

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE CIVIL**

**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

**Determinación de porcentajes óptimos de mezclas asfálticas tibias  
modificadas con aditivos Zycotherm y SURFAX TB-1. Caso de estudio: Mina  
Mulaló, propietario Ing. Luis Herrera.**

**CARVAJAL BAÑO KATHERIN STEFANÍA**

**CHACÓN TACO SEBASTIÁN ALEXANDER**

**DIRECTOR DE DISERTACIÓN:**

**ING. GUSTAVO YÁNEZ**

**QUITO 2021**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi madre Patricia y mi hermano Alejandro, quienes han sido los motores de mi vida apoyándome en cada decisión que he tomado y que han logrado que esto sea posible, que pese a cualquier dificultad u obstáculo que se presente día a día siempre estarán apoyándome y dándome su amor constante para así poder llegar a ser la gran persona que han formado paso a paso.

Dedico también y quiero agradecer de todo corazón a mi abuelita Victoria, que sé que siempre estuvo presente en mi crecimiento personal y profesional, porque sé que siempre estará muy feliz y habrá un concierto y fiesta en el cielo por cada logro que vaya realizando en mi vida. A mi abuelito Jesús, porque ha sido un apoyo y ha estado presente tratando de que me encuentre bien día a día. A mi sobrino Alexander que cada día crece un poco más y no veo el día en poder reírnos juntos.

*Carvajal Baño Katherin Stefanía*

Este trabajo y todos los logros que esto conlleve lo dedico a mis padres VINICIO CHACÓN, PAULINA TACO y mi hermano MARIO CHACÓN.

Con certeza puedo afirmar que éste y todo el éxito que pueda alcanzar no es mío sino también de ustedes, quienes verdaderamente merecen todo el crédito por haberme brindado la oportunidad de formarme como hijo, como hermano y ahora como profesional en la carrera que me apasiona y a la cual me dedicaré el resto de mi vida.

Estoy consciente de cada gota de sudor y cada lágrima derramada, porque solo nosotros sabemos que no fue nada fácil y de todo el sacrificio realizado para mantenernos de pie en esta etapa de nuestras vidas, pero también me emociona y no veo la hora de poderles decir ¡LO LOGRAMOS!

*Chacón Taco Sebastián Alexander*

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia que siempre estuvo presente apoyándome en todas las decisiones que he tenido, en la vida profesional que quiero forjar en el futuro, en brindarme apoyo emocional en la carrera y al momento de realizar este trabajo de disertación.

De antemano quiero dar las gracias al Ingeniero Santiago López y a su grupo de trabajo por todo el tiempo, apoyo y conocimiento que me brindaron y por toda la ayuda recibida en el trabajo de investigación realizada.

Agradezco a mi hermano Darío Alejandro por siempre estar a mi lado, por darme todo lo que necesito, por ser mi confidente y mejor amigo, por brindarnos un amor incondicional y ser el mejor hermano del mundo.

A mis amigas que han estado conmigo en todo momento, a cada una de ellas, por siempre ser un pilar fundamental día a día para no decaer ni rendirme, por escucharme cada que lo necesito; a las personas más importantes que estuvieron conmigo en estos días para así poder finalizar de manera exitosa mi trabajo de disertación.

Agradezco a mi universidad por formar a buenos profesionales, por brindarnos sus conocimientos y alentarnos a ser mejores cada día; a su vez, por conocer a personas importantes en el grupo de estudio, para así tener presente que en el futuro se puede contar con cada uno de ellos.

Por ultimo y no menos importante quiero agradecerme a mí misma, por siempre tener la fe que voy a llegar más lejos, la perseverancia de lograr lo que me propongo, de siempre hacer las cosas bien y nunca decaer.

*Carvajal Baño Katherin Stefanía*

Primero que nada, agradezco a Dios por brindarme la sabiduría y capacidad necesaria para poder culminar esta etapa en el ámbito profesional.

Segundo a mis padres, VINICIO CHACÓN y PAULINA TACO, quienes con su amor, esfuerzo, sacrificio y lucha diaria lograron hacer realidad un sueño que tengo desde pequeño y nada de esto hubiera sido posible sin su apoyo.

A MARIO CHACÓN, hermano, compañero, mi mejor amigo, quien siempre fue mi apoyo, compañía incondicional y con quien tuve la oportunidad de compartir cada vivencia universitaria y la pasión por la ingeniería.

Gracias también a Emilia, por alentarme en cada momento durante esta etapa, siendo mi apoyo incondicional y por siempre estar orgullosa de mí.

Agradezco también a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y a todos los Ingenieros docentes de la carrera de Ingeniería Civil, quienes con paciencia y mucho profesionalismo supieron instruirme y formarme como profesional a lo largo de la carrera.

Mi reconocimiento y profunda gratitud hacia el Ing. Santiago López, quien desde el principio de esta investigación tuvo toda la buena voluntad y predisposición en brindarnos su ayuda y conocimiento para poder culminar satisfactoriamente el proyecto.

Finalmente, quiero agradecer a mis amigos y grupo de estudio, por esas largas horas de aprendizaje que fueron muy llevaderas y divertidas, para mí fue un gusto compartir esta experiencia con ustedes y sobre todo muy pronto poder llamarles, colegas.

*Chacón Taco Sebastián Alexander*

## TABLA DE CONTENIDOS

INDICE DE FIGURAS .....	iii
INDICE DE TABLAS .....	v
INDICE DE GRÁFICAS .....	vii
INDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I.....	1
1.    INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.    Introducción .....	1
1.2.    Objetivos.....	2
1.3.    Marco Teórico.....	3
CAPÍTULO II .....	13
2.    DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS.....	13
2.1.    Ensayos de los Agregados .....	13
2.2.    Ensayos Del Asfalto.....	21
CAPITULO III.....	31
3.    DISEÑO MARSHALL DE MEZCLAS ASFALTICAS .....	31
3.1.    Origen y Composición .....	31
3.2.    Clasificación de mezclas asfálticas.....	32

3.3. Propiedades volumétricas .....	34
3.4. Mezclas asfálticas tibias (WMA).....	38
CAPÍTULO IV .....	39
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	39
4.1. Diseño Marshall .....	39
4.2. Diseño convencional #1 sin aditivos.....	43
4.3. Diseño Marshall #2 con aditivo Zycotherm.....	51
4.4. Diseño Marshall #3 con aditivo Surfax TB1 .....	58
4.5. Análisis económico.....	65
CAPÍTULO V .....	68
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	68
5.1. Conclusiones .....	68
5.2. Recomendaciones .....	73
BIBLIOGRAFÍA.....	74
ANEXOS.....	77

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Desarrollo Sostenible.....	8
Figura 1.2. Emisiones de CO2 y consumo de fuel frente a temperaturas de compactación (Mezclas y Bituminosos Huelva, 2016).....	9
Figura 1.3. Seguridad de Obra (Méndez González, Morán Gutiérrez, & Pineda Ramos, 2014)) .....	10
Figura 1.4. Aditivo Zycotherm.....	11
Figura 1.5. Aditivo Surfax TB1 .....	12
Figura 2.1. Granulometría material fino y grueso.....	13
Figura 2.2. Gravedad Específica y porcentaje de absorción (ASTM C127, 2015).....	14
Figura 2.3. Gravedad específica (Método del picnómetro) (ASTM C128, 2015).....	15
Figura 2.4. Abrasión en máquina de los Ángeles.....	16
Figura 2.5. Ensayo peso unitario de áridos (INEN 858, 2010).....	17
Figura 2.6. Desgaste a los sulfatos material grueso .....	18
Figura 2.7. Desgaste a los sulfatos material fino .....	19
Figura 2.8. Ensayo Equivalente de Arena.....	20
Figura 2.9. Penetración de asfaltos .....	21
Figura 2.10. Punto de ablandamiento.....	22
Figura 2.11. Viscosidad 60° RTFO.....	23
Figura 2.12. Punto de chispa/llama Cleveland.....	23
Figura 2.13. Ensayo ductilidad del asfalto.....	24
Figura 2.14. Acondicionamiento de muestras.....	25
Figura 2.15. Ensayo de partícula delgada (RTFO) .....	26
Figura 3.1. Propiedades funcionales de las mezclas asfálticas (Padilla Rodríguez, 2004) .....	31

Figura 3.2. Propiedades técnicas de las mezclas asfálticas (Padilla Rodríguez, 2004) .....	31
Figura 3.3. Representación de volúmenes en especímenes de mezclas compactadas (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2004). .....	35
Figura 3.4. Partícula con vacíos permeables e impermeables (Manual de ensayos para pavimentos, 2004).....	35
Figura 4.1. Briquetas de mezcla asfáltica convencional .....	42
Figura 4.2. Briquetas de mezcla asfáltica con Zycotherm .....	52
Figura 4.3. Ensayos RICE con Zycotherm.....	54
Figura 4.4. Briquetas de mezcla asfáltica con Surfax TB1 .....	59
Figura 4.5. Ensayo RICE con Surfax TB1 .....	60

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Características del Zycotherm.....	11
Tabla 1.2. Características del Surfax TB-1 .....	12
Tabla 2.1. Masa mínima de la muestra de ensayo.....	15
Tabla 2.2. Especificaciones para carga máquina de los Ángeles .....	16
Tabla 2.3. Gradación de muestras de abrasión.....	17
Tabla 2.4. Fracciones de la muestra de árido grueso según su composición .....	19
Tabla 2.5. Tabla resumen caracterización de áridos .....	20
Tabla 2.6. Resultados aceptables de penetración .....	21
Tabla 2.7. Requisitos para asfalto cemento gradual viscosidad a 60°C a base de asfalto original .....	27
Tabla 2.8. Tabla resumen asfalto original .....	28
Tabla 2.9. Tabla resumen asfalto original envejecido.....	28
Tabla 2.10. Tabla resumen asfalto original + 0.1% Zycotherm.....	29
Tabla 2.11. Tabla resumen asfalto envejecido + 0.1% Zycotherm.....	29
Tabla 2.12. Tabla resumen asfalto original + 4% Surfax TB1.....	30
Tabla 2.13. Tabla resumen asfalto envejecido + 4% Surfax TB1.....	30
Tabla 4.1. Especificación para gradaciones densas.....	39
Tabla 4.2. Granulometría mezcla asfáltica.....	40
Tabla 4.3. Dimensiones de briquetas sin aditivos .....	43
Tabla 4.4. Resultados briquetas sin aditivos .....	44
Tabla 4.5. Ensayo RICE sin aditivos .....	45
Tabla 4.6. Especificaciones para el diseño Marshall .....	48
Tabla 4.7. Resumen briquetas con porcentaje optimo .....	48

Tabla 4.8. Dimensión briquetas sin aditivos (WMA) .....	49
Tabla 4.9. Propiedades de briquetas sin aditivos (WMA) .....	50
Tabla 4.10. Dimensiones briquetas con Zycotherm.....	52
Tabla 4.11. Propiedades de briquetas con Zycotherm .....	53
Tabla 4.12. Resultados RICE con Zycotherm.....	53
Tabla 4.13. Dimensiones briquetas con Zycotherm 0.1% (WMA).....	55
Tabla 4.14. Propiedades briquetas con Zycotherm 0.1% (WMA).....	56
Tabla 4.15. Tracción indirecta 0.1% de Zycotherm.....	57
Tabla 4.16. Dimensiones briquetas con Surfax TB1.....	58
Tabla 4.17. Propiedades briquetas con Surfax TB1 .....	59
Tabla 4.18. Ensayo RICE con Surfax TB1 .....	60
Tabla 4.19. Dimensiones briquetas con Surfax TB1 4% (WMA) .....	63
Tabla 4.20. Propiedades briquetas con Surfax TB1 4% (WMA).....	63
Tabla 4.21. Comparación de precios entre mezclas asfálticas .....	66
Tabla 4.22. Diseños con características similares .....	66
Tabla 5.1. Tabla resumen caracterización de áridos .....	68
Tabla 5.2. Tabla resumen asfalto original envejecido.....	69
Tabla 5.3. Tabla resumen asfalto envejecido + 0.1% Zycotherm.....	69
Tabla 5.4. Tabla resumen asfalto envejecido + 4% Surfax TB1.....	70
Tabla 5.5. comparación de precios entre mezclas asfálticas .....	71
Tabla 5.6. Comparación Surfax TB1 frente a otros diseños .....	72
Tabla 5.7. Comparativo esfuerzo de tensión.....	72

## INDICE DE GRÁFICAS

*Gráfica 1.1. Propiedades físicas de los agregados (Bustillo Revuelta, Durán López, & Fueyo Casado, 2014) .....	5
Gráfica 1.2. Propiedades geométricas de los áridos (Bustillo Revuelta, Durán López, & Fueyo Casado, 2014) .....	5
Gráfica 1.3. Propiedades químicas y mecánicas de áridos (Bustillo Revuelta, Durán López, & Fueyo Casado, 2014) .....	6
Gráfica 1.4. Características del cemento asfáltico (Enderica Illescas, 2017) .....	7
Gráfica 3.1. Clasificación por fracciones de agregado (Padilla Rodríguez, 2004) .....	32
Gráfica 3.2. Clasificación por temperatura en obra (Padilla Rodríguez, 2004) .....	32
Gráfica 3.3. Clasificación por proporción de vacíos (Padilla Rodríguez, 2004) .....	33
Gráfica 3.4. Clasificación por tamaño máximo (Padilla Rodríguez, 2004) .....	33
Gráfica 3.5. Clasificación por la estructura del agregado pétreo (Padilla Rodríguez, 2004)...	34
Gráfica 3.6. Clasificación por granulometría .....	34
Gráfica 4.1. Curva granulométrica de la mezcla .....	41
Gráfica 4.2. Vacíos (%) vs. % de Asfalto .....	45
Gráfica 4.3. Peso Específico vs. % de Asfalto .....	46
Gráfica 4.4. Estabilidad vs. % de Asfalto .....	46
Gráfica 4.5. % de Vacíos llenos con asfalto vs. % de Asfalto .....	47
Gráfica 4.6. Flujo vs. % de Asfalto .....	47
Gráfica 4.7. % de Volumen de agregado grueso mineral vs. % de Asfalto .....	48
Gráfica 4.8. Bulk vs T °C Compactación.....	51
Gráfica 4.9. % vacíos vs T °C compactación.....	51
Gráfica 4.10. Vacíos (%) vs. Zycotherm.....	54

Gráfica 4.11. Densidad Bulk vs. Zycotherm.....	54
Gráfica 4.12. Estabilidad vs. % de Zycotherm.....	55
Gráfica 4.13. Bulk vs. T °C Compactación (Zycotherm 0.1%).....	56
Gráfica 4.14. Vacíos vs T °C compactación (Zycotherm 0.1%).....	57
Gráfica 4.15. Estabilidad vs Temperatura (0.1% Zycotherm) .....	57
Gráfica 4.16. Densidad Bulk vs Surfax TB1.....	61
Gráfica 4.17. % vacíos vs. Surfax TB1 .....	61
Gráfica 4.18. Estabilidad (lb) vs Surfax TB1.....	62
Gráfica 4.19. Bulk vs T °C Compactación (Surfax TB1 4%).....	64
Gráfica 4.20. % vacíos vs T °C Compactación (Surfax TB1 4%).....	64
Gráfica 4.21. Estabilidad vs Temperatura (4% Surfax).....	65

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación del proyecto.....	77
Anexo 2. Ensayo de gradación mediante la máquina de los ángeles .....	79
Anexo 3. Sulfatos .....	80
Anexo 4. Ensayo de partículas planas y alargadas.....	81
Anexo 5. Ensayo equivalente de arena.....	82
Anexo 6. Ensayo caras fracturadas .....	83
Anexo 7. Ensayo de deletéreos .....	84
Anexo 8. Ensayo de gradación Ag. Grueso .....	85
Anexo 9. Ensayo gradación arena triturada .....	86
Anexo 10. Ensayo gradación arena natural.....	87
Anexo 11. Análisis granulométrico combinaciones.....	88
Anexo 12. Determinación de la gravedad específica y absorción ag. Grueso .....	89
Anexo 13. Determinación de la gravedad específica y absorción polvo de Piedra .....	90
Anexo 14. Determinación de la gravedad específica pasante N°200.....	91
Anexo 15. Ensayo peso unitario arena natural.....	92
Anexo 16. Determinación peso unitario arena triturada .....	93
Anexo 17. Determinación peso unitario ag. Grueso .....	94
Anexo 18. Carta de viscosidad de asfalto original + 0.05% Zycotherm.....	95
Anexo 19. Carta de viscosidad de asfalto original + 0.1% Zycotherm.....	96
Anexo 20. Carta de viscosidad de asfalto original + 0.2% Zycotherm.....	97
Anexo 21. Carta de viscosidad de asfalto original + 3% Surfax TB1.....	98
Anexo 22. Carta de viscosidad de asfalto original + 4% Surfax TB1.....	99
Anexo 23. Carta de viscosidad de asfalto original + 5% Surfax Tb1 .....	100

Anexo 24. Tracción indirecta diseño original .....	101
Anexo 25. Tracción indirecta diseño original + 0.1% Zycotherm .....	102
Anexo 26. Tracción indirecta diseño original + 4% Zycotherm .....	103
Anexo 27. Análisis económico para cada m <sup>2</sup> de 3" .....	104

## RESUMEN

Debido a que el entorno donde se encuentra el caso de estudio cuenta con climas que pueden variar drásticamente de un momento a otro y añadiendo las largas distancias de acarreo de las mezclas, resulta muy complicado que la temperatura óptima de mezclado se mantenga, por tanto, se tiene la necesidad de realizar estudios para la ejecución de mezclas asfálticas tibias, las cuales se adapten de mejor manera a las condiciones y factores climáticos que se presenten.

La metodología de mezclas asfálticas en tibio ha generado impacto ambiental positivo, ya que permiten reducir el consumo de combustible, consumo de energía y también la emisión de gases de efecto invernadero.

El presente trabajo de investigación pretende determinar los porcentajes de uso adecuado de los diferentes aditivos, Zycotherm y Surfax TB1 dentro de una mezcla convencional. Es primordial que se realice un estudio detallado del comportamiento y propiedades de la mezcla asfáltica a diferentes temperaturas al momento de añadir cada uno de los aditivos variando los porcentajes sugeridos por los fabricantes, determinando cual es el más conveniente o mejores ventajas presenta frente a los otros, puesto que, se cree que las fichas técnicas de cada uno de ellos son datos muy generalizados al momento de trabajar en un proyecto en específico.

Para la investigación se utilizará como materiales: asfalto de la Refinería Estatal Esmeraldas, los agregados provenientes de la Mina Mulaló, ubicada en la provincia de Cotopaxi, siendo el propietario el Ingeniero Luis Herrera, también se utilizará dos aditivos Zycotherm, de la casa Brem y Surfax TB1, de la casa Surfax.

## ABSTRACT

Due to the fact that the environment where the case study is located has climates that can vary drastically from one moment to another, adding the long haulage distances of the mixtures, it is very difficult for the optimal mixing temperature to be maintained, therefore, there is a need to carry out studies for the execution of warm asphalt mixtures, which are better adapted to the conditions and climatic factors that arise.

The studies of the new warm asphalt mixtures have generated a good environmental impact, since they allow reducing fuel consumption, as well as the emission of greenhouse gases.

The present research work aims to determine the percentages of adequate use of the different additives, Zycotherm and Surfax TB1, once the optimum percentage of the conventional asphalt mix has been obtained. It is essential that a detailed study of the behavior of the asphalt mixture is carried out when adding each of the additives and not using the percentages suggested by the manufacturers, since it is believed that they are very generalized data when working on a project in specific.

In this investigation, asphalt from the Esmeraldas State Refinery will be used, the aggregates from the Mulaló Mine, which is located in the province of Cotopaxi, being the owner the Engineer Luis Herrera; in turn, two additives will also be used, Zycotherm, from Brem and Surfax TB1, from Surfax.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1.Introducción

Al pasar de las décadas, la protección del medio ambiente se ha vuelto uno de los temas más importantes en el mundo al momento de realizar cualquier tipo de actividad, sin ser la excepción la producción de mezclas asfálticas. Con el transcurrir del tiempo se ha estado analizando el desarrollo de nuevas tecnologías para obtener una buena sostenibilidad ambiental, ahorro de energía y optimización en el uso de los recursos, obteniendo como resultado mejores ganancias, al mismo tiempo, menor emisión de gases de efecto invernadero y un mejor nivel de seguridad de obra al reducir la temperatura de la mezcla asfáltica y su compactación.

Normalmente se acostumbra a realizar mezclas calientes, las cuales oscilan entre los 150° C a 180° C; para conseguir este rango de temperaturas, es necesario consumir mucha energía en los combustibles al momento de calentar los agregados y el asfalto para mejorar la trabajabilidad del mismo; también se debe tomar en cuenta que se pueden ver afectadas las características mecánicas y el comportamiento de la mezcla debido a la reducción notable de temperatura (Frenesqui, 2009).

Para poder determinar el comportamiento y variabilidad de las mezclas asfálticas a investigar, se realizarán ensayos de laboratorio en las instalaciones de la empresa Sudamericana Integral de Construcción S.A. (Sudinco), en donde se determinarán las propiedades físicas y mecánicas de éstas, de modo que, se pueda establecer la variación de su comportamiento y el porcentaje óptimo de aditivos que provea las mejores condiciones de la mezcla en cuestión.

Debido a que en la actualidad los proveedores de las casas comerciales de los aditivos son los que se encargan de facilitar el porcentaje de utilización del mismo para realizar mezclas asfálticas, se procederá a la determinación de los porcentajes óptimos de uso de dos diferentes modificadores,

con el fin de desarrollar mezclas asfálticas tibias adoptando una modalidad de producción de asfalto sostenible; esto se realizará usando agregados provenientes de la mina situada en el sector de Mulaló (Cotopaxi) y los dos tipos de aditivos, Zycotherm y SURFAX TB-1.

## **1.2.Objetivos**

### **1.2.1. General:**

Determinar porcentajes óptimos de mezclas asfálticas tibias modificadas con aditivos Zycotherm y SURFAX TB-1, caso de estudio: Mina Mulaló, Propietario Ing. Luis Herrera.

### **1.2.2. Específicos:**

- Calificar y definir las características de los agregados pétreos provenientes de la mina de Mulaló (Cotopaxi).
- Cumplir con la metodología Marshall para la realización de ensayos necesarios para el diseño óptimo de mezclas asfálticas tibias.
- Evaluar los cambios producidos en las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica tibia por los dos diferentes aditivos.
- Realizar un análisis comparativo de los resultados de los porcentajes obtenidos con los propuestos por cada casa comercial.
- Comparación técnico-económica del uso de aditivos a diferentes porcentajes.

### 1.3.Marco Teórico

#### 1.3.1. *Agregados Pétreos*

“Es un conglomerado de partículas inertes de gravas, arenas, finos y/o fillers (naturales o triturados), utilizados para la fabricación de mezclas asfálticas, concretos hidráulicos y materiales estabilizados o para la construcción de capas de terraplén” (Lizcano & Rondón, 2015, p. 38).

Los agregados pétreos son elementos provenientes de la naturaleza, los cuales vienen a constituir parte fundamental de los materiales usados en la construcción, ya sea en su estado natural o de manera compuesta gracias a la afinidad que pueden llegar a tener con otros componentes.

Dentro de la mezcla asfáltica “los agregados pétreos conforman entre un 88% y 96% de la masa y más del 75% del volumen” (Lizcano & Rondón, 2015, p. 39), por tanto, es necesario el estudio y caracterización de éstos dentro del diseño; su importancia es debido a que factores como la durabilidad y el comportamiento de la estructura a lo largo del tiempo dependerán de las características físicas, químicas y mecánicas que estos presenten.

##### 1.3.1.1. *Clasificación*

Los agregados se pueden clasificar de acuerdo con una gran variedad de parámetros como, por ejemplo: origen, color, forma, tamaño de partícula, modo de fragmentación, por peso específico, entre otros.

