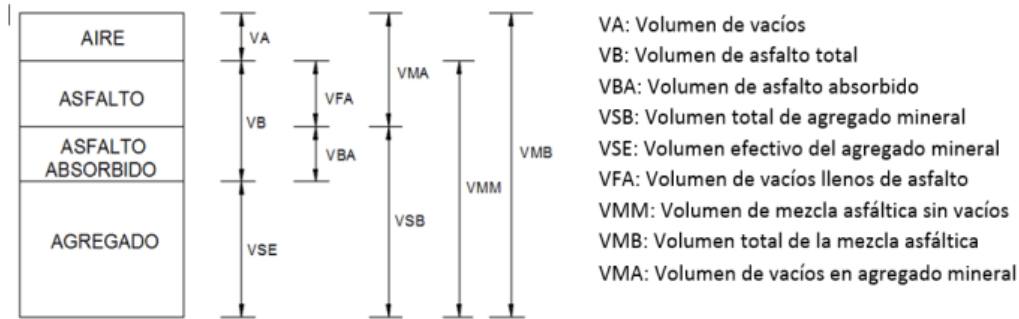


Ilustración III-1 Diagrama de fases de mezclas asfálticas
Fuente: Protocolo AMAAC PA-MA-01/2008

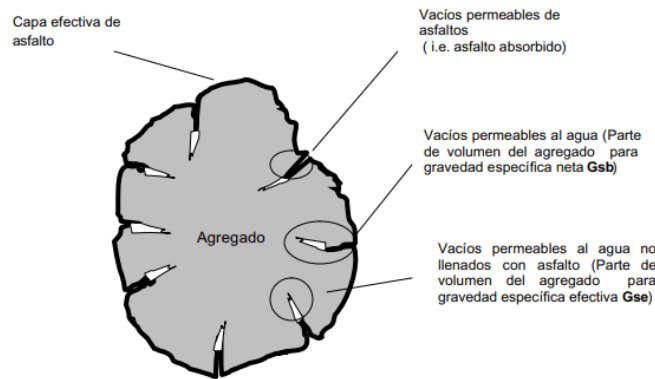


Ilustración III-2 Parámetros de diseño volumétrico.
Fuente: (Sanfandila, 2004)

El ensayo Marshall diseñado y desarrollado por especialistas, tiene como primer objetivo la determinación de la cantidad óptima de asfalto y agregados pétreos para la mezcla asfáltica. El diseño únicamente es válido mezclas asfálticas calientes y tibias, considerando que ambas tienen una temperatura de trabajabilidad mayor a los 100°C de modo que se obtiene la manejabilidad del AC-20.

En el grafico mostrado es posible esquematizar las mezclas asfálticas según su temperatura de ensayo y consumo de combustible.

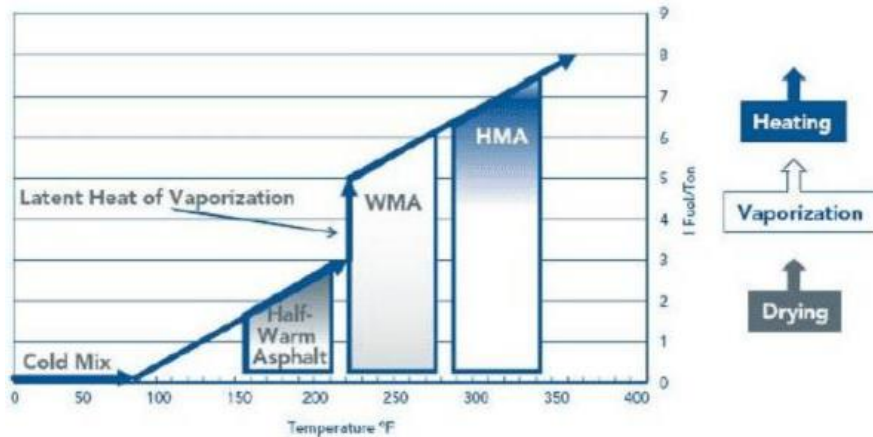


Ilustración III-3 Clasificación de mezclas asfálticas (°F).
Fuente: (España Patente n° 1, 2013)

3.1. Mezclas asfálticas calientes (HMA)

La mezcla asfáltica caliente, es el resultado de varios ensayos previos realizados en laboratorio para determinar las proporciones exactas de asfalto, agregados pétreos, y aditivos, para generar una capa delgada (película) ligante homogénea, el cual, es el resultado de la adhesión entre el asfalto y el material pétreo. La combinación de los materiales para la obtención de la mezcla asfáltica se realiza a una temperatura entre 130° a 160°C, temperatura que se mantendrá constante en el proceso de compactación y aplicación. (Alvarado Cuevas, 2011)

Una mezcla asfáltica en caliente tiene como objetivo mantener la temperatura de diseño constante para todos los materiales que intervienen en ella. El diseño se considera como un proceso tradicional para garantizar un recubrimiento total del agregado en toda su superficie.

Para que la mezcla asfáltica sea considerada caliente, deberá tener los agregados a una temperatura entre los 150° a 160°C, además el asfalto tendrá una temperatura entre los 140° a 150°C y, por último, las briquetas deberán tener una temperatura no menor de 130°C para su compactación.

Al tener en cuenta dichos parámetros se considera una mezcla asfáltica caliente, con lo cual, el ensayo en la máquina compactadora basa el número de golpes con respecto al tipo de tráfico al cual está diseñada la mezcla asfáltica.

La mezcla asfáltica caliente, la cual, oscila sobre los 130°C, en su proceso final de compactación, es conocida como una mezcla tradicional HMA (Hot Mix Asphalt – mezclas asfálticas calientes), estableciendo que en dichas mezclas es muy factible la añadidura de aditivos que mejoran la trabajabilidad o rendimiento con respecto a la mano de obra, por otro lado, dicho material tendrá un 80% de agregados pétreos, aglomerado asfáltico 15,5% y de espacios intersticiales 4,5%. (Harrigan, 2011)

3.2. Mezclas asfálticas tibias (WMA)

A inicios del año de 1995, surgió el desarrollo de mezclas asfálticas tibias (WMA), creado por investigadores. Este método innovador se creó tras la necesidad de una mezcla asfáltica que genere una producción económica más accesible y que mantuviera las mismas características de una mezcla asfáltica caliente. Además del enfoque hacia el medio ambiente para que sea amigable y evitar la producción de los gases de invernadero en su proceso constructivo.

A inicios del siglo 20, se llevaron a cabo los primeros pavimentos tibios con WMA (Warm Mix Asphalt).

Este proceso de fabricación se podría decir que se deriva del proceso tradicional (Mezclas Asfálticas Calientes), pero con la diferencia que este proceso trabaja a temperaturas menores, pero con el mismo objetivo de la mezcla tradicional, teniendo en cuenta que ambos procesos mantienen la filosofía de mantener la temperatura constante para su ensayo.

Para lograr un adecuado proceso de compactación, se consideran las características mecánicas que tienen los materiales de la mezcla bituminosa como el asfalto y el material pétreo. La clasificación de las mezclas asfálticas, pueden ser tibias como calientes.

Se debe considerar que, las características y desempeño de la mezcla asfáltica se mantiene, ya sea en una mezcla asfáltica tibia o caliente. La diferencia radica en el proceso de fabricación ya que disminuye su temperatura de compactación y mezclado, a un rango de 100 a 130 °C. (Rondón Quintana, León Vergara, & Fernández Gómez, 2017)

Algunos investigadores examinaron que la disminución de temperatura de producción para mezcla asfáltica tibias en planta debe ser de 40 °C como mínimo.

Sin embargo existen investigaciones realizadas para generar temperaturas más bajas de compactación con un mínimo de 28°C en el proceso de realización, dando resultados gratificantes ya que con la reducción de temperatura genera una disminución de energías en fabricación y elaboración, con lo que se genera menos gases tóxicos hacia el medio ambiente, y esto genera una pérdida menor en la economía al tener que gastar menos combustible y esta reducción de temperatura es beneficioso ya que envejece menos al bitumen. (Bonaquist, 2005).

Para la fabricación de una mezcla asfáltica tibia existen varias técnicas, como:

- Uso de aditivos químicos para la reducción de la temperatura del asfalto, pero manteniendo su viscosidad para su trabajabilidad.
- Técnicas que incluyen la adición de agua para formar espuma.
- Procesos independientes que involucran la adición de cementos asfálticos blandos, por un lado, y por otro lado cementos asfálticos duros

3.3. Diseño de mezclas asfálticas

Actualmente existen varios procesos para generar un diseño óptimo de mezclas asfálticas, entre las cuales, la más destacada es el Método Marshall. En Ecuador las mezclas asfálticas son generadas a partir de la metodología Marshall, misma que está normalizada por el ministerio regulador correspondiente. El diseño Marshall, en una descripción rápida, consiste en determinar la cantidad óptima de asfalto y agregado pétreo en la mezcla, cumpliendo con los parámetros de diseño especificados.

3.3.1. Método Marshall

Para un buen desarrollo de las mezclas asfálticas, se debe comprender el comportamiento de los materiales involucrados, tanto juntos como por separado. El comportamiento en conjunto de los materiales a través de la combinación en porciones determinadas en laboratorio, ayuda a la obtención del desempeño de la mezcla con parámetros que más se ajusten a las especificaciones técnicas.

Por esta razón el investigador, Bruce Marshall en la década de 1940, creó el ensayo Marshall, el cual fue adoptado y mejorado posteriormente por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE). (Institución Mexicana del Transporte, 2004)

El ensayo Marshall se desarrolló y se perfeccionó, originalmente, para mezclas asfálticas calientes. Tomando en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado pétreo de 25mm (1pulg). La mezcla de los agregados juntos con el bitumen, generan baches denominados briquetas en laboratorio.

Con lo cual, para determinar un correcto desarrollo, se rige por varios parámetros, los cuales son los que determinan la eficiencia del ensayo (Institución Mexicana del Transporte, 2004):

- Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) (Calderón Carrasco & Calderón Saavedra , 2020).
- Vacíos saturados de asfalto (VAF) (Calderón Carrasco & Calderón Saavedra , 2020).
- Porcentaje de vacíos en mezcla asfáltica compacta (Va) (Calderón Carrasco & Calderón Saavedra , 2020).
- Gravedad específica del agregado mineral (Gsb) (Calderón Carrasco & Calderón Saavedra , 2020).
- Gravedad específica en mezcla asfáltica compacta (Gmb) (Calderón Carrasco & Calderón Saavedra , 2020).
- Gravedad teórica de la mezcla asfáltica máxima (Gmm) (Calderón Carrasco & Calderón Saavedra , 2020).

Las características más importantes del método Marshall (Harrigan, 2011):

- a) Los agregados pétreos y el asfalto, deben cumplir con todas las especificaciones técnicas por normativa. (Harrigan, 2011)
- b) El análisis de las mezclas asfálticas de prueba se lleva a cabo con muestras compactadas y desarrolladas en laboratorio (Harrigan, 2011).
- c) La realización del ensayo Marshall para que sea óptimo, debe satisfacer con los requisitos establecidos: VAM y VAF, estabilidad y flujo, esto últimos relacionados con la resistencia y flexibilidad (Harrigan, 2011).

El método Marshall, determina y evalúa ciertos parámetros indispensables para un óptimo funcionamiento de las mezclas asfálticas, los cuales son: Parámetros volumétricos de la mezcla y los agregados, estabilidad y flujo.

Materiales

Como materiales para la mezcla asfáltica tenemos el asfalto AC-20 y el agregado pétreo, los cuales deben pasar por ensayos previos, obteniendo el porcentaje óptimo de agregados para la mezcla y el porcentaje teórico de asfalto para la realización del ensayo Marshall en el laboratorio.

En la caracterización de los agregados pétreos es necesario e indispensable estudiar su granulometría como su peso específico, los cuales, son datos de suma importancia para el diseño por la metodología Marshall. Por otro lado, para caracterizar el asfalto, se realiza la viscosidad dinámica, parámetro que nos permite determinar la temperatura óptima del ensayo Marshall, tanto para compactación y mezcla.

Preparación de probetas

Los ensayos son realizados en moldes especificados en la norma, los cuales son elaborados a partir de los materiales anteriormente especificados. Con la granulometría del material pétreo y sus propiedades volumétricas, se obtiene el porcentaje teórico de asfalto necesario para la mezcla. Tomando como punto de partida el porcentaje teórico de asfalto, se realiza ensayos con una variación de 1% más y 1% menos con un intervalo de 0.5% entre ellas. Se debe realizar mínimo 3 ensayos para cada porcentaje de asfalto, con su respectivo ensayo para determinar la densidad teórica máxima (RICE). Con la finalidad de determinar el porcentaje de asfalto óptimo para la mezcla asfáltica. (ASTM D 6926, 2020)

Análisis y correlación de resultados

Mediante el aparato de ensayo Marshall, se obtiene los datos numéricos del flujo y estabilidad de las probetas de ensayo. Los resultados de las características como el VAF y VAM, se obtienen mediante relaciones volumétricas y ensayos de determinación de volúmenes.

Estos resultados nos permiten correlacionar resultados por medio de gráficas, para obtener el porcentaje óptimo de asfalto necesario para la mezcla asfáltica con los porcentajes de material pétreo usados inicialmente.

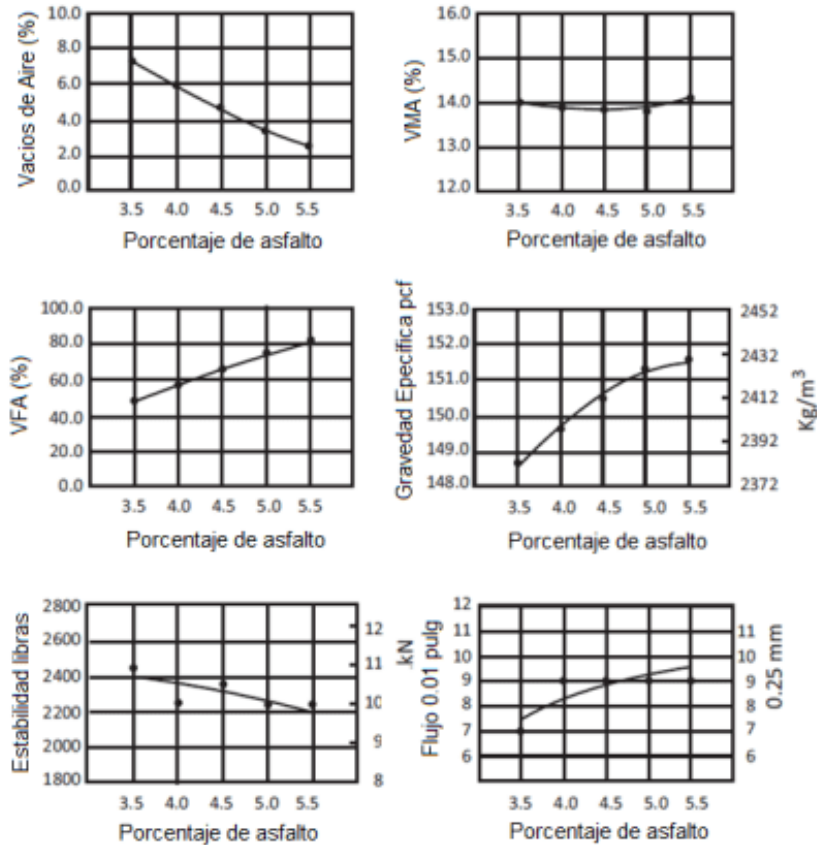


Ilustración III-4 *Propiedades de mezcla asfáltica vs % asfalto*
Fuente: (Calderón Carrasco & Calderón Saavedra , 2020)

Con la metodología Marshall, las gráficas características son el resultado de varios ensayos realizados, como mínimo 3 briquetas, y un RICE, con el objetivo principal de obtener el porcentaje óptimo de asfalto. Adicionalmente obtendremos la sensibilidad de la mezcla asfáltica en laboratorio con la ayuda del estudio de las gráficas de las propiedades de la mezcla en función del porcentaje de asfalto, con lo que se obtiene los siguientes parámetros del comportamiento (Calderón Carrasco & Calderón Saavedra , 2020):

- La estabilidad de la mezcla asfáltica tiene un pico alto con el porcentaje óptimo de asfalto, al incrementar este porcentaje decaerá en la curva.

- El asfalto al ser incrementado en la mezcla asfáltica va de la mano con el valor del flujo aumentando progresivamente uno con respecto a la otra.
- Las gráficas de estabilidad y peso unitario comparten una similitud en análisis.
- En una mezcla asfáltica es recomendable no tener tantos vacíos en porcentaje, por lo tanto, si se incrementa el bitumen disminuye los vacíos, generando un aumento de VAF. (Calderón Carrasco & Calderón Saavedra , 2020)
- El VAM, tiene un comportamiento monótono en decrecer su valor hasta un mínimo debido a la compactación, luego se genera un fenómeno inverso al inicial. Se produce el inverso a unir los agregados pétreos con el bitumen, al incrementar la cantidad de asfalto aglutinante en la mezcla separa a los agregados entre sí.

El porcentaje de aglomerante asfáltico óptimo para ensayar, se selecciona tomando en cuenta todos los parámetros anteriormente vistos. Se recomienda que el diseño cumpla con los porcentajes establecidos en la norma.

Para generar una mezcla asfáltica óptima es necesario tener en cuenta todos los criterios mencionados anteriormente, con lo cual, el porcentaje de asfalto influye directamente en el diseño y como ligante del material pétreo.

Tabla III.1 Criterios Marshall

TIPO DE TRAFICO	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
CRITERIOS MARSHALL								
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 (Va)								
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 de agregados (VAM)	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	----				
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto (VAF)			65	75	65	78	70	80

Fuente: (MOP-001-F, 2002)

Tabla III.2 Porcentaje mínimo VAM

Máximo tamaño de película nominal		Porcentaje mínimo VAM		
		Porcentaje diseño vacíos de aire		
mm	in	3	4	5
1.18	No.16	21.5	22.5	23.5
2.36	No.8	19	20	21
4.75	No.6	16	17	18
9.5	3/8.	14	15	16
12.5	1/2.	13	14	15
19	3/4.	12	13	14
25	1.0	11	12	13
37.5	1.5	10	11	12

Fuente: (MOP-001-F, 2002)

3.4. Aditivos

Con el paso del tiempo se ha desarrollado y mejorado, mediante innovadoras técnicas de fabricación en el campo de la nanotecnología, aditivos que presentan visibles mejoras técnicas y económicas en comparación de aditivos de producción “tradicional”.

Existen varios puntos de vista de investigadores y consumidores de estos productos, que pueden apreciar su mejora en el proceso.

Los aditivos que son productos creados para mejorar el enlace químico entre agregado y asfalto, así como el desempeño final de una mezcla asfáltica. Estos productos son tipo tensos activos. Los tensos activos intervienen superficialmente sobre las propiedades del sistema. Los tensos activos se caracterizan por: una parte al asfalto, conformada por un enlace hidro carbonatada y una parte en agua integrada por grupos funcionales polares. (Vera Moscosa & Rojas Apaza, 2018)

En mezclas asfálticas, los aditivos generados para mejorar las propiedades ligantes se concentran en el proceso de interface agregado – asfalto y se genera en la parte lipofílica del asfalto, por otro lado, la parte hidrofílica se genera en la superficie de los agregados que son grupos polares que generan uniones con el silicato y el carbonato, es decir, al añadir el aditivo genera un enlace químico entre agregado y asfalto, incrementando su resistencia. (Vera Moscosa & Rojas Apaza, 2018)

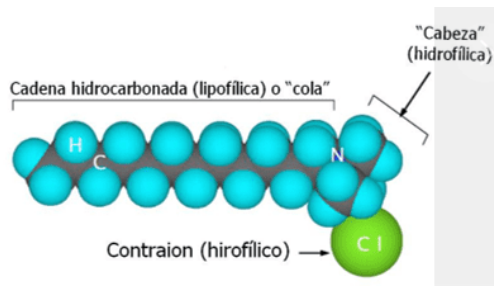


Ilustración III-5 Enlace químico entre asfalto y agregados pétreos.
Fuente: *Asfaltos DGO - Emulsiones asfálticas DGO. S.A. de C. V*

3.4.1. Aditivo Súrfax TB - 1

Es un aditivo diseñado, fabricado y patentado en México, en base a mezcla de amidas formando el compuesto amidoamina, para la producción de mezclas asfálticas tibias mejorando sus características mecánicas. (Google Patents, 2013)

El compuesto de amidoamina, se enfoca en modificar la viscosidad del asfalto, aumentando la adherencia entre materiales de la mezcla asfáltica sin modificar las propiedades iniciales y previniendo un agrietamiento prematuro de la mezcla en el proceso de pavimentación. (Google Patents, 2013)

El compuesto amidoamina es el resultado de la combinación de bis-hexametilentriamina con triestearato, los cuales generan amidoamina. Esta amidoamina resultante puede purificarse para la utilización en mezclas asfálticas, pero este proceso no es indispensable. (Google Patents, 2013)

Los componentes como el estearato de glicerilo con bis-hexametilentriamina, al combinarlos producen una reacción denominada "estéricamente impedida". (Google Patents, 2013)

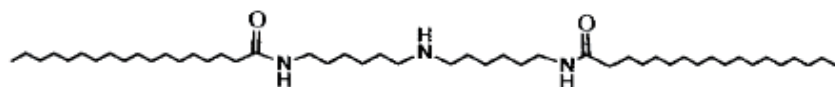


Ilustración III-6 Combinación entre bis-hexametilentriamina y estearato de glicerilo.

Fuente: Macy et al., 2005

El aditivo Súrfax TB-1 está en función a un compuesto de amidas, lo que mejora la adherencia en la mezcla asfáltica, además, también permite una producción y tendido de la mezcla asfáltica a menor temperatura. (Google Patents, 2013)

Ofreciendo mayor resistencia al agrietamiento prematuro y desintegración, mejora la trabajabilidad de la mezcla asfáltica disminuyendo la viscosidad del asfalto dando un mayor tiempo para el proceso de colocación de la capa bituminosa, además influye en la distancia de transporte entre la planta de producción de mezcla y el punto de aplicación.

El aditivo Súrfax TB-1 también es amigable con el ambiente, reduciendo la producción de gases como, compuestos orgánicos volátiles, NOX y CO2, los cuales son la causa del aumento de la temperatura terrestre.

Tabla III.3 Características Físicas Aditivo Súrfax TB-1

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
Color	Café oscuro
Olor característico	Amoniacal
Aspecto a 25°C	Sólido (escama)

Fuente: Ficha técnica Súrfax TB-1

Tabla III.4 Formulaciones Típicas Aditivo Súrfax TB-1

FORMULACIONES TÍPICAS	
Mezcla asfáltica	1000 kg
SÚRFAX TB - 1	20 - 40 kg

Fuente: Ficha técnica Súrfax TB-1

El uso de polímeros dentro de una mezcla asfáltica, para la modificación de sus propiedades mecánicas y reológicas, en el campo de la investigación se denomina asfaltos modificados.

Beneficios del Súrfax TB-1

Al ser un producto mejorador el Súrfax TB-1, genera muchos beneficios tales como:

- Mejora en la trabajabilidad ya que disminuye la resistencia al proceso de mezcla.
- No modifica las cantidades en peso para diseño Marshall con respecto al contenido de asfalto, porcentajes de agregados, entre otros, obtenidos en laboratorio.
- Reduce considerablemente la emisión de gases que contaminan el ambiente, considerándolo amigable con el medio.
- Reduce el consumo de combustible para la producción de la carpeta bituminosa.
- Mejora las características mecánicas de la carpeta asfáltica, evitando valores superiores al recomendado con respecto al porcentaje de vacíos que generan excesiva oxidación, agrietamiento prematuro y desintegración, genera una mejor adherencia en la mezcla asfáltica, reduciendo el porcentaje de vacíos estimados.
- Evita la implementación de agua para su producción.
- Facilita la producción de la mezcla asfáltica ya que no es necesario maquinaria especial para su producción.

3.4.2. Aditivo Zycotherm

El Zycotherm, es un compuesto a base de nanotecnología (organosilanos) en la conformación de la capa bituminosa, que logra un comportamiento mecánico con mejores características físicas proporcionando mayor durabilidad ante el paso del tiempo, con lo cual, genera mejoras apreciables en el proceso de fabricación, extensión y compactación.

Además, el Zycotherm es amigable al medio ambiente ya que es orgánico cuyo componente principal es el silano y es soluble en agua, generando un comportamiento de adherencia óptimo ante temperaturas bajas, produciendo mezclas asfálticas tibias las cuales tienen el mismo comportamiento que una mezcla asfáltica caliente.

Además, los organosilanos son moléculas reactivas que alteran de forma permanente la superficie del agregado pétreo en una superficie compatible con el asfalto que se unen mediante un enlace químico. La nueva interacción química expulsa el aire formando una unión total entre el asfalto y el agregado, evitando que el vapor de agua pueda de laminar.

Tabla III.5 Características Físicas Aditivo Zycotherm

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
Solubilidad	Soluble en agua (10% conc.)
Viscosidad a 25 °C	Menor a 300 cP.s
Punto de inflamación	80 °C
Punto de congelación	5 -7 °C
Densidad	1,01 g/ml
Viscosidad (30 °C)	700±300 cP.s
Apariencia	Líquido amarillo pálido

Fuente: Ficha técnica – Zycotherm

Tabla III.6 Dosificación aditivo Zycotherm

DOSIFICACIÓN		
Ligante	100%	1000 kg
Zycotherm	0,025 - 0,1 %	0,250 - 1 Kg

Fuente: Ficha técnica – Zycotherm

El Zycotherm presenta diferentes comportamientos, ante la secuencia de producción:

- **Fase 1:** En base de ligante

El betún como base ligante a trabajar, se clasifica en dos clases diferentes. Los asfáltenos que son compuestos polares y los máltenos que carecen de polaridad.

Los máltenos son compuestos hidro carbonosos (Aceites y Resinas) provenientes de las parafinas que conforman el asfalto en la fase discontinua y que genera propiedades elásticas.

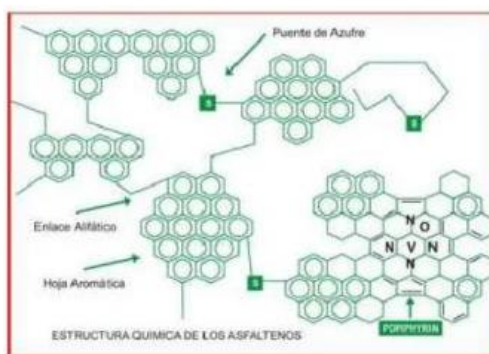


Ilustración III-7 Estructura química de los asfáltenos

Fuente: Cartilla de asfaltos – OSAPAC

Según investigaciones realizadas, las moléculas poseen una parte orgánica ligada con los máltenos y por otro lado una parte polar. Al añadir el aditivo en la composición asfáltica, se genera un comportamiento mecánico de micelación, que produce un recubrimiento

completo entre el agregado y el betún más aditivo, por una combinación de moléculas denominada organosilanos.

Y, por último, los asfáltenos al generar un comportamiento de micelación, se reduce la atracción entre si generando una trabajabilidad con mayor fluidez y facilidad de recubrimiento.

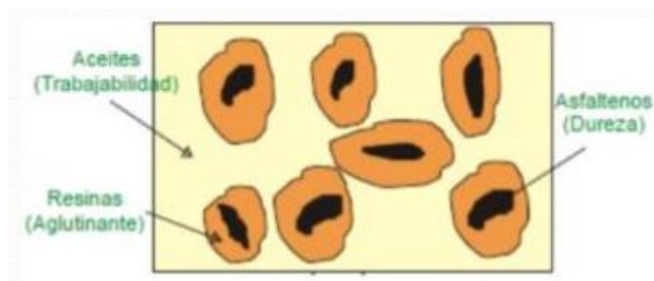


Ilustración III-8 Composición química del asfalto.
Fuente: Cartilla de asfalto – ASOPAC

- **Fase 2:** En contacto de árido.

El aditivo denominado como Zycotherm es un producto que genera una reacción molecular en la superficie de los agregados, conformando uniones de tipo siloxano que poseen una gran resistencia. El Zycotherm genera un cambio a nivel molecular en los áridos, lo cual genera como resultado una adherencia mayor con respecto al betún – árido. Mediante esta acción, la unión entre el agregado y el betún se genera a nivel químico, mejorando así la resistencia ante agentes externos ambientales habituales que degradan el producto final denominada como carpeta asfáltica. (Vera Moscosa & Rojas Apaza, 2018)

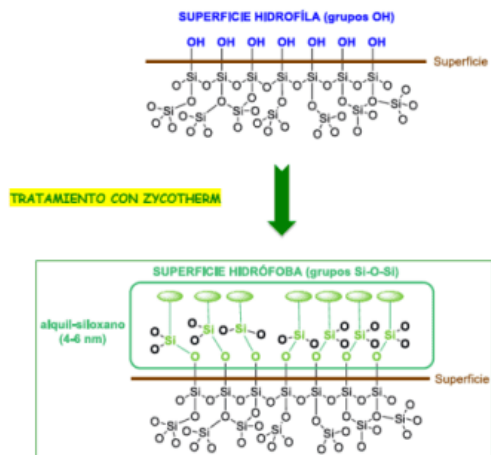


Ilustración III-9 Esquema del enlace químico en superficies áridas de hidrófila a hidrófoba con el uso del Zycotherm.

Fuente: Cartilla de asfalto – ASOPAC

El Zycotherm, al reaccionar con el agregado a nivel molecular, genera una capa hidrófoba, la cual, convierte a los áridos en superficies apolares generando un mejor comportamiento de adherencia entre el betún. Este comportamiento produce una adherencia entre el betún y el árido de 10 a 20 veces mayor que una convencional al no incluir este compuesto. Al generar una mejor adherencia del betún al árido se produce el efecto denominado de cáscara de naranja a cáscara de manzana, lo cual es mejor en términos de descascaramiento de la capa de asfalto pegada al agregado transformándose de una superficie polar a apolar. (Zydex Innovating for Sustainability , 2014_a)

Con la adherencia del aditivo en una mezcla asfáltica, a menor tensión superficial, el betún recubre de mejor manera a los agregados pétreos. Este proceso genera un resultado de un mejoramiento de embebido y saturación de los microporos de los agregados, lo que genera un mejor comportamiento mecánico de la carpeta asfáltica generando menos conformación de rajaduras y baches, los cuales son resultado de cambios climáticos abruptos. (Vera Moscosa & Rojas Apaza, 2018)

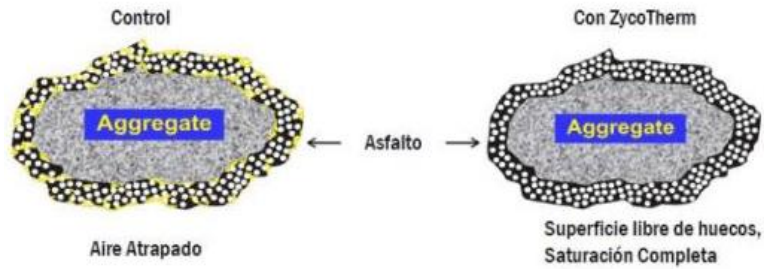


Ilustración III-10 Adherencia superior del agregado - asfalto con Zycotherm.

Fuente: Zydex industries, s.a

Beneficios del Zycotherm

- Disminución considerable del uso de combustibles.
- Reducción de temperatura para mejor manejabilidad para trabajadores.
- Mayores distancias de acarreo del producto.
- Facilidad de limpieza de equipos.
- Genera un mejor comportamiento mecánico entre la interacción del asfalto y los agregados, como un recubrimiento de las partículas por debajo a 75 micras.
- Además, genera una excelente trabajabilidad con polímeros, tales como, SBS, EVA, CRMB, entre otros.

3.5. Propiedades que se benefician de una mezcla combinada

La combinación en una mezcla asfáltica convencional se logra añadiendo un material externo que mejora las propiedades mecánicas de esta combinación como las características del ligante y propiedades reológicas, para un resultado final óptimo. (Cornejo Villacis & Lamiña Asumasa , 2018)

En la elaboración de mezclas asfálticas tibias se debe considerar varios aspectos fundamentales como la rigidez. Con respecto a los polímeros o aditivos, al mezclar un polímero en una mezcla asfáltica caliente se eleva la rigidez a temperaturas extremas altas, evitando deformaciones permanentes. En cambio, a temperaturas bajas la rigidez disminuye evitando que la carpeta asfáltica se fisure, ante acciones de tráfico pesado (Fonseca, 2010).

CAPÍTULO IV ENSAYOS DE MATERIALES

La mezcla asfáltica es una combinación de ligante asfáltico y material pétreo, por lo que se debe estudiar las propiedades de cada elemento por separado, el cual deberá cumplir con las especificaciones registradas en la norma vigente del país (MOP-001-F, 2002), y con las especificaciones en la metodología Marshall.

Se tomarán las normas INEN, ASTM, AASHTO, como línea base para los análisis de los resultados obtenidos en laboratorio, siendo como primer referente la norma INEN ya que es la que rige en el país, en caso que no exista una norma existente, se tomará en cuenta las demás normas.

4.1. Ensayos de agregados

Los agregados son la parte de origen natural e inorgánica de la mezcla asfáltica. Su tamaño está normado por las normas ASTM e INEN. Los agregados son los que influyen considerablemente en la elaboración de la carpeta asfáltica, tanto en su estado inicial como final, económico, entre otros.

El material pétreo forma parte del 75% de la capa de rodadura, de modo que, es necesario el regirse en base a normativas establecidas nacionalmente (INEN) e internacionalmente (ASTM, AASHTO), como controles de calidad, debido que influye directamente en el producto final como en su comportamiento una vez puesta en funcionamiento para el beneficio del usuario.

De este modo se puede determinar las propiedades físico mecánicas del material pétreo involucrado en la mezcla asfáltica en conjunto con el ligante asfáltico para generar la capa

bituminosa, la cual, debe resistir a las acciones de tráfico pesado como a las acciones climáticas.

En la siguiente tabla se especifica las normativas aplicadas que se necesita para determinar las características físico mecánicas de los agregados.

Tabla IV.1 Normas aplicadas en ensayos de agregados

ENSAYO	NORMA ECUATORIANA (INEN)	NORMA INTERNACIONAL (ASTM)
Método de prueba estándar para la resistencia a la degradación de agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina de Los Angeles.	INEN 860	ASTM 131
Método de prueba estándar para el análisis por tamizado de agregados finos y gruesos	INEN 696	ASTM C136
Método de prueba estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregados finos	-----	ASTM D2419
Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregado fino	INEN 856	ASTM C128
Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregado grueso	INEN 857	ASTM C127
Método de prueba estándar para densidad aparente ("peso unitario") y huecos en el agregado	INEN 858	ASTM C29

4.1.1. Granulometría

Norma: (ASTM C 136, 2006), (INEN 696, 2011)

Este ensayo tiene la finalidad de determinar la granulometría de los agregados, independientemente de su tamaño máximo nominal. Esto se logra mediante el proceso de tamizado.

Teniendo en cuenta que los valores indicados están en unidades estándar del SI (Sistema Internacional) y la información proporcionada por la guía ASTM E11, que nos informa de los tamaños de los tamices tanto en pulgadas que son equivalentes a las unidades SI.

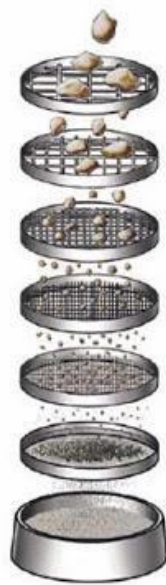


Ilustración IV-1 Imagen descriptiva, proceso de tamización de agregados.

Fuente: (Agregados, 2017)

Con este método se clasifica los materiales de acuerdo al tamaño de sus partículas, los cuales sirven para el diseño de las mezclas asfálticas a desarrollarse en esta investigación.

Se debe tener en cuenta que la determinación del material más fino como arcillas y limos, que son los que pasan el tamiz # 200 (75 μm), no se logra por medio de este método. Para partículas menores a 75 μm , se deberá realizar el método de prueba C 117.

Procedimiento

- Muestrear el agregado de acuerdo a la norma D 75.
- Secar la muestra a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta obtener una masa de muestra constante.
- Una vez secado, se seleccionará tamices correspondientes para ensayar. Se colocarán los tamices con las aberturas en forma descendente desde el más grande al más fino. La colocación de la muestra en los tamices se deberá colocar limitadamente, para que las partículas alcancen las aberturas para una correcta tamización.
- Se agitan los tamices como indica la norma y se separa el material retenido en cada tamiz.
- Pesamos el material retenido en cada tamiz con una balanza normalizada de laboratorio.
- Una vez concluido el proceso de tamizado, se suman los diferentes pesos retenidos en cada tamiz, y se verifica que no exista una variación mayor al 3% con la masa inicial de prueba, en caso de que la variación sea mayor al especificado, se debe repetir el ensayo. (INEN 696, 2011).

Fórmulas

$$PORCENTAJE\ RETENIDO = \frac{PESO\ RETENIDO}{PESO\ TOTAL} * 100 \quad (IV-1)$$

$$\% PASANTE_i = \% PASANTE_{i-1} - \% RETENIDO_i \quad (IV-2)$$

Resultados

Los resultados obtenidos de las masas retenida en los tamices, se reportan en una tabla de porcentajes, independiente una de otra, resaltando la columna del porcentaje total del material pasante y otra columna del porcentaje total del material retenido.