###### 1.3.1.1.1. *Por su origen*

- **Ígneo:** “Este tipo de rocas son formadas a partir del enfriamiento y consolidación de una masa líquida de composición silicatada que procede del interior de la tierra, comúnmente llamada magma” (Merizalde, 2017, p. 7).
- **Metamórfico:** “Estas rocas se forman a partir de rocas sedimentarias o metamórficas preexistentes, como consecuencia del incremento de presiones y aumentos

considerables en la temperatura de la tierra, o por producto de reacciones químicas durante los procesos geológicos” (Merizalde, 2017, p. 10).

- **Sedimentarias:** “Son las que se forman en la superficie producto de un proceso de metamorfismo es decir una transformación en su estado debido al cambio en las condiciones de presión, temperatura y a la presencia de fluidos químicamente activos” (Merizalde, 2017, p. 9).

#### *1.3.1.1.2. Por tamaño de partícula*

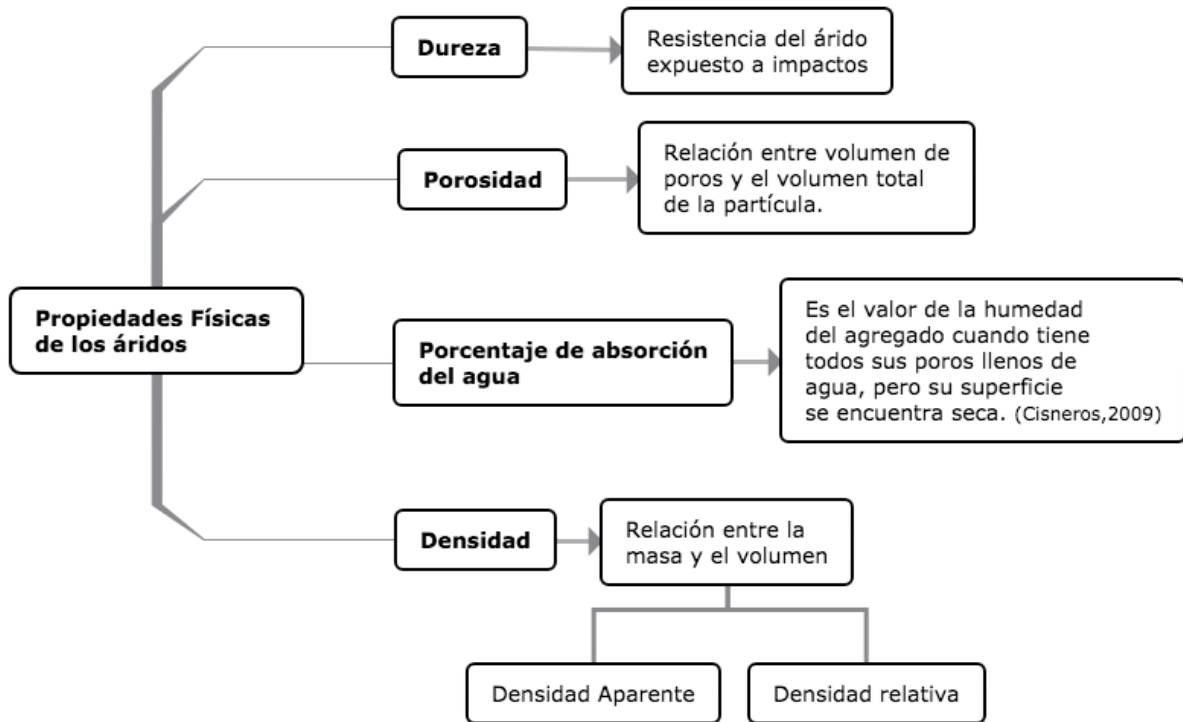
- **Polvo Mineral:** “Producto mineral finamente dividido del que al menos el 65 % pasa por el tamiz número 200” (Manual del Asfalto, 1973, p. 33).
- **Áridos Finos:** “Son los que pasan el tamiz N°8 y se retienen en el tamiz 200.” (Manual del Asfalto, 1973, p. 32).
- **Áridos gruesos:** “Es el Material retenido en el tamiz N°8.” (Manual del Asfalto, 1973, p. 32).

#### *1.3.1.1.3. Por modo de fragmentación*

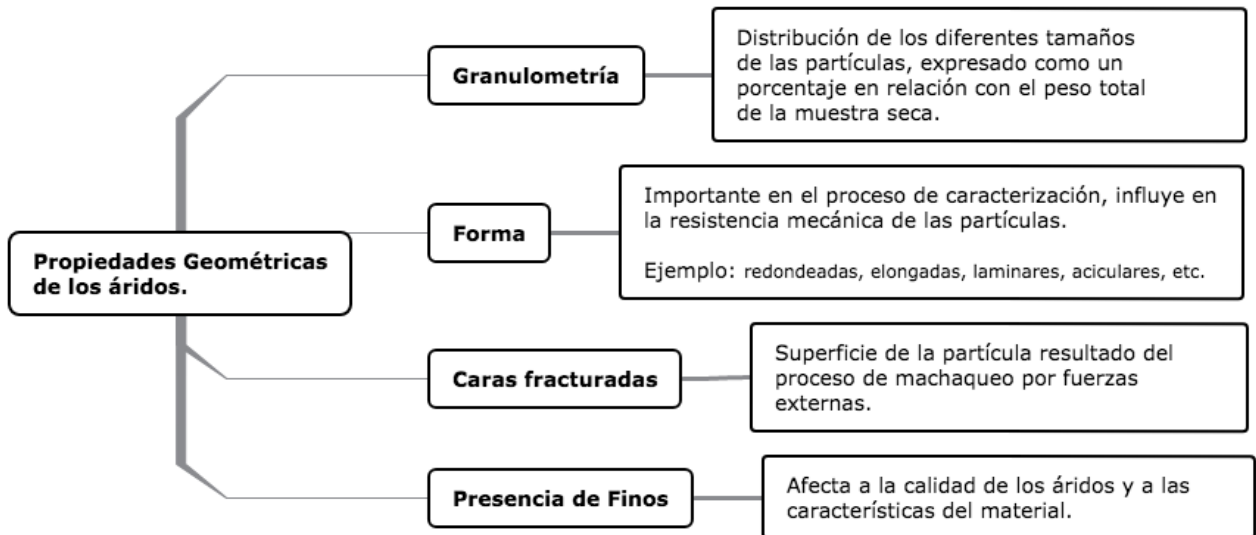
- **Natural:** Proceso en el cual la roca madre es segmentada en partículas inferiores en tamaño mediante fenómenos naturales como la meteorización o el intemperismo.
- **Manufacturados:** Proceso en el cual entra la mano del hombre ya sea de forma manual, o mediante el uso de maquinaria. El proceso consiste en fraccionar el material pétreo en partículas de diferente tamaño, menor al original.

### 1.3.1.2. Propiedades

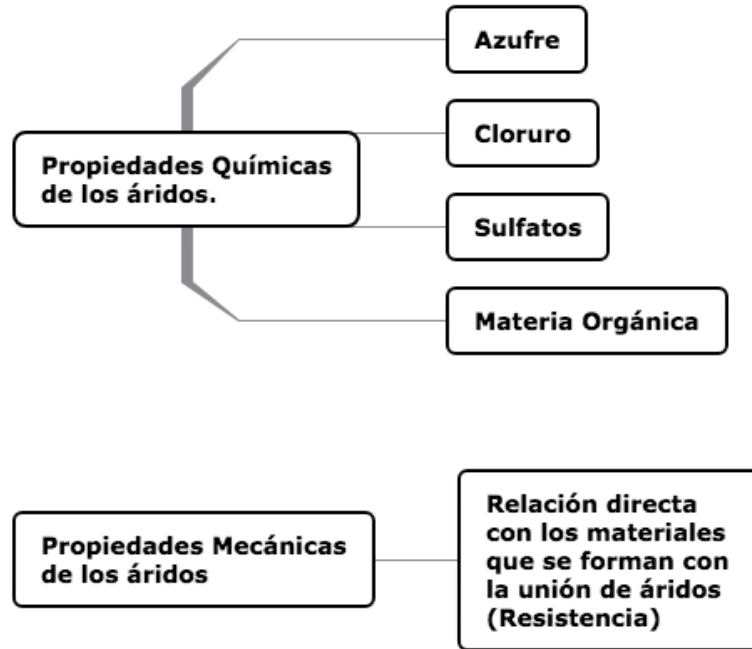
Las propiedades de los áridos se pueden dividir en cuatro grupos principales.



Gráfica 1.1. Propiedades físicas de los agregados (Bustillo Revuelta, Durán López, & Fueyo Casado, 2014)



Gráfica 1.2. Propiedades geométricas de los áridos (Bustillo Revuelta, Durán López, & Fueyo Casado, 2014)



Gráfica 1.3. Propiedades químicas y mecánicas de áridos (Bustillo Revuelta, Durán López, & Fueyo Casado, 2014)

### 1.3.2. *Cemento Asfáltico*

Según el Ministerio de Obras Públicas y Comunicación [MOP], (2002), “Los cementos asfálticos son residuos de la destilación del petróleo y se caracterizan por permanecer en estado semisólido a la temperatura del ambiente; mezclados con agregados forman el hormigón asfáltico, empleado en pavimentos, en las capas de rodadura o base” (p. VIII-67).

El concepto de cemento asfáltico que propone Maila (2013) menciona que:

El asfalto es un material que puede ser encontrado en la naturaleza en yacimientos naturales o a través de la destilación del crudo de petróleo.

Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de la mezcla en caliente que se va a producir en esta investigación. El asfalto es un material altamente impermeable,

adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes.

El asfalto se obtiene de la refinación por destilación del crudo de petróleo. Es un proceso en el cual las diferentes fracciones (productos) son separadas fuera del crudo, por medio de un aumento en etapas de la temperatura. Existen dos procesos de destilación con los cuales puede ser producido después de haber combinado los crudos de petróleo: destilación por vacío y extracción con solventes. (p. 6)

### 1.3.2.1. Características



Gráfica 1.4. Características del cemento asfáltico (Enderica Illescas, 2017)

### 1.3.3. Mezcla Asfáltica Tibia

Según Marcozzi & Morea (2011), son mezclas asfálticas convencionales por el hecho de que ambas utilizan un ligante asfáltico, la única diferencia es que se puede llegar a reducir la temperatura de compactación y colocado, volviéndose así una mezcla asfáltica tibia. Existen dos técnicas utilizadas para ello: tecnologías que emplean agua y las que emplean aditivos.

Cuando se habla de las tecnologías que emplean agua, ya sean directa o indirectamente, el principio de su funcionalidad es el espumante del ligante, ya que el agua caliente al ponerse en

contacto con el asfalto, este genera vapor hasta hacerse espuma, la cual ayuda a aumentar su superficie específica (cociente entre área superficial y su volumen) y a disminuir su viscosidad, facilitando al momento de cubrir los agregados del ligante asfáltico. Otra manera de su implementación es cuando los agregados finos son añadidos húmedos.

En el grupo de tecnologías con aditivos existen los que alteran y los que no alteran la viscosidad del asfalto, dentro de los cuales actúan como hiperplastificante (suavizante) en la mezcla sin modificar de manera relevante las propiedades del asfalto, pero a su vez mejorando la adherencia y la cohesión de este.

#### **1.3.3.1. Beneficios:**

Según investigaciones, al momento de reducir las temperaturas del mezclado y de su compactación, se encuentran varios beneficios ambientales:

- Reducción del consumo de energía: al momento de reducir la temperatura unos 20° C, se estará también reduciendo un litro menos de combustible por cada tonelada de mezcla en relación con una mezcla convencional (Frenesqui, 2009).



*Figura 1.1. Desarrollo Sostenible*

- Reducción de emisión de gases: se puede lograr la reducción de la emisión de gases que perjudican el efecto invernadero, los estudios también mostraron que al momento de aumentar en 20° C la temperatura de la mezcla, se puede llegar a aumentar las emisiones en casi 9 veces, así como al aumentar en 40° C, las mismas se multiplican hasta 40 veces los compuestos orgánicos volátiles (COV), es decir contaminantes del aire (Frenesqui, 2009).

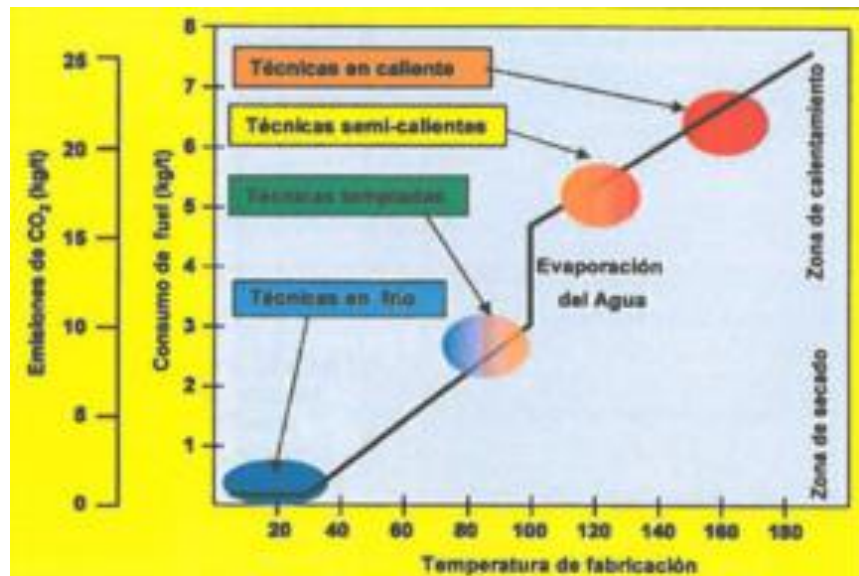


Figura 1.2. Emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo de fuel frente a temperaturas de compactación (Mezclas y Bituminosos Huelva, 2016)

- Se permite una mayor adhesión de materiales reciclados (Frenesqui, 2009).
- Disminución del envejecimiento del asfalto, el cual es producido en su proceso de fabricación, ya que se realiza calentamientos de éste a elevadas temperaturas (Frenesqui, 2009).
- Mejora de seguridad de obra: es notorio que, al momento de reducir la temperatura en la mezcla, se disminuye también los riesgos de quemaduras, se permite una mejor trabajabilidad, ya que no se vería supeditada a las condiciones climáticas y a su vez admite mayores distancias de acarreo. Además, los humos y aerosoles que emite el asfalto caliente se ven reducidos en un 30% al 50% (Frenesqui, 2009).

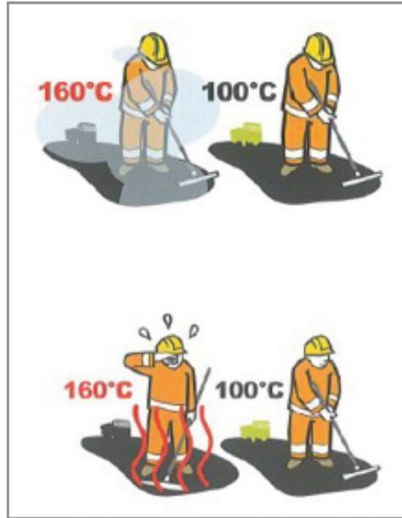


Figura 1.3. Seguridad de Obra (Méndez González, Morán Gutiérrez, & Pineda Ramos, 2014)

### **1.3.3.2. Aditivos**

Los aditivos son sustancias ya sean líquidas o sólidas, que pueden ser agregadas al asfalto para poder alterar las características de la mezcla asfáltica tibia. Estos deben ser fáciles de aplicar, tener resistencia a temperaturas muy elevadas y conservar sus propiedades. Los aditivos para utilizar son de tipo químicos, los cuales trabajan de manera microscópica en la mezcla asfáltica (E - Asphalt, 2001).

#### **1.3.3.2.1. Zycotherm**

Es un químico inoloro hecho a base de nanotecnología, diseñado para mejorar la resistencia a la humedad de la mezcla, al servir como antideslizante; también ayuda a disminuir la temperatura de la mezcla a 120° C - 135° C dependiendo de las propiedades de la mezcla y compactaciones de hasta 90° C. A su vez facilita el recubrimiento de los agregados y disminuye el tiempo de mezcla. Este se coloca del 0,025% al 0,1% con respecto al peso del asfalto (Sharanappanavar, 2016).



Figura 1.4. Aditivo Zycotherm

Tabla 1.1. Características del Zycotherm

<b>Características Físicas</b>	
Color	Amarillo pálido
Solubilidad	10% conc.
Punto de inflamación	>80°C
Punto de congelación	5°C
Densidad	1,00 – 1,02 g/ml
Viscosidad (30°C)	700±300 cps

Fuente: (Optimasoil Nanotecnología para su Negocio, 2016)

#### 1.3.3.2.2. *Surfax TBI*

Es un producto cáustico, el cual mejora la adherencia de la mezcla asfáltica, ayuda a reducir la viscosidad del asfalto, la emisión de gases de efecto invernadero y la temperatura de producción y tendido de la mezcla. Este se coloca del 3% al 4% con respecto al peso del asfalto (Grupo Surfax, 2015).



Figura 1.5. Aditivo Surfax TB1

Tabla 1.2. Características del Surfax TB-1

<b>Características Físicas</b>	
Aspecto a 25°C	Sólido (escamas)
Olor	Amoniacal
Color	Café oscuro

Fuente: (Grupo Surfax, 2015)

## CAPÍTULO II

### 2. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

#### 2.1. Ensayos de los Agregados

Los ensayos por realizarse tienen como objetivo identificar las propiedades físicas, mecánicas y químicas del material a estudiarse y a su vez identificar el cumplimiento de los estándares requeridos por las normas establecidas para el uso del mismo en obra.

##### 2.1.1. *Granulometría*

Al realizar este ensayo lo que se busca es definir a los agregados clasificándolos de acuerdo al tamaño de sus partículas y en qué proporción se encuentran con respecto a la masa total del agregado, buscando generalmente obtener una granulometría continua para así alcanzar una resistencia mecánica adecuada; se debe tener en cuenta que el polvo mineral o filler muestra un papel importante en las propiedades al mezclarse con el asfalto (Padilla Rodríguez, 2004).



Figura 2.1. *Granulometría material fino y grueso*

##### 2.1.2. *Gravedad específica y porcentaje de absorción de áridos*

El porcentaje de absorción de los áridos es un parámetro que puede ser medido mediante el aumento de masa del agregado seco, después de haber sido sumergido por un periodo de 24 horas

y colocado en condiciones de saturado con superficie seca, esto con el fin de conocer la capacidad del material para almacenar agua en su estructura interna.

La gravedad específica muestra la relación que existe entre la densidad del árido en cualquiera de sus condiciones, con la densidad del agua a una temperatura predeterminada. Para esto es necesario conocer los tipos de densidades:

- **Densidad (SH):** “Masa de las partículas de el árido, seco al horno, por unidad de volumen, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables, sin incluir los vacíos entre partículas.” (NTE INEN 857, 2010, p.02).
- **Densidad (SSS):** “Masa de las partículas de el árido, saturado superficialmente seco, por unidad de volumen, incluyendo el volumen de poros impermeables y poros permeables llenos de agua, sin incluir los vacíos entre partículas.” (NTE INEN 857, 2010, p.02).
- **Densidad Aparente:** “Masa por unidad de volumen, de la porción impermeables de las partículas del árido.” (NTE INEN 857, 2010, p.02).

El ensayo realizado para el árido grueso abarca el procedimiento normado por la INEN NTE 857 y ASTM C127-15.



*Figura 2.2. Gravedad Específica y porcentaje de absorción (ASTM C127, 2015)*

Tabla 2.1. Masa mínima de la muestra de ensayo

Tamaño máximo nominal, mm	Masa mínima de la muestra para ensayo, kg
12,5 o menor	2
19,0	3
25,0	4
37,5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
125	75

Fuente: INEN NTE 857, 2010

El ensayo realizado para el árido fino abarca el procedimiento normado por la INEN NTE 856 y ASTM C128-15. (Método del picnómetro)



Figura 2.3. Gravedad específica (Método del picnómetro) (ASTM C128, 2015)

### 2.1.3. Abrasión en la máquina de los Ángeles

Este ensayo normado por la ASTM C-131 e INEN 860, sirve para obtener parámetros como la disminución de la masa en el árido, por acción del efecto de choque, trituración y fricción que genera el tambor giratorio configurado con un número predeterminado de revoluciones junto a un número de esferas de acero y de tamaño establecido de acuerdo con la gradación del material,

contra el agregado grueso, con tamaño menores a 37,5mm., todo esto con el fin de determinar la calidad relativa del agregado grueso y su resistencia frente a la abrasión.



*Figura 2.4. Abrasión en máquina de los Ángeles*

*Tabla 2.2. Especificaciones para carga máquina de los Ángeles*

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: NTE INEN 860, 2011

Tabla 2.3. Gradación de muestras de abrasión

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25,0	1 250 ± 25	---	---	---
25,0	19,0	1 250 ± 25	---	---	---
19,0	12,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
12,5	9,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
9,5	6,3	---	---	2 500 ± 10	---
6,3	4,75	---	---	2 500 ± 10	---
4,75	2,36	---	---	---	5 000 ± 10
Total		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

Fuente: NTE INEN 860, 2011

#### 2.1.4. Peso unitario de áridos

“Masa de una unidad de volumen correspondiente al árido total, en el cual se incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de los vacíos entre partículas. Expresada en Kg/m<sup>3</sup>.”

(NTE INEN 858, 2010, p.01).



Figura 2.5. Ensayo peso unitario de áridos (INEN 858, 2010)

### 2.1.5. *Desgaste a los sulfatos (5 ciclos)*

El ensayo mencionado es normalizado en base a las normas NTE INEN 863, AASHTO T-104 o ASTM C-88.

El mismo que tiene como objetivo principal simular los efectos como cristalización, fractura térmica o exfoliación en el árido, que son ocasionados por las condiciones ambientales a las que se someterá el agregado utilizado en la fabricación del asfalto.

La evaluación del desempeño del agregado frente a estos efectos mencionados se puede obtener mediante la inmersión de este en una solución de sulfato de sodio o sulfato de manganeso en un número de ciclos repetitivos determinados.

El ensayo básicamente consiste en sumergir cada agregado separado por fracciones de tamaño en la solución por al menos 16 horas y no superar las 18, para luego ser secado a una temperatura de  $110 \pm 5$  ° C, lo cual como nos menciona en la norma será con la finalidad de: “deshidratar parcial o completamente la sal precipitada en los espacios porosos permeables. La fuerza expansiva interna, derivada de la rehidratación de la sal en la reinversión, simula la expansión del agua al congelarse en el interior de los poros” (NTE INEN 863, 2010, p.02).



*Figura 2.6. Desgaste a los sulfatos material grueso*



Figura 2.7. Desgaste a los sulfatos material fino

Tabla 2.4. Fracciones de la muestra de árido grueso según su composición

Fracción	Tamaño (Tamices con aberturas cuadradas)	Masa (g)
1	9,5 mm a 4,75 mm 19,0 mm a 9,5 mm	300 ± 5 1 000 ± 10
2	material consistente de: 12,5 mm a 9,5 mm 19,0 mm a 12,5 mm 37,5 mm a 19,0 mm	330 ± 5 670 ± 10 1 500 ± 50
3	material consistente de: 25,0 mm a 19,0 mm 37,5 mm a 25,0 mm 63 mm a 37,5 mm	500 ± 30 1 000 ± 50 5 000 ± 300
4	material consistente de: 50 mm a 37,5 mm 63 mm a 50 mm 75 mm a 63 mm 90 mm a 75 mm 100 mm a 90 mm	2 000 ± 200 3 000 ± 300 7 000 ± 1 000 7 000 ± 1 000 7 000 ± 1 000
5	material consistente de: 75 mm a 63 mm 90 mm a 75 mm 100 mm a 90 mm	7 000 ± 1 000 7 000 ± 1 000 7 000 ± 1 000

Fuente: NTE INEN 863, 2011

### 2.1.6. *Equivalente de arena*

Con este ensayo se obtiene la cantidad de contaminación o limpieza de los agregados finos y su plasticidad; en este, se observa el agregado limpio en la parte inferior, en la parte intermedia las partículas contaminantes y en la parte superior el líquido relativamente limpio. A mejor calidad del material, será mayor el Equivalente de Arena (Padilla Rodríguez, 2004).