4.1.1.1. Agregado Grueso

Masa seca 5535,00 gr

Tabla IV.2 Granulometría agregado grueso

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET.ACUM.	% RETENIDO	% PASA
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25	11,50	11,50	0,21	99,79
3/4"	19	75,50	87,00	1,57	98,43
1/2"	12,50	4.533,00	4.620,00	83,47	16,53
3/8"	9,50	718,15	5.338,15	96,44	3,56
4	4,75	38,70	5.376,85	97,14	2,86
8	2,36	3,25	5.380,10	97,20	2,80
16	1,18	2,05	5.382,15	97,24	2,76
30	0,600	2,60	5.384,75	97,29	2,71
50	0,300	5,75	5.390,50	97,39	2,61
100	0,150	14,45	5.404,95	97,65	2,35
200	0,075	45,70	5.450,65	98,48	1,52
PASA Nº 200		68,40	5.519,05		

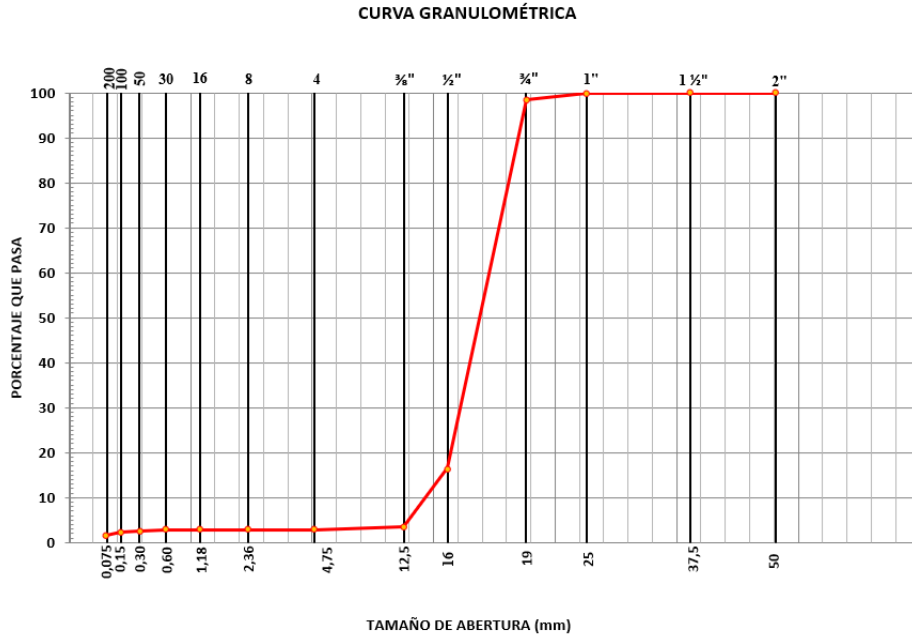


Gráfico N° IV.1 Curva granulométrica del agregado grueso

4.1.1.2. Agregado Medio

Masa seca 2815,00 gr

Tabla IV.3 Granulometría agregado medio

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET. ACUM.	% RETENIDO	% PASA
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	35,50	35,50	1,26	98,74
3/8"	9,50	554,00	589,50	20,94	79,06
4	4,75	1.981,70	2.571,20	91,34	8,66
8	2,36	94,80	2.666,00	94,71	5,29
16	1,18	19,65	2.685,65	95,40	4,60
30	0,600	10,00	2.695,65	95,76	4,24
50	0,300	8,15	2.703,80	96,05	3,95
100	0,150	12,25	2.716,05	96,48	3,52
200	0,075	28,85	2.744,90	97,51	2,49
PASA N° 200		62,15	2.807,05		

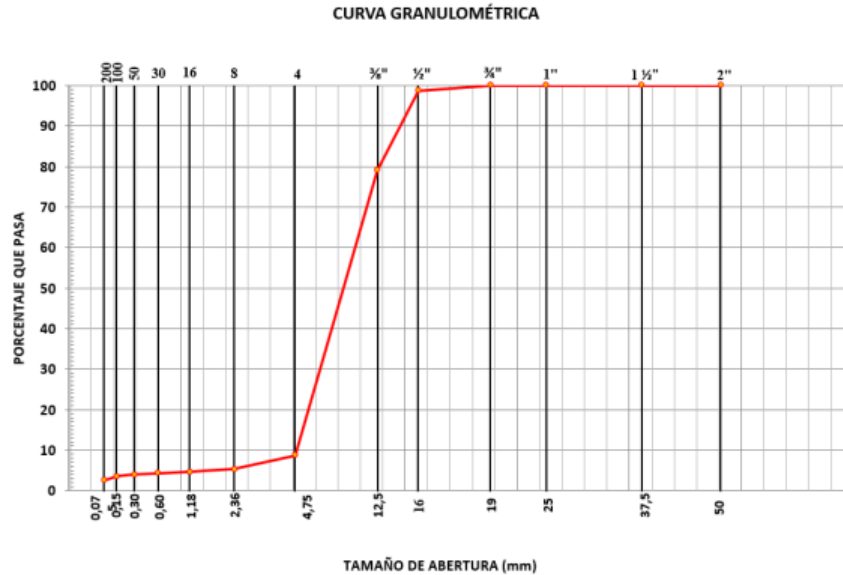


Gráfico N° IV.2 Curva granulométrica del agregado medio

4.1.1.3. Agregado Fino

Masa seca 1640,00 gr

Tabla IV.4 Granulometría agregado fino

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET. ACUM.	% RETENIDO	% PASA
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,0
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	100,0
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,0
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	100,0
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,0
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,0
4	4,75	58,00	58,00	3,54	96,5
8	2,36	370,00	428,00	26,10	73,9
16	1,18	287,90	715,90	43,65	56,3
30	0,600	222,85	938,75	57,24	42,8
50	0,300	190,55	1.129,30	68,86	31,1
100	0,150	175,20	1.304,50	79,54	20,5
200	0,075	152,75	1.457,25	88,86	11,1
PASA N° 200		178,50	1.635,75		

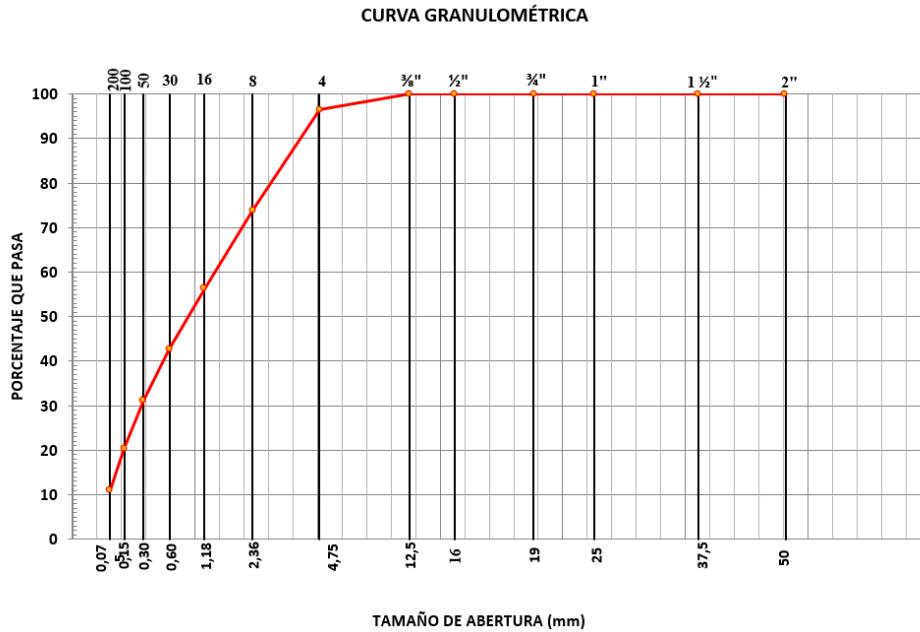


Gráfico N° IV.3 Curva granulométrica del agregado fino

4.1.2. Clasificación de materiales

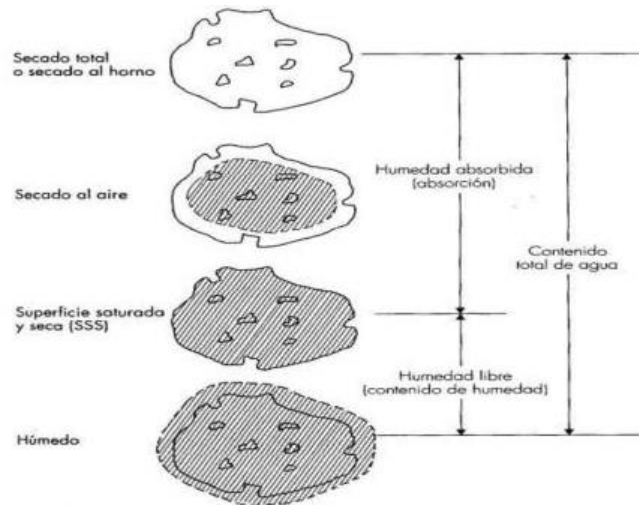
Los materiales se clasifican de acuerdo a su tamaño máximo nominal, obtenidos en los ensayos de granulometría. Con los resultados obtenidos, los clasificamos en tres tipos de agregados: agregado medio, grueso y fino.

4.1.3. Densidad, gravedad específica y absorción del agregado fino

Norma: (ASTM C 128, 2004), (INEN 856, 2010)

El ensayo determina la densidad promedio de la muestra (sin incluir la porosidad del agregado a ensayar), su gravedad específica y absorción del árido fino

De acuerdo a la normativa ASTM C128, el procedimiento a realizar es claro, evitando confusión al momento de obtener los resultados, teniendo en cuenta que la densidad relativa (Bulk), nos ayuda a calcular el volumen que el agregado ocupa en la mezcla.



*Ilustración IV-2 Estados naturales que representa el suelo.
Fuente: Curso Laboratorio Vial Clase C - Rodolfo Jeria H.*

Procedimiento

- Para la realización de este método es necesario tener en cuenta lo que enuncia la norma D75 y C702, para obtención de la muestra.
- Una vez obtenida la cantidad de 1 Kg más o menos, como lo recomienda la normativa C128, se debe secar la muestra por un periodo de 24 horas a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Dicha muestra dejar enfriar a temperatura ambiente, para luego, sumergirla en agua por un lapso de 24 ± 4 horas.
- Decantar el agua en la que se encuentra sumergida el material con cuidado, evitando perder el material.
- Extendemos el material en una superficie plana.
- Secamos el material de manera homogénea con ayuda de un secador.
- Determinamos si el agregado fino es óptimo con la prueba estándar que permite determinar la humedad de superficie.

- Al determinar que la muestra es óptima, se procederá a llenar el picnómetro con 500 \pm 10 gr de agregado y se adiciona agua, hasta llenar un 90% del picnómetro.
- Se realizará, un proceso de eliminación de burbujas de aire en forma manual o mecánica, agitando el picnómetro.
- Una vez libre de burbujas de aire, se introduce el picnómetro en un baño maría a una temperatura de $23^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$, hasta que tenga una temperatura constante.
- Se determina la masa total del conjunto picnómetro, muestra y agua.
- Finalmente, se separa el material del picnómetro y se seca a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$ hasta tener una masa constante. Se deja enfriar al ambiente y pesamos la muestra.

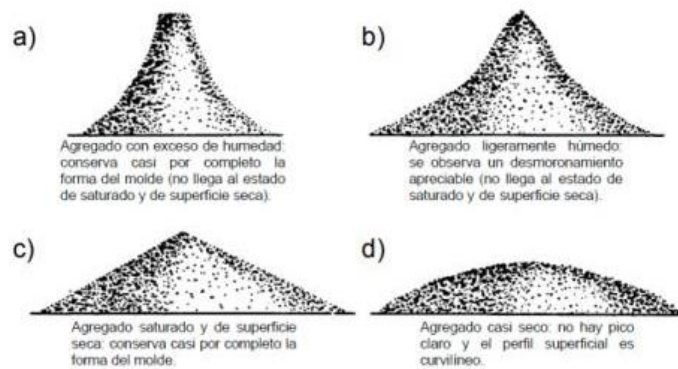


Ilustración IV-3 Comprobación visual del estado saturado a superficie seca.

Fuente: (Ing. Del Valle Castría, 2006)

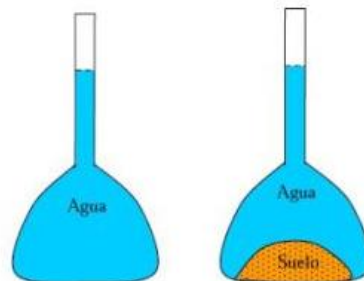


Ilustración IV-4 Representación del picnómetro.

Fuente: <https://www.libreriaingeniero.com/2017/08/peso-especifico-relativo-de-los-solidos-para-arenas-y-finos.html>

Fórmulas

- Masa de agua añadida al matraz (Ma)

$$Ma = Mmw - (Mm + B) \quad (IV-3)$$

Donde:

Mm = Masa del matraz (gr.)

Mmw = Masa del conjunto matraz, agua y muestra (g.)

B = Masa de la muestra saturada con superficie seca (g.)

- Gravedad específica Bulk (Ge)

$$Ge = \frac{A}{500 - Ma} \quad (IV-4)$$

Donde:

A = Masa de la muestra seca (g.)

- Gravedad específica saturada con superficie seca (Ges)

$$Ges = \frac{B}{500 - Ma} \quad (IV-5)$$

- Gravedad específica aparente (Gea)

$$Gea = \frac{A}{500 + A + Mm - Mmw} \quad (IV-6)$$

- Porcentaje de absorción (%Abs)

$$\%Abs = \frac{B - A}{A} * 100 \quad (IV-7)$$

Resultados

Tabla IV.5 Densidad, densidad Bulk y absorción de árido fino

	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
A	Masa de la muestra seca	gr.	4971	5588
B	Masa de la muestra saturada con superficie seca	gr.	5059	5687
C	Masa de la muestra sumergida en el agua	gr.	3049	3439

	DESCRIPCIÓN	RESULTADO 1	RESULTADO 2	PROMEDIO
Ge	Gravedad específica Bulk	2,47	2,49	2,48
Ges	Gravedad específica saturada con superficie seca	2,52	2,53	2,52
Gea	Gravedad específica aparente	2,59	2,6	2,59
%Abs	Porcentaje de absorción	1,77	1,77	1,77

4.1.4. Densidad, gravedad específica y absorción del agregado grueso y medio

Norma: (ASTM C 127, 2004); (INEN 857, 2010)

El ensayo determina el promedio de las densidades en una cantidad determinada de partículas de agregado, sin incluir los espacios intersticiales. Al igual que determina la densidad Bulk y absorción del material ensayado.

Este ensayo no toma en cuenta a los agregados que pasan el tamiz N°4 (agregado fino), ya que estos deben ensayarse con la norma ASTM C128.

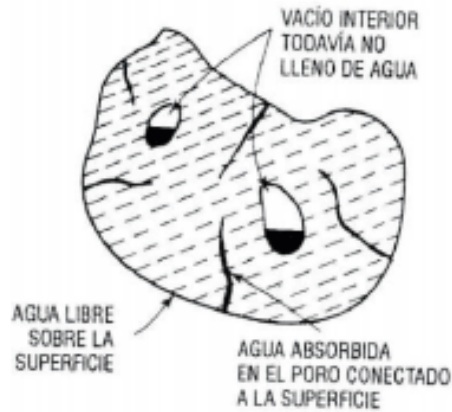


Ilustración IV-5. Distribución de agua en el agregado.
Fuente: Universidad centroamericana - José Simeon Cañas

Procedimiento

- Se realizará un muestreo como lo indica la norma ASTM D75. Además, tomando en cuenta lo que enuncia la norma C702 se realizará una mezcla adecuada del agregado, para reducirla a la cantidad enunciada por la normativa.
- Rechazar todo agregado pasante del tamiz N°4.
- Se limpia el material de partículas finas, esto se logra tamizando el material en seco y posteriormente un proceso de lavado.
- Separamos una muestra de 5000 ± 100 gr.
- El material será secado en un periodo de 24 horas en un horno a 110 ± 5 °C para obtener el peso seco del material.
- Sumergimos el agregado por un periodo de 24 horas en agua, para saturar todos los espacios intersticiales del material y secar de manera superficial en un paño, hasta observar que no exista una película de agua.

Finalmente, ensayar el material sumergiéndolo en agua a una temperatura de 23 ± 2 °C.

(INEN 857, 2010)

Fórmulas

- Gravedad específica Bulk (Ge)

$$Ge = \frac{A}{B - C} \quad (IV-8)$$

Donde:

A = Masa de la muestra seca (gr)

B = Masa de la muestra saturada con superficie seca (gr)

C = Masa de la muestra sumergida en el agua (gr)

- Gravedad específica saturada con superficie seca (Ges)

$$Ges = \frac{B}{B - C} \quad (IV-9)$$

- Gravedad específica aparente (Gea)

$$Gea = \frac{A}{A - C} \quad (IV-10)$$

- Porcentaje de absorción (%Abs)

$$\%Abs = \frac{B - A}{A} * 100 \quad (IV-11)$$

Resultados

Tabla IV.6 Densidad, densidad Bulk y absorción de árido grueso

	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
A	Masa de la muestra seca	gr.	4971	5588
B	Masa de la muestra saturada con superficie seca	gr.	5059	5687
C	Masa de la muestra sumergida en el agua	gr.	3049	3439

	DESCRIPCIÓN	RESULTADO 1	RESULTADO 2	PROMEDIO
Ge	Gravedad específica Bulk	2,47	2,49	2,48
Ges	Gravedad específica saturada con superficie seca	2,52	2,53	2,52
Gea	Gravedad específica aparente	2,59	2,6	2,59
%Abs	Porcentaje de absorción	1,77	1,77	1,77

Tabla IV.7 Densidad, densidad Bulk y absorción de árido medio

	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
A	Masa de la muestra seca	gr.	2353	2165
B	Masa de la muestra saturada con superficie seca	gr.	2400	2212
C	Masa de la muestra sumergida en el agua	gr.	1437	1317

	DESCRIPCIÓN	RESULTADO 1	RESULTADO 2	PROMEDIO
Ge	Gravedad específica Bulk	2,44	2,42	2,43
Ges	Gravedad específica saturada con superficie seca	2,49	2,47	2,48
Gea	Gravedad específica aparente	2,57	2,55	2,56
%Abs	Porcentaje de absorción	2	2,17	2,08

4.1.5. Peso unitario y porcentaje de vacíos en el agregado

Norma: (ASTM C 29, 2007); (INEN 858, 2010)

El desarrollo de esta norma, nos permite calcular el peso unitario del material pétreo.

La normativa ASTM C29 toma en cuenta a la densidad Bulk como la masa de un volumen unitario, tomando en cuenta el volumen de vacíos como un parte individual en el material.

Por consecuencia, el peso unitario determina la densidad Bulk con un proceso de división entre la masa del material pétreo seco para el volumen que ocupa, tomando en cuenta los espacios de aire del material.

Estos resultados son muy importantes para proporcionar información de mezcla de concretos hidráulicos y para conversiones masa/volumen en obra.

Los moldes para el ensayo se determinan de acuerdo al tamaño máximo nominal que tiene el material.

Tabla IV.8 Capacidad de medida

<i>Tamaño máximo nominal del agregado</i>		<i>Capacidad de medida</i>	
Pulgadas	Milímetros	Pie³	L (metro³)
1/2.	12.5	1/10.	2.8 (0.0028)
1	25.0	1/3.	9.3 (0.0093)
1 1/2	37.5	1/2.	14 (0.014)
3	75	1	28 (0.028)
4	100	2 1/2	70 (0.070)
5	125	3 1/2	100 (0.100)

Fuente: ASTM C29

Para la determinación del peso unitario por lo general se lo realiza en dos estados de consolidación del material.



Fotografía N° IV.1 Imagen descriptiva de pesos volumétricos

Fuente: Elaboración de ensayos en laboratorios de la PUCE

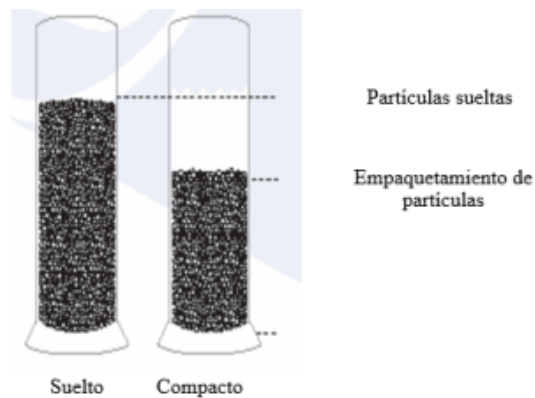


Ilustración IV-6 Representación de acomodo de partículas.

Fuente: (topclass22, 2015)

Peso volumétrico suelto (PVS)

Este método tiene un alcance para material pétreo que posea un tamaño máximo nominal de máximo 1 ½”.

Se coloca el material pétreo dentro del molde determinado, a una altura de 2 pulg con una pala, hasta que el molde se encuentre completamente lleno. Con la ayuda de una varilla se nivela la superficie para enrasar tanto para el agregado fino como grueso, evitando presionar el material para no generar compactación para no alterar su estado de agregado suelto.

Fórmulas

$$PVS = \frac{G - T}{F} \quad (IV-12)$$

Donde:

G = Peso del agregado suelto más molde (Kg)

T = Peso del molde (Kg)

V = Volumen del molde (m³)

Peso volumétrico compactado (Peso volumétrico por varillado PVV)

El alcance de este método es para material con tamaño máximo nominal mayor a 1 ½”.

Consiste en rellenar el molde seleccionado en tres capas de igual altura, y en cada capa realizar 25 golpes con una varilla lisa normalizada. En el proceso, la primera capa se nivelará con la mano, y los golpes serán de tal manera que se evite tocar el fondo del molde. La segunda y la tercera capa se efectuarán de la misma forma que la primera capa, y finalmente enrasamos la superficie del molde evitando que las partículas sobresalgan del molde.

Fórmulas

$$PVV = \frac{G - T}{V} \quad (IV-3)$$

Donde:

G = peso del agregado varillado más molde (Kg)

T = Peso del molde (Kg)

V = volumen del molde (m³)

Resultados

Tabla IV.9 Peso unitario en estado suelto y compacto del árido grueso

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Gs	Peso del agregado suelto más molde	gr.	13380
Ts	Peso del molde	gr.	6878
Vs	Volumen del molde	cm ³ .	3814
Gc	Peso del agregado varillado más molde	gr.	14050
Tc	Peso del molde	gr.	6878
Vc	Volumen del molde	cm ³ .	3814

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	RESULTADO
PVS	En estado suelto (peso volumétrico suelto PVS)	1,70
PVV	Es estado compactado (Peso volumétrico por varillado PVV)	1,88

Tabla IV.10 Peso unitario en estado suelto y compacto del árido medio

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Gs	Peso del agregado suelto más molde	gr.	13000
Ts	Peso del molde	gr.	6878
Vs	Volumen del molde	cm ³ .	3814
Gc	Peso del agregado varillado más molde	gr.	13710
Tc	Peso del molde	gr.	6878
Vc	Volumen del molde	cm ³ .	3814

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	RESULTADO
PVS	En estado suelto (peso volumétrico suelto PVS)	1,61
PVV	Es estado compactado (Peso volumétrico por varillado PVV)	1,79

Tabla IV.11 *Peso unitario en estado suelto y compacto del árido fino*

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Gs	Peso del agregado suelto más molde	gr.	6580
Ts	Peso del molde	gr.	2735
Vs	Volumen del molde	cm ³ .	1652
Gc	Peso del agregado varillado más molde	gr.	6720
Tc	Peso del molde	gr.	2735
Vc	Volumen del molde	cm ³ .	1652

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	RESULTADO
PVS	En estado suelto (peso volumétrico suelto PVS)	2,33
PVV	Es estado compactado (Peso volumétrico por varillado PVV)	2,41

4.1.6. Durabilidad del material pétreo

Norma: (ASTM C 88, 2018); (INEN 863, 2011)

Este ensayo determina la resistencia del material pétreo bajo circunstancias extremas en el ambiente al cual estarán sometidos los materiales. Para su realización, es necesario un proceso repetitivo y controlado que consiste en sumergir el material en sulfato, puede ser de sodio o magnesio, durante un lapso de tiempo y posteriormente secado a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

El sulfato usado en laboratorio, provoca la simulación del proceso natural de expansión y contracción que realiza el medio climático en los agregados, que se produce en los vacíos permeables del material.

Se debe tener en cuenta que la prueba suele ser más severa con sulfato de magnesio, por lo que la norma permite tener mayor pérdida al usar este tipo de sulfato.



Ilustración IV-7 Imagen descriptiva de resistencia a los sulfatos.
Fuente: <https://es.slideshare.net/jcguanin/07-resistencia-a-los-sulfatos>.

Se obtiene la muestra de acuerdo a la normativa ASTM D75 tanto para agregado grueso, medio y fino, y se toma en cuenta la práctica ASTM C702 método A, el cual toma en cuenta el divisor mecánico.

Agregado fino

Para realizar el ensayo del agregado fino, el material deberá ser tamizado, a partir del tamiz # 3/8 de pulgada. Y se recogerá una muestra no menor de 100 gr de cada tamiz a partir de tamiz # 4 hasta el #50.

Tabla IV.12 Tamaño de tamices

<i>Pasante de tamiz</i>	<i>Retiene el tamiz</i>
600 μm (No. 30)	300 μm (No. 50)
1.18 mm (No.16)	600 μm (No. 30)
2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No.16)
4.75 mm (No.4)	2.36 mm (No. 8)
9.5 mm (3/8 in)	4.75 mm (No.4)

Fuente: ASTM C88

Al obtener la cantidad que demanda para la normativa para los distintos tipos de agregado en función de su tamaño máximo nominal, es necesario lavarlo correctamente para eliminar toda impureza y secarlos por 24h a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Una vez realizado el proceso de obtención del material retenido por cada tamiz, se coloca el material en recipientes adecuados y con su respectiva identificación, para sumergir dichas muestras en sulfato de magnesio por periodos de tiempo establecidos.

Agregado grueso y medio

Para el proceso de obtención de la muestra es necesario e indispensable una correcta tamización, para lograr obtener el tamaño del agregado que manda según el tamiz que retenga mayor cantidad de material, con esto, se utiliza la tabla normada para determinar el peso de la muestra que se requiere para el ensayo.

Tabla IV.13 Cantidad de masa a ensayar

Tamaño (Cuadrado - Tamices de Apertura)	Masa, gr
9.5 mm (3/8 in) a 4.75 mm (No.4)	300 ± 5
19.0 mm (3/4 in) a 9.5 mm (3/8 in)	1000 ± 10
Que consiste en	
12.5 mm (1/2 in) a 9.5 mm (3/8 in) de material	330 ± 5
19.0 mm (3/4 in) a 12.5 mm (1/2 in) de material	670 ± 10
37.5 mm (1/2 in) a 19.0 mm (3/4 in)	1500 ± 50
Que consiste en	
25.0 mm (1 in) a 19.0 mm (3/4 in) de material	500 ± 30
37.5 mm (1 1/2 in) a 25.0 mm (1 in) de material	1000 ± 50
63 mm (2 1/2 in) a 37.5 mm (1 1/2 in)	5000 ± 300
Que consiste en	
50.0 mm (2 in) a 37.5 mm (1 1/2 in) de material	2000 ± 200
63.0 mm (2 1/2 in) a 50.0 mm (2 in) de material	3000 ± 300
Tamaños más grandes por 25 mm (1 in) repartidos en tamices, cada fracción.	7000 ± 1000

Fuente: ASTM C88

Una vez obtenido la cantidad de muestra para el ensayo, es necesario contar con recipientes adecuados para la inmersión de las muestras en el tipo de sulfato que se fuera a usar, ya sea de sodio o magnesio.

Procedimiento

- Se sumerge las muestras dentro del sulfato, tomando en cuenta que debe estar cubierta totalmente con una diferencia entre el sulfato y la muestra de ½ pulg durante mínimo 16h y máximo 18h.
- Luego de transcurrir el tiempo del material sumergido en sulfato, se retira el sulfato y se seca la muestra a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta obtener una medición de masa constante
- Se deja enfriar a temperatura ambiente y se repite el proceso durante 5 veces para obtener resultados.
- Una vez concluido el ciclo de 5 veces se procederá a lavar las muestras y secarlas.
- Para ensayar las muestras, se tamizarán las muestras independientemente, por el tamiz más fino de la misma para las muestras provenientes del agregado fino y se determinarán las masas retenidas en los tamices para cada fracción en las muestras provenientes del agregado grueso y medio.

Tabla IV.14 Fracciones de muestra para el agregado grueso

FRACCIÓN	TAMIZ-FRACCIÓN	Nro. TAMIZ RETIENE	MASA DE MUESTRA
1	# 5	# 4"	300 ± 5
		3/8"	1000 ± 10
2	# 5/16	3/8"	330 ± 5
		1/2"	670 ± 10
		3/4"	1500 ± 50
3	# 5/8	3/4"	500 ± 30
		1"	1000 ± 50
		1 1/2"	5000 ± 300
4	# 1 1/4	1 1/2"	2000 ± 200
		2"	3000 ± 300
		2 1/2"	7000 ± 1000

Fuente: INEN 863

Fórmulas

$$\% \text{ RETENIDO PARCIAL} = \frac{\text{MASA RETENIDA PARCIAL}}{\text{MASA TOTAL}} * 100 \quad (\text{IV-4})$$

$$\% \text{ PASA} = \frac{\text{MASA INI.} - \text{MASA RET. DESPUES DEL ENSAYO}}{\text{MASA INICIAL}} * 100 \quad (\text{IV-5})$$

$$\% \text{ DESGASTE PARCIAL} = \frac{\% \text{ RETENIDO PARCIAL} * \% \text{ PASA}}{100} \quad (\text{IV-6})$$

Resultados

Agregado Grueso

Tabla IV.15 Desgaste del agregado grueso - 1/2"

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Masa inicial	gr.	666,5	666,3
Masa retenida parcial en tamiz # 5/16	gr.	658,9	660,6
Masa retenida parcial en tamiz # 5	gr.	1,6	0
Masa retenida después del ensayo	gr.	660,5	660,6

NUMERO_MUESTRA	% RETENIDO PARCIAL	% PASA	% DESGASTE PARCIAL	PROMEDIO
MUESTRA_1	98,86 0,24	0,90	0,8900 0,0022	0,4351
MUESTRA_2	99,14 0,00	0,86	0,8482 0,0000	

Tabla IV.16 Desgaste del agregado grueso - 3/4"

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA_1	MUESTRA_2
Masa inicial	gr.	326,3	329,2
Masa retenida parcial en tamiz # 5/16	gr.	319,1	321,6
Masa retenida parcial en tamiz # 5	gr.	2,5	0
Masa retenida parcial en pasante de tamiz # 5	gr.	2,5	0
Masa retenida después del ensayo	gr.	324,2	321,6

NUMERO_MUESTRA	% RETENIDO PARCIAL	% PASA	% DESGASTE PARCIAL	PROMEDIO
MUESTRA_1	97,79	0,64	0,6294	0,4824
	0,77		0,0049	
	0,77		0,0049	
MUESTRA_2	97,69	2,31	2,2553	
	0,00		0,0000	
	0,00		0,0000	

Nota: El desgaste producido por los 5 ciclos de inmersión en sulfatos, no debe superar el 12% de acuerdo a la norma INEN 0863.

Agregado medio

Tabla IV.17 Desgaste del agregado medio – 3/8"

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA_1	MUESTRA_2
Masa inicial	gr.	298,5	296,9
Masa retenida parcial en tamiz # 5	gr.	287,2	286,8
Masa retenida parcial en pasante de tamiz # 5	gr.	0,1	0,1
Masa retenida después del ensayo	gr.	287,3	287,0

NUMERO_MUESTRA	% RETENIDO PARCIAL	% PASA	% DESGASTE PARCIAL	PROMEDIO
MUESTRA_1	96,21	3,75	3,6101	1,7084
	0,03		0,0013	
	96,60		3,2210	
MUESTRA_2	0,03	3,33	0,0011	

Nota: El desgaste producido por los 5 ciclos de inmersión en sulfatos, no debe superar el 12% de acuerdo a la norma INEN 0863.

Agregado Fino

Tabla IV.18 Desgaste del agregado fino – N°4.

DESCRIPCIÓN		UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Masa inicial		gr.	100	100
Masa retenida parcial		gr.	62,2	67,2
Masa retenida parcial pasante		gr.	37,2	22,3
Masa retenida después del ensayo		gr.	99,4	89,5

NUMERO_ MUESTRA	% RETENIDO PARCIAL	% PASA	% DESGASTE PARCIAL	PROMEDIO
MUESTRA_1	62,20	0,60	0,3732	2,4985
	37,20		0,2232	
MUESTRA_2	67,20	10,50	7,0560	
	22,30		2,3415	

Nota: El desgaste producido por los 5 ciclos de inmersión en sulfatos, no debe superar el 12% de acuerdo a la norma INEN 0863.

Tabla IV.19 Desgaste del agregado fino – N°8.

DESCRIPCIÓN		UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Masa inicial		gr.	100	100
Masa retenida parcial		gr.	93,1	91
Masa retenida parcial pasante		gr.	5,0	3,1
Masa retenida después del ensayo		gr.	98,3	94,2

NUMERO_ MUESTRA	% RETENIDO PARCIAL	% PASA	% DESGASTE PARCIAL	PROMEDIO
MUESTRA_1	93,10	1,70	1,5827	1,7814
	5,00		0,0850	
MUESTRA_2	91,00	5,80	5,2780	
	3,10		0,1798	

Nota: El desgaste producido por los 5 ciclos de inmersión en sulfatos, no debe superar el 12% de acuerdo a la norma INEN 0863

Tabla IV.20 Desgaste del agregado fino – N°16.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Masa inicial	gr.	100	100
Masa retenida parcial	gr.	90,8	89,3
Masa retenida parcial pasante	gr.	4,8	5
Masa retenida después del ensayo	gr.	96	94,6

NUMERO_MUESTRA	% RETENIDO PARCIAL	% PASA	% DESGASTE PARCIAL	PROMEDIO
MUESTRA_1	90,80	4,00	3,6320	2,2291
	4,80		0,1920	
MUESTRA_2	89,30	5,40	4,8222	
	5,00		0,2700	

Nota: El desgaste producido por los 5 ciclos de inmersión en sulfatos, no debe superar el 12% de acuerdo a la norma INEN 0863.

Tabla IV.21 Desgaste del agregado fino – N°30.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Masa inicial	gr.	100	100
Masa retenida parcial	gr.	89,8	87,7
Masa retenida parcial pasante	gr.	8,4	7,6
Masa retenida después del ensayo	gr.	98,4	95,7

NUMERO_MUESTRA	% RETENIDO PARCIAL	% PASA	% DESGASTE PARCIAL	PROMEDIO
MUESTRA_1	89,80	1,60	1,4368	1,4173
	8,40		0,1344	
MUESTRA_2	87,70	4,30	3,7711	
	7,60		0,3268	

Nota: El desgaste producido por los 5 ciclos de inmersión en sulfatos, no debe superar el 12% de acuerdo a la norma INEN 0863.

Tabla IV.22 Desgaste del agregado fino – N°50.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Masa inicial	gr.	100	100
Masa retenida parcial	gr.	82,78	82,35
Masa retenida parcial pasante	gr.	11,6	13,21
Masa retenida después del ensayo	gr.	94,35	95,7

NUMERO_ MUESTRA	% RETENIDO PARCIAL	% PASA	% DESGASTE PARCIAL	PROMEDIO
MUESTRA_1	82,78 11,58	5,65	4,6771 0,6543	2,3577
MUESTRA_2	82,35 13,21	4,29	3,5328 0,5667	

Nota: El desgaste producido por los 5 ciclos de inmersión en sulfatos, no debe superar el 12% de acuerdo a la norma INEN 0863.

4.1.7. Equivalente de arena

Norma: (ASTM D 2419, 2014); (AASHTO T 176, 2017)

Es un método desarrollado para determinar, en porcentaje relativo, de material fino y polvo de características semejantes a arcillas y plásticos que se encuentran diferentes tipos de suelos cohesivos y no cohesivos. El alcance de este ensayo es para muestras que pasen el tamiz N°4 (4.75mm). El “equivalente de arena” demuestra que una gran parte de material pétreo o suelos granulares contienen mezclas de agregado grueso, arena y arcilla.

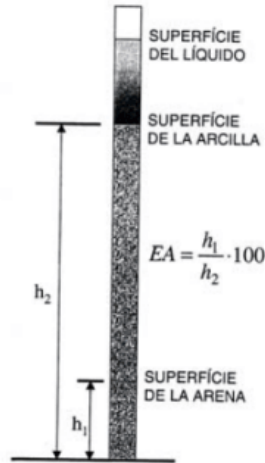


Ilustración IV-8. Equivalente de arena.
Fuente: Capítulo 2, Materiales básicos de Alejandro Padilla

Procedimiento

- Se toma una muestra de material que se ensayará de acuerdo con la norma ASTM D75.
- Se homogeniza la muestra considerando los procedimientos indicados en la normativa ASTM C702 y tomamos una muestra de al menos 1500 gr de material fino, pasante del tamiz N°4.
- Se cuarteo la muestra obteniendo una segunda muestra de 500gr la cual va a ser ensayada. Como recomendación para el ensayo, se puede humedecer la muestra para evitar pérdidas de material finos durante el proceso de cuarteado.
- Una vez obtenida la muestra, se seca la muestra a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta observar que no existe pérdida de masa.
- Se coloca la muestra en una probeta de plástico graduada, de 15 pulgadas de altura. A continuación, se coloca la solución concentrada de 88ml o 4pulg.

- Se toma el sistema de probeta-muestra-solución y se realiza un proceso de agitación de forma horizontal cumpliendo 90 ciclos en 30 segundos en una distancia de 20cm. Teniendo en cuenta que el ciclo comprenderá una ida y vuelta de la probeta en la distancia anterior mente mencionada. (ASTM D 2419, 2014)
- Una vez cumplido los 90 ciclos, se colocará más solución hasta las 15 pulgadas de la probeta, teniendo en cuenta que dicha probeta se rotará mientras se coloca la solución.

Para obtener los resultados del ensayo es necesario realizar dos medidas, con respecto a la suspensión de los finos.

Fórmulas

Los cálculos se realizan con la ecuación indicada en la norma (ASTM D 2419, 2014):

$$EQUIVALENTE DE ARENA = \frac{SUSPENSIÓN LECTURA B}{SUSPENSIÓN LECTURA A} * 100 \quad (IV-7)$$

Resultados

Tabla IV.23 Equivalente arena.

MUESTRAS	MASA (gr.)	SUSP. LECTURA A (pulg.)	SUSP. LECTURA B (pulg.)	CÁLCULO	PROMEDIO
1.1	508	15	4,5	30	26
1.2	510	15	3,6	24	
2.1	510	15	4,4	29	
2.2	505	15	3,3	22	

4.1.8. Desgaste a la abrasión

Norma: (ASTM C 131, 2020), (INEN 860, 2011)

El ensayo utiliza como método el uso de la máquina de los ángeles. Este procedimiento tiene un alcance para muestras de agregado grueso menor a 37.5mm. Es un método que mide el desgaste que sufre el material debido a la combinación de acciones como impacto, molienda y abrasión, en un tambor de acero giratorio y con esferas de acero normados.

El proceso de la máquina es girar el tambor, con el material y esferas de acero en su interior. El número de esferas a colocar dentro del tambor, dependen de la clasificación del agregado por su tamaño. Y la cantidad, en masa, a colocar del agregado será regida por la clasificación especificada en la norma.

El tambor gira varias veces manteniendo una velocidad constante, luego del número de vueltas mencionadas en la norma, se retira el material y se pesa, obteniendo así la pérdida de masa por desgaste a la abrasión.

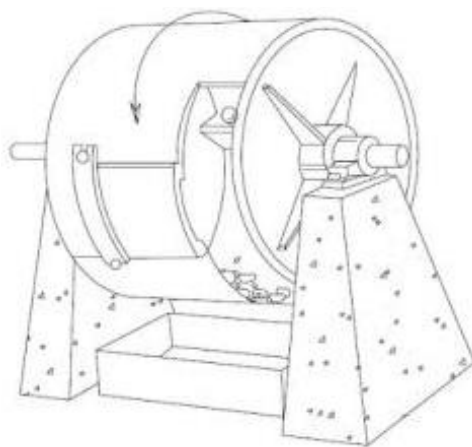


Ilustración IV-9 Máquina de los Ángeles.
Fuente: (Civil, 2011)

Procedimiento

Para ensayar los materiales es necesario realizar previamente una correcta tamización del agregado grueso como medio, para determinar el tamaño que demanda la normativa ASTM 131 según el número del tamiz.

- Una vez realizado el procedimiento de tamización es necesario e indispensable lavar el material para la eliminación de la capa de finos que posee el agregado y una vez realizado el proceso de lavado.
- El material lavado se deja en el horno a $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por un periodo de 24 horas, para la eliminación de la humedad hasta obtener una masa constante.
- Se clasifica al material de acuerdo a su granulometría y se toma cantidad de muestra necesaria para el ensayo según la normativa.
- La cantidad de esferas de acero a colocar, depende de la clasificación del material para este ensayo.

Tabla IV.24 Clasificación de muestras de prueba

Tamaño del tamiz		Masa de tamaños indicados, gr.			
Pasante	Retenido	Clasificación			
		A	B	C	D
37.5 mm (1 1/2 in.)	25.0 mm (1 in.)	1250 ± 25	....	....	....
25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (3/4 in.)	1250 ± 25	....	....	....
19.0 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1/2 in.)	1250 ± 10	2500 ± 10	....	....
12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	1250 ± 10	2500 ± 10	....	....
9.5 mm (3/8 in.)	6.3 mm (1/4 in.)	....	....	2500 ± 10	....
6.3 mm (1/4 in.)	4.75 mm (No. 4)	....	....	2500 ± 10	....
4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	....	....	....	5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: ASTM 131

Tabla IV.25 Número de esferas según su muestra

Clasificación	Número de esferas	Masa a colocar, gr
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: ASTM 131

- Una vez determinada la masa y el número de esferas correspondientes de acuerdo a la normativa, se introducen la máquina de los ángeles.
- Se activa el movimiento de rotación del tambor, el cual gira a una velocidad constante de 30 a 33 revoluciones por minuto.
- Se retira la muestra sobrante del tambor y se tamiza por una malla N°12.
- Para finalizar el proceso, se lava el material retenido en el tamiz N°12 y se lo deja secar al horno a una temperatura de 110 ± 5 °C, por un periodo de 24 horas.