Figura 2.8. Ensayo Equivalente de Arena

### 2.1.7. Resumen caracterización de agregados pétreos

Tabla 2.5. Tabla resumen caracterización de áridos

ENSAYO	NORMA	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN	VERIFICACIÓN
Desgaste de ag. gruesos maq. de los ángeles	INEN 860 - 861	22.76	Menor a 40 %	CUMPLE
Eq. de arena	ASTM D-2419	77,24	Mayor a 50	CUMPLE
Desgaste por acción de los sulfatos ag. fino	INEN 863	5.80%	Máx. 12%	CUMPLE
Desgaste por acción de los sulfatos ag. grueso	INEN 863	1.60%	Máx. 12%	CUMPLE
Partículas Alargadas	ASTM D-4791	0%	ND	CUMPLE
Caras Fracturadas A. Grueso	ASTM D-5821	100%	ND	CUMPLE
Deletéreos A. Fino	INEN 698	0.10%	ND	CUMPLE
Deletéreos A. Grueso	INEN 698	0.01%	ND	CUMPLE
G.S. Agregado grueso	INEN 857	2.531	ND	CUMPLE
G.S. Agregado Fino	INEN 856	2.565	ND	CUMPLE
G.S Agr. Pasante 200	INEN 856	2.637	ND	CUMPLE

## 2.2. Ensayos Del Asfalto

### 2.2.1. Penetración en materiales bituminosos de cementos asfálticos

Este ensayo nos indica una medida de la consistencia de nuestro asfalto, es decir, nos permite determinar si nuestro asfalto es líquido, sólido o semisólido. A menor penetración del asfalto, mayor densidad del mismo, es decir que el agua se extiende muy despacio a través de él. Se determina con una aguja normalizada que se introduce en una muestra bajo condiciones específicas de tiempo, temperatura y carga (Padilla Rodríguez, 2004).



Figura 2.9. Penetración de asfaltos

Tabla 2.6. Resultados aceptables de penetración

Penetración	0 a 49	50 a 149	150 a 249	250 a 500
Diferencia máxima entre el valor de penetración más alto y el más bajo	2	4	12	20

Fuente: (INEN 917, 2013)

### ***2.2.2. Punto de ablandamiento de cementos asfálticos***

Al utilizar en obra una mezcla asfáltica, el ligante requiere tener una viscosidad baja, es decir mayor resistencia al separarse, lo cual se consigue aumentando la temperatura del asfalto. En este ensayo llamado también susceptibilidad térmica, nos da a conocer la temperatura adecuada para que el producto asfáltico adquiera la viscosidad requerida para el uso que le daremos (Padilla Rodríguez, 2004).



*Figura 2.10. Punto de ablandamiento*

### ***2.2.3. Viscosidad absoluta 60° C***

La viscosidad es la resistencia con la que fluye un fluido, por lo que es una característica fundamental del comportamiento de los cementos asfálticos, con ella se conoce su susceptibilidad térmica, puesto que ésta depende de la temperatura (Padilla Rodríguez, 2004).



*Figura 2.11. Viscosidad 60° RTFO*

#### **2.2.4. Punto de chispa/Llama Cleveland de cementos asfálticos**

El punto de inflamación es la menor temperatura que genera vapor para encender nuestro cemento asfáltico, que es aproximadamente 215 grados centígrados, lo cual se encuentra entre 25-30 grados centígrados más que la temperatura con la cual trabajamos el asfalto en obra (Padilla Rodríguez, 2004).



*Figura 2.12. Punto de chispa/llama Cleveland*

### ***2.2.5. Ductilidad de cementos asfálticos***

La ductilidad es un ensayo, el cual se lo realiza al estirar una probeta de asfalto con una velocidad constante, donde se mide la distancia al momento de separarse los dos extremos de la misma. Es necesario tener en cuenta que un material asfáltico está sometido a cambios de temperatura, por ello debe tener la suficiente ductilidad para que no se produzcan grietas en momento de alargarse, así como no presentar excesiva ductilidad, puesto que puede producir ondulaciones por cargas del tráfico (Padilla Rodríguez, 2004).



*Figura 2.13. Ensayo ductilidad del asfalto*

### ***2.2.6. Envejecimiento del cemento asfáltico***

El envejecimiento de cementos asfálticos es un proceso que ocurre durante el mezclado, la construcción y la vida de servicio de la carretera, produciendo un endurecimiento de la mezcla. Este fenómeno se produce en dos circunstancias: la primera, el envejecimiento a corto plazo, el cual sucede por la pérdida de componentes volátiles al calentarse la muestra; y el segundo, el envejecimiento a largo plazo, el cual se produce por el clima, ya que éste genera oxidación durante la vida de servicio (Tanimoto Moreno, 2018).

El endurecimiento del asfalto, según Tanimoto Moreno, (2018), manifiesta que:

Se produce por tres mecanismos a saber: la volatilización de componentes del asfalto mientras está caliente en la planta, la prolongada oxidación por la acción de las variables ambientales durante la vida de servicio y el endurecimiento esterítico del asfalto producido por los cambios de temperatura cercana a la temperatura ambiente. (p. 15)

El ensayo de la película delgada en el horno tiene como objetivo la representación del envejecimiento del asfalto, introduciendo las muestras en el horno a 163°C durante un período de 85 minutos.



*Figura 2.14. Acondicionamiento de muestras*

### **2.2.7. Cambio de masa RTFO**

Al realizar este ensayo podemos llegar a evaluar el desempeño del asfalto ante el envejecimiento de la mezcla, el mismo que se lo realiza comparando la masa inicial de la muestra antes de entrar al horno con respecto a la masa final al salir del mismo, el resultado de los valores obtenidos es el cambio de masa que se produce, consiguiendo valores negativos o positivos, es decir, en ganancia o pérdida (Avendaño Salazar & López Ayala, 2017).



*Figura 2.15. Ensayo de partícula delgada (RTFO)*

### **2.2.8. Ensayo de peladura**

El ensayo de peladura de materiales bituminosos es un procedimiento en el cual se puede determinar el grado de adherencia que tiene el ligante asfáltico con los agregados usados en el diseño de la mezcla.

Al ser un procedimiento netamente visual y que nos sirve como una medida cualitativa para brindar una idea de la afinidad que tendrá el agregado en específico con el cemento asfáltico frente al agua. Se recomienda que este ensayo no sea realizado para establecer el comportamiento que la mezcla tendrá en la obra, debido a que no existen hasta el momento correlaciones que nos den una medida de su desempeño en campo (AASHTO T182, 2002).

## 2.2.9. Resumen caracterización del asfalto

Tabla 2.7. Requisitos para asfalto cemento gradual viscosidad a 60°C a base de asfalto original

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

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

$$^b \text{ Índice de penetración} = \frac{1952 - 500 \log pen - 20 SP}{50 \log pen - SP - 120}$$

donde:

pen = penetración a 25 °C, 100 g, 5 s

SP = punto de ablandamiento (°C) ASTM D36

<sup>c</sup> Solubilidad en bromuro de propilo N puede ser un método alternativo a la solubilidad en TCE.

Fuente: (INEN 2515, 2014)

### 2.2.9.1. Asfalto original sin aditivo

Tabla 2.8. Tabla resumen asfalto original

ENSAYO	NORMA	LIMITES		U	RESULTADO OBTENIDO	VERIFICACIÓN
		MIN	MAX			
Viscosidad Absoluta 60°C	AASHTO T316	160	240	Pa*s	217	CUMPLE
Viscosidad Cinemática 135°C	ASTM 2170 / ASTM 2170M-10	300	---	mm <sup>2</sup> /s	363	CUMPLE
Pto. De chispa copa abierta de cleaveland	ASTM D92	232	---	°C	293	CUMPLE
Pto. De llama copa abierta de cleaveland	ASTM 92	---	---	°C	312	N/D
Densidad Relativa	ASTM D70	1,00	---	25°C/25°C	1,0102	CUMPLE
Penetración a 25°C	ASTM D5 / ASTM D5M	60	70	mm/10	70	CUMPLE
Pto. De ablandamiento	ASTM D36 / ASTM D36M	48	57	°C	49,7	CUMPLE
Índice de Penetración	NTE INEN 2515/Enmienda1	-1,5	1,0	---	-0,46	CUMPLE
Ductilidad a 25°C	ASTM D113	100	---	cm	100+	CUMPLE

### 2.2.9.2. Asfalto envejecido sin aditivo

Tabla 2.9. Tabla resumen asfalto original envejecido

ENSAYO	NORMA	LIMITES		U	RESULTADO OBTENIDO	VERIFICACIÓN
		MIN	MAX			
Viscosidad a 60°C	AASHTO T316	---	800	Pa*s	1480	NO CUMPLE
Penetración	ASTM D5 / ASTM D5M	54	---	% de penetración original	58,57	CUMPLE
Ductilidad a 25°C	ASTM D113	50	---	cm	32	NO CUMPLE
Cambio de masa RTFO	ASTM D2872	---	1,00	%	0,27	CUMPLE

### 2.2.9.3. Asfalto original con 0.10% de Zycotherm

Tabla 2.10. Tabla resumen asfalto original + 0.1% Zycotherm

ENSAYO	NORMA	LIMITES		U	RESULTADO OBTENIDO	VERIFICACIÓN
		MIN	MAX			
Viscosidad Absoluta 60°C	AASHTO T316	160	240	Pa*s	230	CUMPLE
Viscosidad Cinemática 135°C	ASTM 2170 / ASTM 2170M-10	300	---	mm <sup>2</sup> /s	363	CUMPLE
Pto. De chispa copa abierta de cleaveland	ASTM D92	232	---	°C	266	CUMPLE
Pto. De llama copa abierta de cleaveland	ASTM 92	---	---	°C	312	N/D
Densidad Relativa	ASTM D70	1,00	---	25°C/2 5°C	1,008	CUMPLE
Penetración a 25°C	ASTM D5 / ASTM D5M	60	70	mm/10	70	CUMPLE
Pto. De ablandamiento	ASTM D36 / ASTM D36M	48	57	°C	48,6	CUMPLE
Índice de Penetración	NTE INEN 2515/Enmien da1	-1,5	1,0	---	-0,77	CUMPLE
Ductilidad a 25°C	ASTM D113	100	---	cm	100+	CUMPLE

### 2.2.9.4. Asfalto envejecido con 0.10% de Zycotherm

Tabla 2.11. Tabla resumen asfalto envejecido + 0.1% Zycotherm

ENSAYO	NORMA	LIMITES		U	RESULTADO OBTENIDO	VERIFICACIÓN
		MIN	MAX			
Viscosidad a 60°C	AASHTO T316	---	800	Pa*s	1310	NO CUMPLE
Penetración	ASTM D5 / ASTM D5M	54	---	% de penetración original	57,14	CUMPLE
Ductilidad a 25°C	ASTM D113	50	---	cm	22	NO CUMPLE
Cambio de masa RTFO	ASTM D2872	---	1,00	%	0,36	CUMPLE

### 2.2.9.5. Asfalto original con 4% de Surfax TB1

Tabla 2.12. Tabla resumen asfalto original + 4% Surfax TB1

ENSAYO	NORMA	LIMITES		U	RESULTADO OBTENIDO	VERIFICACIÓN
		MIN	MAX			
Viscosidad Absoluta 60°C	AASHTO T316	160	240	Pa*s	197	CUMPLE
Viscosidad Cinemática 135°C	ASTM 2170 / ASTM 2170M-10	300	---	mm <sup>2</sup> /s	268	NO CUMPLE
Pto. De chispa copa abierta de cleaveland	ASTM D92	232	---	°C	288	CUMPLE
Pto. De llama copa abierta de cleaveland	ASTM 92	---	---	°C	318	N/D
Densidad Relativa	ASTM D70	1,00	---	25°C/25°C	1,0078	CUMPLE
Penetración a 25°C	ASTM D5 / ASTM D5M	60	70	mm/10	75	NO CUMPLE
Pto. De ablandamiento	ASTM D36 / ASTM D36M	48	57	°C	48	CUMPLE
Índice de Penetración	NTE INEN 2515/Enmienda1	-1,5	1,0	---	-0,734	CUMPLE
Ductilidad a 25°C	ASTM D113	100	---	cm	100+	CUMPLE

### 2.2.9.6. Asfalto envejecido con 4% de Surfax TB1

Tabla 2.13. Tabla resumen asfalto envejecido + 4% Surfax TB1

ENSAYO	NORMA	LIMITES		U	RESULTADO OBTENIDO	VERIFICACIÓN
		MIN	MAX			
Viscosidad a 60°C	AASHTO T316	---	800	Pa*s	342	CUMPLE
Penetración	ASTM D5 / ASTM D5M	54	---	% de penetración original	66,66	CUMPLE
Ductilidad a 25°C	ASTM D113	50	---	cm	55	CUMPLE
Cambio de masa RTFO	ASTM D2872	---	1,00	%	0,54	CUMPLE

## CAPITULO III

### 3. DISEÑO MARSHALL DE MEZCLAS ASFALTICAS

#### 3.1. Origen y Composición

Las mezclas asfálticas, están constituidas por agregados y cemento asfáltico fabricados en centrales, posteriormente llevado a obra para ser extendido y compactado. Este está compuesto de aproximadamente un 90% de áridos gruesos y finos, un 5% de filler y 5% de cemento asfáltico, los cuales son de gran relevancia en el comportamiento de la mezcla asfáltica, siendo los dos últimos los componentes que más intervienen en el costo y la calidad de la misma (Padilla Rodríguez, 2004).

Propiedades funcionales de las mezclas asfálticas
<b>Seguridad</b>
Resistencia al deslizamiento
Regularidad transversal
Visibilidad (marcas viales)
<b>Comodidad</b>
Regularidad longitudinal
Regularidad transversal
Visibilidad
Ruido
<b>Durabilidad</b>
Capacidad soporte
Resistencia a la desintegración superficial
<b>Medio ambiente</b>
Ruido
Capacidad de ser reciclado
<b>Trabajabilidad</b>

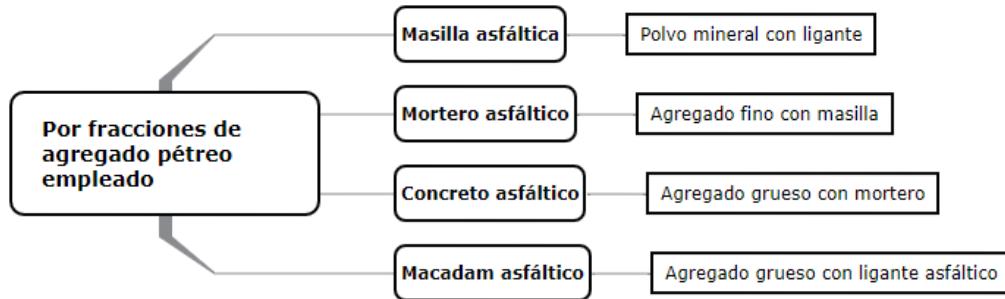
Figura 3.1. Propiedades funcionales de las mezclas asfálticas (Padilla Rodríguez, 2004)

Propiedades técnicas de las mezclas asfálticas
<b>Textura superficial</b>
<b>Conductividad hidráulica</b>
<b>Absorción de ruido</b>
<b>Propiedades mecánicas (en relación con el tráfico)</b>
Resistencia a la fisuración por fatiga
Resistencia a las deformaciones plásticas permanentes
Módulo de rigidez
Resistencia a la pérdida de partículas
<b>Durabilidad (en relación con el clima)</b>
Resistencia al lavado por el agua
Resistencia a la fisuración térmica
Resistencia a la fisuración por reflexión
Resistencia al envejecimiento
<b>Trabajabilidad</b>
Compactabilidad
Resistencia a la segregación agregado grueso/fino
Resistencia a la segregación agregado/ligante

Figura 3.2. Propiedades técnicas de las mezclas asfálticas (Padilla Rodríguez, 2004)

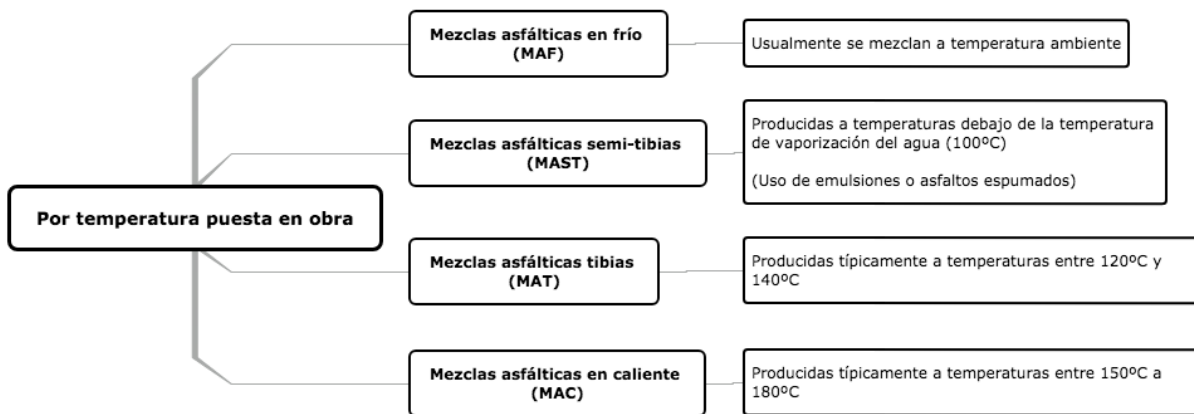
### 3.2. Clasificación de mezclas asfálticas

#### 3.2.1. Por Fracciones de agregado pétreo empleado.



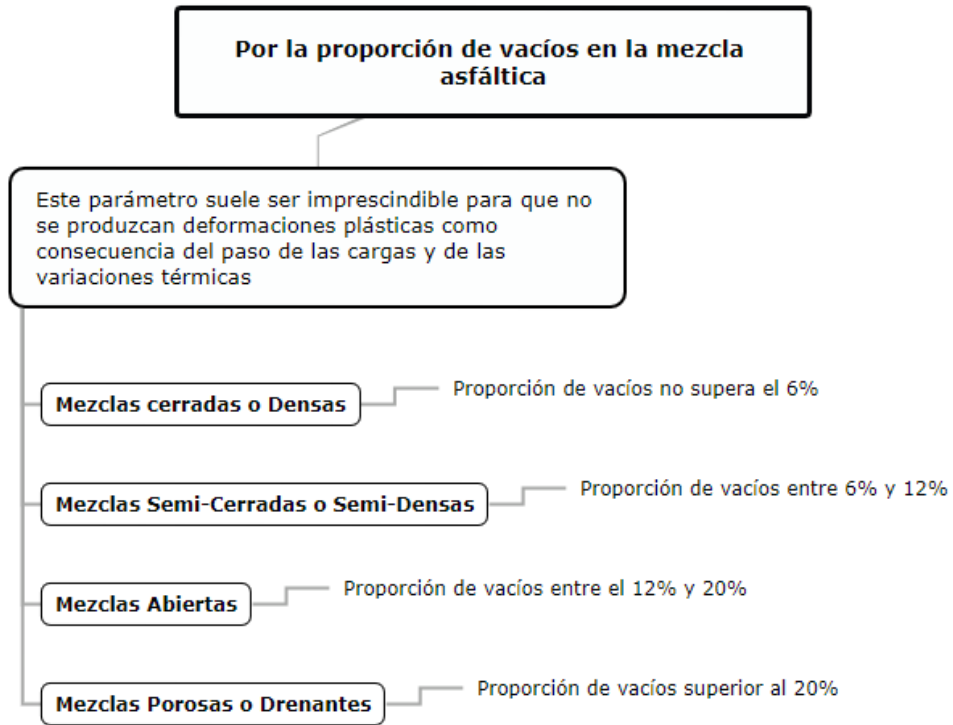
Gráfica 3.1. Clasificación por fracciones de agregado (Padilla Rodríguez, 2004)

#### 3.2.2. Por la Temperatura de puesta en obra



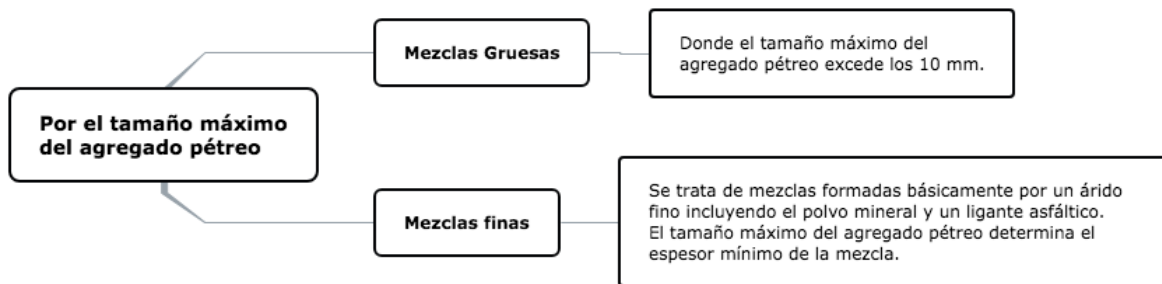
Gráfica 3.2. Clasificación por temperatura en obra (Padilla Rodríguez, 2004)

### 3.2.3. Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica



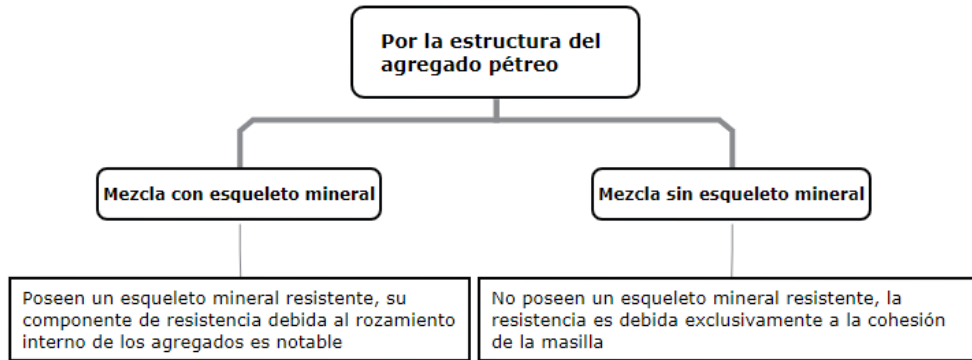
Gráfica 3.3. Clasificación por proporción de vacíos (Padilla Rodríguez, 2004)

### 3.2.4. Por el Tamaño máximo del agregado pétreo



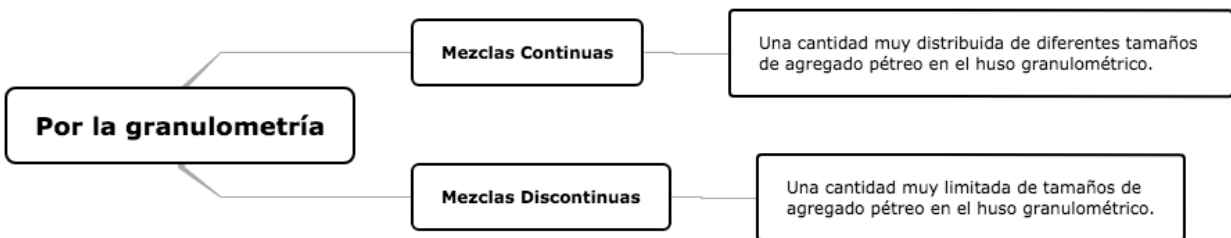
Gráfica 3.4. Clasificación por tamaño máximo (Padilla Rodríguez, 2004)

### 3.2.5. Por la Estructura del agregado pétreo



Gráfica 3.5, Clasificación por la estructura del agregado pétreo (Padilla Rodríguez, 2004)

### 3.2.6. Por la Granulometría



Gráfica 3.6. Clasificación por granulometría

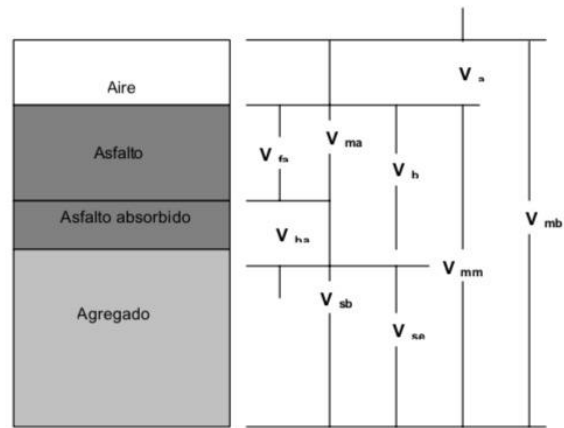
## 3.3. Propiedades volumétricas

### 3.3.1. Gravedad específica

Minaya y Ordoñez (2001) exponen que:

La gravedad específica de un agregado es útil para determinar la relación peso-volumen del agregado compactado y así calcular el contenido de vacíos de la mezcla asfáltica en caliente compactado. Por definición, la gravedad específica de un agregado es la relación del peso por unidad de volumen de un material respecto del mismo volumen de agua a aproximadamente 23 °C (73.4F). (p. 103)

Para detallar los siguientes tipos de gravedades específicas se cree necesario presentar el siguiente esquema que hace referencia a relación peso-volumen de un espécimen compactado.



- $V_{ma}$  = volumen de vacíos en agregado mineral
- $V_{mb}$  = volumen total de la mezcla asfáltica.
- $V_{mm}$  = volumen de la mezcla asfáltica sin vacíos
- $V_{fa}$  = volumen de vacíos llenados con asfalto
- $V_a$  = volumen de vacíos de aire
- $V_b$  = volumen de asfalto
- $V_{ba}$  = volumen de asfalto absorbido
- $V_{sb}$  = volumen de agregado mineral (gravedad específica de la masa)
- $V_{sa}$  = volumen de agregado mineral (gravedad específica efectiva)

Figura 3.3. Representación de volúmenes en especímenes de mezclas compactadas (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2004).

### 3.3.1.1. Gravedad específica base seca Bulk (Gsb)

“Incluye volumen total de las partículas de agregados, así como el volumen de poros llenos con agua luego de 24 horas de inmersión.” (Minaya y Ordoñez, 2001, p. 105)

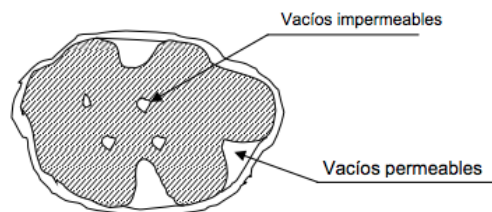


Figura 3.4. Partícula con vacíos permeables e impermeables (Manual de ensayos para pavimentos, 2004)

### **3.3.1.2. Gravedad específica Bulk con superficie saturada seca ( $G_{ssb}$ )**

Minaya y Ordoñez (2001) explican que:

La gravedad específica saturada superficialmente seca bulk define la relación entre el peso del agregado en su condición saturada superficialmente seca, que se obtiene secando las partículas con un paño luego de la inmersión, y el volumen del agregado más los vacíos permeables.

La gravedad específica Saturada Superficialmente Seca Bulk es usada por la U.S. Corps of Engineers para el diseño y control de Mezclas Asfálticas en Caliente cuando se usan agregados con porcentajes de absorción mayores que 2.5%. La gravedad específica Seca Bulk y Seca Aparente de agregados gruesos y finos se pueden determinar con las normas ASTM C-127 y C-128, respectivamente. (p. 106)

### **3.3.1.3. Gravedad específica Aparente ( $G_{sa}$ )**

“Proporción de la masa en aire de una unidad de volumen de un material impermeable a una temperatura indicada, con respecto a una masa al aire de igual densidad de volumen igual al de agua destilada, a una temperatura indicada” (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014, CAP VI, p. 15).

### **3.3.1.4. Gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica ( $G_{mm}$ )**

“En el diseño de una mezcla asfáltica para un agregado dado, se necesitará la gravedad específica máxima,  $G_{mm}$ , para cada contenido de asfalto con el fin de calcular el porcentaje de vacíos de aire para cada contenido de asfalto” (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014, CAP VI, p. 15).

### **3.3.1.5. Gravedad específica Efectiva ( $G_{se}$ )**

De acuerdo con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2014):

Proporción de la masa en aire de una unidad de volumen de un material permeable (excluyendo vacíos permeables de asfalto) a una temperatura indicada, con respecto a una masa al aire de igual densidad de volumen igual al de agua destilada, a una temperatura indicada. (p. VI 15)

### **3.3.2. Vacíos en el agregado mineral (VAM)**

“Es el volumen ocupado por el asfalto efectivo y los vacíos atrapados entre los agregados recubiertos, se expresa como un porcentaje del volumen total de la muestra” (Minaya y Ordoñez, 2001, p.109).

### **3.3.3. Porcentaje de vacíos (VA)**

Minaya y Ordoñez (2006) explican que:

Los vacíos de aire o vacíos están conformados por el aire atrapado en la mezcla compactada. A menor porcentaje de vacíos de aire la mezcla será menos permeable. En el diseño de mezclas convencionales, los vacíos de aire están entre el 3% y 5% en laboratorio, pero en campo se permite tener vacíos de aire no mayores al 8% permitiendo que la carpeta se compacte bajo tránsito.

La densidad de la mezcla está en función del contenido de vacíos, mezclas con menor porcentaje de vacíos serán más densas, y viceversa. Un alto porcentaje de vacíos de aire resulta en una mezcla porosa, que permite el paso del agua a través de su estructura, pero además puede causar deterioro debido a que hay mayor porcentaje de aire. (p.07 cap. X)

### **3.3.4. Vacíos llenos con asfalto (VAF)**

“Es el volumen ocupado por el asfalto efectivo o el porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA, ocupado por el asfalto” (Minaya y Ordoñez, 2001, p. 110)

### **3.3.5. Asfalto efectivo ( $P_{be}$ )**

“Es el contenido de asfalto total de la mezcla menos la porción de asfalto que se pierde por absorción dentro de la partícula del agregado” (Minaya y Ordoñez, 2001, p.109).

### **3.4. Mezclas asfálticas tibias (WMA)**

Las mezclas asfálticas tibias (Warm Mix Asphalt) son técnicas consumadas en el año 1997 en Europa e introducido en el 2004, como aporte a los problemas de contaminación de los gases del efecto invernadero. Tienen como finalidad disminuir la temperatura de trabajo de la mezcla, para lo cual existen técnicas para reducir la viscosidad, las cuales se pueden separar en cuatro rangos: utilización de aditivos orgánicos para reducir las viscosidades, utilización de aditivos químicos, asfaltos espumados y tecnologías con bases acuosas.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. Diseño Marshall

##### 4.1.1. Mezcla asfáltica

Una vez terminado la caracterización de los materiales áridos y bituminosos y haber comprobado que son aptos para la realización de la mezcla convencional, se procede según la norma ASTM D3515 a elegir la gradación requerida para mezclas densas según el tamaño máximo nominal del agregado.

*Tabla 4.1. Especificación para gradaciones densas*

Tamiz	Mezcla Densa								
	Tamaño máximo nominal de agregados								
	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16
Gradación de agregados (grava; fino y filler si se requiere) Porcentaje en peso									
2 ½" (63mm)	100	-	-	-	-	-	-	-	-
2" (50mm)	90-100	100	-	-	-	-	-	-	-
1 ½" (37.5mm)	-	90-100	100	-	-	-	-	-	-
1" (25.0mm)	60-80	-	90-100	100	-	-	-	-	-
¾" (19.0mm)	-	56-80	-	90-100	100	-	-	-	-
1/2" (12.5mm)	35-65	-	56-80	-	90-100	100	-	-	-
3/8" (9.5mm)	-	-	-	56-80	-	90-100	100	-	-
Nº4 (4.75mm)	17-47	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85	80-100	-	100
Nº8 (2.36mm)	10-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67	65-100	-	95-100
Nº16 (1.18mm)	-	-	-	-	-	-	40-80	-	85-100
Nº30 (600µm)	-	-	-	-	-	-	25-65	-	70-95
Nº50 (300µm)	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40	-	45-75
Nº100 (150µm)	-	-	-	-	-	-	3-20	-	20-40
Nº200 (75µm)	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10	-	9-20

Fuente: (ASTM D3515, 2009)

Para determinar el porcentaje de aporte de cada tipo de material necesario para la tercia granulométrica, se toma en cuenta la cantidad de producción de cada agregado existente en la mina, la misma que cuenta con una trituradora terciaria.

Tabla 4.2. Granulometría mezcla asfáltica

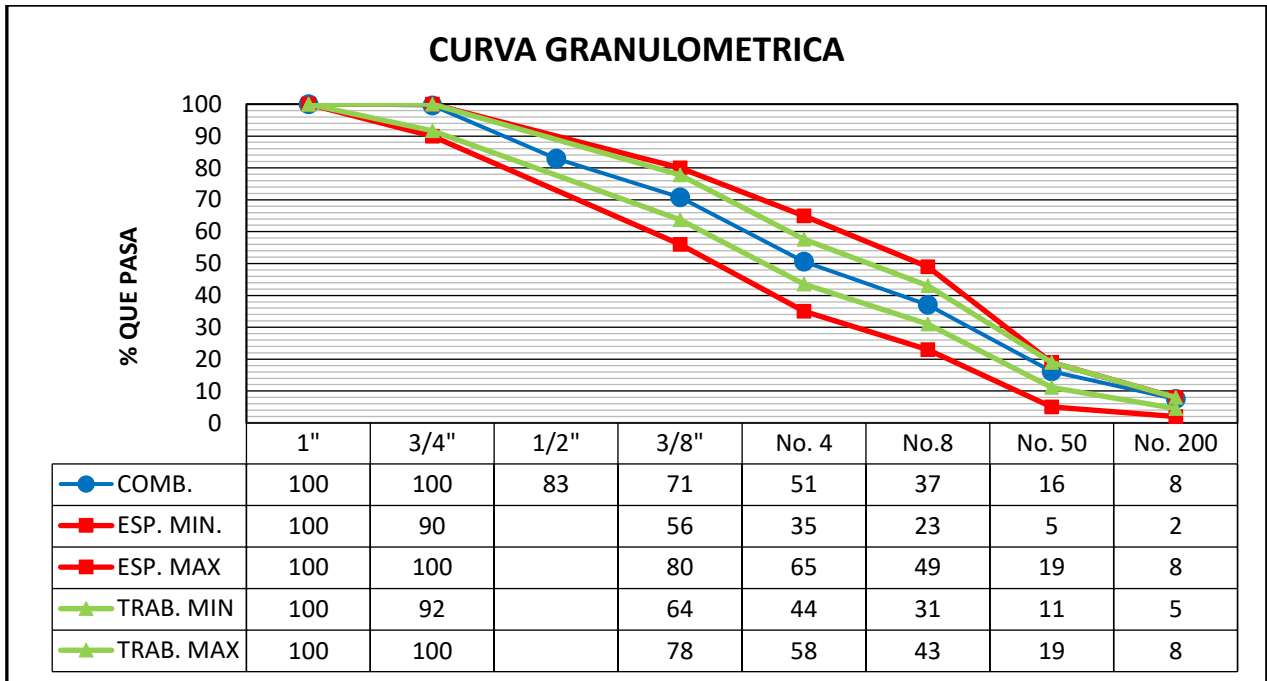
TAMIZ	GRANULOMETRIA INDIVIDUAL FRACCION:				PORCENTAJE DE APORTE				COMB.	ESPECIFICACION		FAJA TRABAJO		TOLERANCIA
	1	2	3	4	35%	15%	50%	0%		MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	
1"	100,0	100,0	100,0	0	35,0	15,0	50,0	0	100,0	100	100	100	100	8 ±
3/4"	98,9	100,0	100,0	0	34,6	15,0	50,0	0	99,6	90	100	92	100	8 ±
1/2"	51,1	100,0	100,0	0	17,9	15,0	50,0	0	82,9					8 ±
3/8"	16,5	100,0	100,0	0	5,8	15,0	50,0	0	70,8	56	80	64	78	7 ±
No. 4	2,2	94,7	71,2	0	0,8	14,2	35,6	0	50,6	35	65	44	58	7 ±
No.8	0,0	65,5	54,4	0	0,0	9,8	27,2	0	37,1	23	49	31	43	6 ±
No. 50	0,0	26,7	24,2	0	0,0	4,0	12,1	0	16,1	5	19	11	19	5 ±
No. 200	0,0	12,8	11,2	0	0,0	1,9	5,6	0	7,5	2	8	5	8	3 ±

En donde:

1: Agregado grueso

2: Arena triturada TM 3/8"

3: Arena natural



Gráfica 4.1. Curva granulométrica de la mezcla.

#### 4.1.2. Porcentaje teórico del asfalto

Una vez conseguido la relación de porcentajes de materiales finos y gruesos que se ajusten de manera adecuada a la faja de trabajo, se calcula el porcentaje teórico del asfalto, dato que nos proporcionará un punto de partida para el diseño.

$$P = M * (S)^{(1/5)}$$

Ecuación 4.1. Porcentaje teórico de asfalto

Donde:

P = % del asfalto en peso / al peso Total

M= Coeficiente del tráfico (3.75 - 4.25)

S= Superficie específica de los áridos.

$$S = 0.17G + 0.33g + 2.30A + 12a + 135f$$

Ecuación 4.2. Superficie específica de los áridos

Donde:

G= % material > al 3/8"

g= % material: 3/8" - #4

A= % material: #4 - #50

a = % material: #50 - #200

f = % material < #200

Por convención en este método de diseño se toma dos puntos de porcentaje por arriba y dos por abajo del dato teórico obtenido, sin embargo, de no obtener las propiedades requeridas se deberá obtener tantos puntos como sea necesario.

Dado que, en este caso de estudio, con el porcentaje de asfalto teórico obtenido de 6.58%, se consiguió una cantidad de vacíos por debajo de lo establecido en las normas (3% al 5%), se decide tomar como inicio al 5.5% de asfalto, donde a partir de este valor se procede a realizar tres briquetas por cada porcentaje variándolo en intervalos de  $\pm 0.5\%$ , manteniendo una temperatura de compactación y mezclado uniforme para cada uno de ellos.



*Figura 4.1. Briquetas de mezcla asfáltica convencional*

## 4.2. Diseño convencional #1 sin aditivos

### 4.2.1. Dimensiones de las briquetas

Tabla 4.3. Dimensiones de briquetas sin aditivos

MUESTRA #	% asf.	PESOS			VOL cm <sup>3</sup>	G.E. BULK
		AIRE	AGUA	S.S.S.		
1		1202,4	672,0	1206,0	534,0	2,252
2	4,50	1200,2	670,2	1202,8	532,6	2,253
3		1198,5	669,2	1200,7	531,5	2,255
<b>PROMEDIO</b>						<b>2,253</b>
4		1189,9	671,2	1194,7	523,5	2,273
5	5,00	1193,4	672,5	1197,2	524,7	2,274
6		1195,6	672,8	1199,0	526,2	2,272
<b>PROMEDIO</b>						<b>2,273</b>
7		1187,9	669,8	1184,6	514,8	2,307
8	5,50	1195,7	677,9	1197,3	519,4	2,302
9		1200,5	677,4	1202,0	524,6	2,288
<b>PROMEDIO</b>						<b>2,299</b>
10		1190,3	674,0	1191,9	517,9	2,298
11	6,00	1201,1	678,4	1202,4	524,0	2,292
12		1195,4	673,6	1196,7	523,1	2,285
<b>PROMEDIO</b>						<b>2,292</b>
13		1190,7	674,1	1191,9	517,8	2,300
14	6,50	1198,1	677,8	1199,4	521,6	2,297
15		1200,9	680,2	1201,7	521,5	2,303
<b>PROMEDIO</b>						<b>2,300</b>

#### 4.2.2. Resultados de ensayo Marshall

Tabla 4.4. Resultados briquetas sin aditivos

MUESTRA #	% asf	G.E. BULK	VOL CA.	VOL AG.	% VACIOS	% VAM	% EFEC.	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO 0,01"	VAF	Gmm
1		2,252						4.363	12		
2	4,5	2,253						4.483	11		
3		2,255						4.312	12		
<b>PROMEDIO</b>		<b>2,253</b>	<b>7,42</b>	<b>84,41</b>	<b>8,17</b>	<b>15,59</b>	<b>4,02</b>	<b>4.386</b>	<b>12</b>	<b>47,59</b>	<b>2,454</b>
4		2,273						4.530	13		
5	5,0	2,274						4.529	13		
6		2,272						4.477	13		
<b>PROMEDIO</b>		<b>2,273</b>	<b>9,11</b>	<b>84,71</b>	<b>6,18</b>	<b>15,29</b>	<b>4,74</b>	<b>4.512</b>	<b>13</b>	<b>59,61</b>	<b>2,423</b>
7		2,307						4.694	12		
8	5,5	2,302						4.344	12		
9		2,288						4.337	12		
<b>PROMEDIO</b>		<b>2,299</b>	<b>10,61</b>	<b>85,23</b>	<b>4,15</b>	<b>14,77</b>	<b>5,36</b>	<b>4.458</b>	<b>12</b>	<b>71,86</b>	<b>2,399</b>
10		2,298						4.292	10		
11	6,0	2,292						4.429	10		
12		2,285						4.351	10		
<b>PROMEDIO</b>		<b>2,292</b>	<b>11,64</b>	<b>84,51</b>	<b>3,85</b>	<b>15,49</b>	<b>5,82</b>	<b>4.358</b>	<b>10</b>	<b>75,14</b>	<b>2,384</b>
13		2,300						4.435	10		
14	6,5	2,297						4.095	11		
15		2,303						4.144	10		
<b>PROMEDIO</b>		<b>2,300</b>	<b>13,82</b>	<b>84,35</b>	<b>1,84</b>	<b>15,65</b>	<b>6,76</b>	<b>4.225</b>	<b>10</b>	<b>88,27</b>	<b>2,343</b>

#### 4.2.3. Ensayo RICE

Minaya y Ordoñez (2001) expresan que:

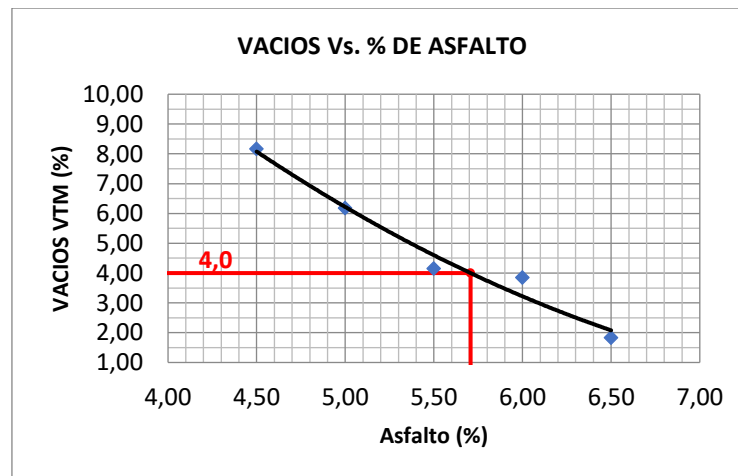
Este método de laboratorio determina la Gravedad Especifica Teórica Máxima de mezclas asfálticas en su estado suelto. Para el ensayo las partículas de la muestra se separan teniendo cuidado de no fracturarlas. La muestra suelta se coloca en un recipiente y pesa, se le añade agua hasta cubrir la muestra y remover el aire atrapado con la bomba de vacíos. Se vierte con cuidado el agua y se seca la muestra ensayada. (p. 110)

*Tabla 4.5. Ensayo RICE sin aditivos*

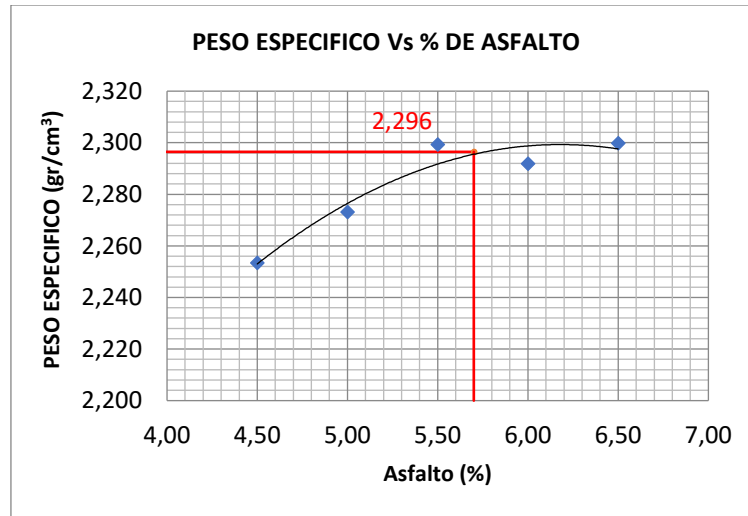
% CEMENTO ASFALTICO	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	5,70
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK MEZCLA AGREGADOS (Gsb)	<b>2,549</b>	<b>2,549</b>	<b>2,549</b>	<b>2,549</b>	<b>2,549</b>	<b>2,549</b>
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL ASFALTO (Gb.)	1,015	1,015	1,015	1,015	1,015	1,015
DATOS ENSAYO RICE:						
PESO MUESTRA EN EL AIRE (Gr)	1497,8	1495,6	1497,7	1497,2	1502,9	1498,4
PESO FRASCO + AGUA) (Gr)	7663,8	7663,8	7663,8	7663,8	7663,8	7663,8
PESO FRASCO + AGUA + MUESTRA (Gr)	8551,2	8542,1	8537,2	8532,9	8525,2	8536,3
VOLUMEN C.C	610,4	617,3	624,3	628,1	641,5	625,9
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA DE LA MEZCLA (Gmm)	<b>2,454</b>	<b>2,423</b>	<b>2,399</b>	<b>2,384</b>	<b>2,343</b>	<b>2,394</b>
GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA DE LOS AGREGADOS (Gse)	2,629	2,614	2,606	2,608	2,577	2,608
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE DE LOS AGREGADOS (Gsa)	2,672	2,672	2,672	2,672	2,672	2,672
COMPROBACION:						
Gsa > Gse > Gsb	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO (Pba)	1,21	0,98	0,86	0,90	0,43	0,90
CONTENIDO ASFALTO EFECTIVO EN MEZCLA (Pbe)	3,34	4,07	4,68	5,15	6,10	4,85

#### 4.2.4. Gráficas del diseño

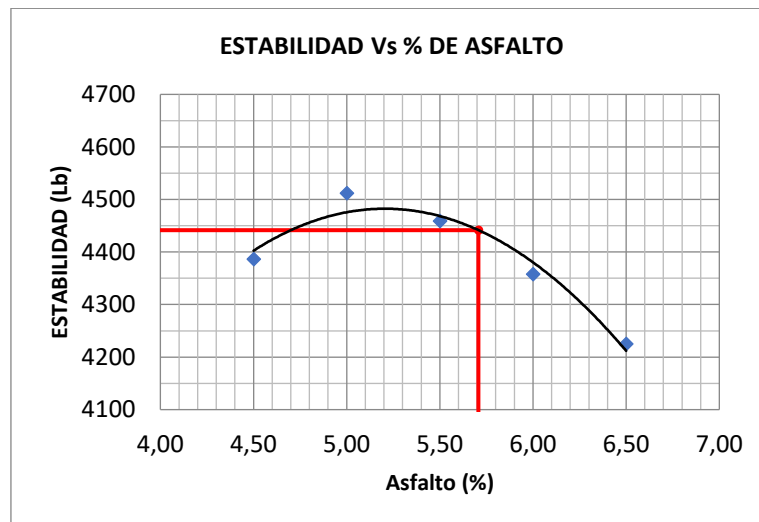
Hay que tomar en cuenta que al cumplir todos los parámetros de las especificaciones del diseño Marshall de MOP-001-f-2002, se procede a aceptar cada una de las gráficas.