Finalmente se podrá realizar el proceso de cálculo para determinar, cuánto material sufrió de desgaste por el contacto entre el agregado y las esferas de acero a 500 revoluciones.

Fórmulas

$$\% \text{ DESGASTE} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100 \quad (IV-18)$$

Donde:

P1 = Peso muestra seco antes de muestra

P2 = Peso muestra seco después del ensayo, previo lavado con el tamiz (No.12)

Resultados

Tabla IV.26 Desgaste a la abrasión – agregado grueso

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
P1	Peso muestra seco antes de muestra	gr.	5000	5000
P2	Peso muestra seco después del ensayo	gr.	3445	3510

NUMERO MUESTRA	% DESGASTE	PROMEDIO
MUESTRA_1	31,10	30,45
MUESTRA_2	29,80	

Nota: De acuerdo a la norma INEN 0860 se determina que el desgaste máximo para el agregado grueso, no deberá ser mayor al 40%.

Tabla IV.27 Desgaste a la abrasión – agregado medio

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA_1	MUESTRA_2
P1	Peso muestra seco antes de muestra	gr.	5000	5000
P2	Peso muestra seco después del ensayo	gr.	3750	3585

NUMERO_MUESTRA	% DESGASTE	PROMEDIO
MUESTRA_1	25	26,65
MUESTRA_2	28,3	

Nota: De acuerdo a la norma INEN 0860 se determina que el desgaste máximo para el agregado grueso, no deberá ser mayor al 40%.

4.2. Ensayos de asfaltos

4.2.1. Viscosidad absoluta

Norma: (ASTM D 2171, 2018)

La viscosidad absoluta es la viscosidad que tiene el asfalto a una temperatura de 60°C.

Esta propiedad cuantifica la consistencia del asfalto a la temperatura de ensayo. El método empleado para determinar es mediante el viscosímetro capilar.

Procedimiento

- Se calienta el asfalto hasta que se encuentre de forma líquida, tomando precaución con posible calentamiento local. Se vierte 20 ml de muestra en un recipiente adecuado para calentarlo a 135°C aproximadamente.
- Se sumerge el recipiente con asfalto en un baño maría a la temperatura constante de prueba, en este caso 60°C, con una variación no más de 0.03°C.
- Se selecciona el tipo de viscosímetro a usar tomando en cuenta que tenga un tiempo de flujo mayor a 60s. Y se calienta el viscosímetro a 135°C.
- Se coloca la muestra en el viscosímetro y se mantiene a una temperatura de 135°C en el horno por un tiempo de 10min. Este paso permite extraer el aire que se encuentra dentro de la mezcla.
- Se saca el viscosímetro del horno y se lo pone de manera vertical, en un soporte universal, de manera que la marca de sincronización superior se encuentre en 20.
- Establecemos una presión de vacíos de 40 KPa (300 Hgmm) por debajo de la presión atmosférica, y se conecta el sistema de vacíos al viscosímetro.

- Luego de 30 min que el viscosímetro esté sumergido en el baño maría a 60°C, iniciamos el flujo del asfalto, abriendo la válvula de paso. Con un cronómetro de precisión de 0.1s, tome el tiempo que se demora en llegar el asfalto de una marca a otra.

Resultados

Tabla IV.28 Ensayo de viscosidad absoluta a 60°C

	Bulbo B	Bulbo C
Constante del viscosímetro (Pa.s/s)	3,177	1,608
Tiempo de flujo (s)	66,1	133,6
Viscosidad (Pa.s)	209,904	214,813

El resultado del ensayo es de 209.901 Pa.s, por lo que se encuentra dentro del rango establecido por la norma INEN 2515 para asfaltos de tipo AC-20, cumpliendo satisfactoriamente este requisito.

4.2.2. Viscosidad cinemática

Norma: (ASTM D 2170, 2018)

La viscosidad cinemática nos permite determinar el comportamiento del asfalto a diferentes temperaturas. Este dato es primordial para saber la forma en el que el asfalto puede ser almacenado, transportado y bombeado con seguridad.

Este ensayo nos permite determinar la viscosidad cinemática, la cual consiste en encontrar a que temperatura el asfalto tiene una viscosidad óptima tanto para el mezclado como para su compactación dentro del diseño de mezclas asfálticas. El método que se aplica es, generar un torque dentro de la muestra mientras medimos la resistencia que la muestra genera a la acción de giro.

Procedimiento

Para este ensayo se usará asfalto envejecido por la prueba RTFO

- En un molde normalizado por la norma, se coloca una muestra del material ensayado.
- Se lleva al viscosímetro, el cual esta calibrado para ir a una velocidad controlada con una temperatura conocida.
- Se ensaya a la temperatura de 135°C como dice la norma y a una temperatura mayor (170°C), con ello obtenemos la gráfica de la carta de viscosidad, en la cual nos indica el rango de temperatura a la cual la muestra puede ser compactada y mezclada con seguridad.



Fotografía N° IV.2 Viscosímetro para varias temperaturas

Resultados

Tabla IV.29 Viscosidad cinemática a 135°C y 170°C

Viscosidad a Varias Temperaturas		
Temperatura °C	135	170
Viscosidad mm²/s	372	85,42
Velocidad	100	120
%Par	74,4	20,5

La norma pide el ensayo a una temperatura de 135°C teniendo como rango mínimo de viscosidad 300mm²/s. El asfalto ensayado obtuvo una viscosidad de 372 mm²/s, por lo cual cumple con la normativa.

Los resultados del viscosímetro, sirven para ingresar a la carta de viscosidad, la cual contiene la información publicada en la norma. Y obtenemos los rangos a la cual el asfalto es óptimo para su mezclado y compactación. Se debe tener precaución con las unidades ya que el viscosímetro tiene unidades en mm²/s y el rango establecido en la norma es en Pa*s, lo cual se debe realizar una transformación de unidades.

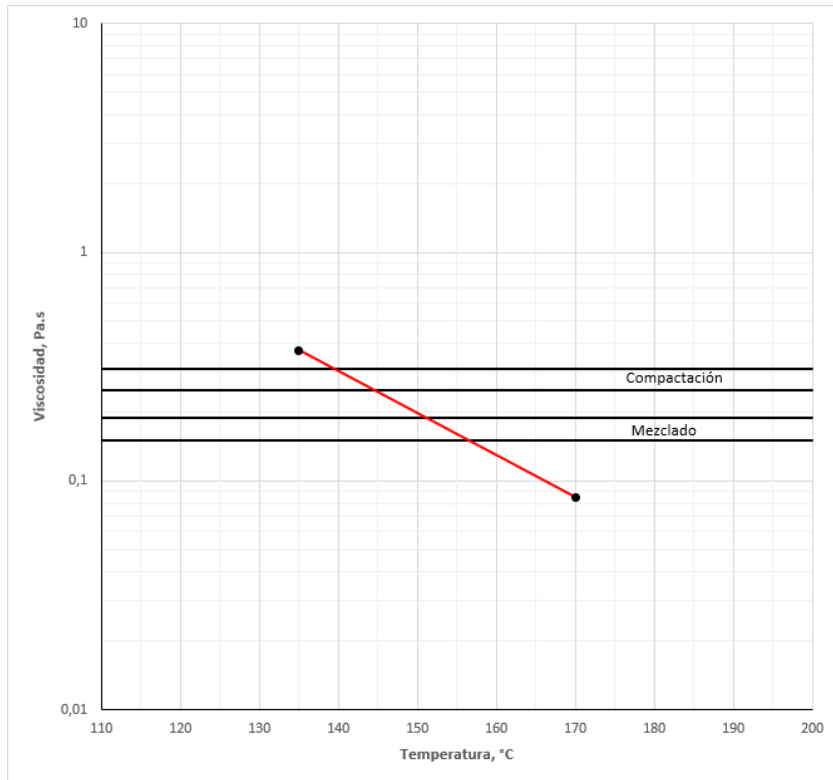


Gráfico N° IV.4 Carta de viscosidad

Con la carta obtenemos el rango de temperatura a la que debe estar el asfalto, tanto para compactación como para mezclado, mientras se realiza la mezcla asfáltica para el ensayo Marshall.

Tabla IV.30 Temperatura de mezclado y compactación del asfalto

Rangos de temperatura de trabajo para la muestra:			
		Mezclado:	
(°C)		139,7	144,8
		Compactación:	151
			156,5

4.2.3. Punto de chispa y llama

Norma: (ASTM D 92, 2018); (INEN 808, 2013)

El ensayo tiene como objetivo principal encontrar el punto de chispa y llama del material ensayado por el método de la copa Cleveland, para operar y almacenar el material a una temperatura segura sin que surja una chispa o fuego del material en planta, garantizando la seguridad de la misma.

La determinación de estos puntos es importante, ya que, el cemento asfáltico se calienta en su almacenaje para mantener una viscosidad a la cual pueda ser bombeado.

La temperatura a la que el material produce una chispa al tener contacto con una llama, se conoce como “punto de inflamación”, sin mantener la combustión por más de 5 segundos. La temperatura en que la combustión sobrepasa los 5 segundos, al tener contacto con una llama, se lo denomina “punto de fuego”.

Procedimiento

- Se diluye la muestra de asfalto hasta alcanzar una consistencia líquida
- Se coloca la muestra en la copa de Cleveland hasta el punto marcado dentro de la copa.
- Se coloca el termómetro y calentamos la muestra gradualmente.
- Cuando se obtiene una temperatura menor al punto de inflamación esperado con unos 56°C de diferencia, se pasa una llama por la copa en intervalos de tiempo.
- Se observa la temperatura a la cual el vapor que emana la muestra se enciende, este punto es el punto de inflamación o chispa.

- Para la determinación del punto de fuego, se continúa pasando la llama en un intervalo de tiempo y se registra cuando la llama dure más de 5 segundos dentro de la copa con el asfalto diluido.



Fotografía N° IV.3 Ensayo copa Cleveland

Fórmulas

En este ensayo no se requiere fórmulas de cálculos, pero se debe realizar una corrección de acuerdo a las condiciones ensayadas.

$$\text{Punto de inflamación Corregido} = C + 0.033(760 - P) \quad (IV-19)$$

Donde:

C = Punto de inflamación observado, C°

P = Presión barométrica, mmHg.

Resultados

Tabla IV.31 Temperatura de chispa y llama

<i>Punto de Chispa y llama/Copa abierta Cleveland</i>	
Identificación de la muestra	M1
Punto de Chispa (C°)	272,6
Punto de llama (C°)	303,5
Presión barométrica (mmHg)	552,0

Al tener una presión barométrica diferente a la de los ensayos estándar, se debe realizar una corrección al valor de punto de inflamación o chispa. Las unidades de los datos obtenidos son; de grados centígrados, para temperatura y milímetros de mercurio para presión barométrica, por lo que se usa la opción 3.

$$\text{Punto de inflamación corregido} = C + 0.033 (760 - P)$$

$$\text{Punto de inflamación corregido} = 272.6 + 0.033 (760 - 552.0)$$

$$\text{Punto de inflamación corregido} = 279.464 \text{ C}^\circ$$

Con ello comprobamos que el asfalto usado, cumple con la norma ASTM D-92, la cual especifica que un asfalto AC-20 debe tener un punto de inflamación mínimo de 232 °C.

4.2.4. Densidad del asfalto.

Norma: (ASTM D 70, 2018); (INEN 923, 2013)

La densidad es una medida que sirve para transformar unidades de volúmenes a unidades de masa de un material. Otro uso de la densidad es, relacionar volúmenes a cierta temperatura con una temperatura estándar.

Este ensayo ayuda a determinar la densidad de un material bituminoso semisólido, cementos asfálticos y alquitranes por el método del picnómetro.

Procedimiento

- Se diluye la muestra de asfalto y se coloca dentro del picnómetro, calibrado anteriormente, llenando $\frac{3}{4}$ partes del picnómetro.
- Se coloca la muestra por al menos 40 minutos a temperatura ambiente y una vez frío, se registra el peso colocando la tapa del picnómetro.
- Se coloca agua destilada a 25°C en el picnómetro y se sumerge nuevamente a baño maría por al menos 30 minutos, se saca la muestra, se seca y se procede a pesar.



Fotografía N° IV.4 Picnómetro AMK

Fórmulas

- Densidad relativa

$$Densidad\ relativa = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} \quad (IV-20)$$

Donde:

A= Peso del picnómetro vacío + tapa

B= Peso del picnómetro lleno de agua

C= peso del picnómetro parcialmente lleno con la muestra

D= Peso del picnómetro lleno con muestra y agua

- Densidad

$$Densidad = Densidad\ relativa * w_t \quad (IV-21)$$

Donde:

W_t = Densidad del agua a temperatura de ensayo

Resultados

Tabla IV.32 Datos de ensayo de densidad del asfalto

Serie del picnómetro (N°)	AMK
Masa de picnómetro + Tapón seco (A)	32,784 gr
Masa de picnómetro + Tapón + Agua Destilada (B)	61,992 gr
Masa de picnómetro + Tapón + Asfalto (C)	54,883 gr
Masa de picnómetro + Tapón + Agua Destilada + Asfalto (D)	62,253 gr

Siguiendo la norma, se procede a calcular la densidad relativa con los resultados del ensayo. Al calcular la densidad relativa con una precisión de 0.001gr, se multiplica por la densidad del agua tomando en cuenta la temperatura de ensayo y obtenemos la densidad del material.

Tabla IV.33 Densidad del agua a diferentes temperaturas

Temperatura, °C	Densidad del Agua, Kg/m³ (Kg/L)
15	999.1 (0.9991)
25	997.0 (0.9970)

Fuente: INEN 923

Tabla IV.34 Densidad de la muestra

Resultados	
Gravedad específica (a la milésima) $(C-A) / ((B-A)-(D-C))$ (E)	1,012
Densidad del agua a la temperatura de ensayo (g/cm³) (F)	0,997
Densidad de la muestra (g/cm³) (E*F)	1,009

4.2.5. Penetración de materiales bituminosos

Norma: ASTM D 5; INEN 917-2013

El ensayo de penetración nos permite saber la consistencia del asfalto. El valor de la penetración varía de acuerdo a la consistencia. Un valor mayor en penetración, indica que tiene una menor consistencia.

Procedimiento

- Se diluye el material y se coloca en envases dictados en la norma.
- Dejamos enfriar a una temperatura controlada de 25 °C por no más de 90 minutos ni menos de 60 minutos.
- Al tener la muestra en una temperatura constante, se procede a colocar en la máquina de penetración la cual, por medio de una aguja, penetrará con una carga de 100gr durante 5 segundos, midiendo la penetración en unidades de 0.1mm.



Fotografía N° IV.5 Máquina de penetración

Resultados

Tabla IV.35 Ensayo de penetración del asfalto

Información General Ensayo			
Identificación de la muestra	M1		
Temperatura de ensayo (C°)	25,0		
Carga (g)	100,01		
Tiempo de carga (s)	5		

Valores de penetración en la muestra			
Punto	1	2	3 Promedio
Penetración (0,1mm)	80	80	79 79,7

El cemento asfáltico usado corresponde a un asfalto de tipo AC-20, el cual como requisito mínimo debe tener una penetración de no menos de 40mm, el cual cumple satisfactoriamente al registrar una penetración promedio de 79.7mm, siendo mayor a la especificación mínima de la norma.

Con este ensayo se determina el índice de penetración, el cual indica la susceptibilidad del asfalto con el cambio de temperatura. Usando la fórmula descrita en el libro The Shell Bitumen Handbook, obtenemos el índice de penetración. (Read & Whiteoak, 2003)

$$IP = \frac{1952 - 500\log(\text{pen}) - 20SP}{50\log(\text{pen}) - SP - 120} \quad (IV-8)$$

Donde:

IP= Índice de penetración

pen= Penetración del asfalto (0.1mm)

SP= Temperatura del punto de reblandecimiento del asfalto (°C)

Para el valor de SP, se usa el valor promedio entre las temperaturas medidas en el punto de reblandecimiento.

El índice de penetración se considera aceptable cuando se encuentra dentro de un rango de -1.5 a +1. El cálculo con los datos obtenidos nos da un valor de -0.94, lo cual está dentro del rango aceptado.

4.2.6. Punto de reblandecimiento.

Norma: (ASTM D36 , 2020); (INEN 920, 2013)

Los cementos asfálticos son materiales que tienen propiedades de viscosidad y elasticidad con punto de fusión no definidos. Generalmente el material se hace más blando y menos viscoso a razón de una mayor temperatura.

El punto de reblandecimiento sirve en parte para clasificar los bitúmenes, para determinar la uniformidad del asfalto mientras se transporta o en lugares de abastecimiento y nos ayuda a identificar la fluidez que puede llegar a tener el material a las diferentes temperaturas a la cual está sometido durante su uso.

Procedimiento

- El asfalto se calienta hasta que sea maleable en su totalidad, meneando la muestra para evitar sobrecalentamientos locales.
- Se rellena un par de anillos de bronce y coloca a temperatura ambiente por no menos de 30 minutos.
- Se enrasan las muestras con una espátula previamente calentada y se coloca las muestras en el plato base.
- Al tener colocado, se procede a colocar las esferas metálicas y se sumerge el plato con la muestra y las esferas en un recipiente previamente llenado con agua y hielo.

- Se coloca el termómetro y se procede a calentar el conjunto sobre una plancha hasta que las esferas sobre las muestras toquen el plato base.

El punto de reblandecimiento se reporta como la temperatura a la cual la esfera metálica se desplazó una distancia de 25mm, envuelta de cemento asfáltico.



Fotografía N° IV.6 Ensayo anillo – bola

Resultados

Tabla IV.36 Ensayo anillo - bola

	Anillo 1	Anillo 2	Promedio	Variación
Punto de Ablandamiento, C°	46,2	47,2	46,7	1

Según la norma, las temperaturas de cada muestra no deben variar más de 1°C entre ellas, por lo que el ensayo cumple con la normativa.

4.2.7. Cambio de masa

Norma: (ASTM D 2872, 2019); (AASHTO T 240, 2013)

Este ensayo tiene como objetivo calcular el cambio de masa que sufre el asfalto durante las operaciones realizadas en planta en el proceso de fabricación de mezclas asfálticas. Para ello se expone una muestra a la máquina de RTFO la cual simula las condiciones de exposición de calor e ingreso de aire que obtendría la muestra en planta.

Procedimiento

- Se calienta la muestra a una temperatura de 163°C. Una vez diluidas la muestra, se coloca 35gr de material en cada contenedor de vidrio.
- Se distribuye la muestra a lo largo del recipiente de una forma uniforme, sin dejar ningún espacio libre de material.
- Se coloca el recipiente con la muestra a temperatura ambiente, por no menos de 60 minutos ni más de 180 minutos.
- Se pesa el conjunto muestra-recipiente y luego se coloca los recipientes dentro de la máquina RTFO, por 85 minutos.
- Retiramos del horno y pesamos nuevamente.



Fotografía N° IV.7 Contenedores y horno para determinar cambio de masa

Resultados

Tabla IV.37 Ensayo para determinar el cambio de masa

	Masa (gr)
Masa de botella 1	170,360
Masa de botella 2	168,433
Masa de botella 1 + Asfalto Antes	205,360
Masa de botella 2 + Asfalto Antes	203,433
Masa de botella 1 + Asfalto Después	205,260
Masa de botella 2 + Asfalto Después	203,335

	Masa (gr)	%Pérdida	Promedio %
Variación de masa B1	0,100	0,29	0,28
Variación de masa B2	0,098	0,28	

El promedio de pérdida de masa en porcentaje fue de 0.28% lo cual cumple con la norma ecuatoriana la cual especifica que se debe tener una variación máxima, en porcentaje, de 1%, para asfaltos de tipo AC-20.

4.2.8. Determinación de la ductilidad de materiales bituminosos

Norma: (ASTM D 113, 2017); (INEN 916, 2013)

La ductilidad de un material determina que tanto puede ser estirado antes de que exista una rotura en el material.

Este ensayo determina la deformación máxima que tiene el material a una velocidad y temperatura controlada. Siendo la ductilidad la máxima distancia registrada a la cual la muestra se estira, hasta producir la rotura.



Fotografía N° IV.8 Ensayo de ductilidad

Procedimiento

- Se coloca el cemento asfáltico, previamente diluido, dentro de los moldes especificados en la norma, los cuales se encuentran recubiertos en el interior por una capa de glicerina y talco, para evitar que la muestra de asfalto se pegue en ella.
- Se deja enfriar las muestras dentro de los moldes por un tiempo de 30 a 40 minutos máximo.

- Luego se sumerge la muestra dentro de un recipiente con agua con temperatura controlada a 25°C (baño maría), por otro intervalo de tiempo de 30 a 40 minutos.
- Se saca la muestra del recipiente de agua con temperatura controlada y enrasamos los moldes con una espátula previamente calentada.
- Se coloca los moldes dentro de la máquina de ensayo, sujetando las muestras con los ganchos dentro de ella.
- Procedemos a estirar las muestras a una velocidad específica, hasta que la muestra se rompa.
- Se registra la distancia de rotura en centímetros.

Resultados

Tabla IV.38 Ductilidad del asfalto

	Distancia de Rotura	
	Muestra 1 (cm)	Muestra 2 (cm)
D1	33	33
D2	38	35
D3	46	40

El material estudiado dio un valor máximo de 46cm, incumpliendo el requisito mínimo expresado en la normativa. Esto se debe al recalentamiento repetitivo que se tuvo dentro del laboratorio para los diferentes ensayos realizados. A pesar de no cumplir con la ductilidad, se prosiguió con la realización de las mezclas asfálticas debido a que el aditivo mejora las propiedades del asfalto como es la ductilidad y la viscosidad.

CAPÍTULO V MÉTODO MARSHALL

El método Marshall es pionero en el diseño de mezclas asfálticas a nivel nacional y latinoamericano. Dentro de su composición tenemos cemento asfáltico y anteriormente, material pétreo con la característica de que su tamaño máximo nominal era 25mm (1plg) y granulometría cerrada. Actualmente los agregados pueden tener un tamaño máximo nominal de 38mm (1.5plg). (Asphalt Institute, 2014)

Su utilidad tanto en campo como en laboratorio, es lo que lo convierte en el método más práctico para el diseño de mezclas asfálticas en toda Latinoamérica.

Su propósito es encontrar el porcentaje de asfalto óptimo para una determinada combinación de material pétreo. Para ello, los criterios más importantes que se deben tomar en cuenta son:

- Densidad y vacíos.
- Estabilidad.
- Flujo.
- Peso específico total.

La metodología del ensayo consiste en romper muestras cilíndricas de 101.6 mm (4pulg) de diámetro y un espesor de 63.5 mm (2plg), a una temperatura de 60°C, mediante una prensa Marshall. La prensa Marshall genera una carga vertical perpendicular a la cara de la probeta con velocidad constante de 50.8 mm/min. Se determina la estabilidad y flujo leyendo, la fuerza máxima necesaria a la que se rompió la muestra (estabilidad) y la deformación obtenida durante la aplicación de carga (flujo), el cual viene expresado en unidades de 0.25mm (1/100plg). (Asphalt Institute, 2014)

5.1. Mezclas asfálticas en caliente (HMA)

5.1.1. Diseño

5.1.1.1. Determinación del porcentaje de asfalto teórico

Como principio, el método Marshall es un estudio empírico. Se basa de acuerdo a los resultados para obtener una conclusión certera. Es por ello que los resultados deben estar dentro de un rango normalizado para determinar si el ensayo es óptimo o erróneo, para ese tipo de agregado.

Para ello se comienza con la mezcla de los diferentes tipos de agregados que se usarán en el diseño, la cual debe estar dentro de los rangos previstos en la normativa especificada en la MOP- 001-F-2002.

Tabla V.1 Rango de trabajo

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4
1" (25.4 mm)	100	-----	-----	-----
3/4" (19 mm)	90 - 100	100	-----	-----
1/2" (12.7 mm)	-----	90 - 100	100	-----
3/8" (9.5 mm)	56 - 80	-----	90 - 100	100
Nº4 (4.75 mm)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
Nº8 (2.36 mm)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
Nº16 (1.18 mm)	-----	-----	-----	40 - 80
Nº30 (0.60 mm)	-----	-----	-----	25 - 65
Nº50 (0.30 mm)	5. - 19	5. - 21	7. - 23	7. - 40
Nº100 (0.15 mm)	-----	-----	-----	3. - 20
Nº200 (0.075 mm)	2. - 8	2. - 10	2. - 10	2. - 10

Fuente: MOP – 001 – F, 2002

Se elige el rango en el cual se va a trabajar y con ello se determina el porcentaje de cada agregado obteniendo una mezcla que cumpla con la normativa. Se busca obtener una curva semejante a la media del rango, ya que teóricamente, sería lo óptimo para la mezcla asfáltica. Sin embargo, se debe dosificar tomando en cuenta que el agregado grueso es el que da rigidez y el agregado fino ayuda a la cementación. Un exceso de cualquier agregado sería perjudicial para la mezcla, en caso de un exceso de agregado grueso, la muestra se volvería sumamente rígida y los desprendimientos de material serían más factibles; mientras que un exceso de fino, volvería a la muestra muy blanda y tendría mayor deformación al aplicar la carga, el asfalto no sería absorbido lo suficiente y generaría sudoración de asfalto.

Los porcentajes utilizados en la mezcla para que la granulometría este dentro del rango fueron de: 40% de agregado fino (Arena), 35% de agregado medio y 25% de agregado grueso, obteniendo como resultado la siguiente tabla y gráfica de granulometría.

Tabla V.2 Granulometría para la mezcla asfáltica

MALLA		2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4 "	1/2 "	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16	Nº30	Nº50	Nº100	Nº200
ABERTURA	(mm)	63	50	37,5	25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
ESPECIFICACIÓN	MÍN	100	100	100	100	90	---	56	35	23	---	---	5	---	2
	MÁX	100	100	100	100	100	---	80	65	49	---	---	19	---	8
AGREGADO A	(ARENA)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	96,46	73,90	56,35	42,76	31,14	20,46	11,14
AGREGADO B	(MEDIO)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,74	79,06	8,66	5,29	4,60	4,24	3,95	3,52	2,49
AGREGADO C	(GRUESO)	100,00	100,00	100,00	99,79	98,43	16,53	3,56	2,86	2,80	2,76	2,71	2,61	2,35	1,52
MEZCLA AGREGADOS		100,00	100,00	100,00	99,95	99,61	78,69	68,56	42,33	32,11	24,84	19,27	14,49	10,00	5,71

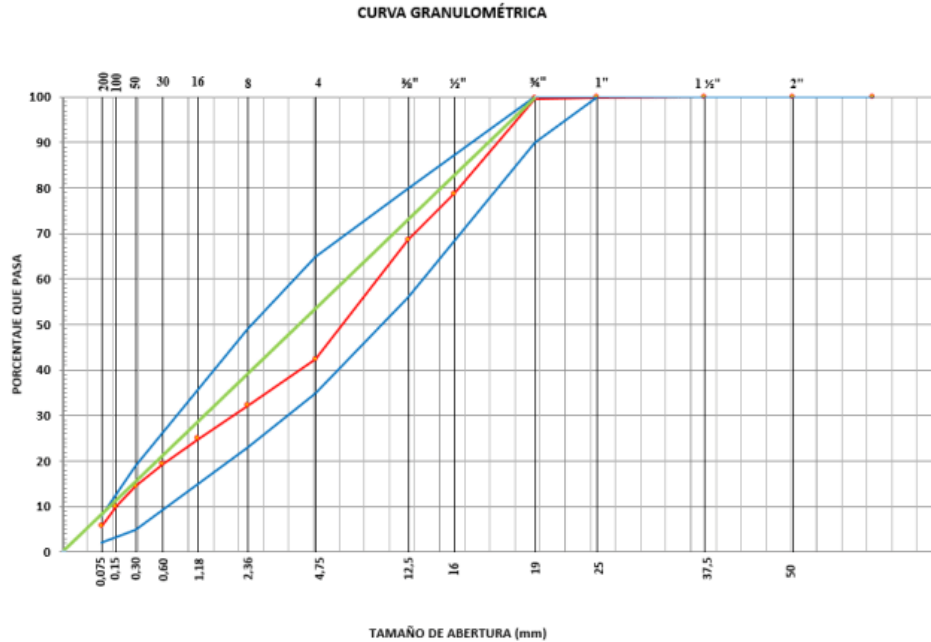


Gráfico N° V.1 Curva granulométrica e la mezcla asfáltica

Al obtener una mezcla de agregados que tenga una curva similar a la media y cumpla con los requerimientos de granulometría, se determina el porcentaje de asfalto aproximado debido a la granulometría combinada de los agregados. De acuerdo con el manual desarrollado por Asphalt Institute en el 2014, la fórmula para determinar la cantidad de asfalto es:

$$P = 0.035a + 0.045b + K * c + F \tag{V-1}$$

Donde:

P= Porcentaje de asfalto teórico.

a= Porcentaje de material árido retenido en el tamiz #8

b= Porcentaje de material árido que pasa el tamiz #8 y es retenido en el tamiz #200

c= Porcentaje de material que pasa el tamiz #200

K= Coeficiente dependiente del valor de "c"

K = 0.15 si "c" está entre 11% y 15%

0.18 si "c" está entre 6% y 10%

0.20 si "c" es igual o menor al 5%

F= Coeficiente basado en la absorción del agregado fino o grueso.

El factor F se toma un valor cercano a 0.7 que es el recomendado por el Asphalt Institute (Asphalt Institute, 2014). En caso de que se requiera calcular el valor F, es el resultado de la suma entre el porcentaje de cada material en la mezcla multiplicado por su respectivo porcentaje de absorción.

Para el caso de la investigación, se tomó un valor de 0.8 para el coeficiente F, debido a que el material tiene un porcentaje de absorción considerable.

Reemplazamos datos en la fórmula y obtenemos el porcentaje de asfalto teórico que se va a usar para el diseño Marshall en caliente.

$$P = 0.035(68) + 0.045(26) + (0.18) * (5.7) + 0.8$$

$$P = 5.4$$

El porcentaje de asfalto teórico da un valor de 5.4, lo cual le redondeamos a 5.5, tomando como eje de la investigación el valor de 5.5% de asfalto.

Se debe revisar que la relación filler-betún, no sea menor que 0.8% ni mayor al 1.2% (MOP-001-F, 2002). Esta relación se obtiene dividiendo el porcentaje total que pasa del tamiz #200 (Filler), para el porcentaje de asfalto calculado anteriormente.

En este caso la relación filler-betún es de 1.06% lo cual cumple satisfactoriamente con la normativa que rige en el país.

5.1.1.2. Porcentaje de asfalto óptimo

Para encontrar el porcentaje de asfalto óptimo, se requiere realizar tres ensayos a diferentes porcentajes de asfalto, tomando en cuenta como punto de inicio el porcentaje de asfalto teórico. Aumentando y disminuyendo una unidad de porcentaje al asfalto teórico calculado, con una variación de 0.5% entre ellas. (Asphalt Institute, 2014)

Se toma como valor inicial el valor de 5.5% de asfalto teórico, se realizarán ensayos a un porcentaje de asfalto desde 4.5% hasta 6.5% con una variación de 0.5% entre ellas. Como resultado tendremos ensayos con porcentajes de asfalto de 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%.

Definido los porcentajes a los cuales vamos a trabajar, definimos el bache con el cual se realizan las briquetas. Cada bache tiene un peso de 1100 gramos al mezclar los materiales en los porcentajes establecidos anteriormente en la curva granulométrica de la muestra. Tomando en cuenta que el bache sumado con el porcentaje de asfalto, es el 100% de la combinación.

Esto quiere decir que en una mezcla con un 5% de asfalto, el bache representa el 95% de la mezcla. Para determinar el porcentaje del asfalto en peso, usamos la siguiente fórmula:

$$Peso\ asfalto = \frac{peso\ bache * \%asfalto}{100 - \%asfalto} \quad (V-1)$$

Tabla V.3 Porcentaje y peso de asfalto para cada briqueta

Marshall Caliente			
# Muestra	% Asfalto	Peso Masa Seca	Peso Asfalto
1	4,50	1100,66	51,86
2	4,50	1099,84	51,82
3	4,50	1099,77	51,82
4	5,00	1097,96	57,79
5	5,00	1096,95	57,73
6	5,00	1103,00	58,05
7	5,50	1099,95	64,02
8	5,50	1099,34	63,98
9	5,50	1097,58	63,88
10	6,00	1098,32	70,11
11	6,00	1107,33	70,68
12	6,00	1108,64	70,76
13	6,50	1098,82	76,39
14	6,50	1088,04	75,64
15	6,50	1102,69	76,66

Se calienta tanto el material pétreo como el cemento asfáltico, ambos a un rango de temperatura de 140° a 160°C, realizando la mezcla sin modificar la temperatura. La mezcla debe ser tal que no quede ni un solo agregado sin estar cubierto de asfalto.



Fotografía N° V.1 Proceso de mezclado

Se coloca un papel filtro, bañado con una fina capa de aceite, dentro del molde previamente calentado a la misma temperatura que los materiales de mezcla y se vierte el material dentro del molde. Con una vara se realiza 25 golpes para que exista una mejor homogenización del material dentro del molde, se da 15 golpes alrededor del molde y 10 en el centro, siendo así un total de 25 golpes. Se coloca otro papel filtro sobre la muestra vertida en el molde y se lo lleva a la máquina de compactación normalizada.

El número de golpes realizados por el compactador, varía de acuerdo al diseño que se requiera. El diseño es para tráfico pesado, el cual requiere 75 golpes por cada lado de la muestra. Todo esto debe realizarse sobre los 140°C que es la temperatura mínima para que la mezcla sea considerada una mezcla en caliente.



Fotografía N° V.2 Compactador Marshall

Se coloca los moldes a temperatura ambiente, esperando que alcancen esta temperatura y se extraen las briquetas. Se limpian las muestras, evitando dejar partículas sueltas y se procede a obtener las propiedades volumétricas de cada briqueta.

5.1.1.2.1. Propiedades volumétricas

Las propiedades volumétricas de los especímenes de ensayo sirven como una evaluación a la mezcla asfáltica realizada y permite considerar el comportamiento de la misma. Todas ellas se encuentran mediante la determinación de la gravedad específica y absorción.

Las propiedades volumétricas necesarias son:

- Vacíos de aire (VA)
- Vacíos de agregado mineral (VAM)
- Vacíos rellenados con asfalto (VAF)
- Gravedad específica neta (GSB)
- Gravedad específica aparente (GSA)
- Gravedad específica efectiva (GSE)

Para que una mezcla asfáltica sea permitida por la norma, estos parámetros volumétricos deben estar dentro del rango establecido. Estos parámetros se encuentran establecidos por Asphalt Institute.

Para determinar las propiedades volumétricas de las muestras de ensayo, se mide el diámetro y el espesor del espécimen, al menos 3 veces en diferentes partes y se toma el promedio. Con ello obtenemos el volumen de la muestra. Esto para cada briqueta del ensayo. (ASTM D 3549, 2003)

Se pesan las briquetas al aire, y se sumergen en agua previamente temperada a $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante un tiempo de $4 \text{ min} \pm 1 \text{ min}$, y se pesa con una balanza de suspensión. Se lo retira del agua, pasamos una franela para secar superficialmente la muestra y se pesa

nuevamente al aire, tomando así el peso de la muestra saturado con superficie seca.

(AASHTO T 166, 2018)



Fotografía N° V.3 Peso de muestras sumergido y en seco

Gravedad específica Bulk (Gsb).

La gravedad específica Bulk es, la relación entre el peso de un material permeable y la masa de un volumen de agua destilada de igual peso, a una misma temperatura. Tomando en cuenta los vacíos permeables e impermeables del material. (García, 2016)

Cuando un agregado para la mezcla consta de agregados con diferente granulometría, la gravedad específica general se determina con la siguiente expresión (García, 2016):

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (V-3)$$

Dónde:

Gsb= Gravedad específica Bulk del agregado total

P1, P2, Pn= Porcentajes individuales por masa de agregado

G1, G2, Gn= Gravedad específica neta individual de cada agregado

Gravedad específica aparente (Gsa)

La gravedad específica aparente es la relación entre la masa de un volumen de un material permeable al aire, con una masa al aire de igual densidad, que tenga un volumen igual al de agua destilada a una temperatura indicada. (Institución Mexicana del Transporte, 2004)

Gravedad específica efectiva (Gse)

Incluye los vacíos presentes en las partículas de los agregados, sin tomar en cuenta los vacíos rellenos de bitumen. La cantidad de asfalto retenida por los agregados es ínfimamente menos a la cantidad de agua retenida. Como consecuencia, el valor de la Gse se encuentra entre la Gsa y Gsb. (Institución Mexicana del Transporte, 2004)

La gravedad específica efectiva se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} \quad (V-4)$$

Dónde:

Gse= Gravedad específica efectiva del agregado

Gmm= Gravedad específica máxima teórica de la mezcla de pavimento (sin vacíos de aire)

Pmm= Porcentaje de masa total de la mezcla suelta

Pb= contenido de asfalto con el cual ASTM D2041/AASHTO T209 desarrolló el ensayo; el porcentaje total de la masa de la mezcla

Gb= Gravedad específica del asfalto

Vacíos en el agregado mineral (VAM).

Son los vacíos existentes en la mezcla compactada, incluyendo los vacíos de aire y el asfalto efectivo presente, es adimensional y se representa en porcentaje del volumen total de la mezcla. Se puede calcular restando el volumen del agregado el cual se determina por la gravedad específica Bulk, con el volumen Bulk de la mezcla compactada. (García, 2016)

El VAM es los vacíos de aire más el porcentaje de asfalto que no fue absorbido durante la mezcla por el agregado. (Asphalt Institute, 1997)

$$VMA = 100 - \frac{Gmb * Ps}{Gsb} \quad (V-5)$$

Dónde:

VAM= Vacíos en el agregado mineral (porcentaje de la mezcla asfáltica)

Gsb= Gravedad específica neta del total de agregado

Gmb= Gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada

Ps= Contenido de agregado (porcentaje total de la masa de la mezcla asfáltica)

Porcentaje de vacíos (Va).

Son los espacios de aire que se encuentran en la mezcla compactada, y se lo expresa como el porcentaje de volumen neto de la mezcla compactada. (Institución Mexicana del Transporte, 2004)

$$Va = 100 * \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \quad (V-6)$$

Dónde:

Va= Vacíos de aire en las briquetas compactadas

Gmm= Gravedad específica máxima teórica

Gmb= Gravedad específica de la briqueta compactada

Vacíos rellenados con asfalto (VAF)

Son los vacíos de la mezcla asfáltica compactada que fueron rellenados con asfalto, sin contar el asfalto absorbido por el material granular.

$$VAF = 100 * \frac{VMA - Va}{VMA} \quad (V-7)$$

Dónde:

VAF= Vacíos llenados con asfalto.

VAM= Vacíos en el agregado mineral.

Va= Vacíos de aire en mezcla compactada.

5.1.1.2.2. Estabilidad y flujo Marshall

Se conoce como estabilidad de una mezcla asfáltica, a la capacidad de resistir deformaciones y desplazamientos por acción de una carga externa debido al tráfico. Dependiendo de los requerimientos que requiera el diseño, su valor varía. Estos valores se encuentran especificadas en las normas de cada país, teniendo como base las tablas de valoración emitidas por Asphalt Institute.

La fricción y cohesión interna de la mezcla son importantes al momento de determinar la estabilidad. La fricción es una característica de los agregados y depende de la forma y textura del agregado, mientras que la cohesión depende directamente de la suficiencia de adherencia del bitumen. (Morales Cáceres, 2007)

La deformación experimentada por la briqueta se denomina flujo. Se mide en centésimas de pulgadas y depende de la deformación indicada en el diámetro vertical de la probeta. Determina si la probeta es rígida o plástica. (Morales Cáceres, 2007)

Para el ensayo se colocan las probetas a un baño maría con agua temperada a 60°C, representando la temperatura máxima que el pavimento puede experimentar en servicio. Se seca la muestra y se ensaya, aplicando una fuerza perpendicular con velocidad constante hasta que la probeta alcance su fallo. Se registra la fuerza máxima de falla como la estabilidad de la briqueta y el flujo.



Fotografía N° V.4 Baño maría a 60°C para ensayo Marshall

Se toma en cuenta que se debe corregir el valor de estabilidad, dependiendo del volumen que tiene la muestra y se obtiene el valor resultante.

Tabla V.4 Factores de corrección para estabilidad Marshall

<i>Volumen de la briqueta cm³</i>	<i>Espesor aproximado de la briqueta en cm</i>	<i>Factor de corrección</i>	<i>Volumen de la briqueta cm³</i>	<i>Espesor aproximado de la briqueta en cm</i>	<i>Factor de corrección</i>
200 - 213	2.54	5.56	406 - 420	5.08	1.47
214 - 225	2.70	5.00	421 - 431	5.24	1.39
226 - 237	2.86	4.55	432 - 443	5.40	1.32
238 - 250	3.02	4.17	444 - 456	5.56	1.25
251 - 264	3.17	3.85	457 - 470	5.71	1.19
265 - 276	3.33	3.57	471 - 482	5.87	1.14
277 - 289	3.49	3.33	483 - 495	6.03	1.09
290 - 301	3.65	3.03	496 - 508	6.19	1.04
302 - 316	3.81	2.78	509 - 522	6.35	1.00
317 - 328	3.97	2.50	523 - 535	6.51	0.96
329 - 340	4.13	2.27	536 - 546	6.67	0.93
341 - 252	4.29	2.08	547 - 559	6.82	0.89
354 - 367	4.44	1.92	560 - 573	6.98	0.86
368 - 379	4.60	1.79	574 - 585	7.14	0.83
390 - 392	4.76	1.67	586 - 598	7.30	0.81
393 - 405	4.92	1.56	599 - 610	7.46	0.78
			611 - 625	7.62	0.76

Fuente: (García, 2016)

5.1.1.2.3. Densidad teórica máxima (Ensayo RICE)

Norma: (ASTM D 2041, 2019), (AASHTO T 209, 2020)

Las propiedades volumétricas de la mezcla son importantes para determinar si la mezcla es factible o no para su uso, un requisito indispensable para obtener estos valores es la determinación de la densidad máxima teórica. Estableciendo controles de calidad en la elaboración y colocación de la mezcla asfáltica.

Para la elaboración se toma el peso de los agregados de acuerdo a la tabla especificada en la norma. La granulometría del material a ensayar tiene el tamaño máximo nominal de ¾". Técnicamente se debe tomar un valor aproximado a 2000gr. Para este ensayo se tomarán valores de 2200gr, los cuales serán de acuerdo al porcentaje de aportación debido a la granulometría.

Tabla V.5 *Peso aproximado para ensayo RICE*

<i>Máximo tamaño del agregado</i>	<i>Mezcla sin compactar</i>	
	<i>Masa aproximada min, kg (lb)</i>	<i>Volumen aproximado, L (Gal)</i>
2.36 mm (No.8)	10 (22)	8 (2)
4.75 mm (No.4)	10 (22)	8 (2)
9.5 mm (3/8. in)	16 (35)	12 (3)
12.5 mm (1/2. in)	20 (45)	15 (4)
19.0 mm (3/4. in)	20 (45)	15 (4)
25.0 mm (1. in)	24 (52)	18 (5)
37.5 mm (1 1/2. in)	30 (66)	22 (6)
50.0 mm (2. in)	35 (75)	22 (6)

Nota: El tamaño máximo del agregado es el tamaño de tamiz más grande listado en la especificación aplicable sobre el cual se permite retener cualquier material.

Fuente: ASTM D 2041

Se calienta el asfalto y los materiales pétreos a una temperatura de 160°C y se mezcla hasta que todo el material quede cubierto de asfalto. Se realiza este procedimiento con cada porcentaje de asfalto. Luego del mezclado, se deja enfriar la mezcla hasta temperatura ambiente, evitando que se generen grumos o masas. Para ello se mantiene en constante movimiento. Una vez seca la muestra, se coloca dentro del recipiente.

Se toma el peso neto de la muestra y se define como A. Luego se coloca la muestra dentro del contenedor y se agrega agua temperada a 25°C cubriendo la muestra con 5.08cm (2plg) de agua. Se coloca el conjunto recipiente-agua-muestra en la máquina extractora de aire durante un periodo de 15 ± 2 min, repartiendo el tiempo en 7.5 min por cada sentido de movimiento de la máquina, manteniendo la presión de 27.5 ± 2.5 mmHg. Para mantener la presión constante, se retira gradualmente la presión de vacío por medio de una válvula de sangrado.



Fotografía N° V.5 Extractor de vacíos ensayo RICE

Se toma el contenedor con la muestra de la máquina extractora de vacíos y se sumerge en un baño maría a 25°C y se llena el frasco con agua a la misma temperatura. Se hace cuidadosamente evitando generar nuevas burbujas de aire. Se mantiene el frasco en el baño maría hasta que la muestra alcance la misma temperatura del baño maría. Se retira el recipiente y se seca, dejando libre de humedad. Se pesa el recipiente con muestra, agua y tapa a 25°C y se registra el valor como E.



Fotografía N° V.6 Llenado de agua al contenedor, ensayo RICE

Se pesa el recipiente con agua y tapa a 25°C y se registra el peso como D.

Con estos 3 datos aplicamos la fórmula establecida en la norma, obteniendo la gravedad específica máxima teórica.

$$Gmm = \frac{A}{A + D - E} \quad (V-8)$$

Dónde:

Gmm= Gravedad específica máxima de la mezcla

D= Masa de tapa y tazón con agua a 25°C, g

E= Masa de tapa, tazón, muestra y agua a 25°C, g.

5.1.2. Resultados

Para una mejor visualización de resultados, se clasificó en dos partes: datos registrados en laboratorio y datos calculados. Para el ensayo Marshall en caliente se obtuvo datos de 15 briquetas con diferentes porcentajes de asfalto, los cuales ayudaron a obtener el porcentaje de asfalto óptimo.

Datos registrados

Tabla V.6 Diseño Marshall en caliente

Briqueta	Porcentaje Asfalto	Peso Aire	Peso Sat. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm ³)	D. Bulk g/cm ³	Gmm g/cm ³
1	4,5	1139,85	1150,31	643,59	506,7	2,249	2,464
2	4,5	1140,99	1149,62	641,80	507,8	2,247	2,464
3	4,5	1142,85	1155,36	646,89	508,5	2,248	2,464
					PROMEDIO	2,248	2,464
4	5,0	1146,81	1152,67	642,08	510,6	2,246	2,444
5	5,0	1146,17	1150,94	641,13	509,8	2,248	2,444
6	5,0	1155,47	1164,32	649,78	514,5	2,246	2,444
					PROMEDIO	2,247	2,444
7	5,5	1151,99	1154,70	650,31	504,4	2,284	2,420
8	5,5	1152,29	1153,22	649,23	504,0	2,286	2,420
9	5,5	1154,19	1156,00	651,22	504,8	2,287	2,420
					PROMEDIO	2,286	2,420
10	6,0	1162,72	1163,87	655,73	508,1	2,288	2,396
11	6,0	1169,19	1170,36	658,41	512,0	2,284	2,396
12	6,0	1176,55	1177,53	670,44	507,1	2,320	2,396
					PROMEDIO	2,297	2,396
13	6,5	1158,57	1158,98	658,59	500,4	2,315	2,384
14	6,5	1141,55	1141,66	648,27	493,4	2,314	2,384
15	6,5	1150,06	1150,32	653,43	496,9	2,315	2,384
					PROMEDIO	2,314	2,384

Con los datos registrados de los ensayos, se calcularon las propiedades volumétricas de cada briqueta.

Datos calculados

Tabla V.7 Propiedades obtenidas del diseño Marshall en caliente

Briqueta	Porcentaje	V. a.	V. agr.	VAM	VAF	Medida	Estabilidad (lb)		Flujo 0.01"
	Asfalto	%	%	%	%		Factor Corrección	Corregida	
1	4,5	8,71	87,3	12,70	31,43	4090	1,04	4254	12
2	4,5	8,81	87,2	12,80	31,14	3740	1,04	3890	12
3	4,5	8,78	87,2	12,77	31,23	3330	1,00	3330	11
	Promedio	8,8	87,2	12,8	31,3	--	--	3824	11
4	5,0	8,10	86,7	13,29	39,04	3050	1,00	3050	12
5	5,0	8,01	86,8	13,20	39,33	3860	1,00	3860	12
6	5,0	8,12	86,7	13,30	38,99	3625	1,00	3625	12
	Promedio	8,1	86,7	13,3	39,1	--	--	3512	12
7	5,5	5,62	87,7	12,29	54,24	3570	1,04	3713	13
8	5,5	5,52	87,8	12,20	54,71	3665	1,04	3812	14
9	5,5	5,52	87,8	12,19	54,75	3225	1,04	3354	14
	Promedio	5,6	87,8	12,2	54,6	--	--	3626	14
10	6,0	4,50	87,4	12,59	64,26	3710	1,04	3858	13
11	6,0	4,68	87,2	12,76	63,29	3425	1,00	3425	13
12	6,0	3,16	88,6	11,37	72,17	2900	1,04	3016	14
	Promedio	4,1	87,8	12,2	66,6	--	--	3433	13
13	6,5	2,88	88,0	12,02	76,04	2820	1,04	2933	14
14	6,5	2,95	87,9	12,09	75,60	2950	1,09	3216	14
15	6,5	2,91	87,9	12,05	75,82	2885	1,04	3000	14
	Promedio	2,9	87,9	12,1	75,8	--	--	3108	14

Evaluamos los diferentes resultados, tomando en cuenta como punto de inicio el porcentaje de vacíos deseados en la mezcla. La normativa indica que los vacíos deben estar entre el 3% y 5%, por lo que, para este caso, trabajamos con un valor intermedio de 4% de vacíos.

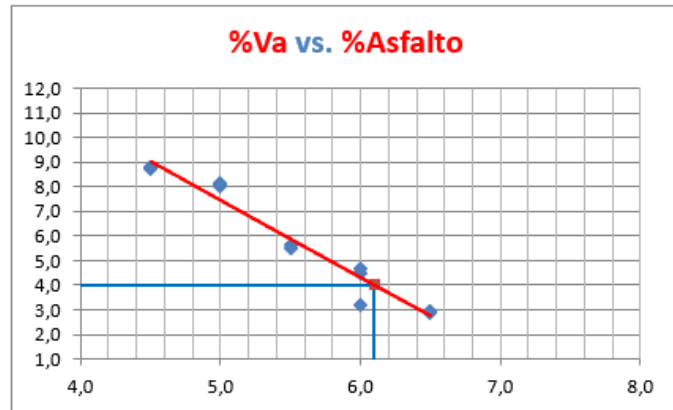


Gráfico N° V.2 %Va vs % Asfalto

Determinado el porcentaje de vacíos, se obtiene el porcentaje de asfalto óptimo. En este caso el porcentaje de asfalto óptimo dió como resultado 6.1% de asfalto. Se chequea que los demás parámetros se encuentren dentro del rango establecido por el Asphalt Institute.

Para ello se empieza por chequear las propiedades volumétricas, siendo las propiedades VAF y VAM las más importantes.

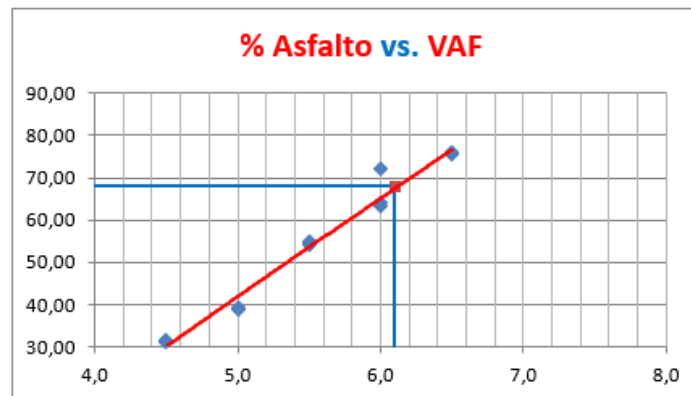


Gráfico N° V.3 %VAF vs % Asfalto

Con el porcentaje óptimo de 6.1% se espera obtener un porcentaje de vacíos rellenado con asfalto (VAF) cerca de 70, lo cual es admisible ya que el rango establecido es de 65 como valor mínimo y 75 como valor máximo.

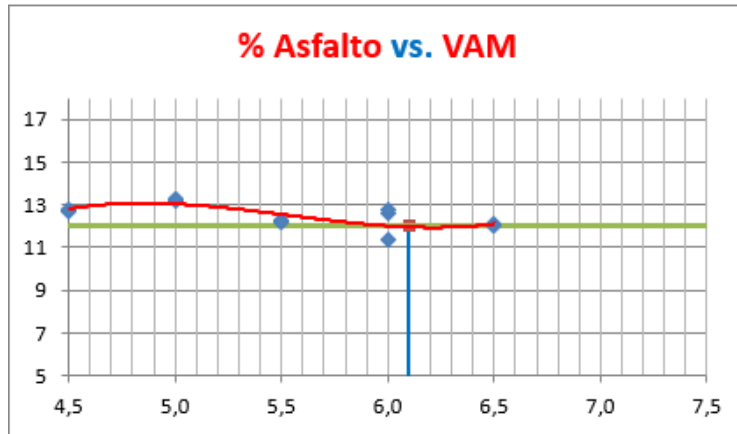


Gráfico N° V.4 %VAM vs % Asfalto

Mientras que para los vacíos del agregado mineral se espera tener un valor de 12 que, de acuerdo a lo establecido, se encuentra en el rango mínimo, lo cual se lo considera aceptable.

Con ello se analiza el posible flujo y estabilidad que podría tener la muestra con el asfalto óptimo.

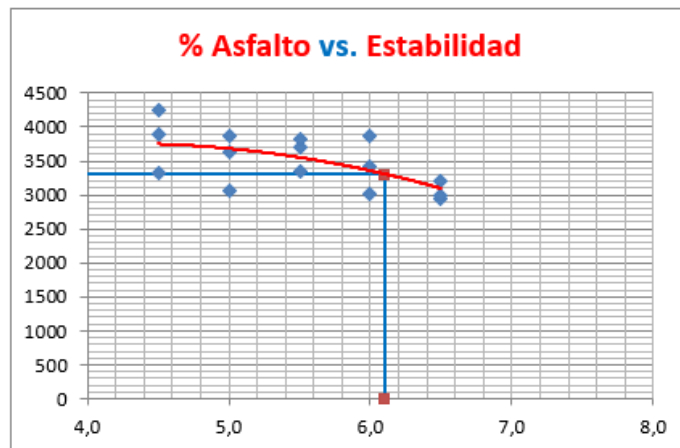


Gráfico N° V.5 Estabilidad vs % Asfalto

La estabilidad teórica obtenida con porcentaje de asfalto óptimo, es 3300lb. Siendo un valor superior al valor mínimo establecido de 1800lb. Por este lado se considera aceptable.

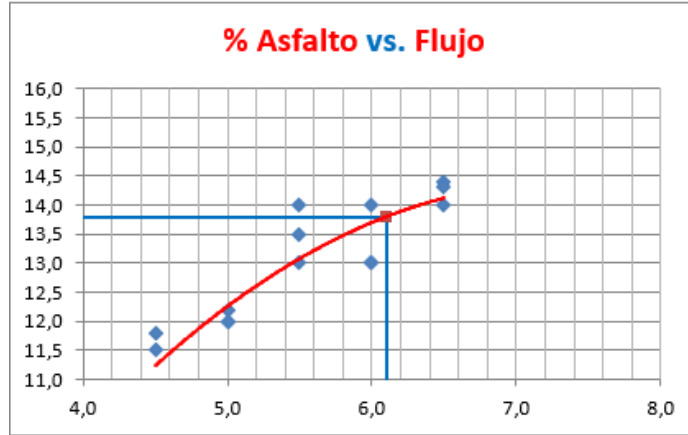


Gráfico N° V.6 Flujo vs % Asfalto

Un flujo de 13.8 (0.25mm) es el resultado teórico de la mezcla asfáltica caliente utilizando el porcentaje de asfalto óptimo, lo cual se encuentra dentro del rango establecido.

Al cumplir con todas las características enunciadas en las normas, se considera como asfalto óptimo al valor escogido inicialmente de 6.1%.

Se realiza una gráfica en la cual se muestre la densidad Bulk en función del porcentaje de asfalto, como una representación de valores referenciales.

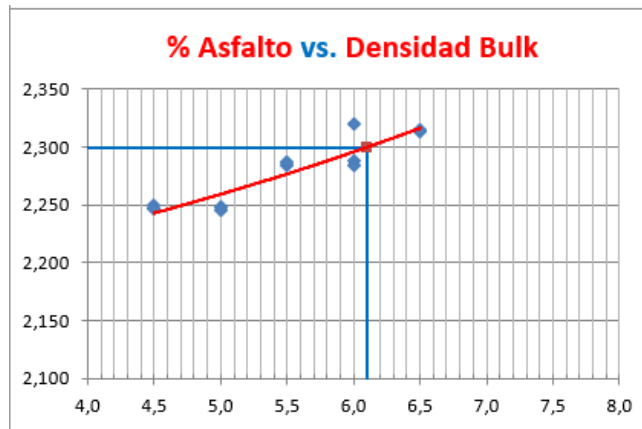


Gráfico N° V.7 Densidad Bulk vs % Asfalto

5.2. Mezclas asfálticas tibias

5.2.1. Diseño

Las mezclas asfálticas tibias fueron planteadas para evitar las desventajas que nos ofrecen las mezclas asfálticas en caliente. Entre ellas la contaminación por la producción de gases debido a la temperatura de mezclado. Las mezclas asfálticas tibias se desarrollan a una temperatura menor teniendo como rango de 100°C a 130°C.

Se busca cumplir los requisitos del ensayo Marshall en caliente, pero a una baja temperatura. Al disminuir la temperatura de mezclado, se dificulta la adherencia del asfalto sobre el material pétreo, generando mayores vacíos y reduciendo su flujo y estabilidad. Para equilibrar esta desventaja de adherencia, se usa diferentes tipos de aditivos, los cuales ayudan a una mejor trabajabilidad al momento de mezclado.

Para estos ensayos se realizará briquetas dentro del rango de temperatura de mezclado para mezclas asfálticas tibias. El porcentaje de asfalto óptimo en caliente será igual al porcentaje de asfalto inicial para las pruebas de mezclas asfálticas tibias.

Las primeras 3 briquetas no tendrán ningún tipo de aditivo presente. Las briquetas con aditivo presente, tomarán el porcentaje de aditivo necesario dentro del rango establecido por la ficha técnica de cada uno de ellos.

En el caso del aditivo Súrfax TB-1, la ficha recomienda colocar de 2% a 4% por cada 1000gr de mezcla asfáltica. Se cubrirá el rango realizando 3 briquetas por cada porcentaje, en intervalos de 0.5%. en este caso 2%, 2.5%, 3%, 3.5% y 4%, tomando un total de 15 briquetas.

El mezclado del aditivo Súrfax TB-1 se lo realiza en el momento de la mezcla asfáltica, colocando el peso necesario que cumpla con el porcentaje de aditivo que se quiere añadir a la mezcla.



Fotografía N° V.7 Mezcla asfáltica con aditivo Súrfax TB-1

Para el aditivo Zycotherm, la dosificación recomendada es de 0.025% a 0.1% por cada 100% de material ligante, en nuestro caso el asfalto. Para ello realizaremos 3 briquetas empezando con 0.025% de aditivo e iremos subiendo cada 0.025% obteniendo así los porcentajes 0.025%, 0.050%, 0.075%, 0.1% y 0.125%, con un total de 15 briquetas para este aditivo.

El aditivo Zycotherm se debe verificar que esté en óptimas condiciones de acuerdo a la ficha técnica entregada por el proveedor. Esto se logra mezclando el aditivo con agua. Si la mezcla resulta de un color blanquecino lechoso, se descarta el aditivo debido a que se encuentra dañado.



Fotografía N° V.8 Prueba aditivo Zycotherm

En caso que la mezcla de aditivo y agua resulte transparente, el aditivo se encuentra en condiciones de ser añadido a la mezcla asfáltica. Para ello se mezcla previamente solo con el asfalto, calentado previamente, con movimientos circulares y constantes. Se usan recipientes para cada porcentaje de aditivo y se los identifica para realizar la mezcla asfáltica.



Fotografía N° V.9 Recipientes con mezcla Asfalto-Zycotherm

Se mantiene los porcentajes de granulometría y el asfalto óptimo por lo cual la única variación es el porcentaje de aditivo. Realizamos la mezcla a una temperatura no mayor a 130°C ni menor a 100°C, se coloca en el molde, que se encuentra a temperatura ambiente. Se golpea con la varilla dentro del molde, 15 veces alrededor y 10 veces en el centro de la mezcla, de la misma forma que se realizó en caliente. Se coloca el papel filtro y se compacta 75 veces por cada cara de la briqueta, dejándolo enfriar a temperatura ambiente.



Fotografía N° V.10 Mezcla asfáltica tibia a 120°C

Una vez la briqueta fría, se saca del molde, se limpia y se procede a realizar las mediciones de espesor y diámetro de cada una. Se pesa la briqueta al aire libre, sumergida en agua temperada a 25°C por 4 minutos. Al sacarlo del agua, se lo seca brevemente y se lo pesa, este peso es conocido como el peso saturado con superficie seca. Obteniendo los datos suficientes para determinar las propiedades volumétricas de cada muestra.

Se realiza el procedimiento para determinar la densidad teórica máxima (RICE) de igual forma que en mezclas en caliente y con estos datos podemos obtener las propiedades volumétricas de cada briqueta.

Para ensayar las briquetas, estas deben permanecer sumergidas en agua temperada a 60°C por un periodo de no menos de 30 minutos y se los ensaya, obteniendo el valor de flujo y estabilidad. Se corrige el valor de estabilidad con los factores de corrección en base a su volumen.

5.2.2. Resultados

Asfalto tibio sin aditivo

Datos registrados

Tabla V.8 Diseño Marshall en tibio sin aditivo

Briqueta	Porcentaje Asfalto	Peso Aire	Peso Sat. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm ³)	D. Bulk g/cm ³	Gmm g/cm ³
1	4,5	1165,68	1167,17	665,18	502,0	2,322	2,395
2	4,5	1159,26	1162,17	648,54	513,6	2,257	2,395
3	4,5	1160,21	1162,75	650,61	512,1	2,265	2,395
PROMEDIO						2,282	2,395

Datos Calculados

Tabla V.9 Propiedades obtenidas del diseño Marshall en tibio sin aditivo

Briqueta	Porcentaje Asfalto	V. a. %	V. agr. %	VAM %	VAF %	Estabilidad (lb) Medida	F Correc.	Estabilidad (lb) Corregida	Flujo 0.01"
1	4,5	3,04	90,1	9,88	69,19	2050	1,04	2132	12
2	4,5	5,76	87,6	12,41	53,55	2050	1,00	2050	14
3	4,5	5,41	87,9	12,08	55,21	1975	1,00	1975	14
Promedio		4,7	88,5	11,5	59,3			2052	13

Asfalto tibio con aditivo Zycotherm

Datos registrados

Tabla V.10 Diseño Marshall en tibio con aditivo Zycotherm

Briqueta	Porcentaje Asfalto	Porcentaje Aditivo	Peso Aire	Peso Sat. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm ³)	D. Bulk g/cm ³	Gmm g/cm ³
1	6,0	0,025	1164,46	1167,89	655,12	512,8	2,271	2,393
2	6,0	0,025	1162,04	1165,41	657,32	508,1	2,287	2,393
3	6,0	0,025	1166,17	1168,22	657,60	510,6	2,284	2,393
						PROMEDIO	2,281	2,393
4	6,0	0,050	1162,02	1164,47	649,34	515,1	2,256	2,398
5	6,0	0,050	1164,73	1167,18	653,28	513,9	2,266	2,398
6	6,0	0,050	1160,57	1162,93	656,12	506,8	2,290	2,398
						PROMEDIO	2,271	2,398
7	6,0	0,075	1160,83	1163,91	657,54	506,4	2,292	2,397
8	6,0	0,075	1165,41	1167,39	659,29	508,1	2,294	2,397
9	6,0	0,075	1156,62	1159,34	649,91	509,4	2,270	2,397
						PROMEDIO	2,286	2,397
10	6,0	0,100	1161,24	1162,73	655,63	507,1	2,290	2,390
11	6,0	0,100	1162,14	1164,53	653,11	511,4	2,272	2,390
12	6,0	0,100	1157,23	1159,37	653,70	505,7	2,289	2,390
						PROMEDIO	2,284	2,390
13	6,0	0,125	1160,05	1161,86	654,85	507,0	2,288	2,392
14	6,0	0,125	1157,01	1159,41	655,48	503,9	2,296	2,392
15	6,0	0,125	1163,39	1166,34	655,69	510,7	2,278	2,392
						PROMEDIO	2,287	2,392

Datos calculados

Tabla V.11 Propiedades obtenidos del diseño Marshall en tibio con aditivo Zycotherm

Briqueta	Porcentaje	Porcentaje	V. a.	V. agr.	VAM	VAF	Estabilidad (lb)		Flujo 0.01"	
	Asfalto	Aditivo	%	%	%	%	Medida	F Correc. Corregida		
1	6,0	0,025	5,10	86,8	13,25	61,50	2060	1,00	2060	12
2	6,0	0,025	4,43	87,4	12,63	64,96	2650	1,04	2756	14
3	6,0	0,025	4,56	87,2	12,76	64,24	2300	1,00	2300	15
		Promedio	4,7	87,1	12,9	63,6			2372	13
4	6,0	0,050	5,93	86,2	13,83	57,11	2425	1,00	2425	15
5	6,0	0,050	5,49	86,6	13,42	59,12	2800	1,00	2800	15
6	6,0	0,050	4,51	87,5	12,52	64,02	2850	1,04	2964	13
		Promedio	5,3	86,7	13,3	60,1			2730	14
7	6,0	0,075	4,36	87,6	12,43	64,90	3000	1,04	3120	14
8	6,0	0,075	4,31	87,6	12,38	65,18	2850	1,04	2964	16
9	6,0	0,075	5,28	86,7	13,27	60,20	2475	1,00	2475	15
		Promedio	4,7	87,3	12,7	63,4			2853	15
10	6,0	0,100	4,19	87,5	12,52	66,57	3070	1,04	3193	14
11	6,0	0,100	4,92	86,8	13,19	62,70	2740	1,00	2740	14
12	6,0	0,100	4,25	87,4	12,58	66,24	2400	1,04	2496	13
		Promedio	4,5	87,2	12,8	65,2			2810	14
13	6,0	0,125	4,35	87,4	12,60	65,49	2350	1,04	2444	12
14	6,0	0,125	4,01	87,7	12,29	67,34	2220	1,04	2309	13
15	6,0	0,125	4,76	87,0	12,97	63,33	2050	1,00	2050	13
		Promedio	4,4	87,4	12,6	65,4			2179	13

Asfalto tibio con aditivo Súrfax TB-1

Datos registrados

Tabla V.12 Diseño Marshall en tibio con aditivo Súrfax TB-1

Briqueta	Porcentaje Asfalto	Porcentaje Aditivo	Peso Aire	Peso Sat. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm ³)	D. Bulk g/cm ³	Gmm g/cm ³
1	6,0	2,0	1160,14	1160,56	656,32	506,7	2,301	2,322
2	6,0	2,0	1171,59	1171,92	661,70	507,8	2,296	2,322
3	6,0	2,0	1163,36	1163,72	656,53	507,2	2,294	2,322
						PROMEDIO	2,297	2,322
4	6,0	2,5	1186,18	1186,48	667,62	518,9	2,286	2,306
5	6,0	2,5	1172,73	1173,13	658,59	514,5	2,279	2,306
6	6,0	2,5	1184,92	1185,31	666,26	519,1	2,283	2,306
						PROMEDIO	2,283	2,306
7	6,0	3,0	1189,13	1189,50	667,19	522,3	2,277	2,296
8	6,0	3,0	1183,53	1183,87	664,22	519,7	2,278	2,296
9	6,0	3,0	1188,44	1188,74	666,48	522,3	2,276	2,296
						PROMEDIO	2,277	2,296
10	6,0	3,5	1182,61	1182,77	663,19	519,6	2,276	2,281
11	6,0	3,5	1183,78	1184,32	663,23	521,1	2,272	2,281
12	6,0	3,5	1199,41	1199,79	668,42	531,4	2,257	2,281
						PROMEDIO	2,268	2,281
13	6,0	4,0	1195,68	1195,97	663,63	532,3	2,246	2,272
14	6,0	4,0	1198,17	1198,44	665,30	533,1	2,247	2,272
15	6,0	4,0	1193,32	1193,43	658,85	534,6	2,232	2,272
						PROMEDIO	2,240	2,272

Datos calculados

Tabla V.13 Propiedades obtenidas del diseño Marshall en tibio con aditivo Súrfax TB-1

Briqueta	Porcentaje	Porcentaje	V. a.	V.	VAM	VAF	Estabilidad (lb)		Flujo 0.01"	
	Asfalto	Aditivo	%	agr. %	%	%	Medida	F Correc. Corregida		
1	6,0	2,0	0,91	87,9	12,11	92,45	2200	1,04	2288	15
2	6,0	2,0	1,11	87,7	12,28	90,97	2310	1,00	2310	16
3	6,0	2,0	1,22	87,6	12,38	90,17	2420	1,04	2517	17
		Promedio	1,1	87,7	12,3	91,2			2372	16
4	6,0	2,5	0,86	87,3	12,67	93,20	2050	1,00	2050	17
5	6,0	2,5	1,16	87,1	12,93	91,01	1880	1,00	1880	17
6	6,0	2,5	1,00	87,2	12,79	92,16	1980	1,00	1980	16
		Promedio	1,0	87,2	12,8	92,1			1970	17
7	6,0	3,0	0,84	87,0	13,03	93,54	1950	1,00	1950	13
8	6,0	3,0	0,80	87,0	13,00	93,82	1850	1,00	1850	13
9	6,0	3,0	0,89	86,9	13,07	93,19	1800	1,00	1800	13
		Promedio	0,8	87,0	13,0	93,5			1867	13
10	6,0	3,5	0,22	86,9	13,05	98,35	1950	1,00	1950	12
11	6,0	3,5	0,41	86,8	13,22	96,93	1850	1,00	1850	12
12	6,0	3,5	1,04	86,2	13,77	92,43	2050	0,96	1968	12
		Promedio	0,6	86,7	13,3	95,9			1923	12
13	6,0	4,0	1,14	85,8	14,20	91,97	2100	0,96	2016	14
14	6,0	4,0	1,08	85,9	14,15	92,34	1720	0,96	1651	16
15	6,0	4,0	1,75	85,3	14,73	88,12	1530	0,96	1469	16
		Promedio	1,3	85,6	14,4	90,8			1560	16

CAPÍTULO VI ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para que una mezcla asfáltica sea aprobada para su construcción, deben cumplir con los parámetros de las normas local e internacional. Tomando en cuenta que la calidad de la mezcla es determinada por la calidad de los materiales usados en la misma.

Generalmente, al tener componentes de buena calidad, como resultado, es muy probable la mezcla asfáltica cumpla con los criterios exigidos por la normativa. Las probabilidades son amplias ya que no podemos asegurar que los componentes tengan siempre las mismas características, es por ello que se realizaron varios ensayos y se trabajó con un valor promedio disminuyendo el porcentaje de error.

Finalmente, se analizan los datos resultantes de los ensayos de los materiales usados en la mezcla asfáltica. El análisis de los materiales se realiza de forma independiente determinando sus características por separado y se realiza un análisis de forma conjunta, determinando las características de las mezclas asfálticas realizadas a lo largo del estudio.

Agregados pétreos

Tabla VI.1 Resultados - Ensayos de agregados pétreos

Resultados de los ensayos de los agregados pétreos							
Ensayo	Norma		Unidad	Mínimo	Máximo	Valor obtenido	Evaluación
	ASTM	INEN					
Absorción agregado grueso	C 127	857	%	-----	-----	1,77	-----
Absorción agregado medio	C 127	857	%	-----	-----	2,17	-----
Absorción agregado fino	C 128	856	%	-----	-----	3,36	-----
Equivalente de arena para agregado fino	D 2419	-----	%	-----	-----	26,00	-----
Gravedad específica Bulk del agregado grueso	C 127	857	-----	-----	-----	2,48	-----
Gravedad específica Bulk del agregado medio	C 127	857	-----	-----	-----	2,43	-----
Gravedad específica Bulk del agregado fino	C 128	856	-----	-----	-----	2,44	-----
Desgaste en máquina de los ángeles agregado grueso	C 131	860	%	0	40	30,45	CUMPLE
Desgaste en máquina de los ángeles agregado medio	C 131	860	%	0	40	26,65	CUMPLE
Desgaste por sulfatos agregado grueso 1/2"	C 88	863	%	0	12	0,44	CUMPLE
Desgaste por sulfatos agregado grueso 3/8"	C 88	863	%	0	12	0,48	CUMPLE
Desgaste por sulfatos agregado medio	C 88	863	%	0	12	1,71	CUMPLE
Desgaste por sulfatos agregado fino N°4	C 88	863	%	0	12	2,50	CUMPLE
Desgaste por sulfatos agregado fino N°8	C 88	863	%	0	12	1,78	CUMPLE
Desgaste por sulfatos agregado fino N°16	C 88	863	%	0	12	2,23	CUMPLE
Desgaste por sulfatos agregado fino N°30	C 88	863	%	0	12	1,42	CUMPLE
Desgaste por sulfatos agregado fino N°50	C 88	863	%	0	12	2,36	CUMPLE

El material pétreo usado en la elaboración de las mezclas, cumple satisfactoriamente con los parámetros de la normativa ASTM e INEN, siendo muy probable que la eficiencia de la mezcla asfáltica con estos agregados sea óptima.

En la determinación de resistencia a la abrasión, se obtuvo un resultado de 30.45% en el agregado grueso y 26.65% en el agregado medio. De acuerdo con la normativa INEN 860, el porcentaje máximo por desgaste a la abrasión permitido es de 40%. Esto indica que la calidad relativa de los agregados es aceptable y, por lo tanto, el agregado pétreo está parcialmente calificado como aceptable para el uso en la mezcla asfáltica.

La durabilidad de los agregados determina el desempeño del material en estado de servicio a la intemperie. Simulando la expansión del agua al congelarse en el interior de los poros del agregado, debido a la fuerza expansiva interna que generan los sulfatos. El tamaño de los agregados tomados para el agregado grueso fue de 1/2" y 3/8" obteniendo un porcentaje de 0.44% y 0.48% respectivamente. Para el agregado medio se tomó un único tamaño de 3/8" el cual obtuvo un desgaste de 1.71%. Y para el agregado fino se tomaron 5 tamaños de acuerdo a la norma y fueron del tamiz N°4, N°8, N°16, N°30 y N°50, los cuales obtuvieron un valor de 2.50%, 1.78%, 2.23%, 1.42% y 2.36% de desgaste, respectivamente. La norma indica que el porcentaje máximo de desgaste por la acción de sulfatos es del 12%, por lo que cumple con la normativa y está calificado como componente de buena calidad para la mezcla.

Los demás ensayos como gravedad específica, densidad y absorción, no tienen rangos establecidos. Es por ello que queda al criterio del usuario, ya que estos parámetros son importantes para un diseño óptimo en mezcla asfáltica.

Asfalto AC-20

Tabla VI.2 Resultados - Ensayos de asfalto AC-20

Resultados de los ensayos de asfalto AC-20							
Ensayo	Norma		Unidad	Valores para AC-20		Valor obtenido	Evaluación
	ASTM	INEN		Mínimo	Máximo		
Viscosidad Absoluta a 60 °C	D 2171	----	Pa|s	200±40		209,9	CUMPLE
Viscosidad Cinemática a 135 °C	D 2170	----	mm ² s	300	----	372	CUMPLE
Densidad por el método del picnómetro	D 70	923	Kg/m ³	----	----	1009	CUMPLE
Punto de Inflamación	D 92	808	°C	232	----	279,46	CUMPLE
Penetración a 25°C	D 5	917	0,1mm	60	----	79,66	CUMPLE
Índice de penetración	----	----	U	-1,5	1	-0,94	CUMPLE
Punto de reblandecimiento	D 36	920	°C	----	----	46,7	CUMPLE
Cambio de masa RTFO	D 2872	----	%	----	1	0,28	CUMPLE
Ductilidad a 25°C	D 113	916	cm	50	----	46	NO CUMPLE

Dentro de la mezcla asfáltica, el asfalto es el componente encargado de la adherencia entre agregados, cubriendo los poros dentro del agregado pétreo y los espacios intersticiales entre partículas de agregados. Es por ello que se realiza varios ensayos para determinar sus características y verificar que sea un ligante aceptable para la mezcla asfáltica. Los valores referenciados se pueden encontrar en la Tabla II.1 Requisitos para cemento asfáltico graduado por viscosidad

El asfalto evaluado, obtuvo un valor de 209.9 Pa.s de viscosidad absoluta a 60°C, lo cual se encuentra dentro del rango aceptable por la norma que pide como requisito estar entre 160 Pa.s a 240 Pa.s. Mientras que en su viscosidad cinemática a 135°C dio un valor de 372 Pa.s, el cual es superior al valor mínimo establecido en la norma de 300 Pa.s . Por lo tanto, la propiedad de viscosidad del asfalto cumple satisfactoriamente.

El punto de inflamación del asfalto ensayado es de 279.46°C. La norma específica que debe tener un punto de ebullición no menor a 323°C, por lo que el asfalto evaluado, cumple con este parámetro.

El ensayo de penetración nos ayuda a determinar qué tipo de asfalto es y como se lo va a caracterizar. En este caso es un asfalto con una penetración 60/70. El valor mínimo de penetración para este tipo de asfalto según la norma es de 60 (0.1mm). El asfalto ensayado tiene una penetración de 79.66 (0.1mm) lo cual cumple satisfactoriamente con la norma.

El punto de reblandecimiento del bitumen no tiene un valor establecido dentro de la norma, pero, es un ensayo importante, ya que con ello se determina el índice de penetración del asfalto.

El índice de penetración depende de la penetración y el punto reblandecimiento del asfalto. Este parámetro indica la susceptibilidad térmica del asfalto, el rango de desempeño moderado es de -1.5 a 1, ya que se considera que para valores mayores a 1 tienen una susceptibilidad térmica baja, pero con una deformación elástica alta. Mientras que para valores menores de -1.5, el asfalto tiene una susceptibilidad térmica alta y un grado de deformación elástica muy baja. El índice de penetración obtenido es de -0.94 lo cual está dentro del rango propuesto.

Para el ensayo de cambio de masa, la normativa exige un cambio de masa no mayor al 1%. El valor calculado determinado para el cambio de masa del asfalto ensayado, es de 0.28% lo cual cumple satisfactoriamente con la normativa.

El ensayo de ductilidad determina la capacidad que tiene un material de deformarse sin llegar a romperse, cuando se encuentra sometido a una fuerza externa. El valor mínimo que

la norma exige para un asfalto AC-20 es de 50 cm. El asfalto ensayado dio como resultado un valor máximo de 46cm, por lo que no cumple con la normativa. Existen muchos factores por el cual la ductilidad puede ser baja, pero el más probable es que el asfalto a ser recalentado varias veces, pierde sus propiedades.

Determinando que el asfalto cumple con casi todos los parámetros establecidos y la posible causa de que la ductilidad no cumpla con la normativa, se determina que los materiales a usarse en la mezcla, son óptimos y aceptables

Diseño Marshall en caliente

Para obtener una mezcla asfáltica en caliente idónea, se debe realizar varias muestras con diferentes porcentajes de asfalto y correlacionar sus resultados obteniendo una muestra que cumpla satisfactoriamente con la normativa. Cada muestra obtenida, sirve como guía para una muestra siguiente, ajustando datos, hasta llegar a una muestra óptima. Para el desarrollo de la muestra inicial, es recomendable iniciar con una combinación de material pétreo que se ajuste al centro de los límites normados. Y con ello obtener el porcentaje óptimo de asfalto para gradación de agregados seleccionado anteriormente.