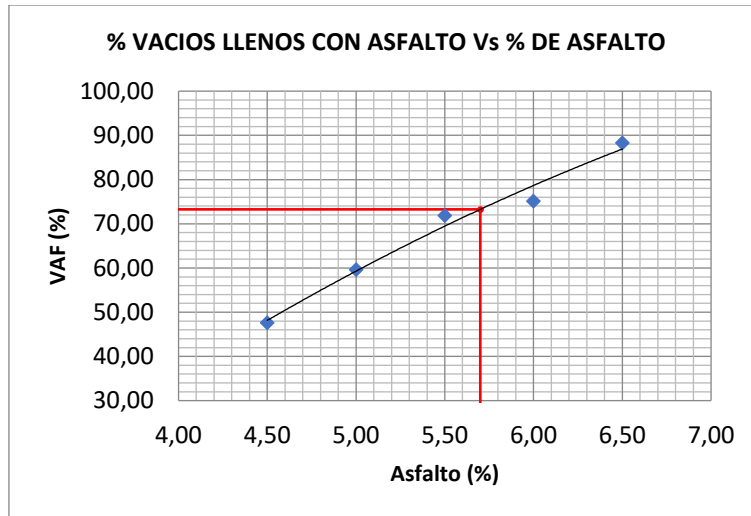
*Gráfica 4.2. Vacíos (%) vs. % de Asfalto*



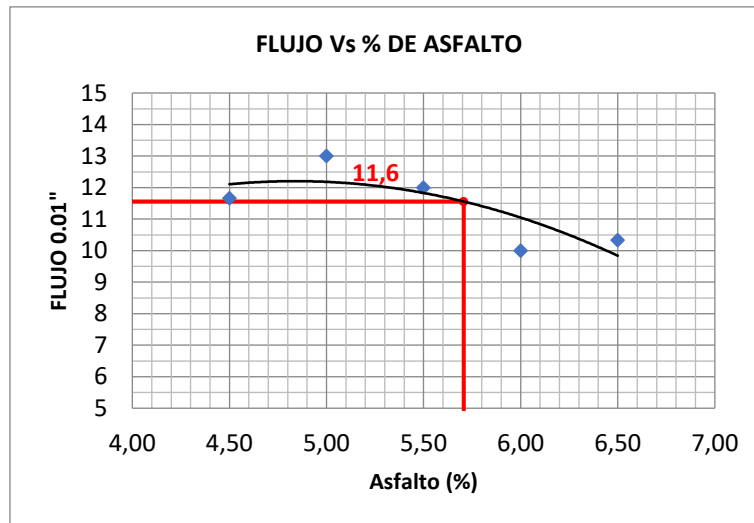
Gráfica 4.3. Peso Especifico vs. % de Asfalto



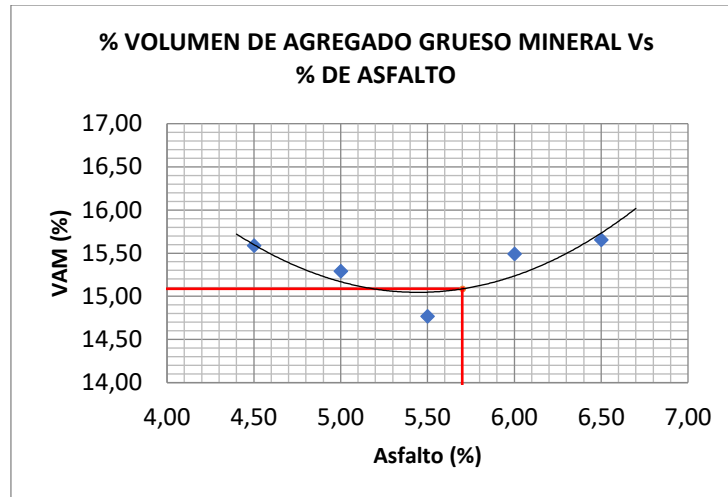
Gráfica 4.4. Estabilidad vs. % de Asfalto



Gráfica 4.5. % de Vacíos llenos con asfalto vs. % de Asfalto



Gráfica 4.6. Flujo vs. % de Asfalto



Gráfica 4.7. % de Volumen de agregado grueso mineral vs. % de Asfalto

#### 4.2.5. Tabla de resumen de resultados con porcentaje óptimo

Cuando se procede a escoger el porcentaje óptimo de asfalto para nuestro diseño se verifica todas las especificaciones de diseño del método Marshall; al cumplir con todos los parámetros se escoge el 4% de vacíos, siendo el promedio entre 3% y 5%.

Tabla 4.6. Especificaciones para el diseño Marshall

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO PARA EL MÉTODO MARSHALL		
Método Marshall	Tráfico pesado Carpeta y Base	
	Min	Max
Criterio de mezcla		
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes	75	
Estabilidad, (lbf)	2200	-
Flujo, (0.25mm) (0.01in)	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5
Porcentaje de VAM	14	-
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	65	75

Fuente: (Tabla 405.5.4 pág. 309 MOP-001-f)

Tabla 4.7. Resumen briquetas con porcentaje optimo

MUESTRA #	% asf.	G.E. BULK	VOL CA.	VOL AG.	% VACIOS	% VAM	% EFEC. CA.	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO 0,01"	VAF	Gmm
1		2,303						4.571	12		
2	5,70	2,288						4.569	11		
3		2,302						4.439	11		
PROMEDIO		2,298	10,98	84,99	4,02	15,01	4,85	4.526	11	73,20	2,394

Porcentaje óptimo por utilizarse en las mezclas asfálticas con aditivos: 5.7%

#### 4.2.6. Tracción indirecta

Se debe verificar en las Especificaciones MOP-001-f-2002 que la relación de esfuerzo de tensión debe ser mayor o igual al 80%, lo cual indica la calidad del proceso constructivo de la capa asfáltica.

<b>Cálculo del TSR (Tensil Strength Ratio), Relación de Esfuerzo de Tensión</b>	
Esfuerzo de Especímenes en seco (kPa), $(2000 \cdot P / \pi \cdot t \cdot D) =$	$S_{td}$
Esfuerzo de Especímenes en húmedo (kPa), $(2000 \cdot P'' / \pi \cdot t'' \cdot D) =$	2
<b>Promedio de Esfuerzo Especímenes en Seco</b>	<b>5.832,64</b>
<b>Promedio de Esfuerzo Especímenes en Húmedo</b>	<b>5.550,33</b>
<b>Relación de Esfuerzo de Tensión <math>S_{tm}/S_{td}</math></b>	<b>95,2%</b>

#### 4.2.7. Mezcla asfáltica tibia

Al ser un estudio de una mezcla asfáltica tibia se procedió a trabajar mediante diferentes temperaturas con el porcentaje óptimo de asfalto ya escogido para analizar el comportamiento y las propiedades de la misma.

##### 4.2.7.1. Dimensiones de las briquetas

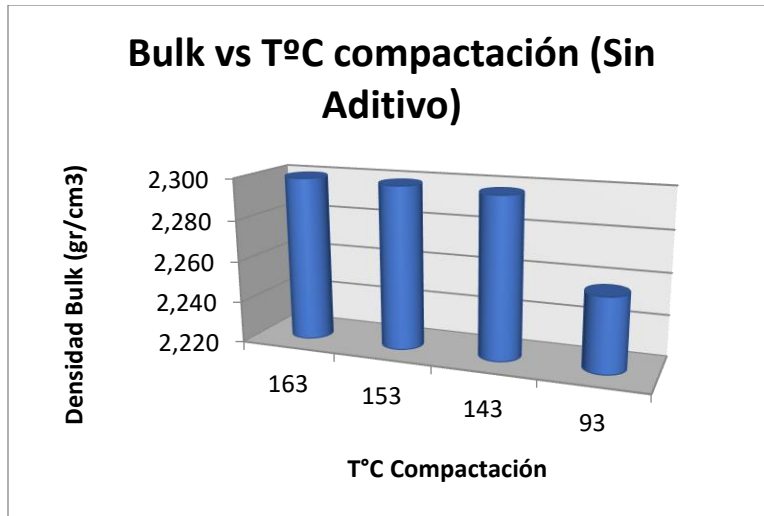
Tabla 4.8. Dimensión briquetas sin aditivos (WMA)

MUESTRA #	%	PESOS			VOL cm <sup>3</sup>	G.E. BULK
		AIRE	AGUA	S.S.S.		
1		1192,4	669,0	1193,5	524,5	2,273
2	5,70	1192,2	676,7	1192,7	516,0	2,310
3		1193,1	670,5	1186,1	515,6	2,314
<b>PROMEDIO</b>						<b>2,299</b>
4		1195,6	680,1	1196,9	516,8	2,313
5	5,70	1210,9	684,7	1214,4	529,7	2,286
6		1189,6	673,9	1192,1	518,2	2,296
<b>PROMEDIO</b>						<b>2,298</b>
7		1187,8	677,5	1189,0	511,5	2,322
8	5,70	1194,5	673,4	1196,7	523,3	2,283
9		1191,1	671,8	1192,8	521,0	2,286
<b>PROMEDIO</b>						<b>2,297</b>
10		1200,9	671,6	1208,2	536,6	2,238
11	5,70	1189,0	668,7	1194,5	525,8	2,261
12		1200,5	674,5	1203,8	529,3	2,268
<b>PROMEDIO</b>						<b>2,256</b>

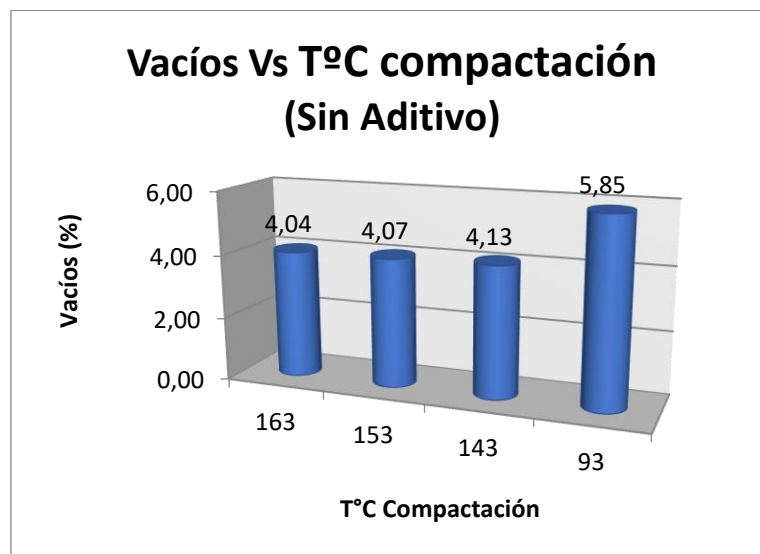
#### 4.2.7.2. *Propiedades de la mezcla*

*Tabla 4.9. Propiedades de briquetas sin aditivos (WMA)*

MUESTRA #	% asf.	TEMP °C	G.E. BULK	VOL CA.	VOL AG.	% VACIOS	% VAM	% EFEC. CA.	ESTABILIDAD CORREG.	FLUJO 0,01"	VAF	Gmm
1			2,273						3.961	10		
2	5,70	163	2,310						4.370	12		
3			2,314						4.338	12		
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,299</b>	<b>10,91</b>	<b>85,05</b>	<b>4,04</b>	<b>14,95</b>	<b>4,85</b>	<b>4.223</b>	<b>11</b>	<b>73,00</b>	<b>2,396</b>
4			2,313						4.471	13		
5	5,70	153	2,286						3.906	13		
6			2,296						3.637	13		
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,298</b>	<b>10,91</b>	<b>85,02</b>	<b>4,07</b>	<b>14,98</b>	<b>4,85</b>	<b>4.005</b>	<b>13</b>	<b>72,80</b>	<b>2,396</b>
7			2,322						4.211	10		
8	5,70	143	2,283						3.784	10		
9			2,286						3.936	10		
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,297</b>	<b>10,90</b>	<b>84,97</b>	<b>4,13</b>	<b>15,03</b>	<b>4,85</b>	<b>3.977</b>	<b>10</b>	<b>72,51</b>	<b>2,396</b>
10			2,238						2.859	11		
11	5,70	133	2,261						3.291	11		
12			2,268						3.060	10		
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,256</b>	<b>10,71</b>	<b>83,44</b>	<b>5,85</b>	<b>16,56</b>	<b>4,85</b>	<b>3.070</b>	<b>11</b>	<b>64,66</b>	<b>2,396</b>



*Gráfica 4.8. Bulk vs T °C Compactación*



*Gráfica 4.9. % vacíos vs T °C compactación*

#### 4.3. Diseño Marshall #2 con aditivo Zycotherm

Se procede a realizar tres briquetas con los porcentajes de aditivo Zycotherm escogido, en este caso el fabricante recomienda una dosificación entre 0.025% al 0.1%, al tener en cuenta que el comportamiento puede cambiar con los diferentes porcentajes de aditivo, se escogió un porcentaje

mayor al recomendado para verificar el efecto que causa a medida que se aumente su concentración.

### 4.3.1. Dimensiones de las briquetas

Tabla 4.10. Dimensiones briquetas con Zycotherm.

MUESTRA #	% asf.	% Aditivo	PESOS			VOL cm <sup>3</sup>	G.E. BULK
			AIRE	AGUA	S.S.S.		
1			1188,6	672,9	1190,0	517,1	2,298
2	5,7	0,05	1191,9	674,7	1193,1	518,4	2,299
3			1185,2	671,0	1186,8	515,8	2,298
<b>PROMEDIO</b>							<b>2,298</b>
4			1193,6	677,9	1195,2	517,3	2,307
5	5,7	0,1	1199,3	683,6	1204,4	520,8	2,303
6			1192,8	678,1	1193,8	515,7	2,313
<b>PROMEDIO</b>							<b>2,308</b>
7			1191,8	677,9	1196,9	519,0	2,296
8	5,7	0,2	1193,6	678,2	1196,1	517,9	2,305
9			1193,7	677,7	1196,6	518,9	2,300
<b>PROMEDIO</b>							<b>2,300</b>



Figura 4.2. Briquetas de mezcla asfáltica con Zycotherm

### 4.3.2. Resultados del ensayo Marshall

Tabla 4.11. Propiedades de briquetas con Zycotherm

MUESTRA #	% asf.	% aditivo	G.E. BULK	VOL CA.	VOL AG.	% VACIOS	% VAM	% EFEC.	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO 0,01"	VAF	Gmm
1			2,298						5.440	12		
2	5,7	0,05	2,299						4.190	11		
3			2,298						4.687	11		
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,298</b>	<b>10,91</b>	<b>85,02</b>	<b>4,07</b>	<b>14,98</b>	<b>4,88</b>	<b>4.772</b>	<b>11</b>	<b>72,83</b>	<b>2,396</b>
4			2,307						4.566	13		
5	5,7	0,1	2,303						4.667	11		
6			2,313						4.707	12		
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,308</b>	<b>10,95</b>	<b>85,36</b>	<b>3,68</b>	<b>14,64</b>	<b>4,78</b>	<b>4.647</b>	<b>12</b>	<b>74,82</b>	<b>2,396</b>
7			2,296						4.106	12		
8	5,7	0,2	2,305						5.066	10		
9			2,300						5.123	13		
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,300</b>	<b>10,92</b>	<b>85,10</b>	<b>3,99</b>	<b>14,90</b>	<b>4,83</b>	<b>4.765</b>	<b>12</b>	<b>73,25</b>	<b>2,396</b>

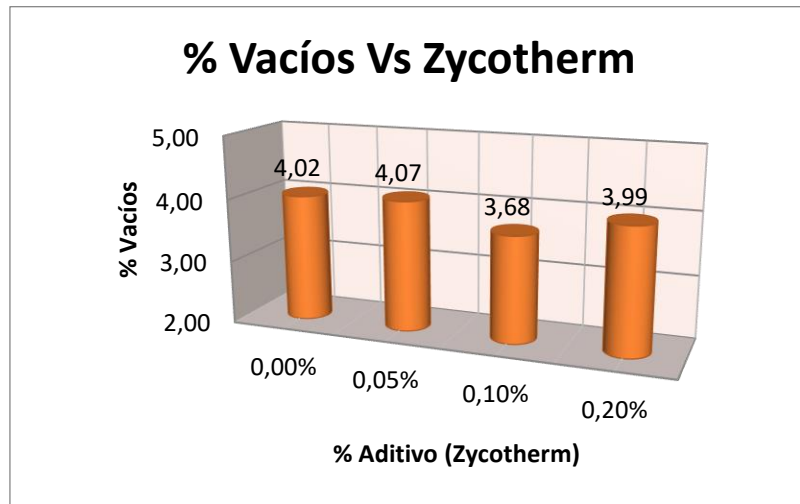
Tabla 4.12. Resultados RICE con Zycotherm

PORCENTAJE DE ADITIVO	0,05 %	0,10%	0,20%
% CEMENTO ASFALTICO	5,70	5,70	5,70
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK MEZCLA AGREGADOS (Gsb)	<b>2,549</b>	<b>2,549</b>	<b>2,549</b>
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL ASFALTO (Gb.)	1,015	1,015	1,015
DATOS ENSAYO RICE:			
PESO MUESTRA EN EL AIRE (Gr)	1502,0	1493,8	1497,9
PESO FRASCO + AGUA) (Gr)	7663,8	7663,8	7663,8
PESO FRASCO + AGUA + MUESTRA (Gr)	8538,0	8534,7	8536,4
VOLUMEN C.C	627,8	622,9	625,4
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA DE LA MEZCLA (Gmm)	<b>2,392</b>	<b>2,398</b>	<b>2,395</b>
GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA DE LOS AGREGADOS (Gse)	2,606	2,613	2,610
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE DE LOS AGREGADOS (Gsa)	2,672	2,672	2,672
COMPROBACION:			
Gsa > Gse > Gsb	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO (Pba)	0,87	0,98	0,92
CONTENIDO ASFALTO EFECTIVO EN MEZCLA (Pbe)	4,88	4,78	4,83

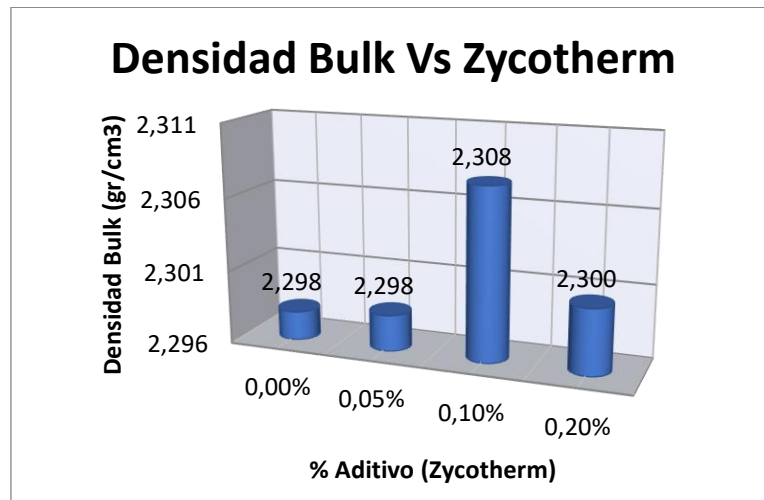


Figura 4.3. Ensayos RICE con Zycotherm

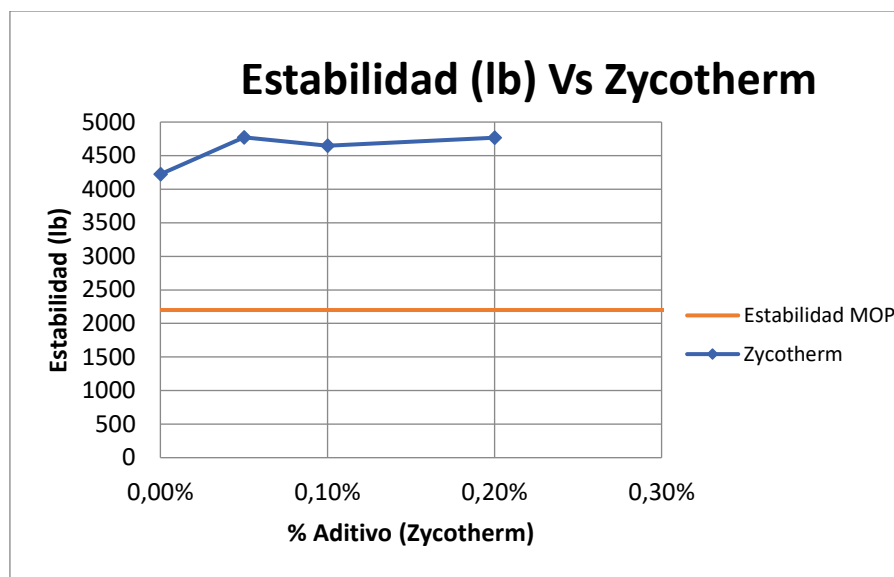
### 4.3.3. Gráficas del diseño



Gráfica 4.10. Vacíos (%) vs. Zycotherm



Gráfica 4.11. Densidad Bulk vs. Zycotherm



Gráfica 4.12. Estabilidad vs. % de Zycotherm

Nota: La estabilidad mínima requerida según la MOP-001-F-2002, es de 2200 lb para tráfico muy pesado.

#### 4.3.4. Mezcla asfáltica tibia

Al determinarse un mejor comportamiento con el aditivo Zycotherm al 0.1% se procede a realizar ensayos del diseño Marshall a diferentes temperaturas con el porcentaje de aditivo antes mencionado, para analizar el comportamiento de las mismas variando la temperatura.