Tabla VI.3 Valores del porcentaje de asfalto óptimo

Porcentaje Asfalto	D. Bulk g/cm³	V. a. %	VAM %	VAF %	Estabilidad lb	Flujo 0.01"
6.1	2.3	4	12	68	3300	13.8
Criterios Norma		3 – 5	12 - 14	65 – 75	>1800	8 - 14
Análisis		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Con el asfalto óptimo de 6.1%, se observa que cumple con todas las condiciones que requiere una mezcla asfáltica para ser aceptada por la norma.

Con el valor 4%, el porcentaje de vacíos cumple satisfactoriamente con el rango establecido por la norma de 3% mínimo y 5% máximo.

Con respecto al porcentaje VAM, depende del tamaño máximo nominal. Para el diseño de las briquetas, se tiene un agregado de 3/4" por lo que el rango de VAM es de 12% a 14%. El VAM obtenido en la mezcla asfáltica es de 12% por lo cual se encuentra dentro del rango permitido.

Los vacíos llenados con asfalto teórico (VAF), resultante de las correlaciones con el porcentaje de asfalto óptimo, es de 68%, el cual está dentro del rango permitido que va desde el 65% hasta el 75%.

Se observa un valor de estabilidad de 3300 lb el cual es muy superior al mínimo establecido en los criterios de diseño Marshall en caliente, esto nos demuestra que el material tiene una buena resistencia a sufrir deformaciones debido a la carga que se le va a aplicar.

El flujo tiene un valor de 13.8 (0.01") el cual se encuentra dentro del rango entre 8 (0.01") y 14 (0.01") establecido en parámetros de la norma. Cumple satisfactoriamente e indica que el material no cederá a una deformación relativamente grande al momento de aplicarse una carga.

Todos estos valores de normativa, se encuentran en la tabla donde se especifica los Criterios Marshall

Diseño Marshall en tibio sin aditivo

Se realiza este ensayo para verificar que la disminución de temperatura en la elaboración de la mezcla asfáltica, no cumple con los rangos detallados para ser aceptada por la normativa.

Tabla VI.4 Resumen diseño Marshall en tibio sin aditivo

Porcentaje Asfalto	D. Bulk g/cm ³	V. a. %	VAM %	VAF %	Estabilidad lb	Flujo 0.01"
6.1	2.282	4.7	11.5	59.3	2052	13
Criterios Norma		3 – 5	12 - 14	65 – 75	>1800	8 - 14
Análisis		CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

La disminución de temperatura genera una menor adhesión de los agregados, por ello sus propiedades volumétricas cambian considerablemente.

En el caso de los vacíos de aire (Va), el ensayo da un resultado de 4.7%, el cual cumple con la normativa, pero podemos ver que existe un aumento considerable con respecto al ensayo Marshall en caliente. Esto se debe a que no existe una buena adhesión entre partículas de agregado y asfalto, dejando espacios de aire.

El valor de VAM obtenido es de 11.5% el cual no cumple con la normativa de no menor de 12%, dando como resultado no apto. Mientras que los vacíos rellenos con asfalto (VAF), con un valor de 59.3%, también se encuentran bajo el rango normado. Esto se debe a que el asfalto no está lo suficientemente diluido para poder penetrar en los espacios internos de los agregados.

Al tener estos inconvenientes, se deduce el aplicar aditivos para mejorar la viscosidad del asfalto, dándole trabajabilidad y características similares a su comportamiento cuando se trabaja con asfalto caliente.

Diseño Marshall en tibio con aditivo Zycotherm

Los aditivos sirven para mejorar las propiedades del asfalto a una menor temperatura, como la viscosidad dando una mejor trabajabilidad. Según la ficha técnica de cada aditivo, se añade aditivo en diferentes porcentajes dentro de la formulación típica del mismo.

Para la mezcla asfáltica en tibio con el aditivo Zycotherm, se analizaron 4 porcentajes de acuerdo a lo establecido por el proveedor del producto y un porcentaje fuera de la formulación típica establecida.

- **Zycotherm al 0.025%**

Tabla VI.5 Resumen de valores aditivo Zycotherm al 0.025%

Porcentaje Aditivo	D. Bulk g/cm3	V. a. %	VAM %	VAF %	Estabilidad lb	Flujo 0.01"
0,025	2,281	4,7	12,9	63,6	2372	13
Criterios Norma		3 – 5	12 - 14	65 – 75	>1800	8 - 14
Análisis		CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Al añadir un 0.025% de aditivo Zycotherm a la mezcla asfáltica en tibio, sus propiedades mejoraron, pero no lo suficiente para cumplir con los criterios exigidos por la norma.

El porcentaje de vacíos se mantuvo en un 4.7% al igual que en una mezcla sin aditivo, pero se observa ver cambios en los porcentajes de VAM y VAF. Con respecto al VAM,

mejoró considerablemente y cumple con el rango establecido por el criterio Marshall.

Mientras que el VAF, a pesar de su mejora, sigue estando fuera de los límites, por lo que se descarta el porcentaje ya que no cumple con lo establecido.

La estabilidad y flujo se encuentran en una buena situación con valores 2372 lb y 13 (0.01”) respectivamente.

- **Zycotherm al 0.05%**

Tabla VI.6 Resumen de valores aditivo Zycotherm al 0.05%

Porcentaje Aditivo	D. Bulk g/cm3	V. a. %	VAM %	VAF %	Estabilidad lb	Flujo 0.01"
0,05	2,271	5,3	13,3	60,1	2730	14
Criterios Norma		3 – 5	12 - 14	65 – 75	>1800	8 - 14
Análisis		NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Añadiendo el aditivo Zycotherm en un 0.05% a la mezcla asfáltica en tibio, podemos observar que el porcentaje de vacíos aumentó a un porcentaje de 5.3%, el cual se encuentra fuera del rango. Se puede considerar como aceptable, ya que este porcentaje se puede controlar en obra con una mayor compactación.

Con respecto al VAM, aumentó a un valor de 13.3% manteniéndose dentro del rango establecido, por lo que se considera aceptable. El VAF disminuyó a 60.1%, dejándolo fuera del rango para cubrir con los criterios Marshall establecidos.

A pesar de cumplir satisfactoriamente la estabilidad y flujo con valores de 2730 (lb) y 14 (0.01”) no cumple con los criterios de vacíos y vacíos llenados con asfalto. Por ello se descarta este porcentaje de aditivo para una mezcla asfáltica tibia.

- **Zycotherm al 0.075%**

Tabla VI.7 Resumen de valores aditivo Zycotherm al 0.075%

Porcentaje Aditivo	D. Bulk g/cm3	V. a. %	VAM %	VAF %	Estabilidad lb	Flujo 0.01"
0,075	2,286	4,7	12,7	63,4	2853	15
Criterios Norma		3 – 5	12 - 14	65 – 75	>1800	8 - 14
Análisis		CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE

Con un porcentaje de 0.075% de aditivo añadido a la mezcla, se puede observar que los vacíos se mantienen dentro del rango permitido con un porcentaje de 4.7%. El VAM de la mezcla se encuentra dentro del rango permitido con un porcentaje de 12.7%. En cambio, el VAF, mejora a un porcentaje de 63.4%, pero sigue sin cumplir con la normativa. La estabilidad se encuentra sobre el valor inferior normado, con un valor de 2853 (lb), mientras que el flujo aumenta a 15 (0.01") estando sobre el máximo valor permitido por la norma. El incumplimiento del VAF y del flujo exigido por la norma, excluye el uso de este porcentaje de aditivo para la mezcla asfáltica en tibio.

- **Zycotherm al 0.1%**

Tabla VI.8 Resumen de valores aditivo Zycotherm al 0.1%

Porcentaje Aditivo	D. Bulk g/cm3	V. a. %	VAM %	VAF %	Estabilidad lb	Flujo 0.01"
0,1	2,284	4,5	12,8	65,2	2810	14
Criterios Norma		3 – 5	12 - 14	65 – 75	>1800	8 - 14
Análisis		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

La mezcla asfáltica en tibio con un porcentaje de 0.100% de aditivo Zycotherm, cumple satisfactoriamente con los requisitos establecidos para el diseño. Pero esto no nos lleva a concluir que es la opción más óptima.

El porcentaje de vacíos se mantiene dentro del rango establecido con un valor de 4.5%. El valor del VAM tiene un valor similar a los anteriores ensayos con un valor de 12.8%. El VAF mejoró a un valor de 65.2% y cumple satisfactoriamente con los criterios que exige el ensayo Marshall. La estabilidad mantiene un valor muy arriba del exigido con un valor de 2810 (lb), cumpliendo con los requisitos. Por último, el flujo se mantiene en el filo del rango máximo permitido con un valor de 14, cumpliendo con la norma.

- **Zycotherm al 0.125%**

Tabla VI.9 Resumen de valores aditivo Zycotherm al 0.125%

Porcentaje Aditivo	D. Bulk g/cm ³	V. a. %	VAM %	VAF %	Estabilidad lb	Flujo 0.01"
0,125	2,287	4,4	12,6	65,4	2179	13
Criterios Norma		3 – 5	12 - 14	65 – 75	>1800	8 - 14
Análisis		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

El porcentaje de aditivo Zycotherm de 0.125%, no se encuentra dentro del rango de dosificación entregada por el proveedor del producto. Pero se realizó este ensayo para obtener mayor información del mismo.

Se observó que los vacíos tienen un porcentaje de 4.4% lo cual cumple satisfactoriamente los requisitos exigidos por los criterios del ensayo Marshall. El VAM obtuvo un valor de 12.6%, el cual se cumple con la norma. El VAF mejoró a 65.4% el cual cumple con los criterios satisfactoriamente. La estabilidad se redujo a 2179 (lb), pero sigue

estando sobre el valor mínimo de 1800(lb) que exige la normativa. El flujo dio un valor de 13 (0.01") el cual cumple satisfactoriamente con la normativa.

Resumen de resultados de aditivo Zycotherm

Tabla VI.10 Resumen Aditivo Zycotherm

Porcentaje Aditivo	D. Bulk g/cm3	V. a. %	VAM %	VAF %	Estabilidad lb	Flujo 0.01"
0,025	2,281	4,7	12,9	63,6	2372	13
0,05	2,271	5,3	13,3	60,1	2730	14
0,075	2,286	4,7	12,7	63,4	2853	15
0,1	2,284	4,5	12,8	65,2	2810	14
0,125	2,287	4,4	12,6	65,4	2179	13

Se observó que uso del aditivo sobre la mezcla asfáltica a varios porcentajes, modificaban las características volumétricas, estabilidad y flujo de los ensayos.

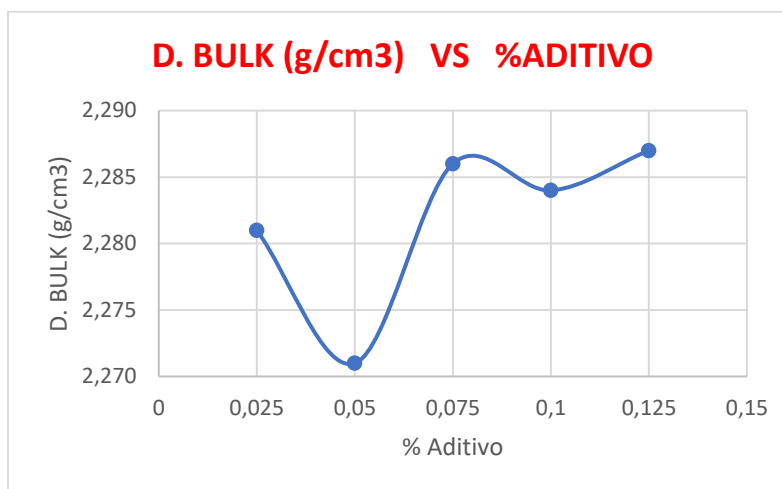


Gráfico N° VI.1 Densidad Bulk vs % Aditivo Zycotherm

Se observó que la densidad bulk decrece entre los primeros porcentajes de 0.025% a 0.05%, pero a partir de 0.075% de aditivo, su variación es mínima, teniendo como valor máximo de variación entre ellas de 0.003 g/cm3.

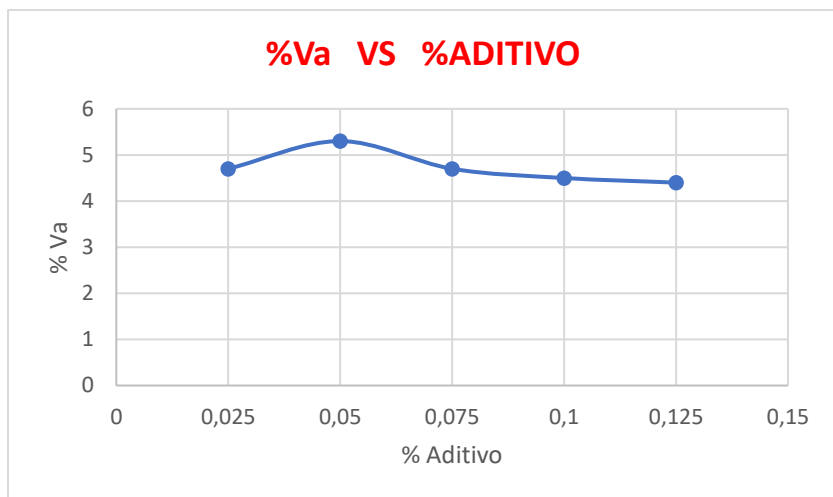


Gráfico N° VI.2 % Va vs % Aditivo Zycotherm

Los vacíos en la mezcla tienen un pico en el porcentaje de aditivo de 0.05% con un valor de 5.3% de vacíos. A partir de este punto se observa que, existe un decrecimiento de vacíos al aumentar la cantidad de aditivo.

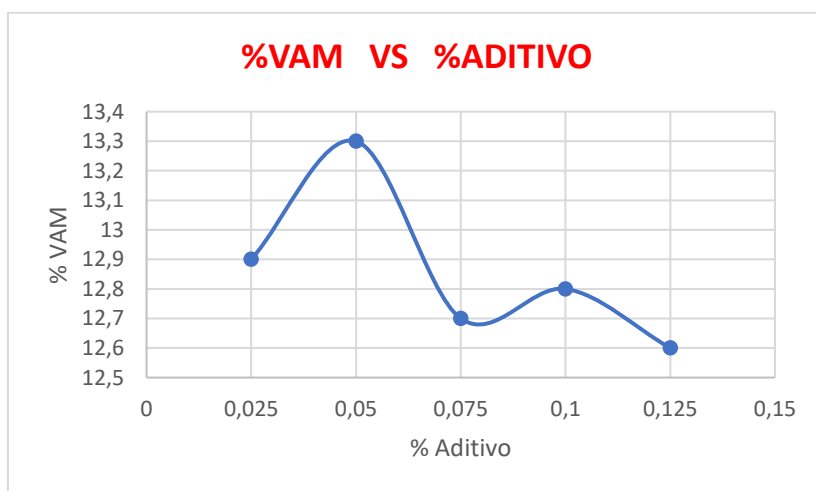


Gráfico N° VI.3 %VAM vs % aditivo Zycotherm

Con respecto al porcentaje de vacíos del agregado mineral (VAM), se observó que, con mayor cantidad de aditivo, la mezcla tiene cambios significativos, pero se mantiene siempre

dentro del rango establecido. Mientras mayor porcentaje de aditivo, el porcentaje de agregado mineral va disminuyendo.

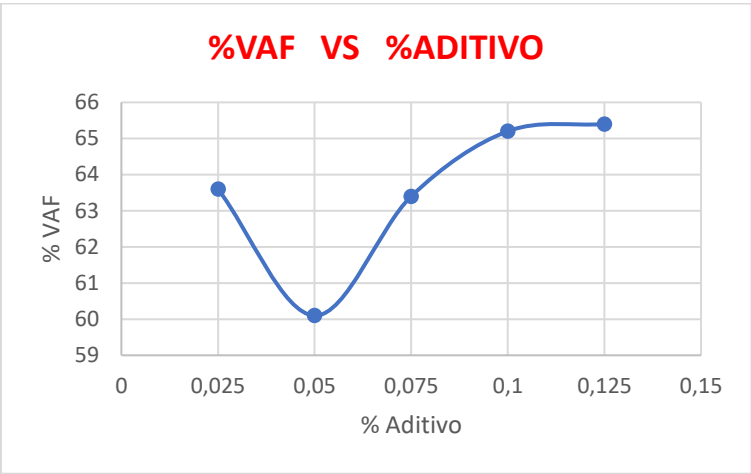


Gráfico N° VI.4 % VAF vs % Aditivo Zycotherm

Se observó que el valor del VAF, entre los porcentajes de aditivo de 0.025% y 0.05%, decrece de manera constante siendo 0.05% el pico, para que, a partir de este valor, el VAF aumente de manera gradual hasta el porcentaje de 0.01%. Entre los porcentajes de 0.1% y 0.125%, la variación es mínima con tendencia a crecer.

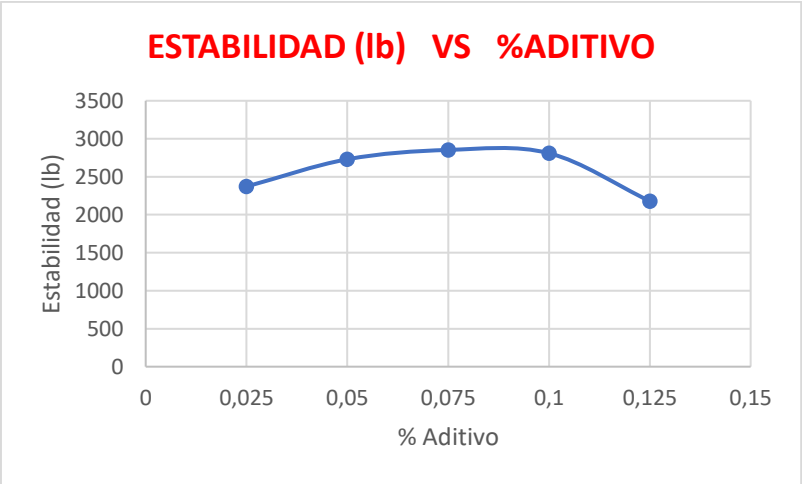


Gráfico N° VI.5 Estabilidad vs % Aditivo Zycotherm

Se observó que la estabilidad aumenta mientras aumenta el porcentaje de aditivo, esto ocurre hasta el porcentaje de aditivo de 0.075%, a partir de este punto, la estabilidad va disminuyendo.

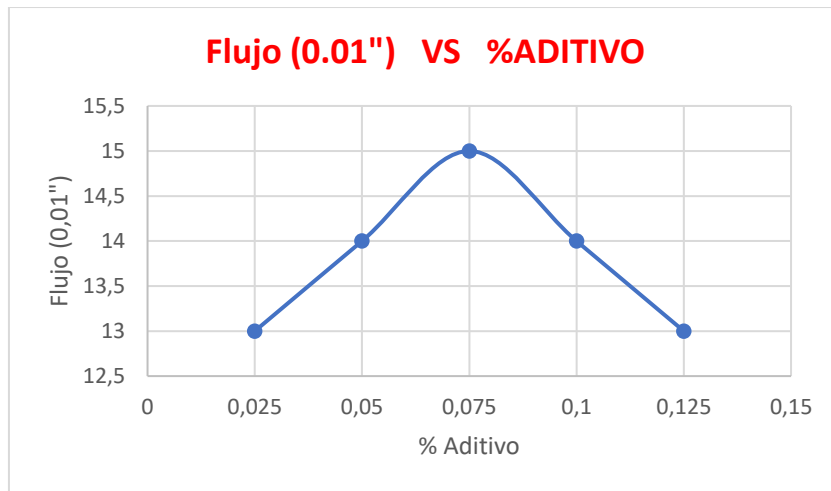


Gráfico N° VI.6 Flujo vs % Aditivo Zycotherm

El flujo tiende a ser mayor al colocar una mayor cantidad de aditivo. Esto ocurre hasta el porcentaje de 0.075%. A partir de dicho porcentaje de aditivo en la mezcla, el flujo tiene una relación inversamente proporcional al porcentaje de aditivo añadido a la mezcla.

Diseño Marshall en tibio con aditivo Súrfax TB-1

La adición del aditivo Súrfax TB-1 a la mezcla asfáltica, facilitó la trabajabilidad de la misma. El diseño en mezclas asfálticas con aditivo Súrfax TB-1 no obtuvo valores convenientes para una mezcla asfáltica con ningún porcentaje recomendado por el proveedor. Se usó 5 porcentajes de aditivo dentro del rango de la formulación típica.

- **Súrfax TB-1 al 2%**

Tabla VI.11 Resumen de valores aditivo Súrfax TB-1 al 2%

Porcentaje Aditivo	D. Bulk g/cm ³	V. a. %	VAM %	VAF %	Estabilidad lb	Flujo 0.01"
2	2,297	1,1	12,3	91,2	2372	16
Criterios Norma		3 – 5	12 – 14	65 – 75	>1800	8 - 14
Análisis		NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE

Con el uso del aditivo Súrfax TB-1 al 2% sobre la mezcla asfáltica, el porcentaje de vacíos obtuvo un valor de 1.1%, el cual es muy bajo para el rango mínimo establecido por los criterios Marshall. Esto significa que el asfalto ocupó la mayoría de vacíos debido a su baja viscosidad, al ser añadido el aditivo.

El porcentaje VAM es de 12.3% cumpliendo con la normativa, mientras que los vacíos rellenados de asfalto tuvieron un valor de 91.2% el cual es muy por encima del rango establecido. Esto significa que los poros de los agregados pétreos, fueron rellenados con asfalto debido a que la viscosidad del asfalto fue sumamente baja.

La estabilidad de las muestras obtuvo un valor de 2372 (lb), estando sobre el mínimo establecido por la norma, mientras que el flujo obtuvo un valor de 16 (0.01”) estando por encima del máximo permitido.

Por ende, el porcentaje del 2% de aditivo Súrfax TB-1 sobre la mezcla asfáltica, al no cumplir con los requisitos del ensayo Marshall, se determinó como no apto.

- **Súrfax TB-1 al 2.5%**

Tabla VI.12 Resumen de valores aditivo Súrfax TB-1 al 2.5%

Porcentaje Aditivo	D. Bulk g/cm³	V. a. %	VAM %	VAF %	Estabilidad lb	Flujo 0.01"
2,5	2,283	1	12,8	92,1	1970	17
Criterios Norma		3 – 5	12 - 14	65 – 75	>1800	8 - 14
Análisis		NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE

Añadir el aditivo Súrfax TB-1 en un porcentaje de 2.5%, no cumple con las especificaciones establecidas por la normativa. Su porcentaje de vacíos esta debajo del porcentaje mínimo requerido con un valor de 1%. A pesar de cumplir con el VAM y la estabilidad con valores de 12.8% y 1970 (lb) respectivamente, los valores de porcentaje de VAF, y el flujo con valores de 92.1% y 17 (0.01”) no cumplen, por lo que no resulta viable el uso de este aditivo al porcentaje de 2.5%.

- **Súrfax TB-1 al 3%**

Tabla VI.13 Resumen de valores aditivo Súrfax TB-1 al 3%

Porcentaje Aditivo	D. Bulk g/cm3	V. a. %	VAM %	VAF %	Estabilidad lb	Flujo 0.01"
3	2,277	0,8	13	93,5	1867	13
Criterios Norma		3 – 5	12 - 14	65 – 75	>1800	8 - 14
Análisis		NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

El porcentaje de vacíos de la mezcla añadida aditivo Súrfax TB-1 al 3%, da un valor de 0.8% por lo cual está muy por debajo del valor mínimo permitido por la norma. El porcentaje del VAF tampoco cumple con la normativa, con un valor de 93.5%, esta sobre el rango permitido. A pesar de cumplir satisfactoriamente lo porcentajes de VAM, la estabilidad y el flujo con valores de 13%, 1867 (lb) y 13 (0.01") respectivamente, el porcentaje de aditivo se considera no apto para el diseño.

- **Súrfax TB-1 al 3.5%**

Tabla VI.14 Resumen de valores aditivo Súrfax TB-1 al 3.5%

Porcentaje Aditivo	D. Bulk g/cm3	V. a. %	VAM %	VAF %	Estabilidad lb	Flujo 0.01"
3,5	2,268	0,6	13,3	95,9	1923	12
Criterios Norma		3 – 5	12 - 14	65 – 75	>1800	8 - 14
Análisis		NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Añadiendo el 3.5% de aditivo a la mezcla, el diseño no cumple con los requisitos requeridos para un diseño con el método Marshall. Con porcentaje de vacíos de 0.6% y un

porcentaje de VAF de 95.9%, queda descartado ya que no se encuentran dentro del rango establecido. Los valores de porcentajes de VAM con un 13.3%, estabilidad con 1923 (lb) y Flujo de 12 (0.01”), cumplen con los parámetros normados, pero generalmente el porcentaje de 3.5% de aditivo, no es apto para el diseño.

- **Súrfax TB-1 al 4%**

Tabla VI.15 Resumen de valores aditivo Súrfax TB-1 al 4%

Porcentaje Aditivo	D. Bulk g/cm3	V. a. %	VAM %	VAF %	Estabilidad lb	Flujo 0.01"
4	2,240	1,3	14,4	90,8	1560	16
Criterios Norma		3 – 5	12 - 14	65 – 75	>1800	8 - 14
Análisis		NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Al añadir 4% de aditivo a la mezcla asfáltica, no cumplió ningún requisito del diseño Marshall. Con valores de 1.3% para el porcentaje de vacíos, 14.4% de VAM, 90.8% de VAF, 1560 (lb) de estabilidad y 16 (0.01”) de flujo, se descarta el uso de este aditivo a un porcentaje de 4%.

Resumen de resultados del aditivo Súrfax TB-1

Tabla VI.16 Resumen Aditivo Súrfax TB-1

Porcentaje Aditivo	D. Bulk g/cm ³	V. a. %	VAM %	VAF %	Estabilidad lb	Flujo 0.01"
2	2,297	1,1	12,3	91,2	2372	16
2,5	2,283	1	12,8	92,1	1970	17
3	2,277	0,8	13	93,5	1867	13
3,5	2,268	0,6	13,3	95,9	1923	12
4	2,240	1,3	14,4	90,8	1560	16

Los resultados con el aditivo Súrfax TB-1, no fueron satisfactorios. A pesar de usar porcentajes establecidos por el proveedor, no cumplen con los criterios Marshall para esta mina.

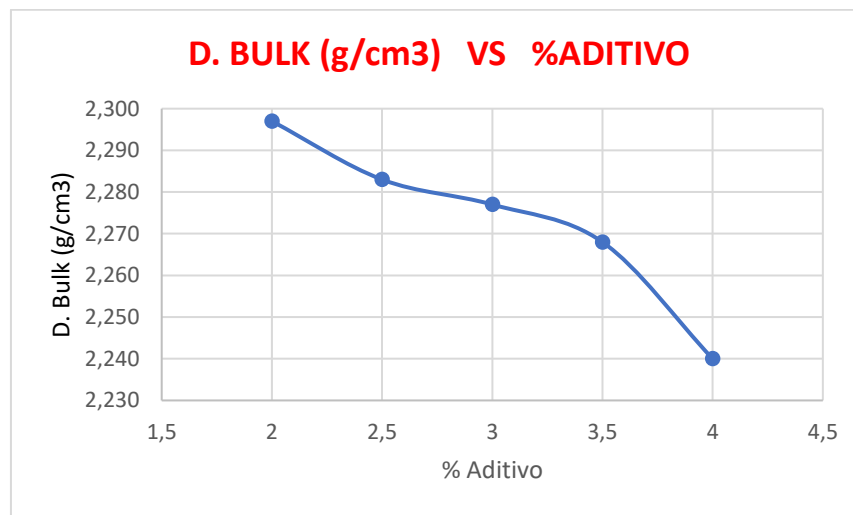


Gráfico N° VI.7 Densidad Bulk vs % Aditivo Súrfax TB-1

Podemos observar que la densidad Bulk, con el aditivo Súrfax TB-1, tiene una relación inversamente proporcional. A mayor porcentaje de aditivo, el valor de la densidad Bulk, va disminuyendo.

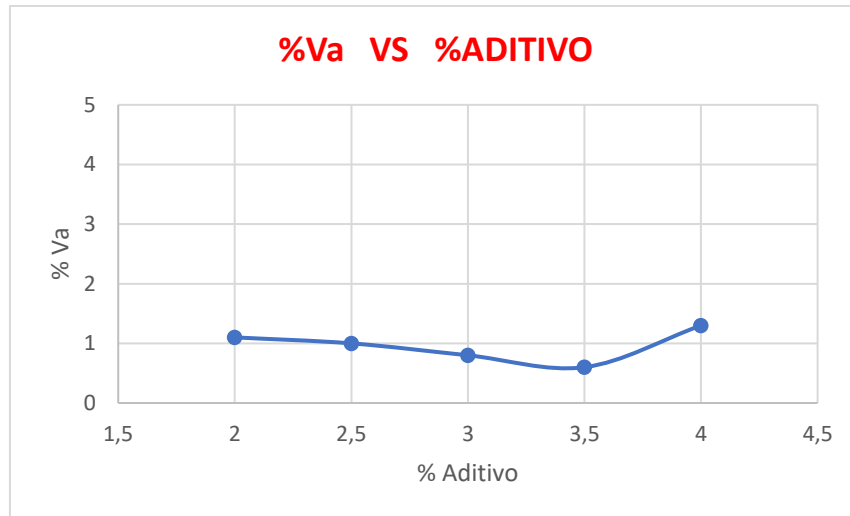


Gráfico N° VI.8 % Va vs % Aditivo Súrfax TB-1

Existe una disminución de vacíos en la mezcla al aumentar la cantidad de aditivo hasta cierto punto. A partir del porcentaje de 3.5% de aditivo en la mezcla, el porcentaje de vacíos tiende a crecer con un mayor porcentaje de aditivo.

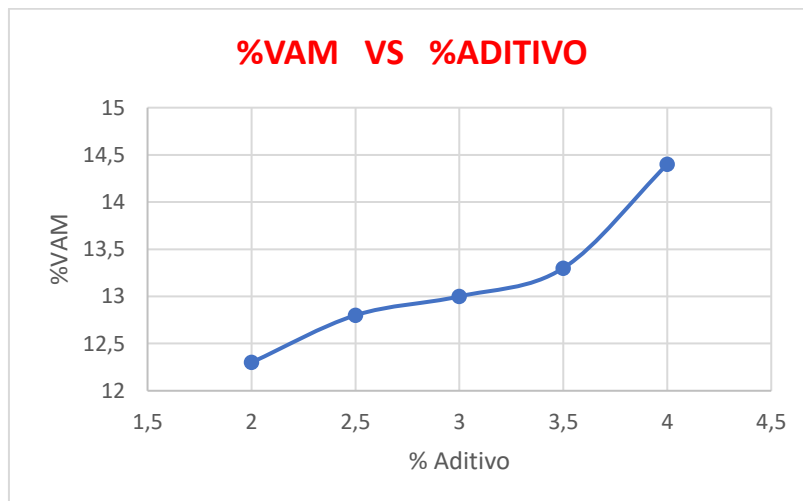


Gráfico N° VI.9 %VAM vs % Aditivo Súrfax TB-1

El valor del porcentaje de VAM tiene una tendencia creciente a razón de mayor porcentaje de aditivo. Esto se debe a que mientras la temperatura en el mezclado y

compactado disminuye paulatinamente, el aditivo Súrfax Tb-1 genera grumos de mezcla asfáltica aumentando el porcentaje VAM.

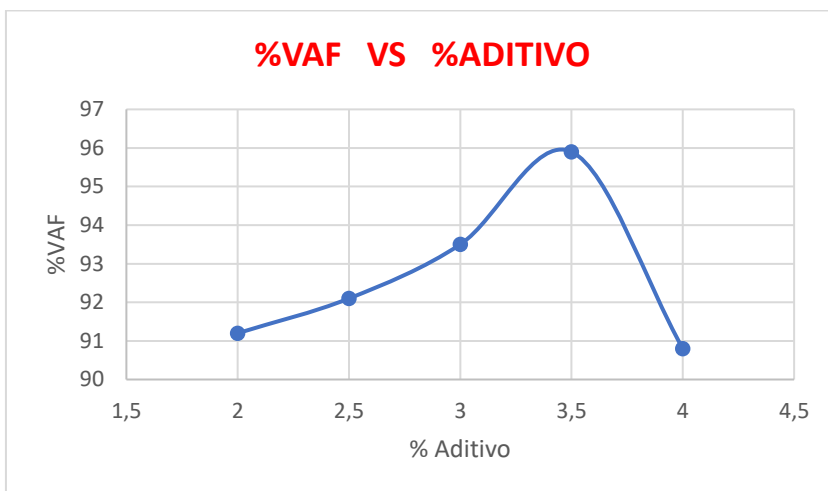


Gráfico N° VI.10 % VAF vs % Aditivo Súrfax TB-1

Con respecto al porcentaje de vacíos rellenos con asfalto (VAF), tiene una tendencia a crecer al aumentar la cantidad de aditivo añadido. A partir del porcentaje de 3.5% su relación se vuelve inversamente proporcional.

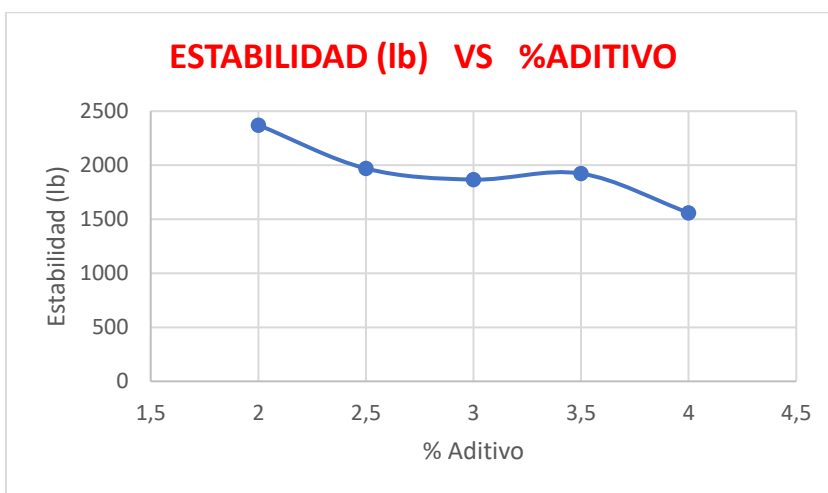


Gráfico N° VI.11 Estabilidad vs % Aditivo Súrfax TB-1

Se observó que la estabilidad decrece a razón de que se incrementa la cantidad de aditivo. Lo que significa que la estabilidad y el porcentaje de aditivo, tienen una relación inversamente proporcional. Una estabilidad baja, nos indica que la mezcla asfáltica no resistirá a una carga de tráfico pesado sin sufrir grandes deformaciones.

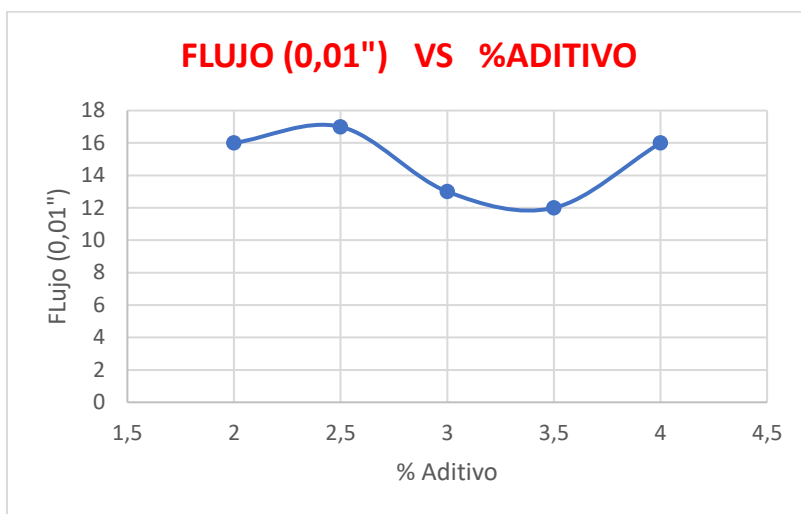


Gráfico N° VI.12 Flujo vs % Aditivo *Súrfax TB-1*

Entre los porcentajes de 2% y 2.5% de aditivo sobre la mezcla, el flujo aumenta. Al aumentar porcentaje de aditivo hasta un 3.5%, el flujo decrece. Pasado el porcentaje de 3.5% de aditivo, el flujo tiende a crecer nuevamente. Un flujo muy alto significa que la mezcla asfáltica se vuelve sumamente plástica.

6.1.Comparación de aditivo Zycotherm y aditivo Súrfax tb-1

Tabla VI.17 Comparación entre aditivo Súrfax TB-1 y Zycotherm

	Súrfax TB-1				
	2%	2,50%	3%	3,50%	4%
%Va	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
%VAM	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
%VAF	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Estabilidad	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
Flujo	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE

	Zycotherm				
	0,025%	0,050%	0,075%	0,100%	0,125%
%Va	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
%VAM	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
%VAF	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Estabilidad	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Flujo	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Se observó que el aditivo Zycotherm cumple con todos los requisitos del método Marshall con los porcentajes de 0.1% y 0.125%, mientras que el aditivo Súrfax TB-1, no cumplió con ningún parámetro establecido con ningún porcentaje de la fórmula típica recomendada por el proveedor.

Para una mezcla asfáltica en tibia, con las características de granulometría y con porcentaje de asfalto óptimo en caliente, se recomienda usar aditivo Zycotherm en 0.1% y 0.125% de aditivo. Para tener una mejor amplitud del comportamiento del aditivo, se recomienda realizar estudios con mayores porcentajes a los recomendados por el proveedor, ya que solo un porcentaje dentro del rango recomendado, cumplió con los requisitos,

mientras que un porcentaje mayor al recomendado, cumplió de igual manera, pero con resultados más favorables para la mezcla asfáltica.

Para el aditivo Súrfax TB-1, se observó que, al añadir el aditivo, la viscosidad del asfalto disminuía drásticamente, dando una apariencia de exceso de asfalto para la mezcla, por lo que se recomienda realizar estudios con un porcentaje menor de aditivo o con un porcentaje menor de asfalto para obtener mayor información sobre el uso de este aditivo.

CAPÍTULO VII ANÁLISIS ECONÓMICO

Dentro del rubro de la elaboración de la mezcla asfáltica de material suelto en planta, se toma varios factores para la determinación de su costo. El APU se basa en el uso de la maquinaria, operadores de maquinaria y materiales necesarios para realizar la mezcla, siendo este análisis, esencial para la obtención del costo de producción

Tomamos en cuenta que el aditivo Zycotherm, fue el aditivo con el cual se cumplió los requerimientos del ensayo Marshall, se hizo una comparación económica entre la mezcla asfáltica caliente en planta con material suelto y la mezcla asfáltica en tibio con aditivo Zycotherm con material suelto en planta.

El material pétreo, asfalto, maquinaria y mano de obra son valores constantes dentro del análisis, el único factor que varía de la mezcla asfáltica caliente y la mezcla asfáltica tibia, el aumento del precio del aditivo y la disminución del uso de combustible.

Tomando en cuenta los porcentajes de 0.100% y 0.125% de aditivo Zycotherm en la mezcla asfáltica, que fueron los que cumplieron con todos los criterios del ensayo Marshall, se determinó que tiene una reducción de combustible de un 13% con respecto a una mezcla asfáltica en caliente, lo cual abarata costos de producción y mejora el rendimiento.

Tabla VII.1 Precios de mezclas asfálticas satisfactorias con los criterios Marshall

Muestra	Unidad	Costo
Mezcla asfáltica convencional	M3	\$ 92.87
Mezcla asfáltica tibia con Zycotherm al 0.100%	M3	\$ 92.13
Mezcla asfáltica tibia con Zycotherm al 0.125%	M3	\$ 92.29

Se puede observar que ambas mezclas asfálticas tibias con aditivo Zycotherm tienen una reducción de costo a la mezcla convencional. Sin embargo, se recomienda usar el aditivo

Zycotherm a un porcentaje de 0.100% ya que su costo es menor en 0.74ctvs, y la mezcla asfáltica es de mejor calidad, a pesar de que ambas cumplen con los criterios del ensayo Marshall.

CAPÍTULO VIII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Usar aditivos dentro de una mezcla asfáltica en tibio, puede generar un rendimiento similar a una mezcla asfáltica convencional, reduciendo los problemas generados por este tipo de mezcla. Con el aditivo Zycotherm al 0.100% se reduce el tiempo de curado y disminuye el uso de combustible en un 13% aproximadamente, reduciendo su costo de producción en 0.74 ctvs por m³ de carpeta asfáltica de material suelto en planta.
- Los agregados provenientes de la mina Mulaló y mina Osorio, usados en la planta Naranjo- López, cumplen satisfactoriamente con los parámetros de durabilidad y desgaste establecidos las normas INEN y ASTM, para el diseño de mezclas asfálticas.
- De acuerdo a su procedencia y tratamiento, se concluye que el material pétreo usado para el diseño de las mezclas asfálticas, pertenece a un material tipo A de acuerdo a la norma MOP-001-F 2002.
- Se concluye que la combinación del material pétreo debe ser cuidadosamente seleccionada, ya que, a pesar de estar dentro del rango establecido, en este caso en la curva de 3/4", suele no cumplir con los requerimientos mínimos de diseño al momento de realizar la mezcla asfáltica.
- Se concluye que el porcentaje de asfalto óptimo es de 6.1%, ya que con este porcentaje se cumple con todos los parámetros establecidos por los criterios del diseño Marshall en la mezcla realizada en caliente.

- El aditivo Súrfax – TB1 al 3% y 3.5%, cumple satisfactoriamente con los parámetros de estabilidad, con 1867 lb y 1923 lb respectivamente y con el flujo de 13 (0.01”) y 12(0.01”), pese a eso, el porcentaje de vacíos de 0.8% y 0.6% respectivamente se encuentra bajo el mínimo permitido de 3%, el porcentaje VAF de 93.5% y 95.9% es mayor al valor VAF máximo permitido por el ensayo Marshall para tráfico pesado de 75%. Por lo que se concluye que el aditivo Súrfax TB-1 no es recomendable para esta mina.
- Al realizar la mezcla asfáltica en tibio sin aditivo, se determinó que no cumple con los criterios establecidos. Entre los criterios que no cumple se encuentran el porcentaje VAM, con un resultado de 11.5% estando por debajo del mínimo establecido por la norma de 12%. El otro factor que no cumple la mezcla asfáltica tibia sin aditivo es el porcentaje VAF, con un porcentaje de 59.3% estando debajo del mínimo establecido por la norma de 65%. Por lo que es necesario el uso de productos externos para mejorar sus características, en este caso aditivos como Zycotherm y Súrfax TB-1.
- Se concluyó que, para nuestra mina, el diseño de mezclas asfálticas en tibio, tienen una mejora al usar el aditivo Zycotherm. El VAM sin aditivo es de 11.5% mientras que con aditivo Zycotherm al 0.100% es de 12.8%, el VAF sin aditivo es de 59.3% mientras que con aditivo Zycotherm al 0.100% es de 65.2%, la estabilidad mejora de 2052 lb obtenida sin aditivo a 2081 lb con aditivo Zycotherm al 0.100%.
- Al usar varios porcentajes de aditivo Zycotherm sobre la mezcla asfáltica tibia, se concluye que, a mayor porcentaje de aditivo, mejora el flujo de la mezcla asfáltica

tibia pero su estabilidad se ve reducida significativamente, concluyendo que la cantidad óptima de aditivo para esta investigación es de 0.100%

- El aditivo Súrfax TB-1, no cumple con los criterios establecidos por el método Marshall. El porcentaje de vacíos superior obtenido en los ensayos para nuestra mina, es de 1.3%, encontrándose por debajo del valor mínimo normado de 3%, por lo que se concluye que, a pesar de usar mayor o menor cantidad de aditivo, la mezcla no cumplirá con los requerimientos establecidos por el método Marshall para tráfico pesado.
- Tomando en cuenta la cantidad de vacíos obtenidos en los ensayos de mezclas asfálticas tibias con aditivos, se concluye que el aditivo Súrfax TB-1 tiene una mayor capacidad de disminuir la viscosidad del asfalto en comparación del aditivo Zycotherm.
- El porcentaje VAF, aumenta a razón de que la viscosidad del asfalto disminuye. Esto se puede observar en los resultados de las mezclas asfálticas en tibio, donde el aditivo Súrfax TB-1 mantiene un porcentaje VAF superior al 90% siendo mayor al porcentaje VAF de 65.4% obtenido por el aditivo Zycotherm.
- Los resultados altos en flujo (>14) y resultados bajos en estabilidad (<1800), obtenidas en las mezclas asfálticas tibias con el aditivo Súrfax TB-1, se concluye que, para nuestra mina, la mezcla asfáltica es plástica y tiende a sufrir grandes deformaciones al aplicarse una carga de tráfico pesado para la cual está siendo diseñada, por lo que no es recomendable usar este aditivo para este diseño.
- En el análisis y proceso de investigación, llevado en laboratorio con respecto a las mezclas asfálticas tibias. Se observó y se determinó, que al colocar 0.0100% de

aditivo Zycotherm a la mezcla asfáltica, obtiene un mejoramiento en sus propiedades mecánicas. Por otra parte, en campo, genera una disminución de temperatura que produce un efecto de trabajabilidad mayor y provee de una mejor adherencia entre partículas pétreas y bitumen, dando como resultado un mayor acarreo de material con respecto a la planta asfáltica, sin disminuir sus propiedades optimas evitando procesos de oxidación por recalentamiento del asfalto, que genera una disminución de su eficiencia y vida útil, con respecto a una mezcla asfáltica convencional

- La producción de la mezcla asfáltica tibia en nuestra mina, con aditivo Zycotherm es más beneficiosa que una mezcla asfáltica convencional con respecto a su desempeño en campo, sin tener en cuenta el factor económico, el cual varía en 0.74ctvs más barato que una mezcla asfáltica convencional. El aditivo Zycotherm modifica las partículas del bitumen produciendo una mayor adherencia con el agregado pétreo, lo cual, genera mayor resistencia a cambios climáticos extremos dando como resultado a una mayor vida útil del asfalto colocado en campo. Caso contrario con respecto a un asfalto tradicional ya que al ser calentado con mayor temperatura genera una disminución de sus propiedades disminuyendo la vida útil además de que es más costoso.

Recomendaciones

- Al tomar la muestra de materiales pétreos, se recomienda tomar muestras del interior de la montaña de agregados, ya que en ese punto se encuentran agregados libres de partículas externas.

- Se recomienda no recalentar el asfalto constantemente, ya que esto envejece al asfalto y hace que pierda sus propiedades iniciales.
- Se recomienda realizar 2 ensayos con el asfalto teórico calculado, 2 ensayos con 1% menos que el porcentaje de asfalto teórico y 2 ensayos con 1% más que el porcentaje de asfalto teórico, para determinar si la combinación de agregados cumplirá con los requisitos, sin la necesidad de realizar el ensayo Marshall completo.
- Para el ensayo Marshall se recomienda realizar la mezcla de los materiales por un tiempo mayor a 3 minutos. Al exponer los componentes de la mezcla asfáltica por mucho tiempo al calor, los agregados se vuelven frágiles.
- Se recomienda realizar más estudios con el aditivo Súrfax TB-1 con un porcentaje menor de aditivo al recomendado por la ficha técnica o con un porcentaje menor de asfalto, al asfalto óptimo obtenido del diseño Marshall en caliente, ya que, al añadir los porcentajes de aditivo especificados en la ficha técnica, se observó una situación similar a tener una cantidad excesiva de asfalto.
- Se recomienda usar el aditivo Zycotherm a un porcentaje de 0.100% debido a que sus características cumplen satisfactoriamente con los criterios Marshall y su costo es menor con 0.74ctvs comparado con el precio de la mezcla asfáltica convencional, manteniendo una alta calidad de mezcla.
- En el proceso de compactación en mezclas asfálticas tibias, se recomienda mantener los moldes de las briquetas a temperatura ambiente, ya que, a estar calientes, se puede desprender la mezcla luego de su compactación.

- Se recomienda realizar el ensayo de comprobación del aditivo Zycotherm, y almacenarlo en un recipiente de vidrio herméticamente cerrado, ya que el aditivo Zycotherm en envases plásticos, pierde sus propiedades.
- En el ensayo RICE con aditivo Súrfax Tb-1, se recomienda controlar constantemente el proceso de enfriamiento, en caso de no hacerlo, puede generar masas de mezcla asfáltica, creando un margen de error considerable en el cálculo de gravedad específica máxima teórica.
- Se recomienda calibrar y verificar los equipos de laboratorio antes de realizar cualquier ensayo, ya que un pequeño error de medición, puede alterar los resultados de los ensayos.

BIBLIOGRAFÍA

AASHTO. (2014). *Bridge Design Specifications*. U.S. Customary Units.

AASHTO T 166. (2018). *Bulk Specific Gravity (Gmb) of Vompacted Asphalt Mixtures using saturated surfaces-dry specimens*. AASHTO.

AASHTO T 176. (2017). *Standard Method of Test for Plastic Fines in Graded Aggregates and Soils by Use of the Sand Equivalent Test*. AASHTO.

AASHTO T 209. (2020). *Standard Method of Test for Theoretical Maximum Specific Gravity (G mm) and Density of Asphalt Mixtures*. AASHTO.

AASHTO T 240. (2013). *Standard Method of Test for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt Binder (Rolling Thin-Film Oven Test)*. AASHTO.

Agregados, A. G. (2017). *Libreria Ingeniero*. Retrieved from

<https://www.libreriaingeniero.com/2017/09/analisis-granulometrico-por-tamizado.html>

- Alvarado Cuevas, R. (2011). MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE. *CONSTRUCCIÓN 163*, 17 - 19.
- Asphalt Institute. (1997). *Mix Design Methods For Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types*. USA: Asphalt Institute.
- Asphalt Institute. (2001). *Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente*. Lexintong.
- Asphalt Institute. (2014). *Asphalt Mix Design Methods MS-2*. (D. A. Abedali, Ed.) USA: Asphalt Institute.
- ASTM C 127. (2004). *Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados gruesos*. ASTM.
- ASTM C 128. (2004). *Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, densidad reativa (gravedad específica), y la absorción de agregados finos*. ASTM.
- ASTM C 131. (2020). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. ASTM.
- ASTM C 136. (2006). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. ASTM.
- ASTM C 29. (2007). *Método de ensayo estándar para determinar la densidad en masa (peso unitario) e índice de huecos en el agregado*. ASTM.
- ASTM C 88. (2018). *Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate*. ASTM.
- ASTM D 113. (2017). *Standard test method for ductility of asphalt materials*. ASTM.
- ASTM D 2041. (2019). *Standard test method for theoretical maximum specific gravity and density of asphalt mixtures*. ASTM.

- ASTM D 2170. (2018). *Standard test method for kinematic viscosity of asphalts*. ASTM.
- ASTM D 2171. (2018). *Standard test method for viscosity of asphalts by vacuum capillary viscometer*.
ASTM.
- ASTM D 2419. (2014). *Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate*.
ASTM.
- ASTM D 2872. (2019). *Standard test method for effect of heat and air on a moving film of asphalt
(Rolling thin-film oven test)*. ASTM.
- ASTM D 3549. (2003). *Standard Test Method for Thickness or Height of Compacted Bituminous
Paving Mixture Specimens*.
- ASTM D 6926. (2020). *Standard practice for preparation of asphalt mixture specimens using
Marshall apparatus*. ASTM INTERNACIONAL.
- ASTM D 70. (2018). *Standard test method for specific gravity and density of semi-solid asphalt
binder (Pycnometer method)*. ASTM.
- ASTM D 92. (2018). *Standard test method for flash and fire points by Cleveland open cup tester*.
ASTM.
- ASTM D36 . (2020). *Standard test method for softening point of bitumen (Ring-and-ball
apparatus)*. ASTM.
- Bonaquist, R. (2005). *Laboratory evaluation of hot mix asphalt (HMA) mixture containing recycled
or waste product materials using performance testing*. USA.

Calderón Carrasco , A. A., & Calderón Saavedra , C. J. (2020). Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de mezclas asfálticas. *Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de mezclas asfálticas*. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Central del Ecuador .

Civil, I. (2011, Enero 31). *IngenieroCivillInfo*. Retrieved from IngenieroCivillInfo:
<https://www.ingenierocivilinfo.com/2011/01/31-prueba-de-abrasion-los-angeles-nb.html>

Cornejo Villacis , D. A., & Lamiña Asumasa , J. C. (2018). CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE MATERIAL TRITURADO DE PRODUCTOS RECICLADOS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET), UTILIZANDO LOS AGREGADOS DE LA MINA DEL RÍO PITA EN LA CIUDAD DE QUITO, MEDIANTE LA DETERMINACI. *TESIS - PUCE*. Quito, Pichincha, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Fonseca, A. (2010). *Ingeniería de pavimentos*. Bogota.

García, A. (2016). *Diseño de Mezclas Asfálticas HMA Método Marshall*. Retrieved Diciembre 23, 2020, from PDF Slide: <https://pdfslide.net/reader/f/1000-diseno-de-mezclas-asfalticas-marshall>

Google Patents. (2013, Marzo 14). *Compuestos de amidoamina, asfaltos modificados. mezclas tibias, sus procesos de fabricación y uso*. Retrieved from Compuestos de amidoamina, asfaltos modificados. mezclas tibias, sus procesos de fabricación y uso:
<https://patents.google.com/patent/WO2013036095A1/es>

Guerrero Godoy, A. P., & Pazmiño Chiluiza, H. V. (2017). *Uso de Lubricantes Desechados de Vehículos como Rejuvenecedores de Ligantes Bituminosos y su Aplicación en Mezclas Asfálticas en Caliente HMA*. Quito - Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Gutiérrez Muñiz, Á. (2013, 08 27). *Aplicación de mezclas Asfálticas tibias en México*. Retrieved from
http://www.amaac.org.mx/archivos/eventos/8cma_2013/mezclas_asfalticas/mezclas02.pdf

Harrigan, E. T. (2011). *NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARH PROGRAM*. WASHINGTON, D.C.: <https://www.nap.edu/read/14524/chapter/1#v> . Retrieved from <https://www.nap.edu/read/14524/chapter/1#v>

INEN 696. (2011). *Análisis Granulométrico en los áridos, Fino y Grueso*. QUITO: INEN.

INEN 808. (2013). *Determinació de los puntos de inflamación y combustión en vaso abierto Cleveland*. INEN.

INEN 856. (2010). *Determinació de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*. INEN.

INEN 857. (2010). *Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*. Quito: INEN.

INEN 858. (2010). *Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*. INEN.

INEN 860. (2011). *Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles*. Quito: INEN.

INEN 863. (2011). *Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio*. . Quito: INEN.

INEN 916. (2013). *Determinación de la ductilidad*. INEN.

INEN 920. (2013). *Determinacion del punto de reblandecimiento (Método de anillo y bola)*. INEN.

INEN 923. (2013). *Determinación de la densidad por el método del picnómetro*. INEN.

Ing. Del Valle Castría, N. (2006). *Asociación de tecnología del hormigón*.

Ing. Méndez, G. (n.d.). *Diseño de mezcla asfáltica tibia, mediante la metodología Marshall, utilizando asfalto espumado*.

Institución Mexicana de Transporte. (2002). *Mecánica de materiales para pavimentos*. Sanfandila.

Institución Mexicana del Transporte. (2004). *Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas*.

Retrieved from <https://www.imt.mx/>:

<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt246.pdf>

Instituto de Desarrollo Urbano. (2011). *Cemento Asfáltico*. Bogotá: Instituto de Desarrollo Urbano.

Lanamme, U. (2014/Enero). *Métodos y Materiales*. ISSN: 2215-4558, Volumen 4.

M.T.O.P. (2003). *Normas de diseño geométrico de carreteras*.

Mail Coyopotl, R., & Salinas Hernández, M. A. (2006). *Ventajas y desventajas del uso de polímeros en el asfalto*. Puebla, México.

Martínez Montes, G., & Rubio Gámez, C. (2013). *España Patent No. 1*.

MOP-001-F. (2002). *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*. Quito.

Morales Cáceres, C. A. (2007). *Análisis de la Metodología Superpave para el Diseño de Mezclas Asfálticas en México*. Puebla.

MTOP. (2019). *Especial Pelileo Baños Puyo*. Retrieved from https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/06-07-2011_Especial_MTOP_82_anios.pdf

NEVI 12, N. (2013). *M.E.E.P.I.T.* Quito.

NEVI-12. (2013). *Manual de evaluación económica de proyectos de infraestructura del transporte.*
Quito.

NEVI-12. (2013). *Norma para estudios y diseños viales.* Retrieved from
https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf

Read, J., & Whiteoak, D. (2003). *The Shell Bitumen Handbook.* Londres: Thomas Telford Publishing.

Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). *Pavimentos: materiales, construcción y diseño.* Bogotá: ECOE.

Rondón Quintana, H. A., León Vergara, O. I., & Fernández Gómez, W. D. (2017). *Comportamiento de una mezcla asfáltica tibia fabricada en una planta de asfalto.*

Sanfandila. (2004). *Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas.*

Silva, J. (2015). *Ligantes asfálticos y sellos de juntas.* Retrieved from Ligantes asfálticos y sellos de juntas:
[http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/CAP%20I%20LIGANTES%20LAB%20C%20\[Modo%20de%20compatibilidad\].pdf](http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/CAP%20I%20LIGANTES%20LAB%20C%20[Modo%20de%20compatibilidad].pdf)

TAMS-ASTEC. (2003). *Normas de diseño geométrico de carreteras.*

topclass22. (2015). *Laboratorio de Suelos.* Retrieved from
<http://www.registrocdt.cl/registrocdt/www/admin/uploads/docTec/topclass22.pdf>

Vera Moscosa, J. C., & Rojas Apaza, J. C. (2018). *Comportamiento físico - mecánico de una mezcla asfáltica convencional y una polimerizada con la adición de un aditivo líquido mejorado con nanotecnología (ZYCOTHERM)*. La paz - Bolivia.

Wulf Rodriguez, F. A. (2008). *Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero*. Valdivia, Chile.

Yepes Piqueras, V. (2014). *Mezclas asfálticas*. Retrieved from El blog de Victor Yepes.

Zydex Innovating for Sustainability . (2014_a). *Asphalt Emulsion Additives*. Retrieved from Zydex Innovating for Sustainability: <https://zydexindustries.com/services/road/asphalt-bitumen-emulsion-additives/>

ANEXOS

Anexo 1 Ensayo de durabilidad de los áridos a la acción de sulfatos (Parte a)

ÁREA DE HORMIGONES

INFORME DE ENSAYO

DURABILIDAD DE LOS ÁRIDOS A LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM C 88; INEN 863

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulalo - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA: 1

Agregado grueso 1/2"

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA_1	MUESTRA_2
Masa inicial	gr.	666,5	666,3
Masa retenida parcial en tamiz # 5/16	gr.	658,9	660,6
Masa retenida parcial en tamiz # 5	gr.	1,6	0
Masa retenida después del ensayo	gr.	660,5	660,6

Agregado grueso 3/8"

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA_1	MUESTRA_2
Masa inicial	gr.	326,3	329,2
Masa retenida parcial en tamiz # 5/16	gr.	319,1	321,6
Masa retenida parcial en tamiz # 5	gr.	2,5	0
Masa retenida después del ensayo	gr.	324,2	321,6

Agregado medio

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA_1	MUESTRA_2
Masa inicial	gr.	298,5	296,9
Masa retenida parcial en tamiz # 5	gr.	287,2	286,8
Masa retenida parcial en pasante de tamiz # 5	gr.	0,1	0,1
Masa retenida después del ensayo	gr.	287,3	287,0

Agregado fino N°4

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA_1	MUESTRA_2
Masa inicial	gr.	100	100
Masa retenida parcial	gr.	62,2	67,2
Masa retenida parcial pasante	gr.	37,2	22,3
Masa retenida después del ensayo	gr.	99,4	89,5

Cumplimiento con respecto a la especificación del producto	
Resultado	CUMPLE

Anexo 2 Ensayo de durabilidad de los áridos a la acción de sulfatos (Parte b)

ÁREA DE HORMIGONES
INFORME DE ENSAYO
DURABILIDAD DE LOS ÁRIDOS A LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
 LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
 MUESTRA:
 NORMA ENSAYO: ASTM C 88; INEN 863

SOLICITADO POR:
 FISCALIZADOR:
 CONTRATISTA:
 FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulalo - Osorio
 LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
 DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
 ORDEN DE TRABAJO:
 HOJA: 2

Agregado fino N°8				
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA_1	MUESTRA_2
	Masa inicial	gr.	100	100
	Masa retenida parcial	gr.	93,1	91
	Masa retenida parcial pasante	gr.	5	3,1
	Masa retenida después del ensayo	gr.	98,3	94,2

Agregado fino N°16				
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA_1	MUESTRA_2
	Masa inicial	gr.	100	100
	Masa retenida parcial	gr.	90,8	89,3
	Masa retenida parcial pasante	gr.	4,8	5
	Masa retenida después del ensayo	gr.	96	94,6

Agregado fino N°30				
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA_1	MUESTRA_2
	Masa inicial	gr.	100	100
	Masa retenida parcial	gr.	89,8	87,7
	Masa retenida parcial pasante	gr.	8,4	7,6
	Masa retenida después del ensayo	gr.	98,4	95,7

Agregado fino N°50				
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA_1	MUESTRA_2
	Masa inicial	gr.	100	100
	Masa retenida parcial	gr.	82,78	82,35
	Masa retenida parcial pasante	gr.	11,6	13,21
	Masa retenida después del ensayo	gr.	94,35	95,7

Cumplimiento con respecto a la especificación del producto	
Resultado	<u>CUMPLE</u>

Anexo 3 Ensayo de abrasión e impacto por la máquina de los Ángeles

ÁREA DE HORMIGONES
INFORME DE ENSAYO

ABRASIÓN E IMPACTO POR LA MÁQUINA DE LOS ANGELES

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM C 131; INEN 860

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulalo - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Agregado grueso

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA_1	MUESTRA_2
Peso muestra seco antes de muestra	gr.	5000	5000
Peso muestra seco después del ensayo	gr.	3445	3510

Agregado medio

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA_1	MUESTRA_2
Peso muestra seco antes de muestra	gr.	5000	5000
Peso muestra seco después del ensayo	gr.	3750	3585

Cumplimiento con respecto a la especificación del producto	
Resultado	<u>CUMPLE</u>

Anexo 4 Ensayo de granulometría del agregado grueso

**ÁREA DE HORMIGONES
INFORME DE ENSAYO**

ANÁLISIS POR TAMIZADO DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM C 136; INEN 696

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulalo - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA: 1

Agregado grueso.

Masa inicial (gr)

5535

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET. ACUM.
2"	50	0	0
1 1/2"	37,5	0	0
1"	25	11,5	11,5
3/4"	19	75,5	87
1/2"	12,5	4.533,00	4.620,00
3/8"	9,5	718,15	5.338,15
4	4,75	38,7	5.376,85
8	2,36	3,25	5.380,10
16	1,18	2,05	5.382,15
30	0,6	2,6	5.384,75
50	0,3	5,75	5.390,50
100	0,15	14,45	5.404,95
200	0,075	45,7	5.450,65

Anexo 5 Ensayo de granulometría del agregado medio

**ÁREA DE HORMIGONES
INFORME DE ENSAYO**

ANÁLISIS POR TAMIZADO DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM C 136; INEN 696

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulalo - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranja López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA: 2

Agregado medio

Masa inicial (gr)

2815

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET. ACUM.
2"	50	0	0
1 1/2"	37,5	0	0
1"	25	0	0
3/4"	19	0	0
1/2"	12,5	35,5	35,5
3/8"	9,5	554	589,5
4	4,75	1.981,70	2.571,20
8	2,36	94,8	2.666,00
16	1,18	19,65	2.685,65
30	0,6	10	2.695,65
50	0,3	8,15	2.703,80
100	0,15	12,25	2.716,05
200	0,075	28,85	2.744,90

Anexo 6 Ensayo de granulometría del agregado fino

**ÁREA DE HORMIGONES
INFORME DE ENSAYO**

ANÁLISIS POR TAMIZADO DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

PROYECTO: Tesis
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO:

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulalo - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA: 3

Agregado fino

Masa inicial (gr)

1640

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET. ACUM.
2"	50	0	0
1 1/2"	37,5	0	0
1"	25	0	0
3/4"	19	0	0
1/2"	12,5	0	0
3/8"	9,5	0	0
4	4,75	58	58
8	2,36	370	428
16	1,18	287,9	715,9
30	0,6	222,85	938,75
50	0,3	190,55	1.129,30
100	0,15	175,2	1.304,50
200	0,075	152,75	1.457,25

Anexo 7 Ensayo de equivalente de arena para agregado fino

**ÁREA DE HORMIGONES
INFORME DE ENSAYO**

EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: : ASTM D 2419

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulalo - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

MUESTRAS	MASA (gr.)	SUSP. LECTURA A (pulg.)	SUSP. LECTURA B (pulg.)
1.1	508	15	4,5
1.2	510	15	3,6
2.1	510	15	4,4
2.2	505	15	3,3

Anexo 8 Ensayo de densidad, densidad relativa y absorción del agregado fino

**ÁREA DE HORMIGONES
INFORME DE ENSAYO**

DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM C 128; INEN 856

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulalo - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA_1	MUESTRA_2
Masa del matraz	gr.	158,9	149,2
Masa del conjunto	gr.	960,3	951
Masa de la muestra saturada con superficie seca	gr.	500	500
Masa de la muestra seca	gr.	483,7	483,8

Anexo 9 Ensayo de densidad, densidad relativa y absorción del agregado grueso y medio

**ÁREA DE HORMIGONES
INFORME DE ENSAYO**

DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO:

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulalo - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN: ASTM C 127; INEN 857

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Agregado grueso.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA_1	MUESTRA_2
Masa de la muestra seca	gr.	4971	5588
Masa de la muestra saturada con superficie seca	gr.	5059	5687
Masa de la muestra sumergida en el agua	gr.	3049	3439

Agregado medio

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA_1	MUESTRA_2
Masa de la muestra seca	gr.	2353	2165
Masa de la muestra saturada con superficie seca	gr.	2400	2212
Masa de la muestra sumergida en el agua	gr.	1437	1317

Anexo 10 Ensayo de densidad aparente y huecos en el agregado grueso y medio

**ÁREA DE HORMIGONES
INFORME DE ENSAYO**

DENSIDAD APARENTE (PESO UNITARIO) Y HUECOS EN EL AGREGADO

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM C 29; INEN 858

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulalo - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA: 1

Agregado grueso

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso del agregado suelto más molde	gr.	13380
Peso del molde	gr.	6878
Volumen del molde	cm ³ .	3814
Peso del agregado varillado más molde	gr.	14050
Peso del molde	gr.	6878
Volumen del molde	cm ³ .	3814

Agregado medio

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso del agregado suelto más molde	gr.	13000
Peso del molde	gr.	6878
Volumen del molde	cm ³ .	3814
Peso del agregado varillado más molde	gr.	13710
Peso del molde	gr.	6878
Volumen del molde	cm ³ .	3814

Anexo 11 Ensayo de densidad aparente y huecos en el agregado fino

**ÁREA DE HORMIGONES
INFORME DE ENSAYO**

DENSIDAD APARENTE (PESO UNITARIO) Y HUECOS EN EL AGREGADO

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM C 29; INEN 858

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulalo - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA: 2

Agregado fino

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso del agregado suelto más molde	gr.	6580
Peso del molde	gr.	2735
Volumen del molde	cm ³ .	1652
Peso del agregado varillado más molde	gr.	6720
Peso del molde	gr.	2735
Volumen del molde	cm ³ .	1652

Anexo 12 Ensayo de ductilidad

ÁREA DE PAVIMENTOS
INFORME DE ENSAYO
ENSAYO DE DUCTILIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 113; INEN 916

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulalo - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Distancia de Rotura		
	Muestra 1 (cm)	Muestra 2 (cm)
D1	33	33
D2	38	35
D3	46	40

Cumplimiento con respecto a la especificación del producto	
RESULTADO	<u>NO CUMPLE</u>

Observaciones: Se realizó este ensayo con asfalto envejecido por el ensayo del horno película delgada rodante RTFO

Anexo 13 Ensayo de viscosidad a varias temperaturas

ÁREA DE PAVIMENTOS
INFORME DE ENSAYO
VISCOSIDAD A VARIAS TEMPERATURAS

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 2170

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulalo - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Viscosidad a Varias Temperaturas		
Temperatura	135	170
Viscosidad	372	85,42
Velocidad	100	120
%Par	74,4	20,5

Anexo 14 Ensayo de viscosidad absoluta

ÁREA DE PAVIMENTOS
INFORME DE ENSAYO
VISCOSIDAD ABSOLUTA

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 2171

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulalo - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Viscosidad Absoluta

	Bulbo B	Bulbo C
Constante del viscosímetro (Pa. s/s)	3,177	1,608
Tiempo de flujo (s)	66,1	133,6
Viscosidad (Pa. s)	209,904	214,813

Cumplimiento con respecto a la especificación del producto	
RESULTADO	<u>CUMPLE</u>

Anexo 15 Ensayo de punto de ablandamiento (anillo y bola)

ÁREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

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

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 36; INEN 920

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulalo - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Información General del Ensayo	
Identificación de la muestra	M1
Líquido usado en el baño	Agua

Registros de la muestra

	Anillo 1	Anillo 2	Promedio
Punto de Ablandamiento, (C°)	46,2	47,2	46,7

Cumplimiento con respecto a la especificación del producto	
RESULTADO	<u>CUMPLE</u>

Anexo 16 Ensayo para determinar el cambio de masa (RTFO)

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

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 2872; AASHTO T 240

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulalo - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

	Masa (gr)
Masa de botella 1	170,360
Masa de botella 2	168,433
Masa de botella 1 + Asfalto Antes	205,360
Masa de botella 2 + Asfalto Antes	203,433
Masa de botella 1 + Asfalto Después	205,260
Masa de botella 2 + Asfalto Después	203,335

	Masa (gr)	%Pérdida	Promedio %
Variación de masa B1	0,100	0,29	0,28
Variación de masa B2	0,098	0,28	

Cumplimiento con respecto a la especificación del producto	
RESULTADO	<u>CUMPLE</u>

Anexo 17 Ensayo de punto de chispa y llama con el equipo de copa abierta Cleveland

ÁREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

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

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D93; INEN 808

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulalo - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Punto de Chispa y llama/Copa abierta Cleveland	
Identificación de la muestra	M1
Punto de Chispa (C°)	272,6
Punto de llama (C°)	303,5
Presión barométrica (mmHg)	552,0

Cumplimiento con respecto a la especificación del producto	
RESULTADO	<u>CUMPLE</u>

Observaciones: Se volvió a calentar el asfalto hasta que se haga líquido.
Cada 2°C que aumenta la temperatura, pasamos la flama a partir de los 180°C

Anexo 18 Ensayo de penetración

ÁREA DE PAVIMENTOS
INFORME DE ENSAYO
PENETRACIÓN DE MATERIALES BITUMINOSOS

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 5; INEN 917

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE
RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulalo - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Información General Ensayo	
Identificación de la muestra	M1
Temperatura de ensayo (C°)	25,0
Carga (g)	101,01
Tiempo de carga (s)	5

Valores de penetración en la muestra				
Punto	1	2	3	Promedio
Penetración (0,1mm)	80	80	79	79,67

Cumplimiento con respecto a la especificación del producto	
RESULTADO	<u>CUMPLE</u>

Anexo 19 Ensayo de densidad por el método del picnómetro

ÁREA DE PAVIMENTOS
INFORME DE ENSAYO
DENSIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS SEMISÓLIDOS (MÉTODO DEL PICNÓMETRO)

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar	SOLICITADO POR:
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE	FISCALIZADOR:
MUESTRA:	CONTRATISTA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 70; INEN 923	FECHA DE RECEPCIÓN:
CANTERA: Mina Mulalo - Osorio	FECHA DE EMISIÓN:
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López	ORDEN DE TRABAJO:
DESCRIPCIÓN:	HOJA:

Información General del Ensayo	
Identificación de la muestra	M1
Temperatura de ensayo	25°

Serie del picnómetro (N°)	AMK
Masa de picnómetro + Tapón seco (A)	32,784 gr
Masa de picnómetro + Tapón + Agua Destilada (B)	61,992 gr
Masa de picnómetro + Tapón + Asfalto (C)	54,883 gr
Masa de picnómetro + Tapón + Agua Destilada + Asfalto (D)	62,253 gr

Resultados	
Gravedad específica (a la milésima) $(C-A)/((B-A)-(D-C))$ (E)	1,012
Densidad del agua a la temperatura de ensayo (kg/m ³) (F)	997,0
Densidad de la muestra (kg/m ³) (E*F)	1008,916

Información de la muestra	
Fecha de muestreo	Jueves 17/Sep./2020
Lugar de Muestreo	Mina Naranjo López

Cumplimiento con respecto a la especificación del producto	
RESULTADO	<u>CUMPLE</u>

Anexo 20 Ensayo RICE, Mezcla asfáltica caliente con 4.5% de asfalto

ÁREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 2041M - 2011

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulaló - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2297,80
Masa de contenedor y tapa con agua a 25°C (D), g	7413,00
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25°C (E), g	8778,10

Gravedad específica máxima teórica (Gmm), g	2,464
--	--------------

OBSERVACIONES: Asfalto al 4,5% / Caliente

Anexo 21 Ensayo RICE, Mezcla asfáltica caliente con 5.0% de asfalto

ÁREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 2041M - 2011

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulaló - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2304,60
Masa de contenedor y tapa con agua a 25°C (D), g	7413,00
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25°C (E), g	8774,60

Gravedad específica máxima teórica (Gmm), g	2,444
--	--------------

OBSERVACIONES: Asfalto al 5,0% / Caliente

Anexo 22 Ensayo RICE, Mezcla asfáltica caliente con 5.5% de asfalto

ÁREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 2041M - 2011

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulaló - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2320,50
Masa de contenedor y tapa con agua a 25°C (D), g	7413,00
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25°C (E), g	8774,70

Gravedad específica máxima teórica (Gmm), g	2,420
--	-------

OBSERVACIONES: Asfalto al 5,5% / Caliente

Anexo 23 Ensayo RICE, Mezcla asfáltica caliente con 6.0% de asfalto

ÁREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 2041M - 2011

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulaló - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2332,60
Masa de contenedor y tapa con agua a 25°C (D), g	7413,00
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25°C (E), g	8772,10

Gravedad específica máxima teórica (Gmm), g	2,396
--	--------------

OBSERVACIONES: Asfalto al 6,0 % / Caliente

Anexo 24 Ensayo RICE, Mezcla asfáltica caliente con 6.5% de asfalto

ÁREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 2041M - 2011

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulaló - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2338,90
Masa de contenedor y tapa con agua a 25°C (D), g	7413,00
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25°C (E), g	8770,80

Gravedad específica máxima teórica (Gmm), g	2,384
--	--------------

OBSERVACIONES: Asfalto al 6,5 % / Caliente

Anexo 25 Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con 6.0% (% asfalto óptimo)

ÁREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 2041M - 2011

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulaló - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2329,40
Masa de contenedor y tapa con agua a 25°C (D), g	7413,00
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25°C (E), g	8769,60

Gravedad específica máxima teórica (Gmm), g	2,395
--	--------------

OBSERVACIONES: Asfalto óptimo de 6% - Tibio

Anexo 26 Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-al 2.0%

ÁREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 2041M - 2011

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulaló - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2384,50
Masa de contenedor y tapa con agua a 25°C (D), g	7413,00
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25°C (E), g	8770,60

Gravedad específica máxima teórica (Gmm), g	2,322
--	--------------

OBSERVACIONES: Aditivo Súrfax TB-1 al 2,0%

Anexo 27 Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-al 2.5%

ÁREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 2041M - 2011

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulaló - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranja López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2379,55
Masa de contenedor y tapa con agua a 25°C (D), g	7413,00
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25°C (E), g	8760,50

Gravedad específica máxima teórica (Gmm), g	2,306
--	--------------

OBSERVACIONES: Aditivo Súrfax TB-1 al 2,5%

Anexo 28 Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-al 3.0%

ÁREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 2041M - 2011

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulaló - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranja López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2399,80
Masa de contenedor y tapa con agua a 25°C (D), g	7413,00
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25°C (E), g	8767,60

Gravedad específica máxima teórica (Gmm), g	2,296
--	--------------

OBSERVACIONES: Aditivo Súrfax TB-1 al 3,0%

Anexo 29 Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-al 3.5%

ÁREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 2041M - 2011

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulaló - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2409,90
Masa de contenedor y tapa con agua a 25°C (D), g	7413,00
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25°C (E), g	8766,50

Gravedad específica máxima teórica (Gmm), g	2,281
--	--------------

OBSERVACIONES: Aditivo Súrfax TB-1 al 3,5%

Anexo 30 Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-al 4.0%

ÁREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 2041M - 2011

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulaló - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranja López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2421,30
Masa de contenedor y tapa con agua a 25°C (D), g	7413,00
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25°C (E), g	8768,80

Gravedad específica máxima teórica (Gmm), g	2,272
--	--------------

OBSERVACIONES: Aditivo Súrfax TB-1 al 4,0%

Anexo 31 Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm al 0.025%

INFORME DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 2041M - 2011

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulaló - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2334,10
Masa de contenedor y tapa con agua a 25°C (D), g	7413,00
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25°C (E), g	8771,60

Gravedad específica máxima teórica (Gmm), g	2,393
--	--------------

OBSERVACIONES: Aditivo Zycotherm al 0,025%

Anexo 32 Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm al 0.050%

INFORME DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 2041M - 2011

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulaló - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2336,50
Masa de contenedor y tapa con agua a 25°C (D), g	7413,00
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25°C (E), g	8775,00

Gravedad específica máxima teórica (Gmm), g	2,398
--	--------------

OBSERVACIONES: Aditivo Zycotherm al 0,050%

Anexo 33 Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm al 0.075%

INFORME DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 2041M - 2011

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulaló - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2327,40
Masa de contenedor y tapa con agua a 25°C (D), g	7413,00
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25°C (E), g	8769,60

Gravedad específica máxima teórica (Gmm), g	2,397
--	--------------

OBSERVACIONES: Aditivo Zycotherm al 0,075%

Anexo 34 Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm al 0.100%

INFORME DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 2041M - 2011

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulaló - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2333,20
Masa de contenedor y tapa con agua a 25°C (D), g	7413,00
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25°C (E), g	8770,10

Gravedad específica máxima teórica (Gmm), g	2,390
--	--------------

OBSERVACIONES: Aditivo Zycotherm al 0,100%

Anexo 35 Ensayo RICE, Mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm al 0.125%

INFORME DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

PROYECTO: Tesis Estrella - Paucar
LOCALIZACIÓN: Laboratorios - PUCE
MUESTRA:
NORMA ENSAYO: ASTM D 2041M - 2011

SOLICITADO POR:
FISCALIZADOR:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA: Mina Mulaló - Osorio
LOCALIZACIÓN: Planta asfáltica Naranjo López
DESCRIPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN:
ORDEN DE TRABAJO:
HOJA:

Información general del ensayo:

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	2337,80
Masa de contenedor y tapa con agua a 25°C (D), g	7413,00
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25°C (E), g	8773,40

Gravedad específica máxima teórica (Gmm), g	2,392
--	--------------

OBSERVACIONES: Aditivo Zycotherm al 0,125%

Anexo 36 Datos de briquetas (Parte 1)