##### 4.3.4.1. Dimensiones de las briquetas

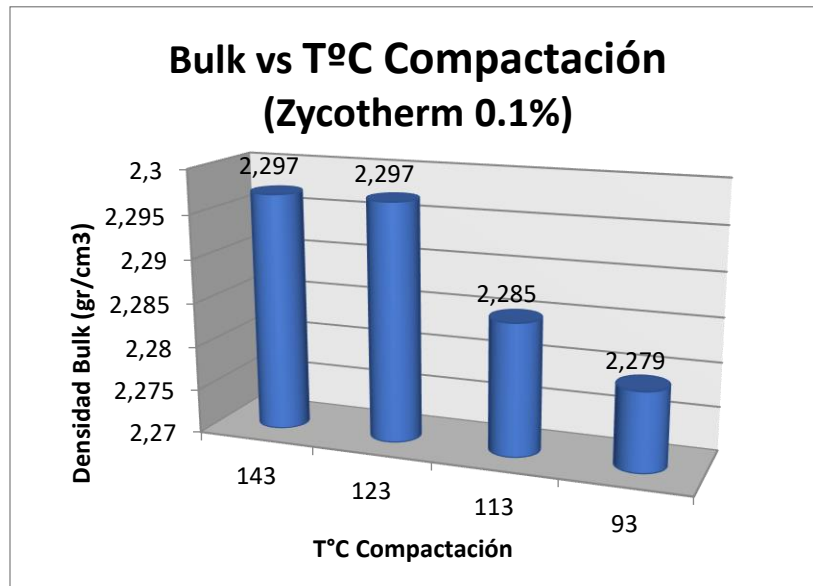
Tabla 4.13. Dimensiones briquetas con Zycotherm 0.1% (WMA)

MUESTRA #	% asf.	TEMP °C	PESOS			VOL cm <sup>3</sup>	G.E. BULK
			AIRE	AGUA	S.S.S.		
1			1192,1	674,2	1193,5	519,3	2,296
2	5,70	143	1186,5	668,9	1187,5	518,6	2,288
3			1191,5	676,4	1192,7	516,3	2,308
<b>PROMEDIO</b>							<b>2,297</b>
4			1193,3	676,0	1194,6	518,6	2,301
5	5,70	123	1196,2	676,8	1198,2	521,4	2,294
6			1191,3	675,1	1193,7	518,6	2,297
<b>PROMEDIO</b>							<b>2,297</b>
7			1192,7	671,4	1195,4	524,0	2,276
8	5,70	113	1197,1	676,6	1200,2	523,6	2,286
9			1192,7	674,1	1194,5	520,4	2,292
<b>PROMEDIO</b>							<b>2,285</b>
10			1181,3	667,8	1186,5	518,7	2,277
11	5,70	93	1196,6	670,0	1199,2	529,2	2,261
12			1184,7	671,0	1186,7	515,7	2,297
<b>PROMEDIO</b>							<b>2,279</b>

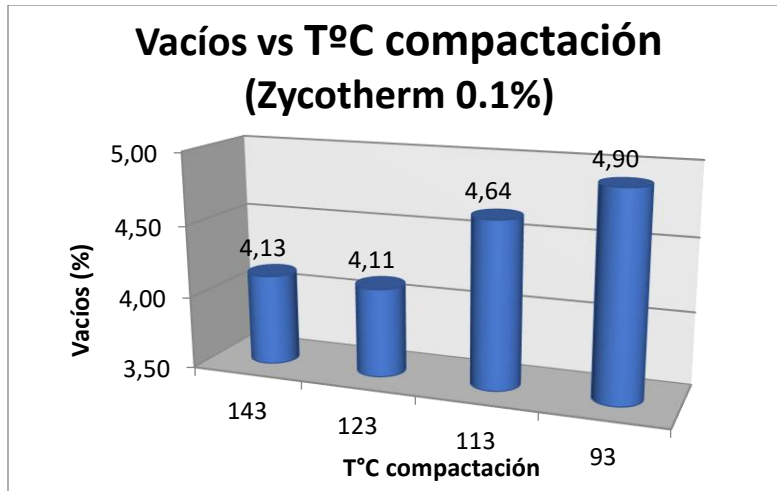
#### 4.3.4.2. Propiedades de la mezcla

Tabla 4.14. Propiedades briquetas con Zycotherm 0.1% (WMA)

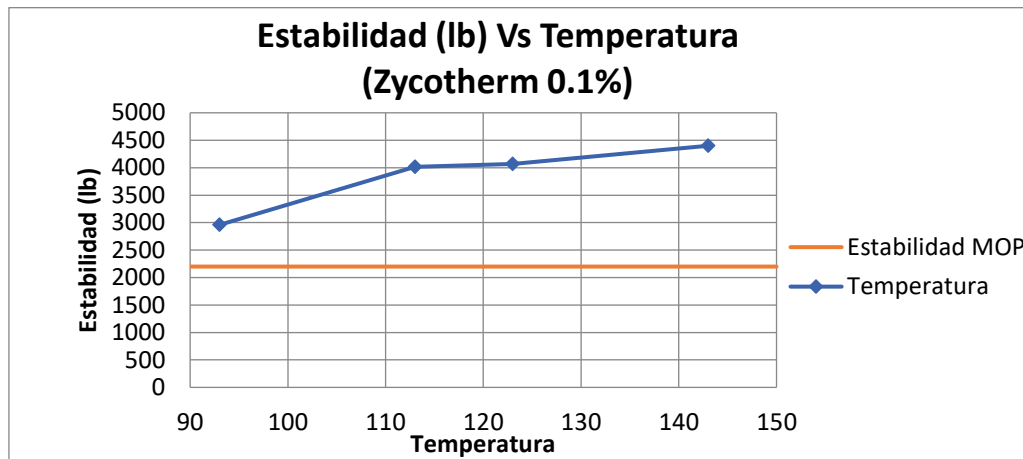
MUESTRA #	% asf.	TEMP °C	G.E. BULK	VOL CA.	VOL AG.	% VACIOS	% VAM	% EFEC.CA.	ESTABILIDAD CORREG	FLUJO 0,01"	VAF	Gmm
1			2,296						4.599	12		
2	5,70	143	2,288						4.234	10		
3			2,308						4.365	11		
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,297</b>	<b>10,90</b>	<b>84,97</b>	<b>4,13</b>	<b>15,03</b>	<b>4,78</b>	<b>4.399</b>	<b>11</b>	<b>72,53</b>	<b>2,396</b>
4			2,301						4.376	12		
5	5,70	123	2,294						3.726	11		
6			2,297						4.112	12		
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,297</b>	<b>10,90</b>	<b>84,98</b>	<b>4,11</b>	<b>15,02</b>	<b>4,78</b>	<b>4.071</b>	<b>12</b>	<b>72,61</b>	<b>2,396</b>
7			2,276						4.060	11		
8	5,70	113	2,286						4.205	12		
9			2,292						3.786	11		
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,285</b>	<b>10,84</b>	<b>84,52</b>	<b>4,64</b>	<b>15,48</b>	<b>4,78</b>	<b>4.017</b>	<b>11</b>	<b>70,02</b>	<b>2,396</b>
10			2,277						3.029	12		
11	5,70	93	2,261						2.880	11		
12			2,297						2.967	11		
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,279</b>	<b>10,81</b>	<b>84,29</b>	<b>4,90</b>	<b>15,71</b>	<b>4,78</b>	<b>2.959</b>	<b>11</b>	<b>68,82</b>	<b>2,396</b>



Gráfica 4.13. Bulk vs. T °C Compactación (Zycotherm 0.1%)



Gráfica 4.14. Vacíos vs T °C compactación (Zycotherm 0.1%)



Gráfica 4.15. Estabilidad vs Temperatura (0.1% Zycotherm)

Nota: La estabilidad mínima requerida según la MOP-001-F-2002, es de 2200 lb para tráfico muy pesado.

#### 4.3.5. Tracción indirecta

Tabla 4.15. Tracción indirecta 0.1% de Zycotherm

<b>Cálculo del TSR (Tensil Strength Ratio), Relación de Esfuerzo de Tensión:</b>	
Esfuerzo de Especímenes en seco (kPa), $(2000 \cdot P / \pi \cdot t \cdot D) =$	$S_{td}$
Esfuerzo de Especímenes en húmedo (kPa), $(2000 \cdot P'' / \pi \cdot t'' \cdot D) =$	2
<b>Promedio de Esfuerzo Especímenes en Seco</b>	<b>6.579,24</b>
<b>Promedio de Esfuerzo Especímenes en Húmedo</b>	<b>6.539,69</b>
<b>Relación de Esfuerzo de Tensión <math>S_{tm}/S_{td}</math></b>	<b>99,4%</b>

#### 4.4. Diseño Marshall #3 con aditivo Surfax TB1

Una vez que se ha concluido con el diseño original de la mezcla asfáltica y se ha obtenido como resultado un 5.7% de contenido óptimo de asfalto. Se procede con el siguiente diseño, el cual tendrá como modificador principal el aditivo Surfax TB1, manteniendo el porcentaje de asfalto antes mencionado, todo esto, con el fin de determinar cuál es la cantidad óptima de uso del modificador para los agregados de la mina en cuestión.

Vale la pena mencionar que para el análisis en este diseño se toma como punto de partida las formulaciones típicas que nos recomienda la ficha técnica del aditivo, variándolo con un punto de porcentaje por debajo y un punto de porcentaje por encima del recomendado, es decir, los datos que se presentan a continuación corresponden a un uso de 3%, 4% y 5% de SURFAX TB1 en el diseño original.

##### 4.4.1. Dimensiones de las briquetas

Tabla 4.16. Dimensiones briquetas con Surfax TB1

MUESTRA #	% asf.	% aditivo	PESOS			VOL cm <sup>3</sup>
			AIRE	AGUA	S.S.S.	
1			1195,2	680,6	1196,2	515,6
2	5,7	3,0	1194,0	680,5	1195,0	514,5
3			1192,8	680,4	1193,8	513,4
<b>PROMEDIO</b>						
4			1192,9	681,3	1194,5	513,2
5	5,7	4,0	1191,2	680,2	1192,8	512,6
6			1189,9	682,1	1190,6	508,5
<b>PROMEDIO</b>						
7			1198,7	683,5	1200,3	516,8
8	5,7	5,0	1193,0	675,4	1194,6	519,2
9			1196,2	680,4	1199,6	519,2
<b>PROMEDIO</b>						



Figura 4.4. Briquetas de mezcla asfáltica con Surfex TB1

#### 4.4.2. Resultados del ensayo Marshall

Tabla 4.17. Propiedades briquetas con Surfex TB1

MUESTRA #	% asf	% aditivo	G.E. BULK	VOL CA.	VOL AG.	% VACIOS	% VAM	% EFEC.	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO 0,01"	VAF	Gmm
1			2,318						5.232	11		
2	5,7	3,0	2,321						3.821	12		
3			2,323						4.220	11		
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,321</b>	<b>11,01</b>	<b>85,84</b>	<b>3,14</b>	<b>14,16</b>	<b>4,77</b>	<b>4.424</b>	<b>11</b>	<b>77,80</b>	<b>2,396</b>
4			2,324						4.079	13		
5	5,7	4,0	2,324						4.906	13		
6			2,340						4.297	12		
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,329</b>	<b>11,05</b>	<b>86,17</b>	<b>2,78</b>	<b>13,83</b>	<b>4,81</b>	<b>4.427</b>	<b>13</b>	<b>79,92</b>	<b>2,396</b>
7			2,319						3.902	14		
8	5,7	5,0	2,298						3.943	13		
9			2,304						4.131	14		
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,307</b>	<b>10,95</b>	<b>85,34</b>	<b>3,71</b>	<b>14,66</b>	<b>4,79</b>	<b>3.992</b>	<b>14</b>	<b>74,68</b>	<b>2,396</b>

Tabla 4.18. Ensayo RICE con Surfax TB1

Porcentaje de aditivo	3%	4%	5%
% CEMENTO ASFALTICO	5,70	5,70	5,70
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK MEZCLA AGREGADOS (Gsb)	<b>2,549</b>	<b>2,549</b>	<b>2,549</b>
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL ASFALTO (Gb.)	1,015	1,015	1,015
DATOS ENSAYO RICE:			
PESO MUESTRA EN EL AIRE (Gr)	1493,6	1494,7	1494,2
PESO FRASCO + AGUA (Gr)	7663,8	7663,8	7663,8
PESO FRASCO + AGUA + MUESTRA (Gr)	8534,7	8534,7	8534,7
VOLUMEN C.C	622,7	623,8	623,3
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA DE LA MEZCLA (Gmm)	<b>2,399</b>	<b>2,396</b>	<b>2,397</b>
GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA DE LOS AGREGADOS (Gse)	2,614	2,611	2,612
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE DE LOS AGREGADOS (Gsa)	2,672	2,672	2,672
COMPROBACION:			
Gsa > Gse > Gsb	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO (Pba)	0,99	0,94	0,96
CONTENIDO ASFALTO EFECTIVO EN MEZCLA (Pbe)	4,77	4,81	4,79

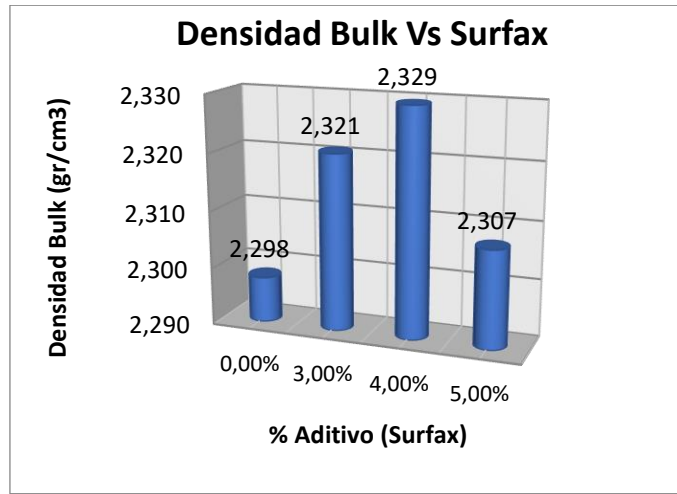


Figura 4.5. Ensayo RICE con Surfax TB1

#### 4.4.3. Gráficas del diseño

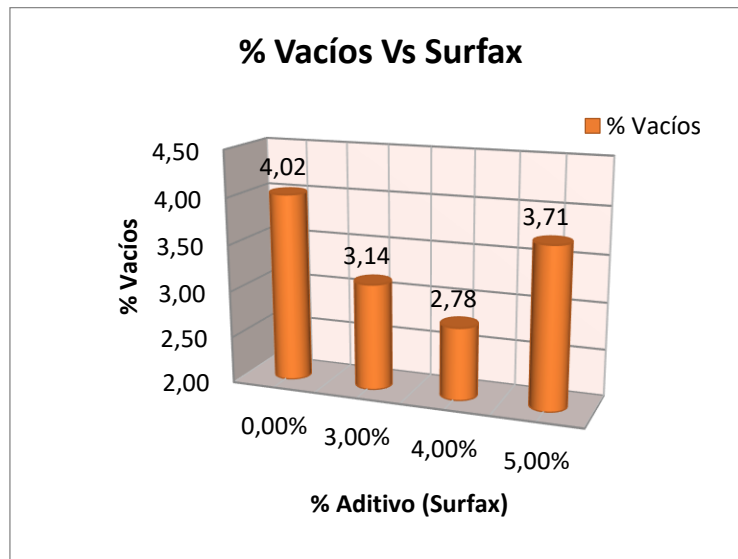
Una vez realizado el diseño de la mezcla con diferentes cantidades de aditivo SURFAX TB1 se procede a realizar un análisis de los resultados obtenidos en cuanto a las propiedades, para de esta

manera ser capaces de establecer cuál es el porcentaje de modificador recomendado acorde a los agregados utilizados en el diseño.



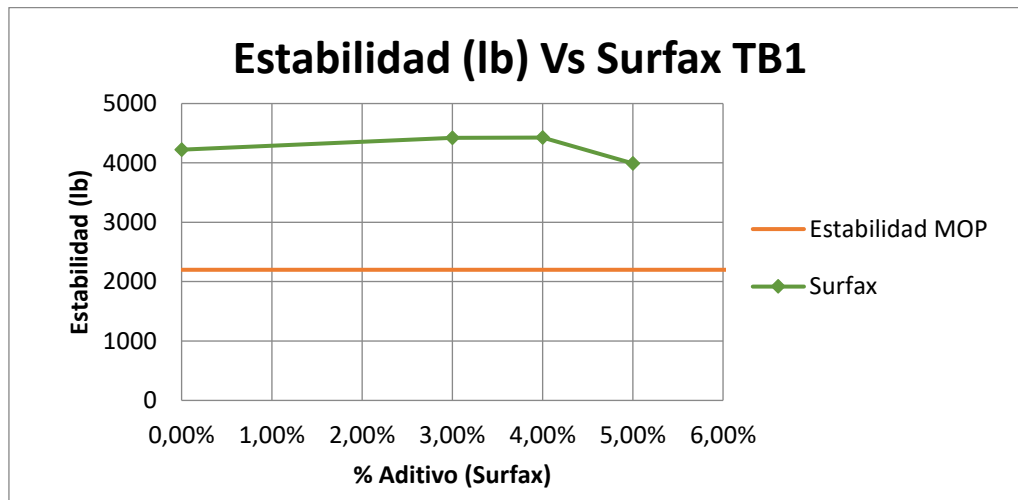
Gráfica 4.16. Densidad Bulk vs Surfax TBI

Como se logra observar en el gráfico presentado, se puede apreciar que la variación en la densidad bulk de las briquetas de asfalto vs la cantidad de aditivo utilizado, siguen la misma tendencia que cuando se varía la cantidad de asfalto, logrando alcanzar el máximo valor con un uso de 4% de SURFAX TBI.



Gráfica 4.17. % vacíos vs. Surfax TBI

Dado el gráfico anterior y debido a que esta tesis está enfocada en mezclas tibias, se puede notar que el valor más favorable en cuanto a porcentaje de vacíos se trata, se obtiene de la misma manera con el 4% de SURFAX TB1, ya que, al obtener el porcentaje más bajo, nos permitirá un mayor rango para variar la temperatura de compactación hasta que este valor de los vacíos cumpla con el rango establecido por las normas.



Gráfica 4.18. Estabilidad (lb) vs Surfax TB1

Nota: La estabilidad mínima requerida según la MOP-001-F-2002, es de 2200 lb para tráfico muy pesado.

#### 4.4.4. Mezcla asfáltica en tibio.

De acuerdo con las gráficas presentadas anteriormente se puede observar que el porcentaje de aditivo que mejor resultados y probablemente mejor desempeño presente es con el 4% de SURFAX TB1, por tanto, se puede continuar con el procedimiento utilizando dicha cantidad de aditivo.

Una vez obtenido tanto el porcentaje óptimo de asfalto, como el porcentaje adecuado de aditivo, se procede a variar las temperaturas de compactación, para conocer el rango de trabajabilidad y en el cual se mantengan las propiedades dentro de los estándares requeridos.

#### 4.4.4.1. Dimensiones de las briquetas

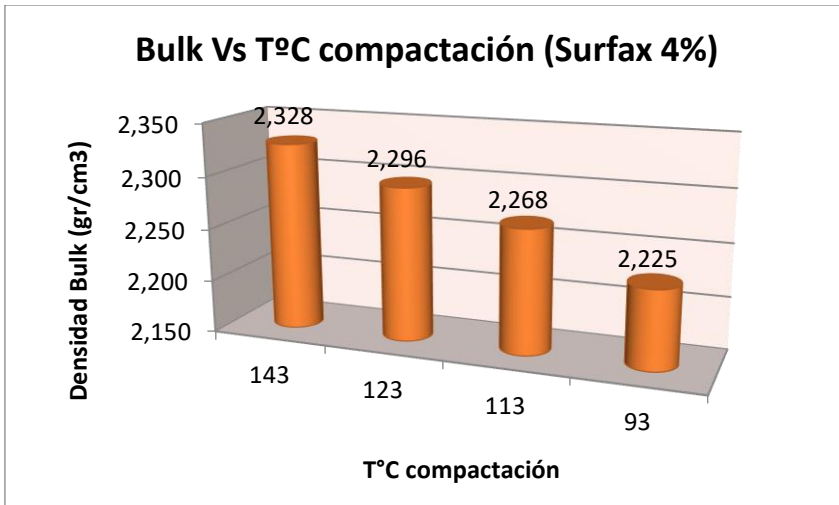
Tabla 4.19. Dimensiones briquetas con Surfax TBI 4% (WMA)

MUESTRA #	% asf.	TEMP °C	PESOS			VOL cm <sup>3</sup>	G.E. BULK
			AIRE	AGUA	S.S.S.		
1			1186,5	675,0	1187,3	512,3	2,316
2	5,70	143	1199,1	685,5	1199,7	514,2	2,332
3			1191,1	682,0	1191,6	509,6	2,337
<b>PROMEDIO</b>							<b>2,328</b>
4			1192,9	675,7	1194,2	518,5	2,301
5	5,70	123	1193,0	672,6	1196,0	523,4	2,279
6			1194,7	678,1	1195,9	517,8	2,307
<b>PROMEDIO</b>							<b>2,296</b>
7			1197,4	672,8	1198,6	525,8	2,277
8	5,70	113	1197,1	674,0	1199,3	525,3	2,279
9			1188,3	664,4	1193,3	528,9	2,247
<b>PROMEDIO</b>							<b>2,268</b>
10			1190,8	665,0	1193,3	528,3	2,254
11	5,70	93	1187,8	662,0	1191,4	529,4	2,244
12			1206,0	654,0	1208,1	554,1	2,177
<b>PROMEDIO</b>							<b>2,225</b>

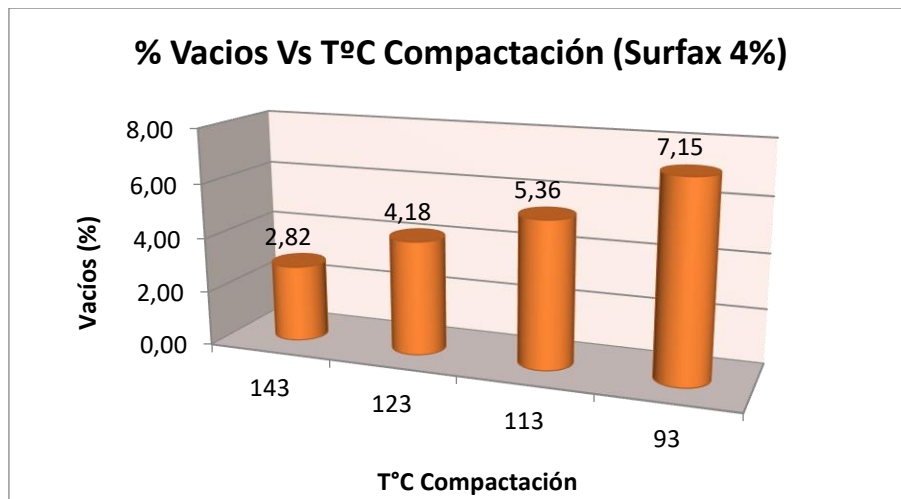
#### 4.4.4.2. Propiedades de la mezcla

Tabla 4.20. Propiedades briquetas con Surfax TBI 4% (WMA)

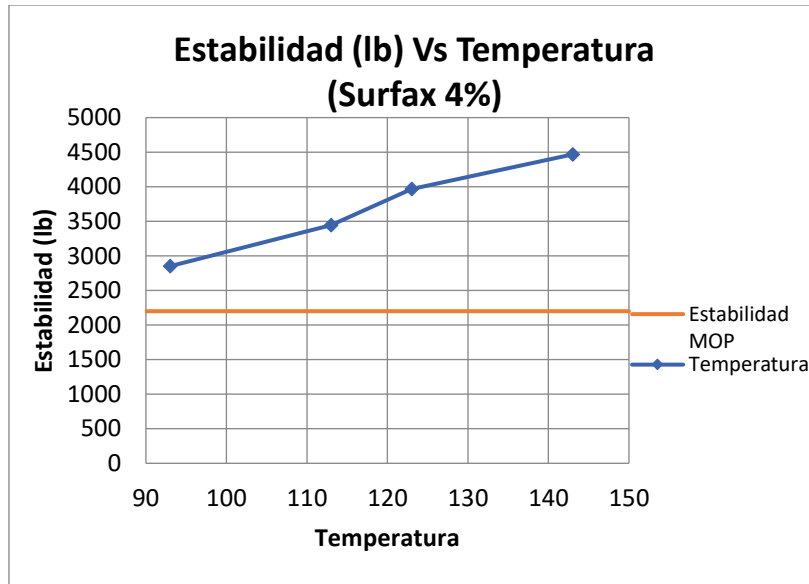
MUESTRA #	% Asf.	TEMP °C	G.E. BULK	VOL CA.	VOL AG.	% VACIOS	% VAM	% EFEC.	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO 0,01"	VAF	Gmm
1			2,316						4.285	10		
2	5,70	143	2,332						4.160	12		
3			2,337						4.960	12		
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,328</b>	<b>11,05</b>	<b>86,13</b>	<b>2,82</b>	<b>13,87</b>	<b>4,81</b>	<b>4.468</b>	<b>11</b>	<b>79,67</b>	<b>2,396</b>
4			2,301						3.954	12		
5	5,70	123	2,279						3.607	12		
6			2,307						4.341	12		
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,296</b>	<b>10,89</b>	<b>84,92</b>	<b>4,18</b>	<b>15,08</b>	<b>4,81</b>	<b>3.967</b>	<b>12</b>	<b>72,25</b>	<b>2,396</b>
7			2,277						3.392	11		
8	5,70	113	2,279						3.766	11		
9			2,247						3.173	11		
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,268</b>	<b>10,76</b>	<b>83,88</b>	<b>5,36</b>	<b>16,12</b>	<b>4,81</b>	<b>3.444</b>	<b>11</b>	<b>66,76</b>	<b>2,396</b>
10			2,254						3.017	11		
11	5,70	93	2,244						2.697	11		
12			2,177						2.840	10		
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,225</b>	<b>10,56</b>	<b>82,29</b>	<b>7,15</b>	<b>17,71</b>	<b>4,81</b>	<b>2.851</b>	<b>11</b>	<b>59,63</b>	<b>2,396</b>



Gráfica 4.19. Bulk vs T °C Compactación (Surfax TBI 4%)



Gráfica 4.20. % vacíos vs T °C Compactación (Surfax TBI 4%)



Gráfica 4.21. Estabilidad vs Temperatura (4% Surfax)

Nota: La estabilidad mínima requerida según la MOP-001-F-2002, es de 2200 lb para tráfico muy pesado.