ÁREA DE PAVIMENTOS
FORMATO DE CAMPO

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

PROYECTO: Tesis Pasos - Estrella

RECEPCIÓN:

HOJA: 1

FECHA DE ROTURA	BRIQUETA / NÚCLEO	DESCRIPCIÓN	ASTM D3549 Espesor del Especimen (mm)	Diámetro del Especimen (mm)	ASTM D166-07 - MÉTODO DE ENSAYO A			ASTM D6927			
					Masa del Especimen Seco (gr)	Masa del Especimen Sumergido (gr)	Masa del Especimen Saturado Superficie Seca (gr)	Medida	Factor de Corrección	Corregida	Flujo 0.01"
	1	Caliente (4.50)	64.96	101.79	1137.65	643.59	1150.31	4090	1.04	4254	12
	2	Caliente (4.50)	65.93	101.81	1140.79	641.80	1149.62	3740	1.04	3890	12
	3	Caliente (4.50)	65.74	101.71	1142.65	643.13	1155.36	3330	1.00	3330	14
	4	Caliente (5)	65.67	101.81	1146.51	642.08	1152.67	5050	1.00	5050	12
	5	Caliente (5)	64.82	101.88	1146.17	641.13	1150.94	3860	1.00	3860	12
	6	Caliente (5)	65.76	101.74	1155.47	649.78	1161.32	3025	1.00	3025	12
	7	Caliente (5.50)	64.47	101.85	1151.99	650.71	1154.70	3520	1.04	3661	13
	8	Caliente (5.50)	64.24	101.81	1152.29	648.63	1153.67	3665	1.04	3812	14
	9	Caliente (5.50)	64.48	101.71	1154.19	647.25	1156.06	3225	1.04	3354	14
	10	Caliente (6)	64.24	101.80	1162.72	655.73	1163.87	3710	1.04	3858	13

REALIZADO POR:

INFORME REALIZADO POR:

Anexo 37 Datos de briquetas (Parte 2)

ÁREA DE PAVIMENTOS
FORMATO DE CAMPO

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

PROYECTO: Tesis Inaugur-Espido

RECEPCIÓN:

HORA: 2

FECHA DE ROTURA	BRIQUETA / NÚCLEO	DESCRIPCIÓN	ASTM D1549 Espesor del Especimen (mm)	Diámetro del Especimen (mm)	ASTM D166-07 - MÉTODO DE ENSAYO A			ASTM D6927			Flujo 0.01"
					Masa del Especimen Seco (gr)	Masa del Especimen Sumergido (gr)	Masa del Especimen Saturado Superficie Seca (gr)	Medida	Factor de Corrección	Corregida	
	11	Caliente (6)	64.19	101.74	1469.14	658.41	1470.36	3125	1.00	3125	13
	12	Caliente (6)	63.81	101.82	1476.55	670.14	1477.53	2590	1.04	2694	14
	13	Caliente (6)	62.82	101.79	1458.57	658.39	1458.98	2840	1.04	2983	14
	14	Caliente (6)	62.02	101.83	1441.55	648.37	1441.66	2950	1.04	3216	14
	15	Caliente (6)	62.42	101.79	1450.06	653.43	1450.32	2885	1.04	3000	14
	1	Tibio 7/N	63.98	101.74	1165.68	665.18	1167.17	2050	1.04	2132	11.5
	2	Tibio 6/N	65.72	101.82	1159.26	648.54	1162.17	2050	1.00	2050	14
	3	Tibio 5/N	65.61	101.76	1160.21	650.61	1162.75	1975	1.00	1975	14
	1	Suelto 2/1	62.50	101.81	1160.14	650.32	1160.56	2200	1.04	2288	15
	2	Suelto 2/1	62.50	101.81	1171.54	661.70	1171.92	2310	1.00	2310	16

REALIZADO POR:

INFORME REALIZADO POR:

Anexo 38 Datos de briquetas (Parte 3)

ÁREA DE PAVIMENTOS

FORMATO DE CAMPO

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

PROYECTO: Jesús Paez - Estrella

RECEPCIÓN:

HORA: 3

FECHA DE ROTURA	BRIQUETA / NÚCLEO	DESCRIPCIÓN	ASTM D3549 Espesor del Especimen (mm)	Diámetro del Especimen (mm)	AAASTHO T166-07 - MÉTODO DE ENSAYO A			ASTM D6927			Flujo 0.01"
					Masa del Especimen Seco (gr)	Masa del Especimen Sumergido (gr)	Masa del Especimen Saturado Superficie Seca (gr)	Medida	Factor de Corrección	Corregida	
	3	Surfax 2.1	62.90	101.76	1163.30	656.53	1163.72	2420	1.04	2517	17
	4	Surfax 2.5	64.50	101.83	1186.15	647.62	1186.45	2050	1.00	2050	17
	5	Surfax 2.5	63.81	101.76	1172.33	658.59	1173.13	1880	1.00	1880	17
	6	Surfax 2.5	64.52	101.83	1184.92	666.26	1185.31	1980	1.00	1980	15.7
	7	Surfax 3.0	63.81	101.92	1189.13	667.16	1189.50	1950	1.00	1950	13.0
	8	Surfax 3.0	64.51	101.87	1183.53	664.22	1183.87	1850	1.00	1850	13.0
	9	Surfax 3.0	65.02	101.85	1188.44	666.88	1188.74	1800	1.00	1800	13.0
	10	Surfax 3.5	63.97	102.15	1192.61	663.19	1192.61	1950	1.00	1950	11.8
	11	Surfax 3.5	64.41	101.76	1183.78	663.23	1184.32	1850	1.00	1850	11.5
	12	Surfax 3.5	65.60	101.87	1199.41	668.72	1199.79	2050	0.96	1968	12

REALIZADO POR:

INFORME REALIZADO POR:

Anexo 39 Datos de briquetas (Parte 4)

ÁREA DE PAVIMENTOS
FORMATO DE CAMPO

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

PROYECTO: Tesis Pavcar-Estrella

RECEPCIÓN:

HOJA: 4

FECHA DE ROTURA	BRIQUETA / NÚCLEO	DESCRIPCIÓN	ASTM D3549 Espesor del Especimen (mm)	Diámetro del Especimen (mm)	ASTHO T166-07 - MÉTODO DE ENSAYO A			ASTM D6927			
					Masa del Especimen Seco (gr)	Masa del Especimen Sumergido (gr)	Masa del Especimen Saturado Superficie Seca (gr)	Medida	Factor de Corrección	Estabilidad (lb)	Flujo 0.01"
	13	Superfex 4.0	66.47	101.82	1195.68	663.63	1195.97	2100	0.96	2016	13.5
	14	Superfex 4.0	65.13	102.45	1198.17	665.30	1198.44	1720	0.96	1651	16
	15	Superfex 4.0	65.54	102.25	1193.32	658.85	1193.43	1530	0.96	1464	16
	1	Zyc 0.025	65.54	102.15	1164.46	655.12	1167.84	2060	1.00	2060	11.5
	2	Zyc 0.025	64.50	101.92	1162.04	657.32	1165.41	2650	1.04	2756	14.0
	3	Zyc 0.025	65.28	101.83	1166.17	657.60	1168.22	2300	1.00	2300	14.7
	4	Zyc 0.050	64.71	102.11	1162.02	649.34	1164.47	2425	1.00	2425	15.2
	5	Zyc 0.050	65.40	101.94	1164.73	653.28	1167.18	2800	1.00	2800	14.7
	6	Zyc 0.050	64.04	101.96	1160.57	656.12	1162.95	2850	1.04	2964	13.2
	7	Zyc 0.075	64.30	101.81	1160.83	657.54	1163.91	3000	1.04	3120	14.0

REALIZADO POR:

INFORME REALIZADO POR:

Anexo 40 Datos de briquetas (Parte 5)

ÁREA DE PAVIMENTOS
FORMATO DE CAMPO

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

PROYECTO: Tesis Páez - Estrella

RECEPCIÓN: _____

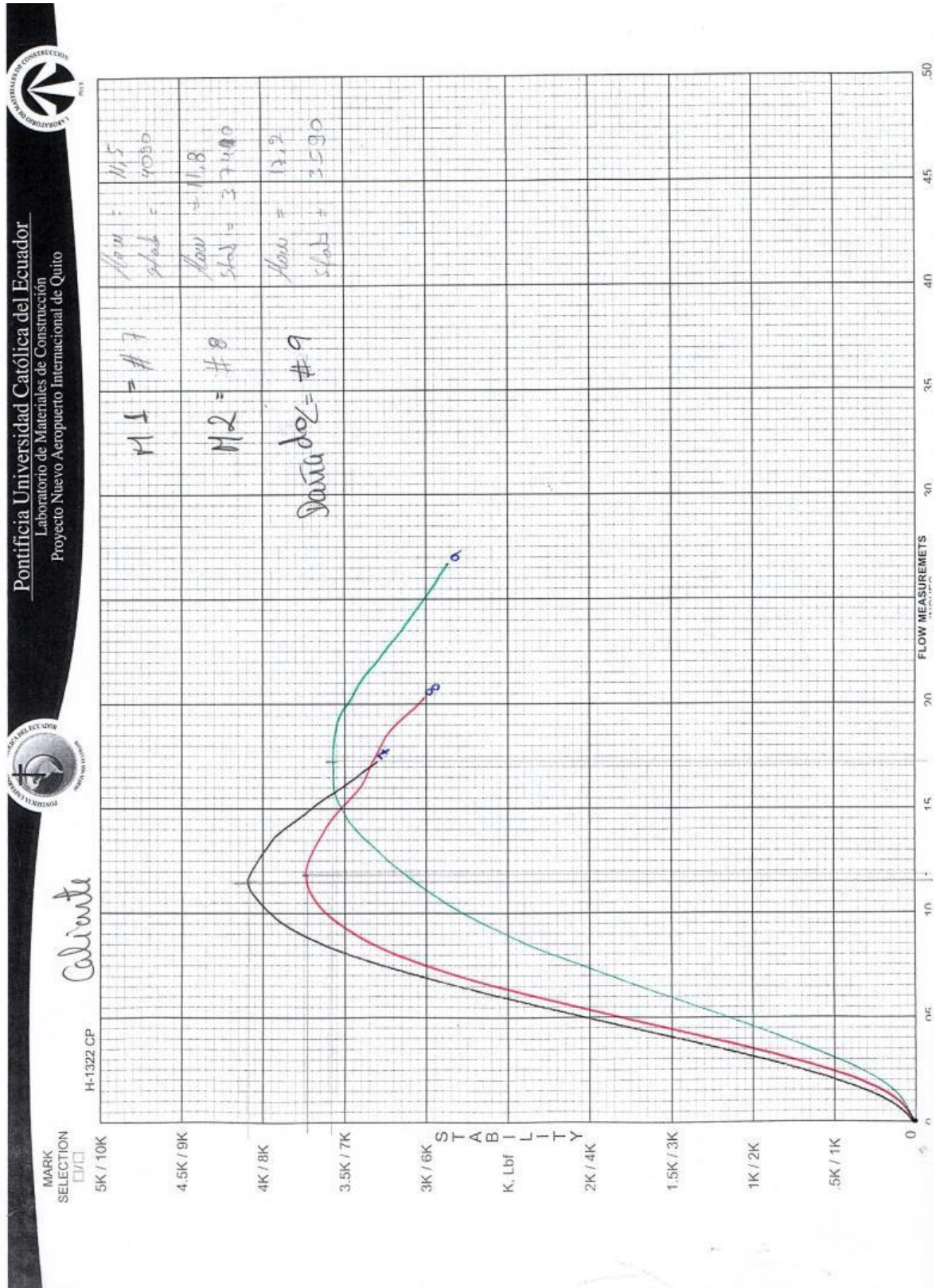
HORA: 5

FECHA DE ROTURA	BRIQUETA / NÚCLEO	DESCRIPCIÓN	ASTM D3549 Espesor del Especimen (mm)	Diámetro del Especimen (mm)	AASHTO T166-07 - MÉTODO DE ENSAYO A			ASTM D6927			
					Masa del Especimen Seco (gr)	Masa del Especimen Sumergido (gr)	Masa del Especimen Saturado Superficie Seca (gr)	Medida	Factor de Corrección	Corregida	Flujo 0.01"
	8	Zyc 0.075	64.73	101.75	1165.41	659.29	1167.39	2850	1.04	2964	15.5
	9	Zyc 0.075	65.41	101.84	1156.62	649.91	1159.34	2475	1.00	2475	15.0
	10	Zyc 0.100	64.15	101.92	1161.24	655.63	1162.73	3070	1.04	3193	14.0
	11	Zyc 0.100	65.37	101.84	1162.14	653.11	1164.53	2740	1.00	2740	14.3
	12	Zyc 0.100	64.57	101.61	1157.23	653.70	1159.37	2400	1.04	2496	13.0
	13	Zyc 0.125	63.72	102.48	1160.05	654.85	1161.86	2350	1.04	2444	12.0
	14	Zyc 0.125	64.14	101.74	1157.01	655.48	1159.41	2220	1.04	2304	13.0
	15	Zyc 0.125	64.59	101.81	1163.39	655.69	1166.34	2050	1.00	2050	13.0

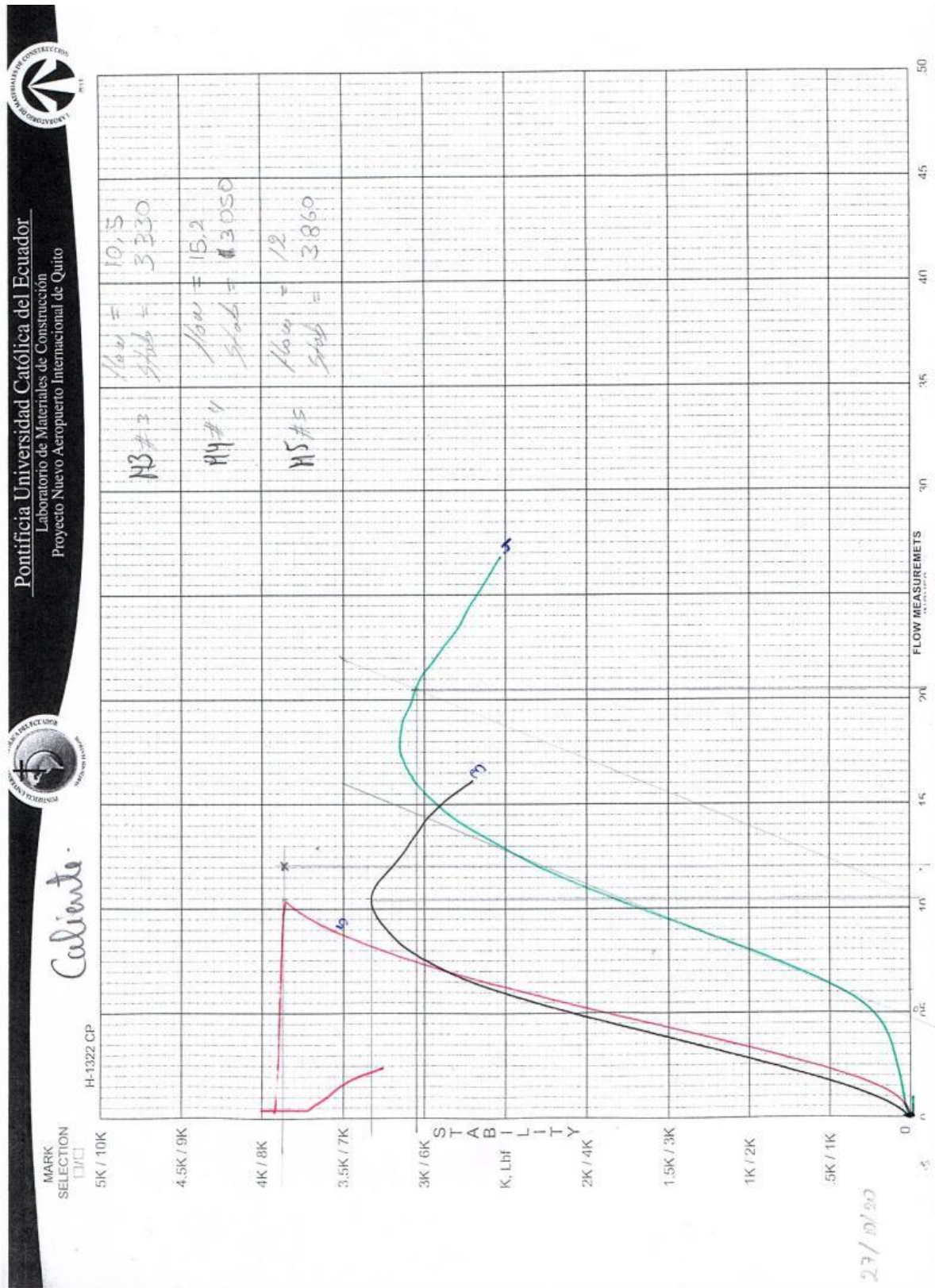
REALIZADO POR: _____

INFORME REALIZADO POR: _____

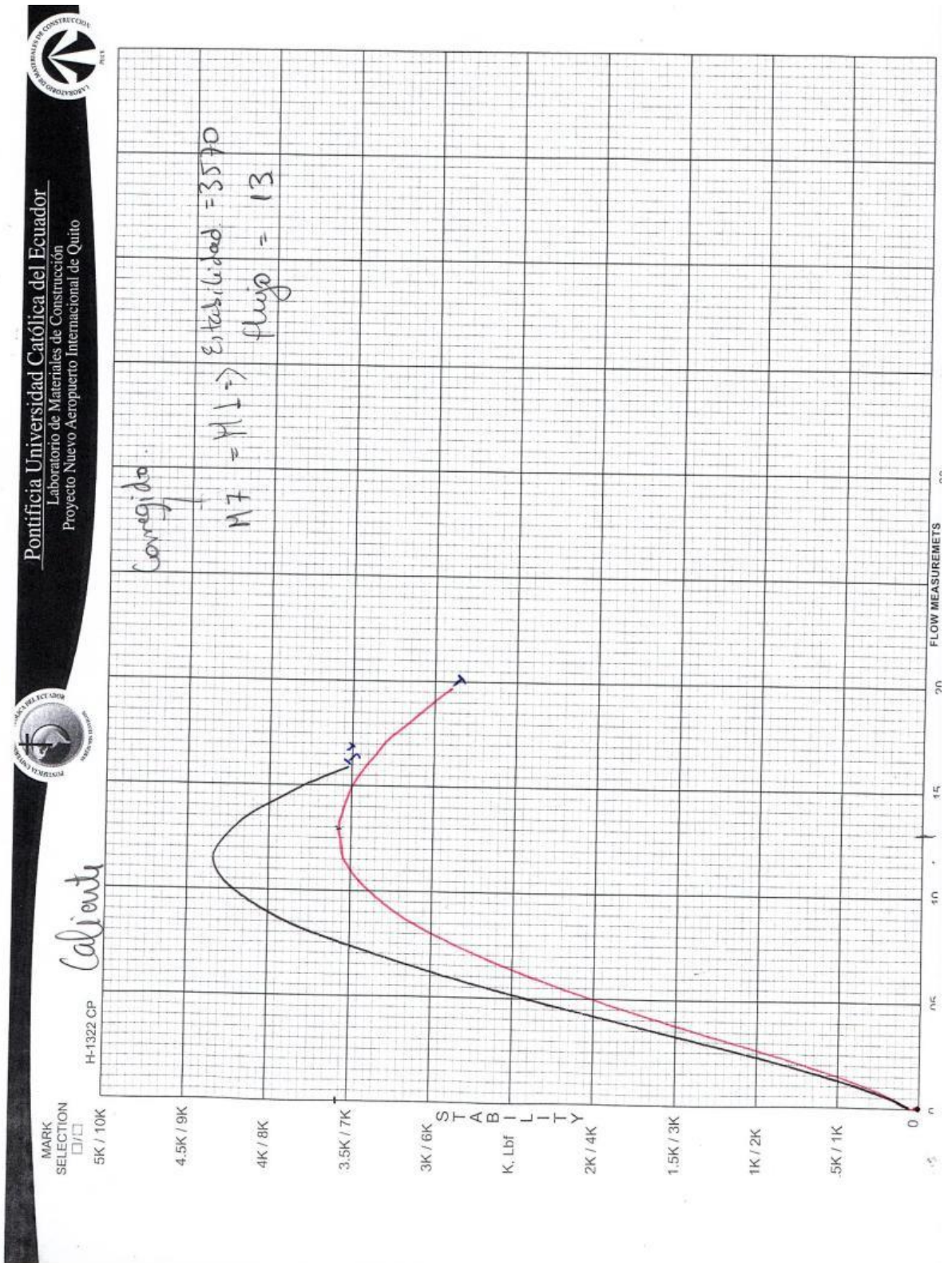
Anexo 41 Ensayo Marshall en mezcla asfáltica caliente (estabilidad vs flujo) - Parte 1



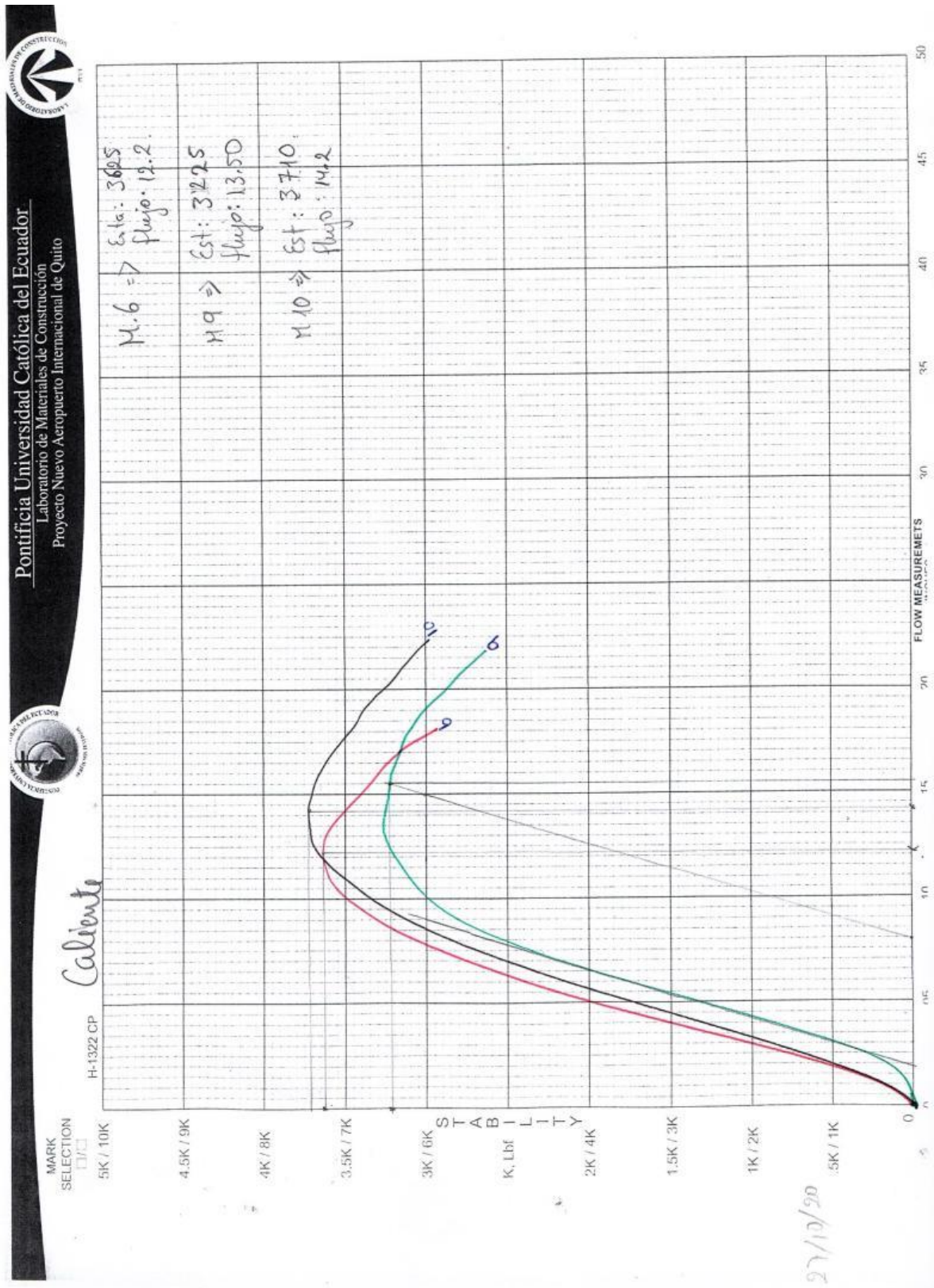
Anexo 42 Ensayo Marshall en mezcla asfáltica caliente (estabilidad vs flujo) - Parte 2



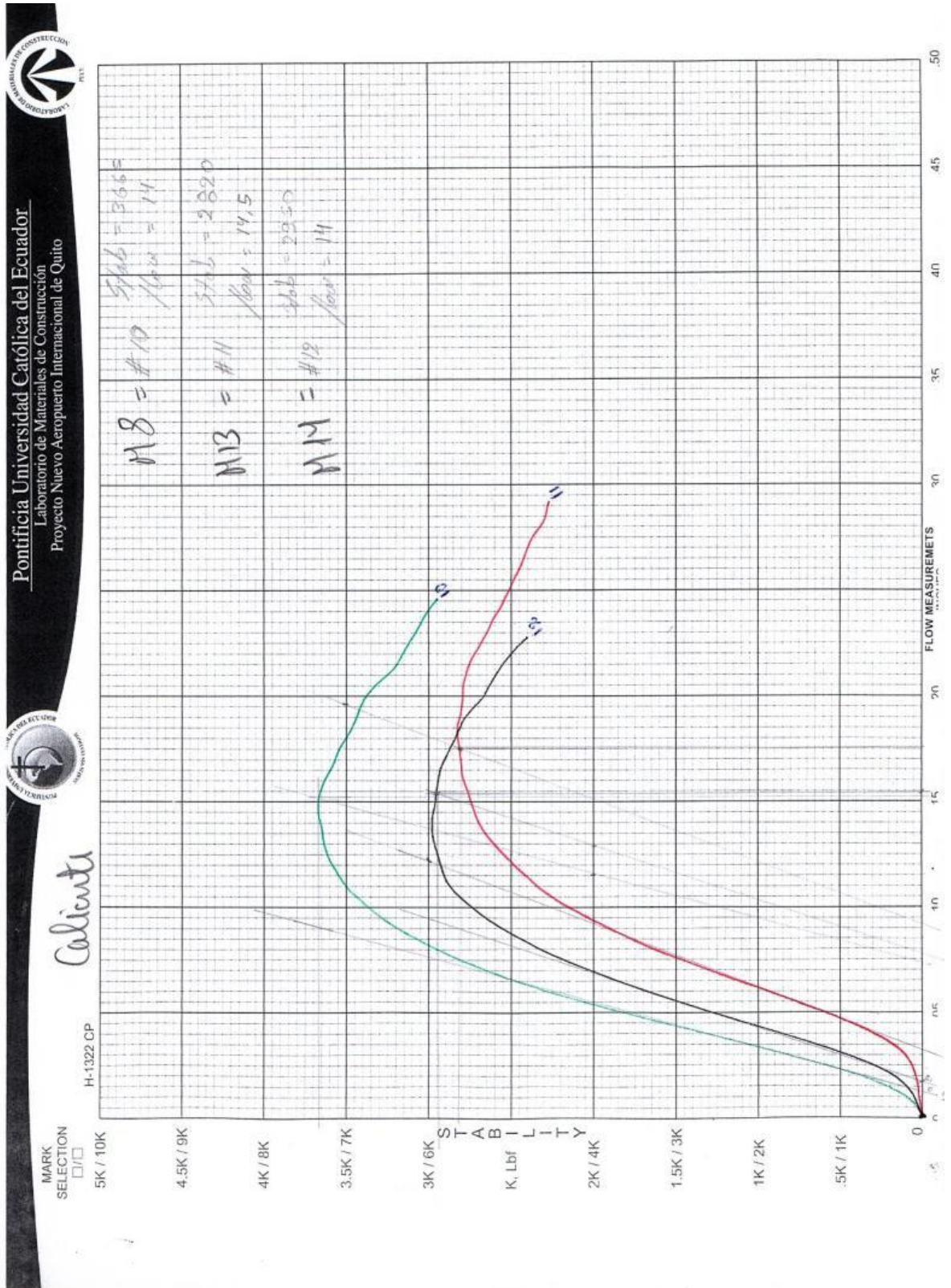
Anexo 43 Ensayo Marshall en mezcla asfáltica caliente (estabilidad vs flujo) - Parte 3



Anexo 44 Ensayo Marshall en mezcla asfáltica caliente (estabilidad vs flujo) - Parte 4



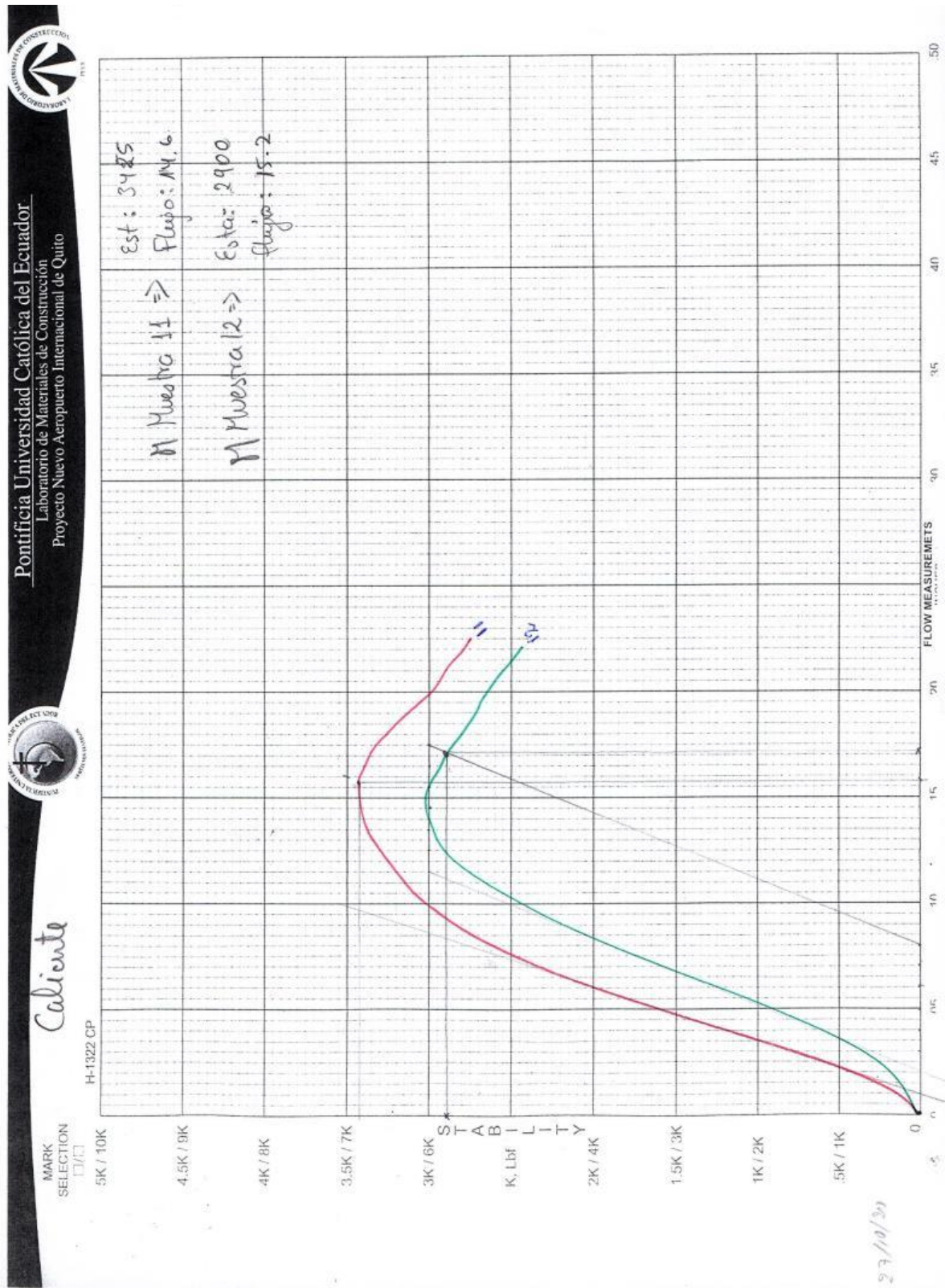
Anexo 45 Ensayo Marshall en mezcla asfáltica caliente (estabilidad vs flujo) - Parte 5



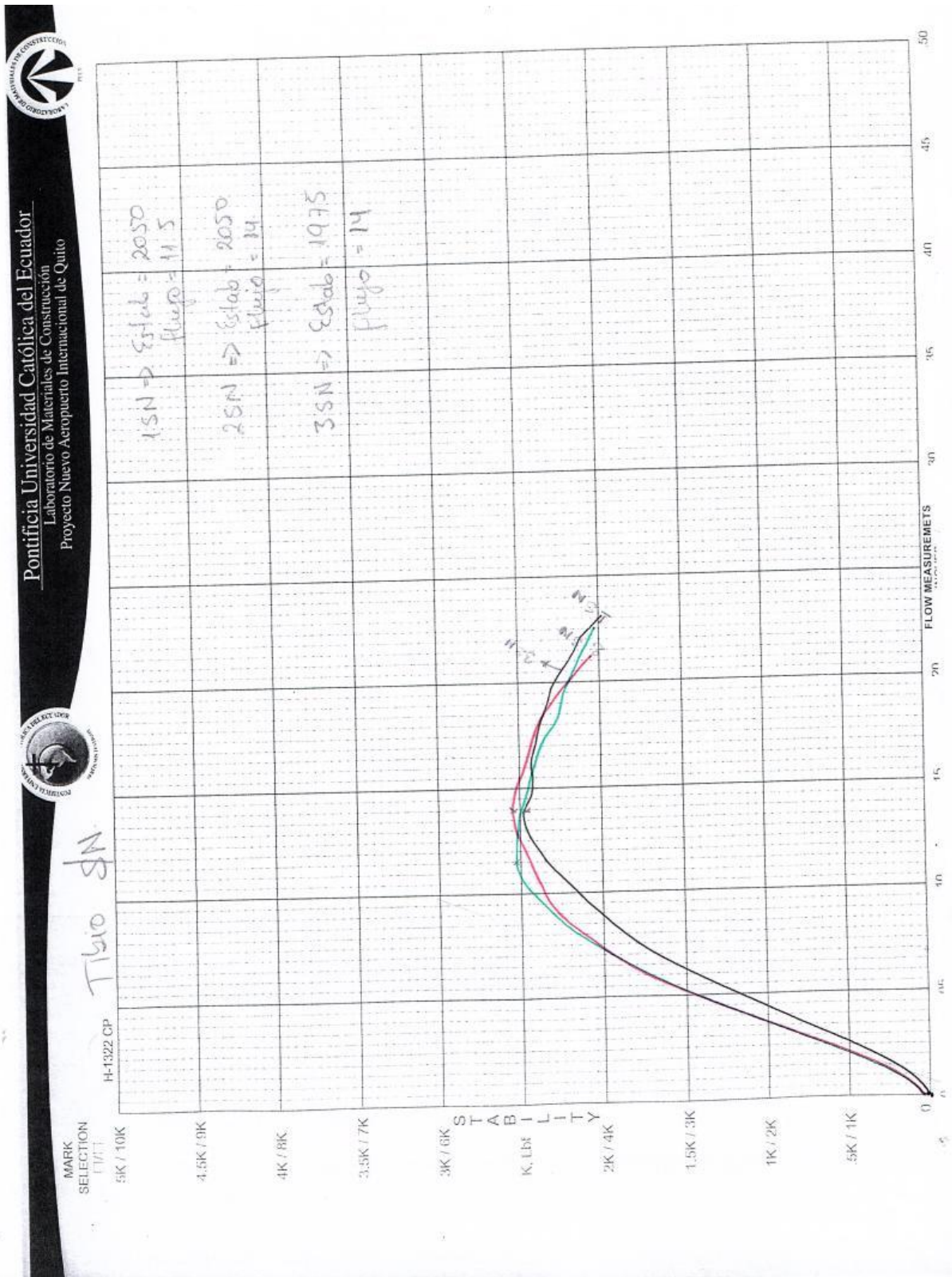
Pontificia Universidad Católica del Ecuador
 Laboratorio de Materiales de Construcción
 Proyecto Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito



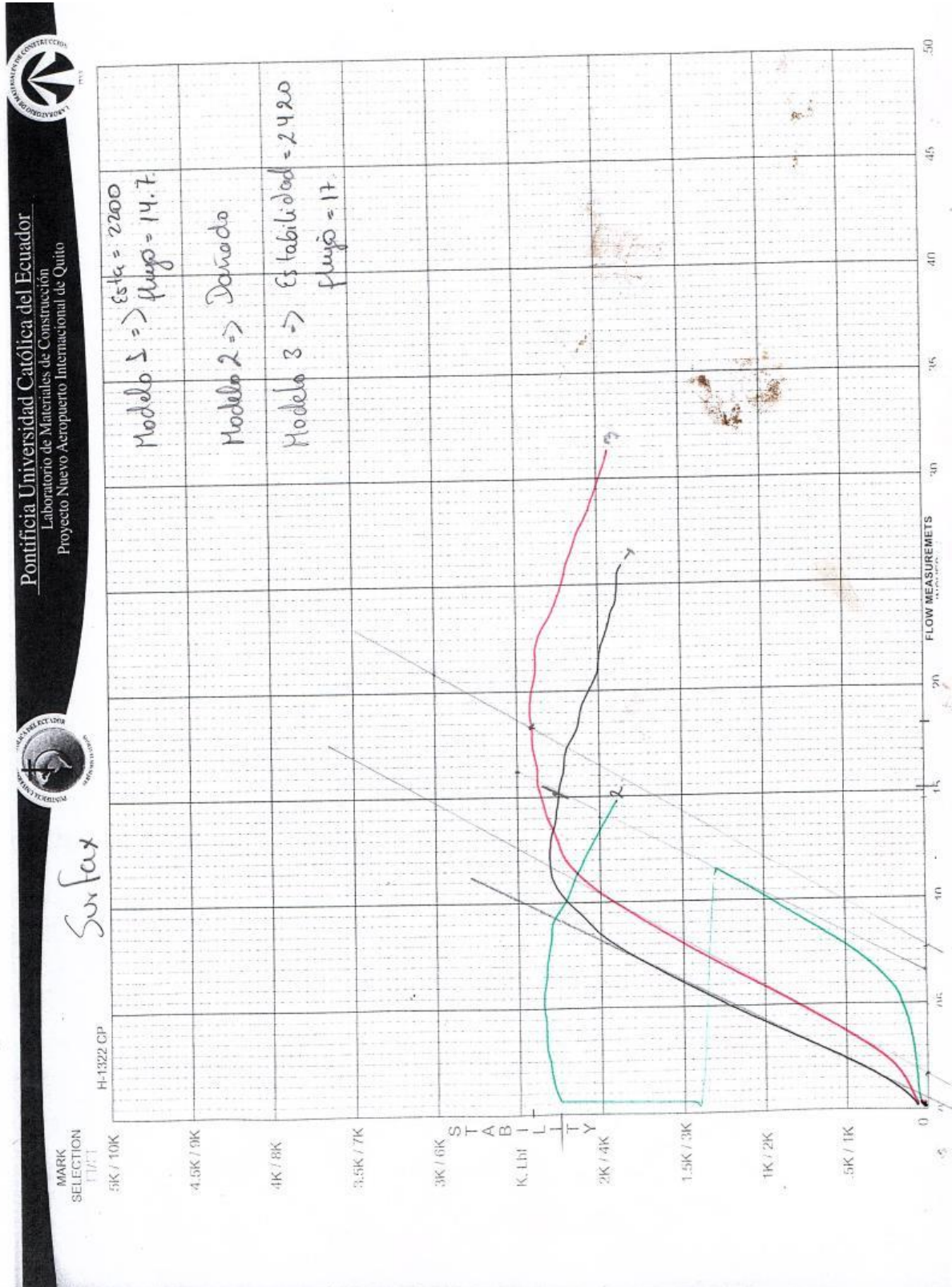
Anexo 46 Ensayo Marshall en mezcla asfáltica caliente (estabilidad vs flujo) - Parte 6



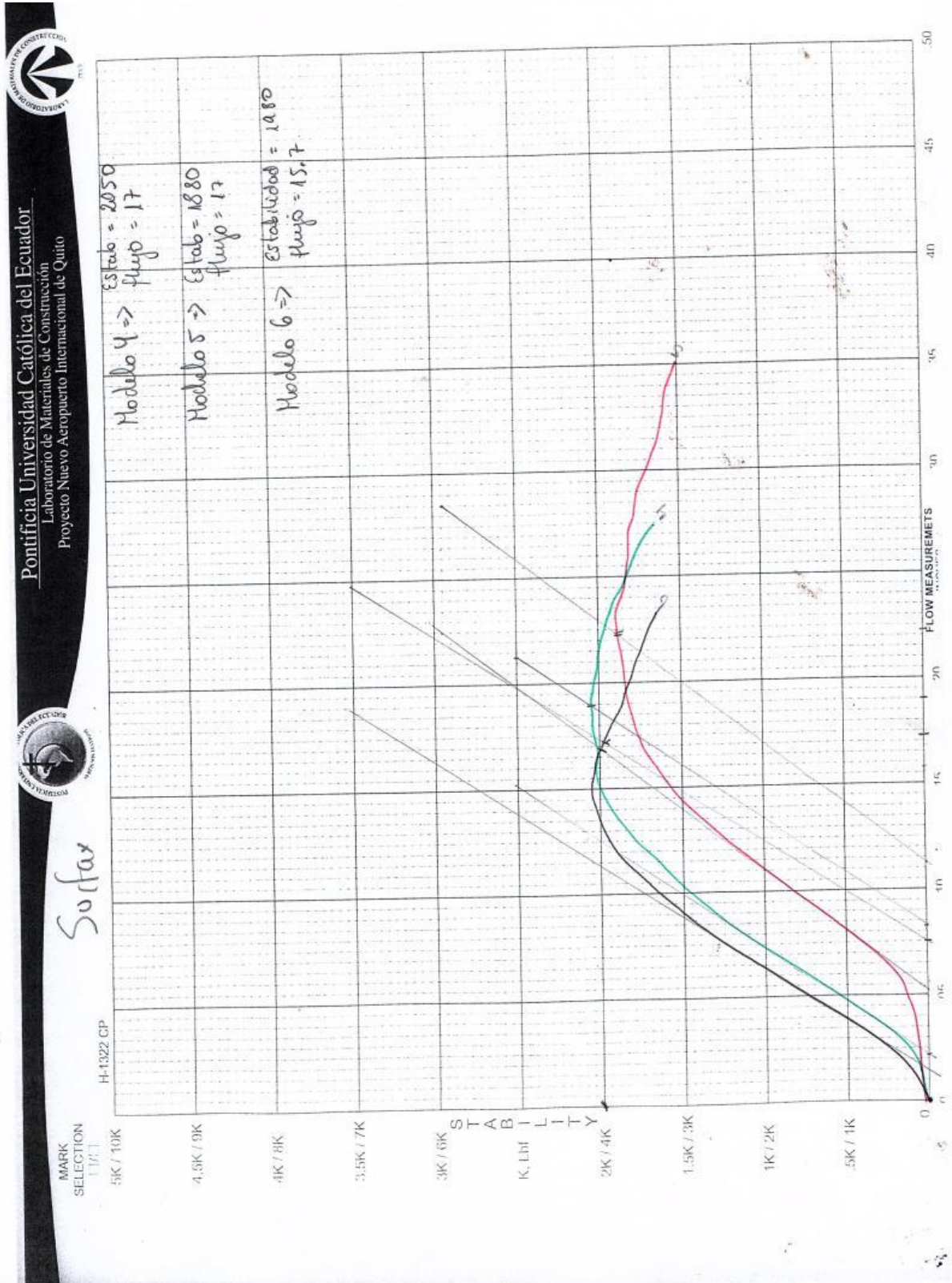
Anexo 47 Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia sin aditivo (estabilidad vs flujo)



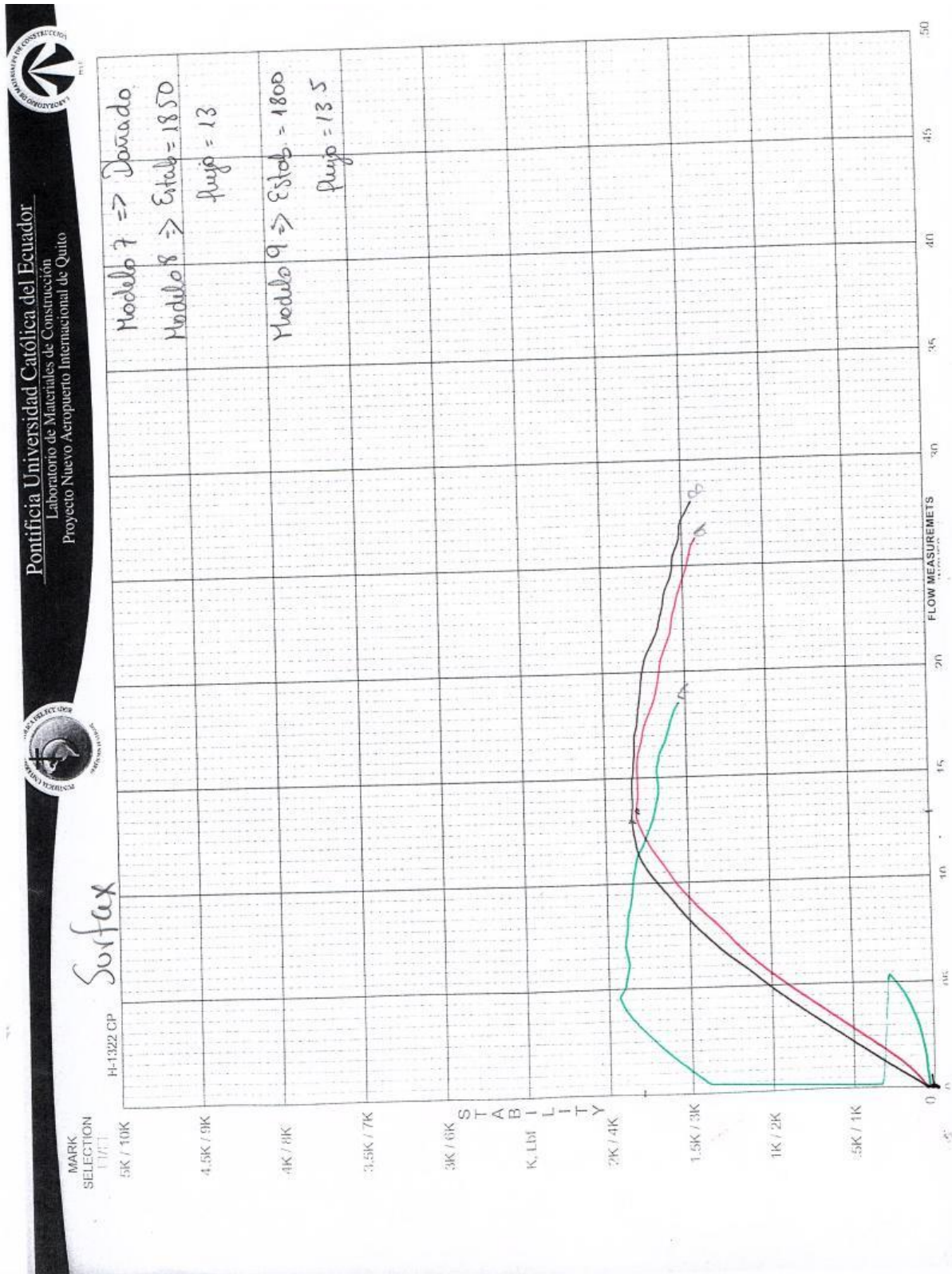
Anexo 48 Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-1
 (estabilidad vs flujo) - Parte 1



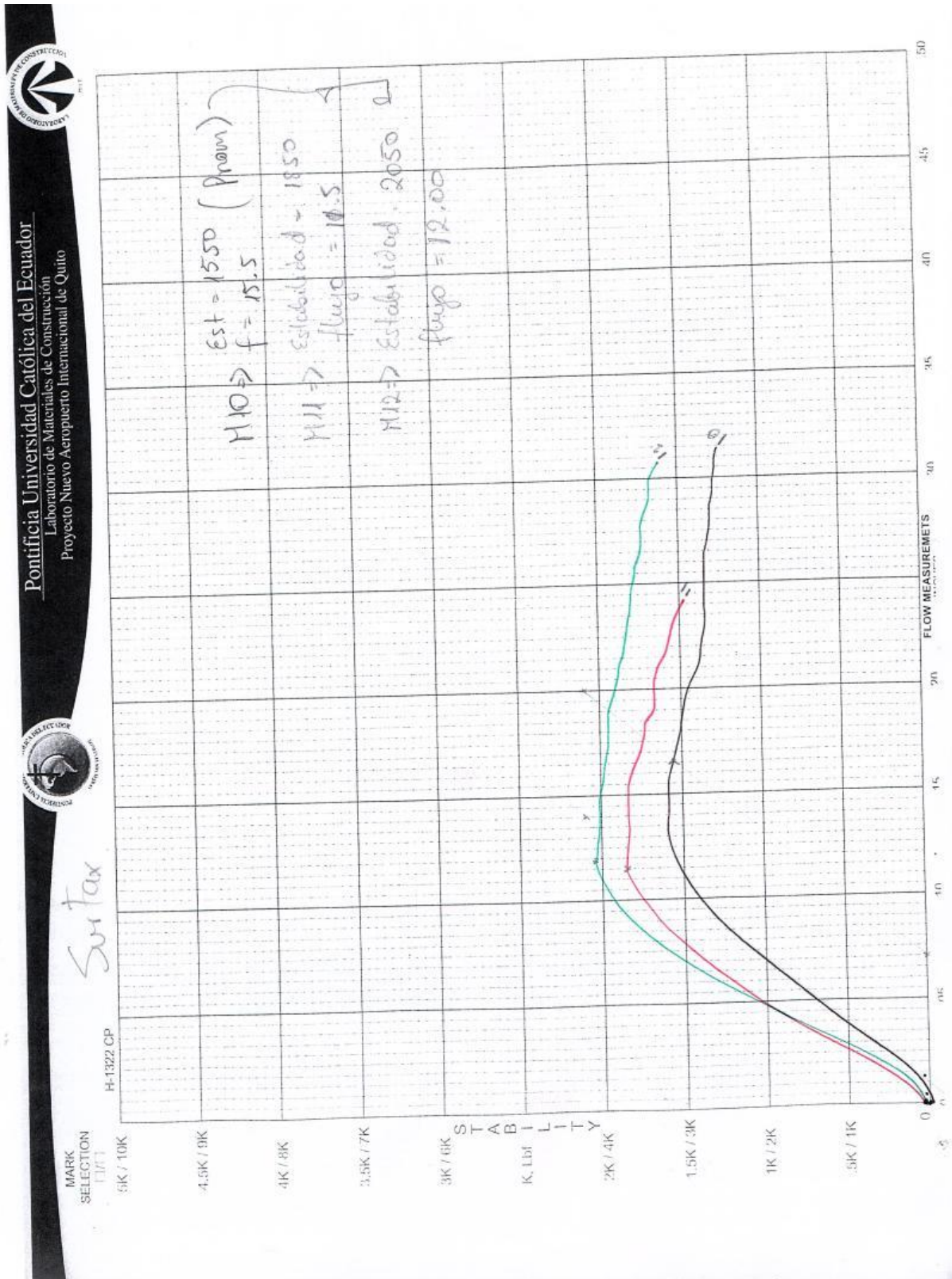
Anexo 49 Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-1
(estabilidad vs flujo) - Parte 2



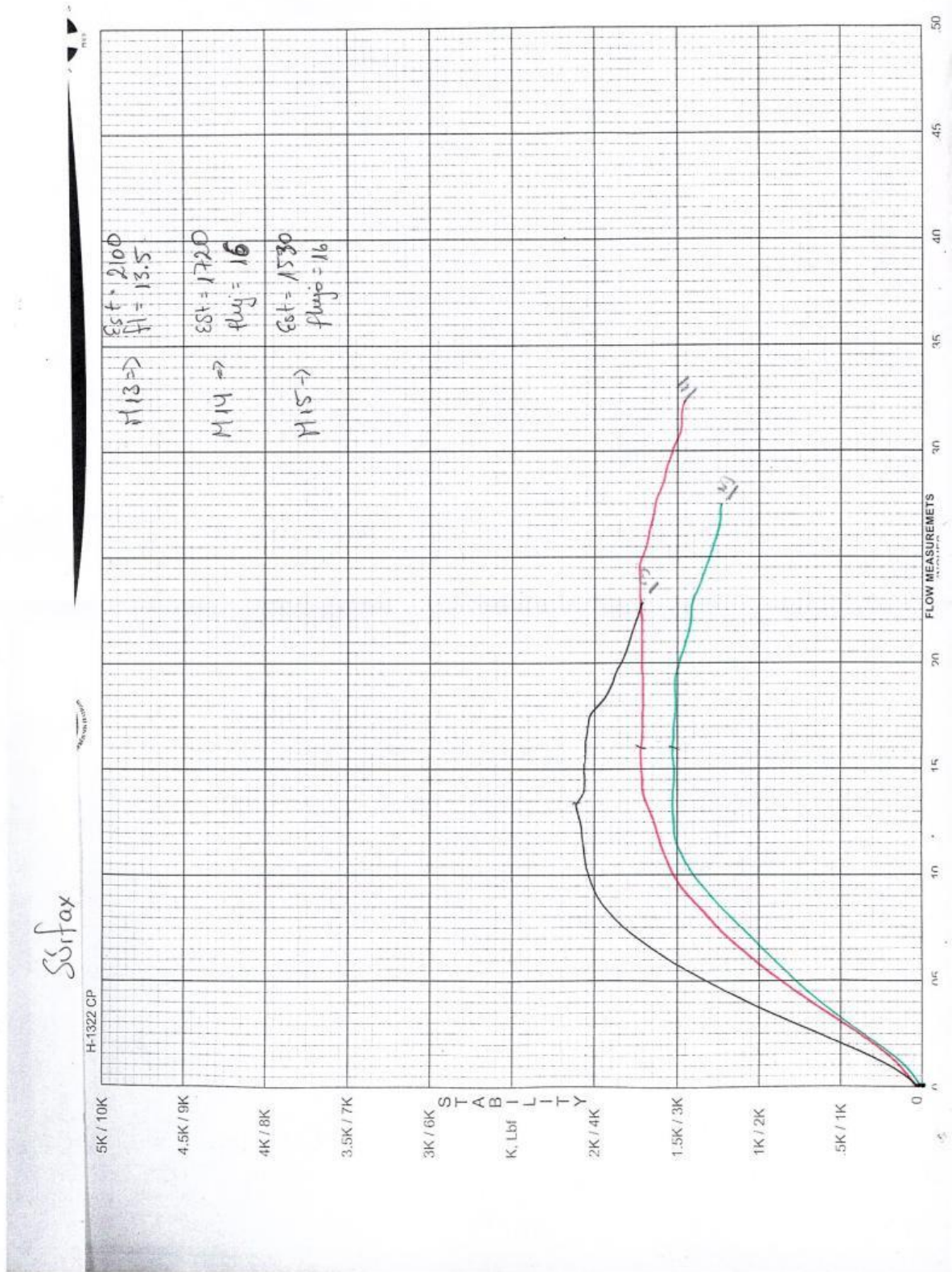
Anexo 50 Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-1 (estabilidad vs flujo) - Parte 3



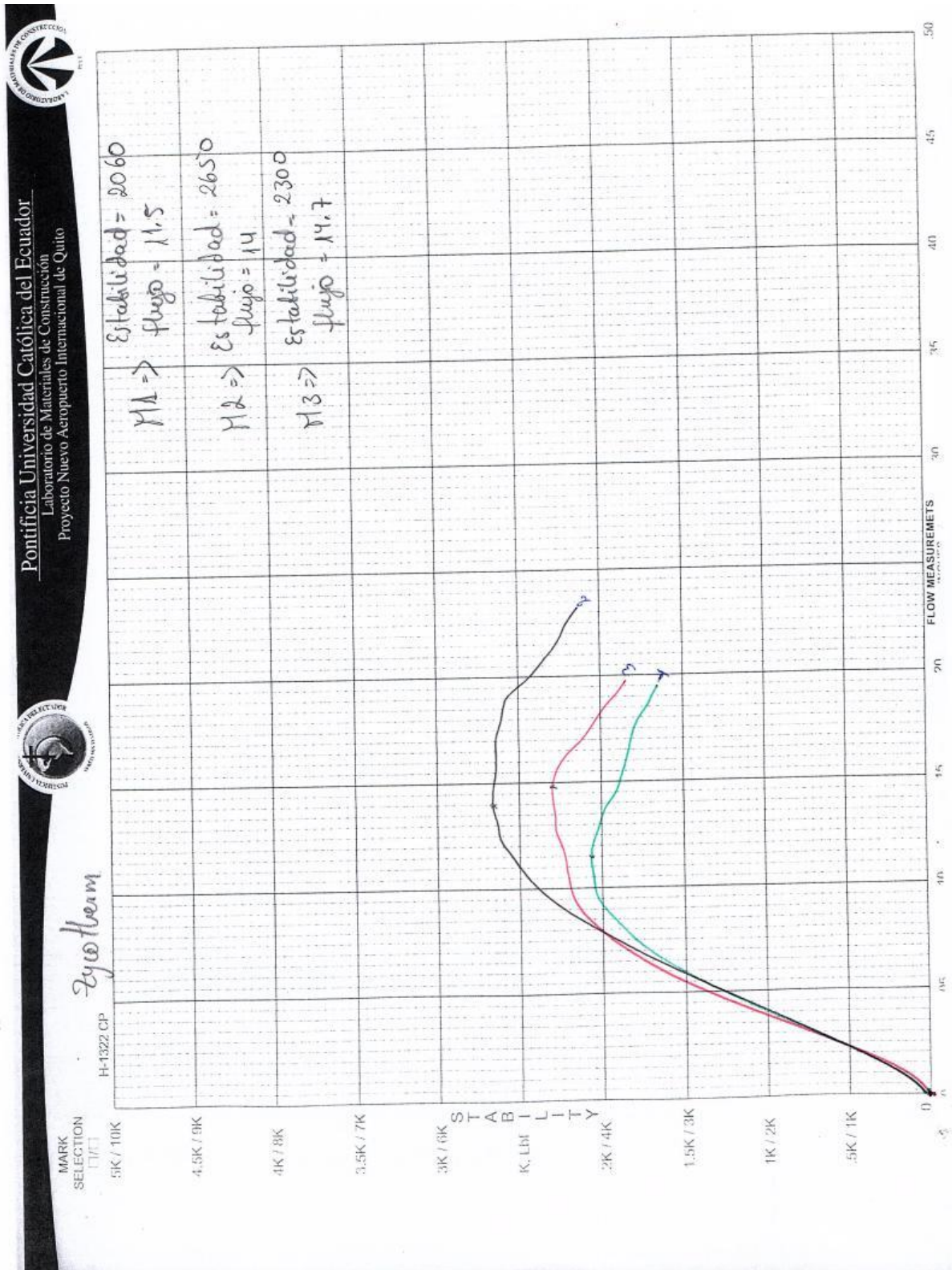
Anexo 51 Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-1 (estabilidad vs flujo) - Parte 4



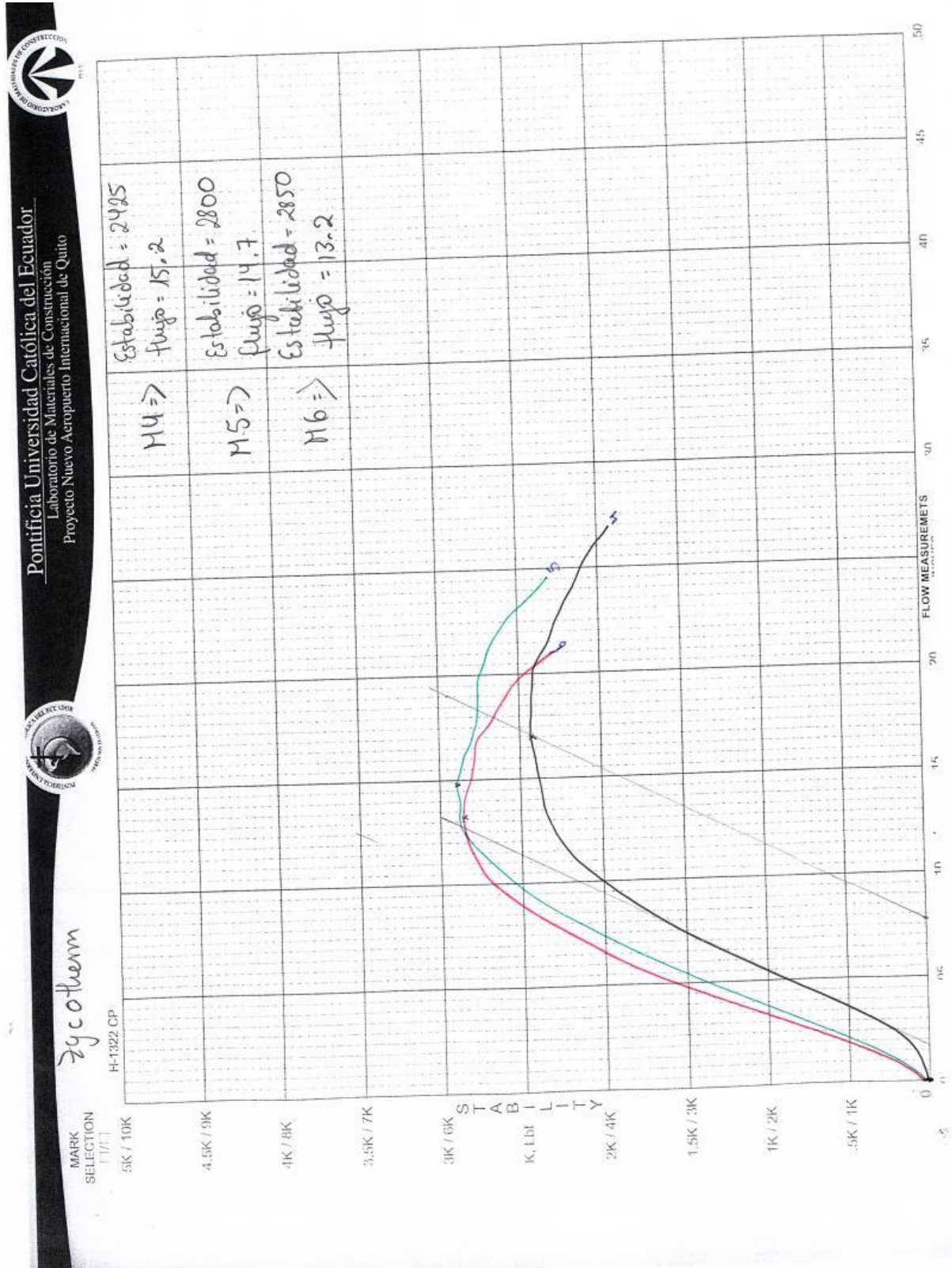
Anexo 52 Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Súrfax TB-1 (estabilidad vs flujo) - Parte 5



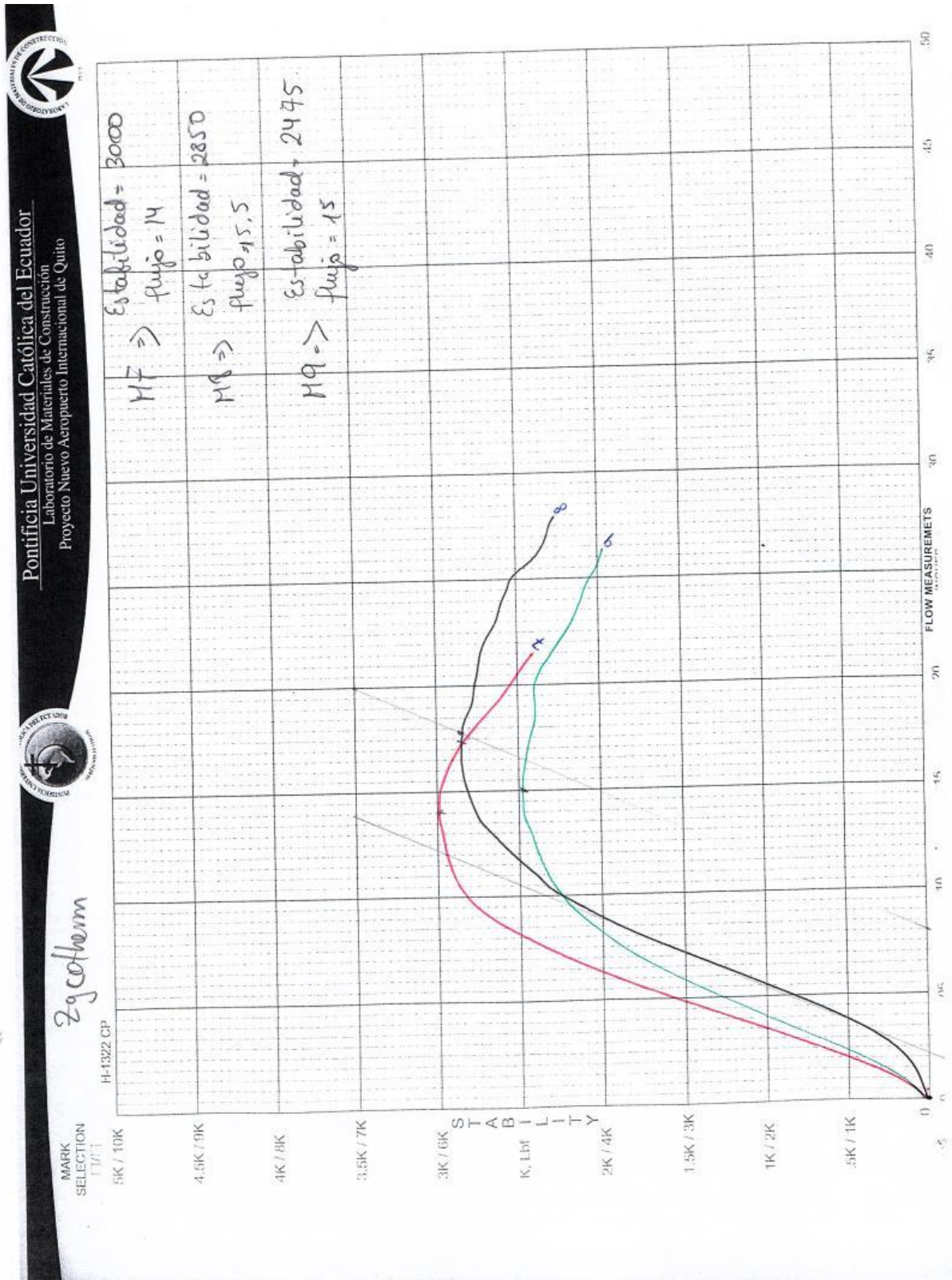
Anexo 53 Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm (estabilidad vs flujo) - Parte 1



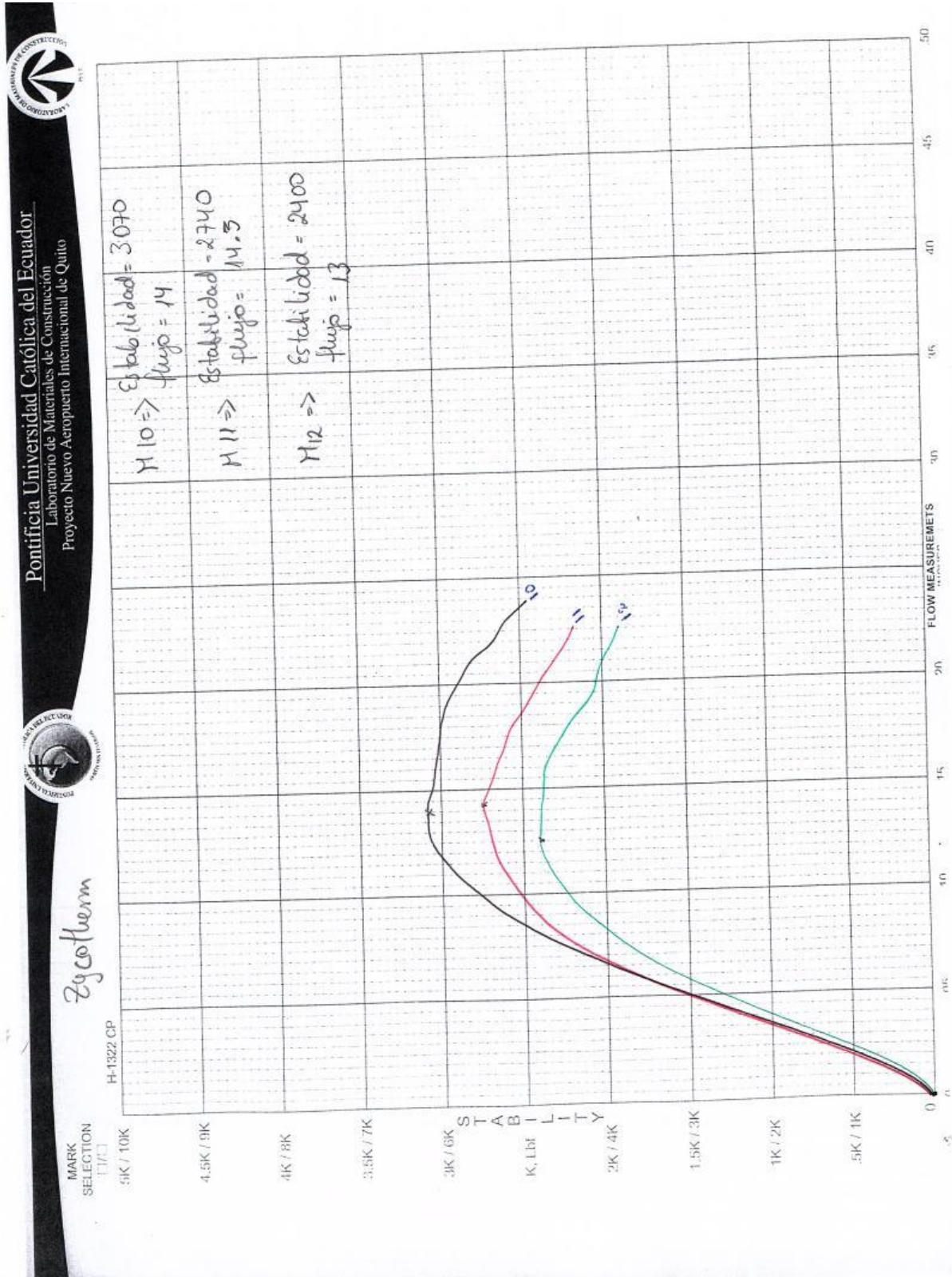
Anexo 54 Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm (estabilidad vs flujo) - Parte 2



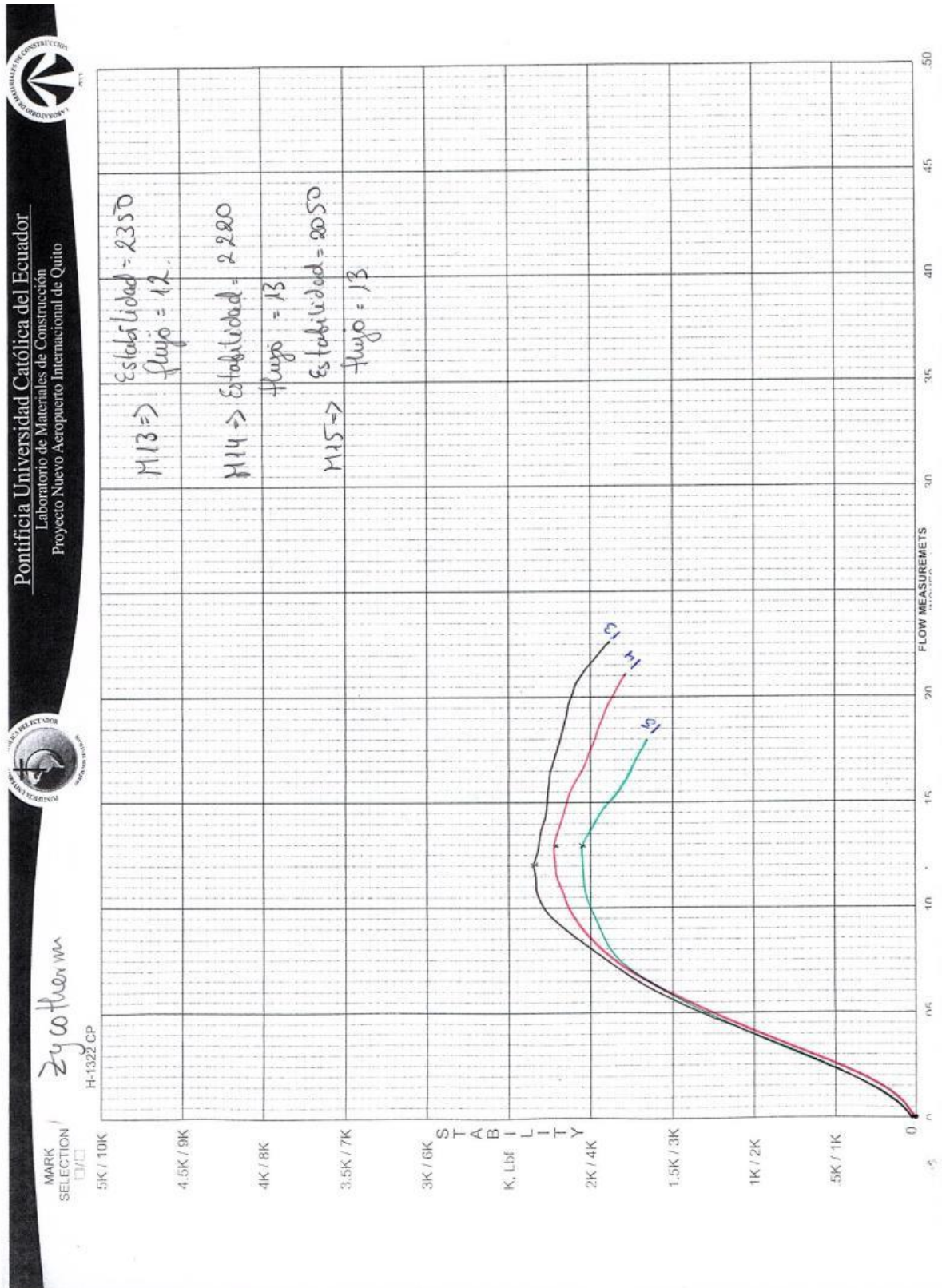
Anexo 55 Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm (estabilidad vs flujo) - Parte 3



Anexo 56 Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm (estabilidad vs flujo) - Parte 4



Anexo 57 Ensayo Marshall en mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm (estabilidad vs flujo) - Parte 5



Anexo 58 Análisis de precios unitarios de mezcla asfáltica convencional de material suelto en planta

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE MEZCLA ASFÁLTICA DE MATERIAL SUELTO EN PLANTA

Mezcla asfáltica AC-20

DESCRIPCION / MAQUINARIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Cargadora frontal	1	38,7	38	0,05	1,94
Silo de asfalto	1	0,8	0,4	0,05	0,04
Planta de asfalto	1	215,5	108,4	0,05	10,78
SUB TOTAL					12,75

DESCRIPCION / MANO DE OBRA	CANTIDAD	OBRAERO/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peon	2	3,6	10,5	0,05	0,53
Operador de equipo pesado	2	4,1	7,9	0,05	0,40
Operador de planta asfáltica	2	3,7	7	0,05	0,35
SUB TOTAL					1,27

DESCRIPCION / MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
COMBUSTIBLE	GL	6,1	1,40	8,54
MATERIAL PETRO DE 3/4PULG	M^3	0,25	17,75	4,44
MATERIAL PETRO DE 1/2PULG	M^3	0,35	17,75	6,21
MATERIAL PETRO ARENA	M^3	0,40	12,8	5,12
ASFALTO AC - 20	GL	25,20	1,55	39,06
SUB TOTAL				63,37

COSTOS DIRECTOS	77,39
COSTOS INDIRECTOS (20%)	15,48
COSTO TOTAL DE RUBRO	92,87
VALOR DE OFERTA (M^3)	92,87

Anexo 59 Análisis de precios unitarios de mezcla asfáltica tibia con Aditivo Zycotherm al 0.100%, de material suelto en planta

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE MEZCLA ASFÁLTICA DE MATERIAL SUELTO EN PLANTA

Mezcla asfáltica AC-20 con aditivo "ZYCOTHERM" al 0.100%

DESCRIPCION / MAQUINARIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Cargadora frontal	1	38,7	38	0,05	1,935
Silo de asfalto	1	0,8	0,4	0,05	0,04
Planta de asfalto	1	215,5	108,4	0,05	10,775
SUB TOTAL					12,75

DESCRIPCION /MANO DE OBRA	CANTIDAD	OBRAERO/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón	2	3,6	10,5	0,05	0,53
Operador de equipo pesado	2	4,1	7,9	0,05	0,40
Operador de planta asfáltica	2	3,7	7	0,05	0,35
SUB TOTAL					1,27

DESCRIPCION /MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
COMBUSTIBLE	GL	5,3	1,40	7,42
MATERIAL PETRO DE 3/4PULG	M^3	0,25	17,75	4,44
MATERIAL PETRO DE 1/2PULG	M^3	0,35	17,75	6,21
MATERIAL PETRO ARENA	M^3	0,40	12,8	5,12
ASFALTO AC - 20	GL	25,20	1,55	39,06
Aditivo "ZYCOTHERM" al 0,1%	GL	0,025	20,16	0,51
SUB TOTAL				62,76

COSTOS DIRECTOS	76,78
COSTOS INDIRECTOS (20%)	15,36
COSTO TOTAL DE RUBRO	92,13
VALOR DE OFERTA (M^3)	92,13

Anexo 60 Análisis de precios unitarios de mezcla asfáltica tibia con Aditivo Zycotherm al 0.125%, de material suelto en planta

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE MEZCLA ASFÁLTICA DE MATERIAL SUELTO EN PLANTA

Mezcla asfáltica AC-20 con aditivo "ZYCOTHERM" al 0.125%

DESCRIPCION / MAQUINARIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Cargadora frontal	1	38,7	38	0,05	1,935
Silo de asfalto	1	0,8	0,4	0,05	0,04
Planta de asfalto	1	215,5	108,4	0,05	10,775
SUB TOTAL					12,75

DESCRIPCION /MANO DE OBRA	CANTIDAD	OBRAERO/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón	2	3,6	10,5	0,05	0,53
Operador de equipo pesado	2	4,1	7,9	0,05	0,40
Operador de planta asfáltica	2	3,7	7	0,05	0,35
SUB TOTAL					1,27

DESCRIPCION /MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
COMBUSTIBLE	GL	5,3	1,40	7,42
MATERIAL PETRO DE 3/4PULG	M^3	0,25	17,75	4,44
MATERIAL PETRO DE 1/2PULG	M^3	0,35	17,75	6,21
MATERIAL PETRO ARENA	M^3	0,40	12,8	5,12
ASFALTO AC - 20	GL	25,20	1,55	39,06
Aditivo "ZYCOTHERM" al 0,125%	GL	0,032	20,16	0,64
SUB TOTAL				62,89

COSTOS DIRECTOS	76,94
COSTOS INDIRECTOS (20%)	15,38
COSTO TOTAL DE RUBRO	92,29
VALOR DE OFERTA (M^3)	92,29