#### 4.4.5. Tracción indirecta

<b>Cálculo del TSR (Tensil Strength Ratio), Relación de Esfuerzo de Tensión:</b>	
Esfuerzo de Especímenes en seco (kPa), $(2000 \cdot P / \pi \cdot t \cdot D) =$	$S_{td}$
Esfuerzo de Especímenes en húmedo (kPa), $(2000 \cdot P' / \pi \cdot t' \cdot D) =$	2
<b>Promedio de Esfuerzo Especímenes en Seco</b>	<b>6.677,44</b>
<b>Promedio de Esfuerzo Especímenes en Húmedo</b>	<b>6.532,69</b>
<b>Relación de Esfuerzo de Tensión <math>S_{tm}/S_{td}</math></b>	<b>97,8%</b>

#### 4.5. Análisis económico

Como en todo proyecto que se realice, uno de los factores más importantes que se debe tener en cuenta, es el aspecto económico vs las ventajas que presenta cada uno de los diseños expuestos en el trabajo realizado.

Actualmente, en el Ecuador se puede conseguir el ligante asfáltico AC-20 a 0,30 \$/kg proveniente de la refinería de Esmeraldas; a su vez, se puede conseguir en el mercado el aditivo Zycotherm de la casa BREM establecida, a un precio de 34,50 \$/kg, por otra parte, el aditivo Surfax TB1, producido en la ciudad de México, tiene un valor de 2,50 \$/kg, por lo cual se debería

tomar en cuenta a futuro los gastos adicionales de importación dependiendo el impacto que este producto tenga en el mercado.

Para el análisis económico, se toma en cuenta el diseño de una carpeta asfáltica de 3” de grosor, por tanto, los costos que se indican a continuación representan el valor de cada m<sup>2</sup> de superficie de mezcla asfáltica de características similares entre sí.

*Tabla 4.21. Comparación de precios entre mezclas asfálticas*

DESCRIPCIÓN	VALOR (\$/m <sup>2</sup> )
Mezcla asfáltica sin aditivo a 163°C de compactación	4,87
Mezcla asfáltica con 0,1% de Zycotherm a 143°C de compactación	4,84
Mezcla asfáltica con 4% de Surfax TB1 a 123°C de compactación	5,49

Se refiere a mezclas asfálticas con características similares, cuando se habla de que se ha logrado obtener con dichos precios referenciales diseños que rondan o se acercan de mejor manera en aspectos, como: densidades bulk, cantidad de vacíos (VA), estabilidad satisfactoria, flujo y vacíos llenos de asfalto (VAF).

*Tabla 4.22. Diseños con características similares*

DESCRIPCIÓN	Densidad Bulk	% de Vacíos	Estabilidad	Flujo	VAF
Diseño con original a 163 °C	2.299	4.04	4223	11	73
Diseño con 0.1% Zycotherm a 148 °C	2.297	4.13	4399	11	72.5
Diseño con 4% Surfax a 123 °C	2.296	4.18	3967	12	72.25

En cuanto a las ventajas del uso de cualquiera de los aditivos estudiados, se puede afirmar que existe un ahorro entre el 0.4% y 0.6% de contenido de asfalto, reducción en el consumo de combustible, disminución en la temperatura de mezcla y compactación; lo cual dará como resultado un proceso más limpio, con menos emisión de gases de efecto invernadero y más

eficiencia para la maquinaria y el personal encargado. Tomando en cuenta que el asfalto en cualquiera de los dos casos mejorará sus propiedades.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Los materiales pétreos provenientes de la mina Mulaló, provincia de Cotopaxi, propiedad del ingeniero Luis Herrera, presentan características físico-mecánicas satisfactorias para su uso en mezclas asfálticas, cumpliendo con cada uno de los estándares establecidos por el Ministerio de Obras Públicas; además, no hay presencia de partículas alargadas y con el 100% de caras fracturadas, lo cual ayuda a una mejor rigidez del material dentro de la estructura y mejor adherencia del ligante asfáltico.

Tabla 5.1. Tabla resumen caracterización de áridos

ENSAYO	NORMA	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN	VERIFICACIÓN
<b>Desgaste de ag. gruesos maq. de los ángeles</b>	INEN 860 - 861	22.76	Menor a 40 %	CUMPLE
<b>Eq. de arena</b>	ASTM D-2419	77,24	Mayor a 50	CUMPLE
<b>Desgaste por acción de los sulfatos ag. fino</b>	INEN 863	5.80%	Máx. 12%	CUMPLE
<b>Desgaste por acción de los sulfatos ag. grueso</b>	INEN 863	1.60%	Máx. 12%	CUMPLE
<b>Partículas Alargadas</b>	ASTM D-4791	0%	ND	CUMPLE
<b>Caras Fracturadas A. Grueso</b>	ASTM D-5821	100%	ND	CUMPLE
<b>Deletéreos A. Fino</b>	INEN 698	0.10%	ND	CUMPLE
<b>Deletéreos A. Grueso</b>	INEN 698	0.01%	ND	CUMPLE
<b>G.S. Agregado grueso</b>	INEN 857	2.531	ND	CUMPLE
<b>G.S. Agregado Fino</b>	INEN 856	2.565	ND	CUMPLE
<b>G.S Agr. Pasante 200</b>	INEN 856	2.637	ND	CUMPLE

- La muestra del cemento asfáltico AC-20 analizado y que es producido por la refinería de Esmeraldas, no cumple con las características establecidas por la norma NTE INEN 2515 al residuo RTFO.

Tabla 5.2. Tabla resumen asfalto original envejecido

ENSAYO	NORMA	LIMITES		U	RESULTADO OBTENIDO	VERIFICACIÓN
		MIN	MAX			
Viscosidad a 60°C	AASHTO T316	---	800	Pa*s	1480	NO CUMPLE
Penetración	ASTM D5 / ASTM D5M	54	---	% de penetración original	58,57	CUMPLE
Ductilidad a 25°C	ASTM D113	50	---	cm	32	NO CUMPLE
Cambio de masa RTFO	ASTM D2872	---	1,00	%	0,27	CUMPLE

- Al usar el aditivo Zycotherm como modificador de cemento asfáltico, se evidencia que no altera significativamente las propiedades de este, dando como resultado un comportamiento similar al residuo RTFO original; es decir, que también se obtiene resultados negativos frente a los requerimientos de la MOP-001-F-2002.

Tabla 5.3. Tabla resumen asfalto envejecido + 0.1% Zycotherm

ENSAYO	NORMA	LIMITES		U	RESULTADO OBTENIDO	VERIFICACIÓN
		MIN	MAX			
Viscosidad a 60°C	AASHTO T316	---	800	Pa*s	1310	NO CUMPLE
Penetración	ASTM D5 / ASTM D5M	54	---	% de penetración original	57,14	CUMPLE
Ductilidad a 25°C	ASTM D113	50	---	cm	22	NO CUMPLE
Cambio de masa RTFO	ASTM D2872	---	1,00	%	0,36	CUMPLE

- El aditivo Surfax TB1 modifica las características del asfalto AC-20, disminuyendo notablemente su viscosidad, aumentando su penetración y la ductilidad. Los resultados que se obtuvieron en los ensayos al residuo después del proceso de envejecimiento ayudaron al cumplimiento de las especificaciones de la norma NTE INEN 2515.

Tabla 5.4. Tabla resumen asfalto envejecido + 4% Surfax TB1

ENSAYO	NORMA	LIMITES		U	RESULTADO OBTENIDO	VERIFICACIÓN
		MIN	MAX			
Viscosidad a 60°C	AASHTO T316	---	800	Pa*s	342	CUMPLE
Penetración	ASTM D5 / D5M	54	---	% de penetración original	66,66	CUMPLE
Ductilidad a 25°C	ASTM D113	50	---	cm	55	CUMPLE
Cambio de masa RTFO	ASTM D2872	---	1,00	%	0,54	CUMPLE

- El porcentaje óptimo de asfalto encontrado, para que la mezcla cumpla con el porcentaje de vacíos de 4% y con el resto de sus propiedades, se determinó que es de 5.70%, compactado a una temperatura de 163 °C. Como información adicional, se encontró que se puede variar la temperatura de compactación hasta un mínimo de 143 °C, obteniendo propiedades que se encuentran al límite de los rangos establecidos.
- Se aditivó al asfalto con distintas proporciones de Zycotherm y Surfax TB1, estableciendo como los más favorables para la mezcla el 0.1% y 4%, respectivamente; decisión basada en los porcentajes de vacíos y densidades Bulk, principalmente. Para este caso de estudio,

los porcentajes de aditivos coinciden con las recomendaciones proporcionadas en las fichas técnicas de cada fabricante.

- Con el porcentaje óptimo de asfalto y de aditivos escogidos, se realizó tres briquetas a cuatro diferentes temperaturas: 143 °C, 123 °C, 113 °C y 93 °C, encontrando que el Zycotherm logra mantener todas las propiedades requeridas en el rango de temperaturas antes mencionadas; por el contrario, con el aditivo Surfax TB1, solo se cumple los requerimientos a una temperatura de 123 °C.
- Al realizar el análisis económico, se toma en cuenta diseños que presenten propiedades similares; en este caso, se puede observar que en el aditivo Zycotherm, existe un ahorro de alrededor de 0.03 \$/m<sup>2</sup>, una disminución de 0.4% de asfalto, también una reducción en la energía producida por la maquinaria, rebajando el consumo de combustible y desgaste en sus componentes al trabajar con menos temperatura; en cambio con el uso del aditivo Surfax TB1, incluso reduciendo hasta 40 °C la temperatura de compactación y hasta un 0.6% el contenido de asfalto, se obtiene un incremento de precio de 0.62 \$/m<sup>2</sup>.

*Tabla 5.5. comparación de precios entre mezclas asfálticas*

DESCRIPCIÓN	VALOR (\$/m <sup>2</sup> )
Mezcla asfáltica sin aditivo a 163°C de compactación	4,87
Mezcla asfáltica con 0,1% de Zycotherm a 143°C de compactación	4,84
Mezcla asfáltica con 4% de Surfax TB1 a 123°C de compactación	5,49

- En el uso del aditivo Surfax TB1, la trabajabilidad y la vida útil de la estructura mejorará notablemente en comparación a los otros diseños, ya que aumenta la calidad del ligante asfáltico 5 y 2.7 veces, en viscosidad y ductilidad, respectivamente, frente al asfalto original; por otra parte, mejora la calidad 4.6 veces en viscosidad y 2.2 veces en ductilidad, con respecto al Zycotherm; reflejando el verdadero ahorro a largo plazo.

Tabla 5.6. Comparación Surfax TB1 frente a otros diseños

DESCRIPCIÓN	ASFALTO ORIGINAL	ASFALTO + 0.1% ZYCOTHERM	ASFALTO + 4% SURFAX
Viscosidad a 60 °C	1480 Pa*s	1300 Pa*s	280 Pa*s
Ductilidad	32 cm	40 cm	88cm

- Cualquiera de los tres diseños tendrá un buen desempeño frente a las afectaciones ocasionadas por el agua, debido a que todas cumplen con las especificaciones MOP-001-F-2002, la cual establece que la relación de esfuerzo de tensión debe ser mayor o igual al 80%, lo que indica la calidad del proceso constructivo de la capa asfáltica. Sin embargo, se obtiene los mejores resultados con el uso de aditivos.

Tabla 5.7. Comparativo esfuerzo de tensión.

ESFUERZO DE TENSION (TSR)	RESULTADO (%)
Sin Aditivo	95,2
Zycotherm al 0,1%	99,4
Surfax TB1 al 4%	97,8

## 5.2. Recomendaciones

- Utilizar los dos aditivos en cualquiera de los casos, debido a que ambos presentan ventajas significativas con relación a los diseños con asfalto original.
- Usar el aditivo Surfax TB1 en cuanto al cumplimiento de requerimientos, estándares de calidad del cemento asfáltico y durabilidad de la estructura, ya que éste modifica las propiedades del asfalto y logra mejores características al residuo RTFO, evitando el envejecimiento prematuro de la muestra y, por tanto, un mejor desempeño a lo largo de su vida útil.
- Considerar el uso del Zycotherm, si bien éste no modifica las propiedades del asfalto, nos permite reducir las temperaturas en mayor proporción, tanto de mezclado como de compactación con respecto a los otros diseños, logrando evitar el envejecimiento del asfalto; a su vez, mejora la adherencia entre el agregado y el asfalto evitando los daños que ejerce el agua en la estructura.
- No utilizar el aditivo Surfax TB1 a temperaturas mayores ni menores a 123 °C, a menos que se varíe el contenido de 5,7% de asfalto; debido a que presenta un porcentaje de vacíos y VAF fuera del rango establecido, lo cual podría producir deformaciones permanentes en la estructura.

## BIBLIOGRAFÍA

- Avendaño Salazar, K., & López Ayala, P. (2017). *Construcción de curvas maestras mediante la caracterización de mezclas asfálticas en caliente obteniendo el módulo dinámico de: plantas asfálticas dentro de la provincia de Imbabura (Tesis de Pregrado)*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Bustillo Revuelta, M., Durán López, A., & Fueyo Casado, L. (2014). *Manual de Áridos*. Madrid: Fueyo Editores.
- E - Asphalt. (2001). *La modificación del asfalto*. Buenos Aires: E - Asphalt. Obtenido de <http://e-asfalto.com/>
- Frenesqui, M. (2009). Tecnologías e investigación en mezclas asfálticas de baja temperatura. *Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente*(185), 16-23.
- Grupo Surfax. (2015). *Surfax TB-1 Ficha Técnica*. Zapopan- México: Surfax S.A. de C.V. Obtenido de [http://www.surfax.com.mx/new\\_site/](http://www.surfax.com.mx/new_site/)
- INEN, N. T. (2010). *NTE INEN 863: 2010 Áridos. Determinación de la solidez de áridos mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio*.
- INEN, N. T. (2011). *NTE INEN 860: 2011 Áridos. 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*.
- Maila Paucar, M. (2013). *Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA) (Tesis de Pregrado)*. Quito: Universidad Central del Ecuador.

- Marcozzi, R., & Morea, F. (2011). Mezclas asfálticas semicalientes elaboradas con aditivos tensoactivos. Estudios comparativos del comportamiento mecánico respecto a las mezclas en caliente convencionales. *Ciencia y Tecnología de los Materiales*.
- Méndez González, G., Morán Gutiérrez, J., & Pineda Ramos, L. (2014). *Diseño de mezcla asfáltica tibia, mediante la metodología Marshall, utilizando asfalto espumado (Tesis de Pregado)*. Ciudad Universitaria: Universidad de El Salvador.
- Merizalde Andrade, C. (2017). *Evaluación del daño por humedad en mezclas asfálticas finas mediante pruebas triaxiales y de corte directo (Tesis de pregrado)*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Minaya González, S., & Ordóñez Huamán, A. (2001). *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos volumen I*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Minaya González, S., & Ordóñez Huamán, A. (2006). *Diseño moderno de pavimentos asfálticos*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicación [MOP]. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. Quito.
- Optimasoil Nanotecnología para su Negocio. (2016). *Zycotherm Ficha Técnica*. Madrid: Optimasoil, Nanotecnología para su Negocio. Obtenido de <http://www.optimasoil.com/>
- Padilla Rodríguez, A. (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista (Tesis de Pregrado)*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Reyes Lizcano, F., & Rondón Quintana, H. (2015). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño*. Bogotá: Ecoe Ediciones.

- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2004). *Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas*. Querétaro-México: Instituto Mexicano del Transporte.
- Secretaria de Comunicaciones y Transportes. (2014). *Guía de procedimientos y técnicas para la conservación de carreteras en México 2014*. México DF: Instituto Mexicano del Transporte.
- Sharanappanavar, M. (2016). Study on Behavior of Warm Mix Asphalt Using Zycotherm. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5(10). Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/0a8c/4d2ba8ccd10713962dba57d5f780053d356a.pdf>
- Tanimoto Moreno, R. (2018). *Envejecimiento de mezclas asfálticas, en condiciones de laboratorio (Tesis de Pregrado)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

## ANEXOS

### *Anexo 1. Ubicación del proyecto*

#### Mina Mulaló



0° 54' 26.5" S 78° 37' 49.5" W

## Refinería de Esmeraldas



0°55'37.1"N 79°41'29.5"W

Anexo 2. Ensayo de gradación mediante la máquina de los ángeles

	<b>ENSAYO DE DEGRADACIÓN DE AGREGADOS GRUESOS MEDIANTE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES</b>	Código : FO-023-07 Versión : 00 Fecha :
Elaborado por: Coordinador Control Calidad		Aprobado por: Gerente Técnico

**PROYECTO:** \_\_\_\_\_  
**LOCALIZACION:** \_\_\_\_\_  
**FECHA:** \_\_\_\_\_  
**MUESTRA:** Arido Grueso Mina Mulalo  
**NORMA:** INEN 860

**CONTRATISTA:** \_\_\_\_\_  
**FISCALIZA:** \_\_\_\_\_  
**ABSCISA:** \_\_\_\_\_  
**YACIMIENTO:** Mina Mulaló  
**LABORATORIO:** Planta de Emulsión

RESULTADOS:	
GRADACIÓN TIPO:	<b>B</b>
MASA INICIAL (g):	5002,3
Retenido Tamiz No. 12 después de 500 revoluciones (g):	3864,0
PÉRDIDA DE LAS 500 REVOLUCIONES (g)	1138,3
<b>% PÉRDIDA DE LAS 500 REVOLUCIONES :</b>	<b>23</b>

ENSAYADO POR:

REVISADO POR:

---



---



---

Anexo 3. Sulfatos

<b>SOLIDEZ DE LOS ARIDOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO</b>		Código : FO-023-08 Versión : 00 Fecha :
Elaborado por: Coordinador Control Calidad		Aprobado por: Gerente Técnico

OBRA: Testis PUCE  
 LOCALIZACION:  
 MUESTRA: Agregados gruesos y finos  
 DESCRIPCION: Aridos Mina Mulaló  
 NORMA: INEN 863  
 TIPO DE SOLUCION: Sulfato de magnesio

FECHA:  
 SOLICITADO POR:  
 FISCALIZACION:  
 CONTRATISTA:  
 HOJA: 1 de 1

Tamaño de las aberturas del tamiz			Gradación de la muestra original (%)	Masa de las fracciones de ensayo, antes del ensayo (g)	Masa de las fracciones de ensayo, después del ensayo (g)	Porcentaje que pasa el tamiz designado luego del ensayo (%)	Porcentaje ponderado de pérdida (%)
<b>ENSAYO DE DESEMPEÑO DEL ÁRIDO FINO</b>							
Menor a 150µm			16,87	-	-	-	-
de 300µm a 150µm			7,36	-	-	-	-
de 600µm a 300µm			8,86	100,2	95,8	4,4	0,4
de 1,18mm a 600µm			9,20	100,0	89,3	10,7	1,0
de 2,36mm a 1,18mm			12,16	100,2	91,8	8,4	1,0
de 4,75mm a 2,36mm			16,79	100,3	93,1	7,2	1,2
de 9,5mm a 4,75mm			28,76	100,2	92,7	7,5	2,2
<b>Totales</b>			<b>100,00</b>				<b>5,8</b>
<b>ENSAYO DE DESEMPEÑO DEL ÁRIDO GRUESO</b>							
63mm a 50mm	63mm a 37,5mm						
50mm a 37,5mm							
37,5mm a 25,0mm	37,5mm a 19,0mm		1,09				
25,0mm a 19,0mm							
19,0mm a 12,5mm	19,0mm a 9,5mm	674,5 g	82,37	1006,1 g	988,1 g	1,8	1,5
12,5mm a 9,5mm		331,6 g					
9,5mm a 4,75mm	9,5mm a 4,75mm	302 g	16,54	302 g	299,3 g	0,9	0,1
<b>Totales</b>			<b>100,00</b>	-		-	<b>1,6</b>

Anexo 4. Ensayo de partículas planas y alargadas

<b>DETERMINACION DE PARTICULAS ALARGADAS Y ATACHADAS</b>		Código : FO-023-22 Versión : 00 Fecha :
Elaborado por: Coordinador Control Calidad		Aprobado por: Gerente Técnico

OBRA: Tesis PUCE  
LOCALIZACION:  
MUESTRA: Agregado grueso Mulaló  
DESCRIPCION:  
NORMA: ASTM D 4791

FECHA:  
SOLICITADO POR:  
FISCALIZACION:  
CONTRATISTA:  
HOJA: 1 de 1

**PARTÍCULAS ALARGADAS**

Nº DEL TAMIZ		% RETENIDO PARCIAL DEL AGREGADO	Nº DE PARTICULAS EN CADA FRACCIÓN ANTES DEL ENSAYO	Nº DE PARTICULAS ALARGADAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTICULAS ALARGADAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTICULAS ALARGADAS EN CADA FRACCIÓN
PASA	RETIENE					
2"	1½"					
1½"	1"					
1"	¾"	1,1	100	0	0	0,00
¾"	½"	47,76	100	0	0	0,00
½"	3/8"	34,61	100	0	0	0,00
3/8"	Nº 4	16,54	100	0	0	0,00
<b>PORCENTAJE TOTAL DE PARTICULAS ALARGADAS</b>						<b>0,00</b>

**PARTÍCULAS PLANAS**

Nº DEL TAMIZ		% RETENIDO PARCIAL DEL AGREGADO	Nº DE PARTICULAS EN CADA FRACCIÓN ANTES DEL ENSAYO	Nº DE PARTICULAS PLANAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTICULAS PLANAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTICULAS PLANAS
PASA	RETIENE					
2"	1½"					
1½"	1"					
1"	¾"	1,1	100	0	0	0,00
¾"	½"	47,76	100	0	0	0,00
½"	3/8"	34,61	100	0	0	0,00
3/8"	Nº 4	16,54	100	0	0	0,00
<b>PORCENTAJE TOTAL DE PARTICULAS PLANAS</b>						<b>0,00</b>

**PARTÍCULAS ALARGADAS Y PLANAS**

Nº DEL TAMIZ		% RETENIDO PARCIAL DEL AGREGADO	Nº DE PARTICULAS EN CADA FRACCIÓN ANTES DEL ENSAYO	Nº DE PARTICULAS ALARGADAS Y PLANAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTICULAS ALARGADAS Y PLANAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTICULAS ALARGADAS Y PLANAS
PASA	RETIENE					
2"	1½"					
1½"	1"					
1"	¾"	1,1	100	0	0	0,00
¾"	½"	47,76	100	0	0	0,00
½"	3/8"	34,61	100	0	0	0,00
3/8"	Nº 4	16,54	100	0	0	0,00
<b>PORCENTAJE TOTAL DE PARTICULAS ALARGADAS Y PLANAS</b>						<b>0,00</b>

ENSAYADO POR:

REVISADO POR:

Anexo 5. Ensayo equivalente de arena

	<b>ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA</b>	Código : FO-023-03 Versión : 00 Fecha :
Elaborado por: Coordinador Control Calidad		Aprobado por: Gerente Técnico

OBRA: TESIS LOCALIZACION: _____ DESCRIPCION: <u>Aridos Finos Mulaló</u> NORMA: <u>ASTM D 2419/AAHSTO T 176</u>	FECHA: _____ SOLICITADO POR: _____ CALCULADO POR: _____ HOJA: <u>1 de 1</u>
---	--

MUESTRA No.	LECTURA DE ARCILLA (Pulg)	LECTURA DE ARENA (Pulg)	EQUIVALENTE DE ARENA (%)
1	5,30	4,10	77
2	5,50	4,20	76
3	5,00	3,90	78
PROMEDIO			77

ENSAYADO POR:

REVISADO POR:

Anexo 6. Ensayo caras fracturadas

<b>DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS</b>		Código : FO-023-24 Versión : 00 Fecha :
Elaborado por: Coordinador Control Calidad		Aprobado por: Gerente Técnico

OBRA: Tesis PUCE

FECHA:

LOCALIZACION:

SOLICITADO POR:

MUESTRA: Agregado grueso Mulaló

FISCALIZACION:

DESCRIPCION: Aridos diseño PUCE

CONTRATISTA:

NORMA: ASTM D 5821

HOJA: 1 de 1

TOTAL DE AGREGADO CON UNA CARA FRACTURADA (%)

TAMIZ		Peso Muestra (g)	Peso material con caras fracturadas (g)	Material con caras fracturadas (%)	Granulometría (%) retenido	Promedio de caras fracturadas (%)
PASA	RETIENE					
1"	3/4"	100	100	100%	1,10%	1%
3/4"	1/2"	100	100	100%	47,76%	48%
1/2"	3/8"	100	100	100%	34,61%	35%
3/8"	Nº 4	100	100	100%	16,54%	17%
PORCENTAJE DE PARTÍCULAS CON UNA CARA FRACTURADA (%) =						100%

TOTAL DE AGREGADO CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS (%)

TAMIZ		Peso Muestra (g)	Peso material con caras fracturadas (g)	Material con caras fracturadas (%)	Granulometría (%) retenido	Promedio de caras fracturadas (%)
PASA	RETIENE					
1"	3/4"	100	100	100%	1,10%	1%
3/4"	1/2"	100	100	100%	47,76%	48%
1/2"	3/8"	100	100	100%	34,61%	35%
3/8"	Nº 4	100	100	100%	16,54%	17%
PORCENTAJE DE PARTÍCULAS CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS (%) =						100%

<b>RESULTADOS</b>	CON UNA O MÁS CARAS DE FRACTURA	100%
	CON DOS CARAS FRACTURADAS	100%

ENSAYADO POR:

REVISADO POR:

Anexo 7. Ensayo de deletéreos

<b>DETERMINACION DE CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DESMENUZABLES (DELETEREOS)</b>		Código : PD-023-19 Versión : 00 Fecha :
Elaborado por: Coordinador Control Calidad		Aprobado por: Gerente Técnico

OBRA: Tesis PUCE  
LOCALIZACION:  
MUESTRA: Agregado Mulaló  
DESCRIPCION: Aridos Diseño PUCE  
NORMA: INEN 698

FECHA:  
SOLICITADO POR:  
FISCALIZACION:  
CONTRATISTA:  
HOJA: 1 de 1

**AGREGADO FINO**

TAMIZ		Peso Inicial lavado seco (g)	Peso Final lavado seco (g)	Peso perdido (g)	% Terrones arcilla y Partículas Friables
PASA	RETIENE				
Nº - 4	Nº - 8	48,5	97,60	0,1	0,10%
Nº - 8	Nº - 16	49,2			
<b>PORCENTAJE DE PARTICULAS FRIABLES EN AGREGADO FINO</b>					<b>0,10%</b>

**AGREGADO GRUESO**

TAMIZ		Peso Inicial lavado seco (g)	Peso Final lavado seco (g)	Peso perdido (g)	Gradación de la muestra original (g)	% Terrones arcilla y Partículas Friables	Porcentaje Ponderado (%)
PASA	RETIENE						
> 1½							
1½	¾"	3002,0	2980,8	21,2	1%	0,71%	0,00%
¾"	3/8"	2000,0	1974,8	25,2	82%	1,26%	0,01%
3/8"	Nº - 4	1000,0	969,5	30,5	14%	3,05%	0,00%
<b>PORCENTAJE DE PARTICULAS FRIABLES EN AGREGADO GRUESO</b>							<b>0,01%</b>

Anexo 8. Ensayo de gradación Ag. Grueso

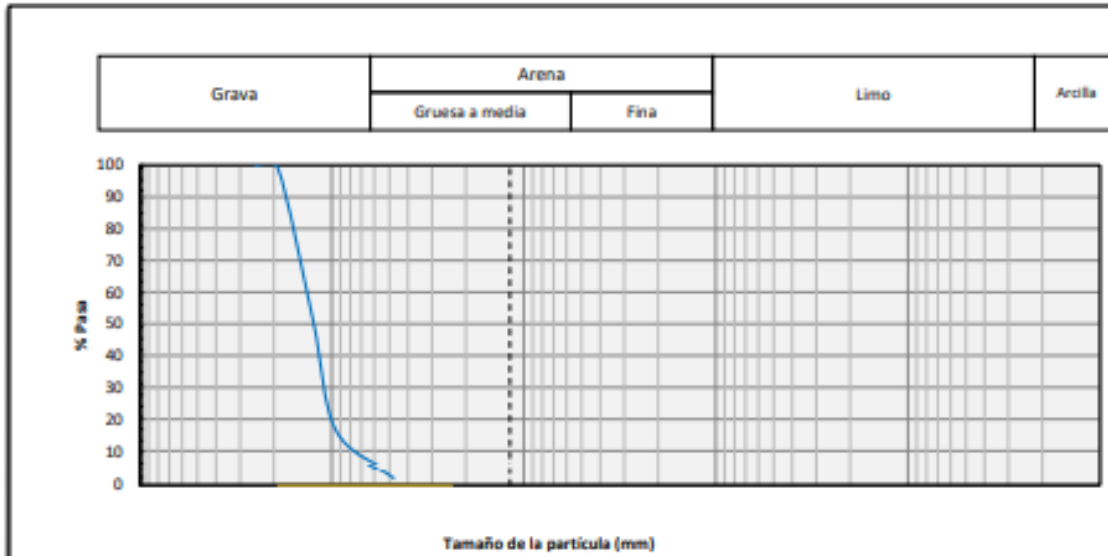
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO EN LOS ARIDOS, FINO Y GRUESO</b>		Código: FO-02-05 Versión: 00 Fecha: 14/10/2012
Elaborado por: Coordinador Control Calidad		Aprobado por: Gerente Técnico

OBRA:  
LOCALIZACION:  
MUESTRA:  
DESCRIPCION:  
NORMA: INEN 696/697

FECHA:  
SOLICITADO POR:  
FISCALIZACION:  
CONTRATISTA: HERDOIZA CRESPO S.A  
PERIODO: ene-00

**DATOS GRANULOMETRÍA**

TAMIZ		PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO
(pulg)	(mm)					
4"	100	-	-	-	-	-
3"	75	-	-	-	-	-
2 3/4"	63	-	-	-	-	-
2"	50	-	-	-	-	-
1 1/2"	37,5	-	-	-	-	-
1"	25,0	0	0	0,00	100,00	-
3/4"	19,0	470	470	1,1	98,91	-
1/2"	12,5	20.658	21.128	48,9	51,15	-
3/8"	9,5	14.965	36.093	83,5	16,54	-
N°4	4,75	6.212,5	42.305,8	97,8	2,18	-
N°8	2,4	-	-	-	-	-
N°16	1,2	-	-	-	-	-
N°30	0,600	-	-	-	-	-
N°50	0,297	-	-	-	-	-
N°100	0,150	-	-	-	-	-
N°200	0,075	-	-	-	-	-
PASA N°200	0,075	-	-	-	-	-
TOTAL		43.246,5				
Modulo de finura						



Anexo 9. Ensayo gradación arena triturada

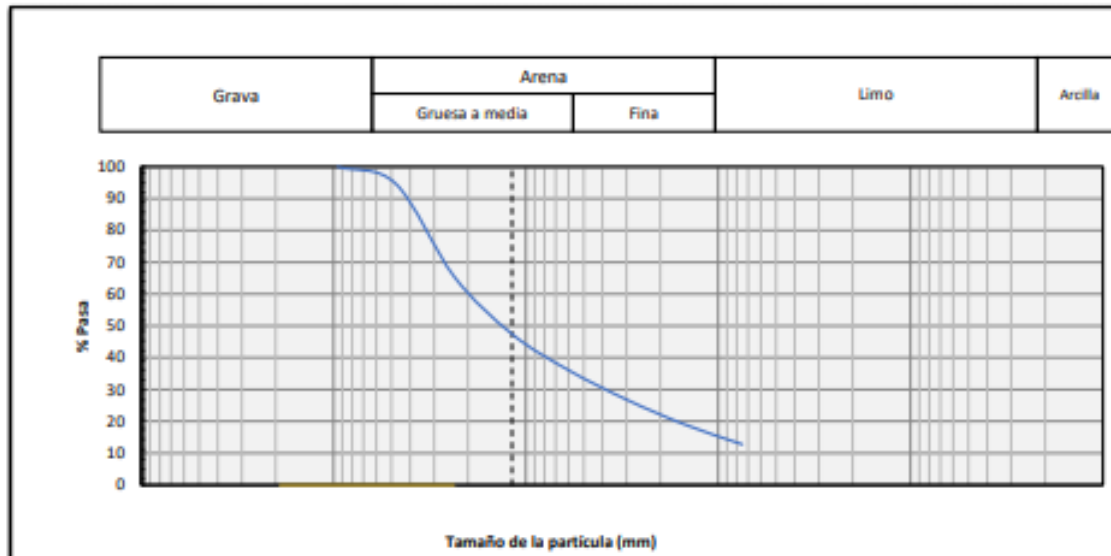
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO EN LOS ARIDOS, FINO Y GRUESO</b>		Código : FO-023-05 Versión : 00 Fecha : 14/10/2012
Elaborado por: Coordinador Control Calidad		Aprobado por: Gerente Técnico

OBRA:  
LOCALIZACION:  
MUESTRA:  
DESCRIPCION: ARIDO FINO (ARENA TRITURADA)  
NORMA: INEN 696/697

FECHA:  
SOLICITADO POR:  
FISCALIZACION:  
CONTRATISTA:  
PERIODO:

**DATOS GRANULOMETRÍA**

TAMIZ		PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO
(pu/g)	(mm)					
4"	100	-	-	-	-	
3"	75	-	-	-	-	
2 1/2"	63	-	-	-	-	
2"	50	-	-	-	-	
1 1/2"	37,5	-	-	-	-	
1"	25,0	-	-	-	-	
3/4"	19,0	-	-	-	-	
1/2"	12,5	-	-	-	-	
3/8"	9,5	0	0	0,0	100,00	
N°4	4,75	77,6	77,6	5,3	94,68	
N°8	2,4	425,2	502,8	34,49	65,51	
N°16	1,2	263,4	766,2	52,56	47,44	
N°30	0,600	165,4	931,6	63,91	36,09	
N°50	0,297	136,5	1.068,1	73,27	26,73	
N°100	0,150	111,9	1.180,0	80,95	19,05	
N°200	0,075	91,5	1.271,5	87,23	12,77	
PASA N°200	0,075					
<b>TOTAL</b>		<b>1.457,7</b>				
Modulo de finura						



Anexo 10. Ensayo gradación arena natural

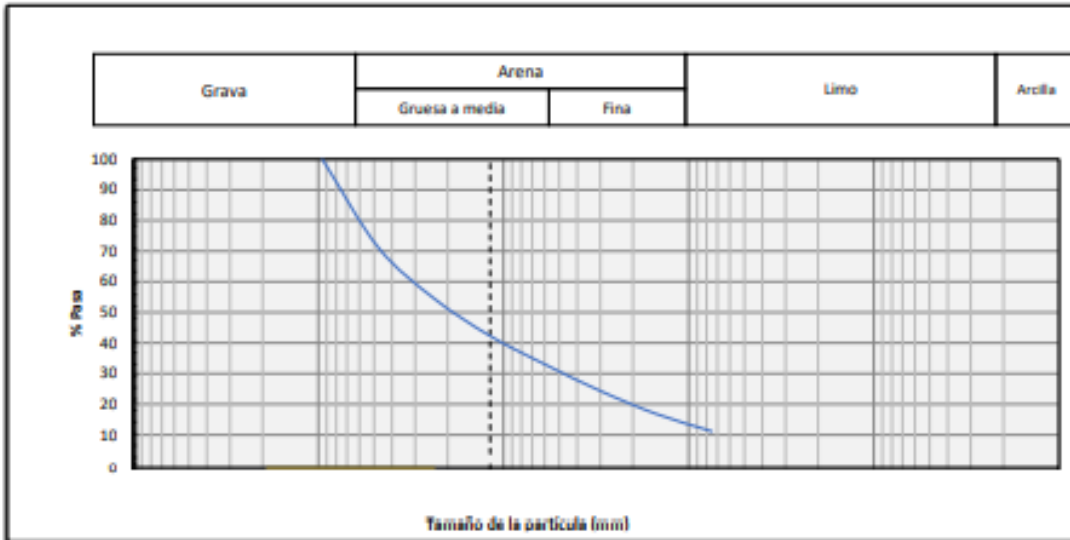
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO EN LOS ARIDOS, FINO Y GRUESO</b>		Código : FD-023-05 Versión : 00 Fecha : 14/10/2012
Elaborado por: Coordinador Control Calidad		Aprobado por: Gerente Técnico

OBRA:  
LOCALIZACION:  
MUESTRA:  
DESCRIPCION: ARIDO FINO (ARENA NATURAL)  
NORMA: INEN 696/697

FECHA:  
SOLICITADO POR:  
FISCALIZACION:  
CONTRATISTA:  
PERIODO:

**DATOS GRANULOMETRÍA**

TAMIZ		PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO
(pulg)	(mm)					
4"	100	-	-	-	-	
3"	75	-	-	-	-	
2 1/2"	63	-	-	-	-	
2"	50	-	-	-	-	
1 1/2"	37,5	-	-	-	-	
1"	25,0	-	-	-	-	
3/4"	19,0	-	-	-	-	
1/2"	12,5	-	-	-	-	
3/8"	9,5	0	0	0,0	100,00	
N°4	4,75	328,7	328,7	28,8	71,24	
N°8	2,4	192,0	520,7	45,55	54,45	
N°16	1,2	139,0	659,7	57,71	42,29	
N°30	0,600	105,2	764,9	66,91	33,09	
N°50	0,297	101,2	866,1	75,77	24,23	
N°100	0,150	84,2	950,3	83,13	16,87	
N°200	0,075	65,0	1.015,3	88,82	11,18	
PASA N°200	0,075					
<b>TOTAL</b>		<b>1.143,1</b>				
Modulo de finura						



Anexo 11. Análisis granulométrico combinaciones

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO COMBINACIONES</b>		Código : FD-023-11 Versión : 00 Fecha :
Elaborado por: Coordinador Control Calidad	Aprobado por: Gerente Técnico	

PROYECTO: TESIS  
LOCALIZACION: Provincia de Cotopaxi  
MUESTRA: 1  
DESCRIPCION:  
YACIMIENTO:

CONTRATISTA:  
FISCALIZA:  
LABORATORIO: Planta de Emulsión  
ENSAYADO POR:  
FECHA DE ENSAYO:

**ANALISIS GRANULOMETRICO**

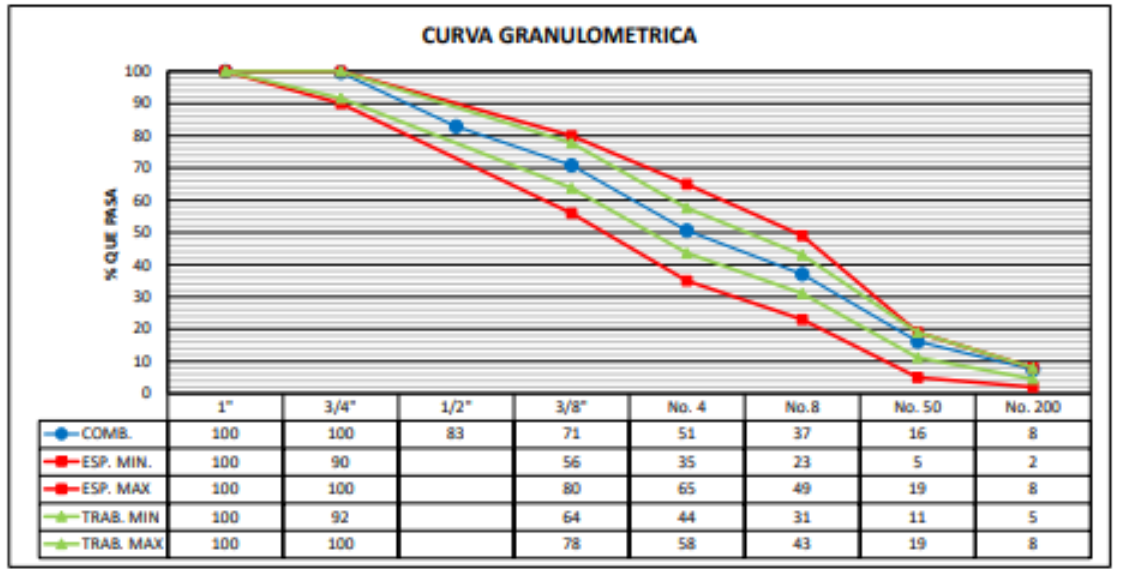
TAMIZ	GRANULOMETRIA INDIVIDUAL FRACCION:				PORCENTAJE DE APORTE				COMB.	ESPECIFICACION		FAJA TRABAJO		TOLERANCIAS
	1	2	3	4	35%	15%	50%	0%		MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	
1"	100,0	100,0	100,0	0	35,0	15,0	50,0	0,0	100,0	100	100	100	100	8 ±
3/4"	98,9	100,0	100,0	0	34,6	15,0	50,0	0,0	99,6	90	100	92	100	8 ±
1/2"	51,1	100,0	100,0	0	17,9	15,0	50,0	0,0	82,9					8 ±
3/8"	16,5	100,0	100,0	0	5,8	15,0	50,0	0,0	70,8	56	80	64	78	7 ±
No. 4	2,2	94,7	71,2	0	0,8	14,2	35,6	0,0	50,6	35	65	44	58	7 ±
No. 8	0,0	65,5	54,4	0	0,0	9,8	27,2	0,0	37,1	23	49	31	43	6 ±
No. 50	0,0	26,7	24,2	0	0,0	4,0	12,1	0,0	16,1	5	19	11	19	5 ±
No. 200	0,0	12,8	11,2	0	0,0	1,9	5,6	0,0	7,5	2	8	5	8	3 ±

FRACCIONES:

1: Agregado Grueso

2: ARENA TRITURADA TM 3/8"

3: ARENA NATURAL TM 3/8"



Anexo 12. Determinación de la gravedad específica y absorción ag. Grueso

<small>Ministerio de Transportes y Obras Públicas</small>		<b>DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO</b>	
Elaborado por:	Coordinador Control Calidad	Aprobado por:	Gerente Técnico

OBRA: Tesis PUCE  
 LOCALIZACIÓN:  
 MUESTRA: Material de Mina Mulaló  
 DESCRIPCIÓN: Material polvo de piedra  
 NORMA: INEN 856

FECHA:  
 SOLICITADO POR:  
 FISCALIZACIÓN:  
 CONTRATISTA:  
 HOJA: 1 de 1

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO					
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ # : N° 8		Y RETIENE EN EL TAMIZ # : N° 200			
N° DE ENSAYO		1	2		
N° DE PICNOMETRO CALIBRADO				<b>P R O M E D I O</b>	
MASA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	<b>D</b> gr.	500,00			
MASA DEL PICNOMETRO + MUESTRA + AGUA	<b>C</b> gr.	967,20			
TEMPERATURA	<b>(T)</b> °C	25			
MASA DEL PICNOMETRO + AGUA A LA TEMPERATURA (T)	<b>B</b> gr.	659,00			
N° DE RECIPIENTE		1			
MASA MUESTRA SECA + RECIPIENTE	gr.				
MASA DEL RECIPIENTE	gr.				
MASA MUESTRA SECA	<b>A</b> gr.	493,50			
FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA	<b>K</b>	0,997			
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE VOLUMEN	<b>S<sub>v</sub></b>	2,565			<b>2,565</b>
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE VOLUMEN ( SSS )	<b>S<sub>L</sub></b>	2,607			<b>= 2,607</b>
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE	<b>S<sub>a</sub></b>	2,655		<b>2,655</b>	
ABSORCIÓN	<b>A %</b>	1,32 %		<b>1,32 %</b>	
<b>FORMULAS</b>					

ENSAYADO POR:

REVISADO POR:



<b>DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO</b>	
Elaborado por: Coordinador Control Calidad	Aprobado por: Gerente Técnico

OBRA: Tesis PUCE

LOCALIZACION:

MUESTRA: Material de Mina Mulaló

DESCRIPCION: Material polvo de piedra

NORMA: INEN 856

FECHA:

SOLICITADO POR:

FISCALIZACION:

CONTRATISTA:

HOJA: 1 de 1

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO				
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ # : N° 8		Y RETIENE EN EL TAMIZ # : N° 200		
N° DE ENSAYO		1	2	P R O M E D I O
N° DE PICNOMETRO CALIBRADO				
MASA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	D gr.	500,00		
MASA DEL PICNOMETRO + MUESTRA + AGUA	C gr.	967,20		
TEMPERATURA	(T) °C	25		
MASA DEL PICNOMETRO + AGUA A LA TEMPERATURA (T)	B gr.	659,00		
N° DE RECIPIENTE		1		
MASA MUESTRA SECA + RECIPIENTE		gr.		
MASA DEL RECIPIENTE		gr.		
MASA MUESTRA SECA	A gr.	493,50		
FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA		K	0,997	
GRAVEDAD ESPECIFICA DE VOLUMEN	$S_d$	2,565	2,565	
GRAVEDAD ESPECIFICA DE VOLUMEN ( SSS )	$S_s$	2,607	= 2,607	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	$S_a$	2,655	2,655	
ABSORCIÓN	A %	1,32 %	1,32 %	
<b>FORMULAS</b>				

ENSAYADO POR:

REVISADO POR:

Anexo 14. Determinación de la gravedad específica pasante N°200



**CONCESIONARIA PANAMERICANA VIAL S. A. PANAVIAL**  
Laboratorio De Mecánica de Suelos, Hormigones y Asfaltos

	<b>DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO</b>	Código : FO-029-11
		Versión : 00 Fecha :
Elaborado por: Coordinador Control Calidad		Aprobado por: Gerente Técnico

**OBRA:** TESIS PUCE  
**LOCALIZACIÓN:**  
**MUESTRA:**  
**DESCRIPCIÓN:** Pasante N° 200  
**NORMA:** INEN 856

**FECHA:**  
**SOLICITADO POR:**  
**FISCALIZACIÓN:**  
**CONTRATISTA:**  
**HOJA:** 1 de 1

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO				
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ # :		Y RETIENE EN EL TAMIZ # :		
N° DE ENSAYO		1	2	P R O M E D I O
N° DE PICNOMETRO CALIBRADO				
MASA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	<b>D</b> gr.	105,00		
MASA DEL PICNOMETRO + MUESTRA + AGUA	<b>C</b> gr.	726,00		
TEMPERATURA	<b>(T)</b> °C	25		
MASA DEL PICNOMETRO + AGUA A LA TEMPERATURA (T)	<b>B</b> gr.	660,70		
N° DE RECIPIENTE				
MASA MUESTRA SECA + RECIPIENTE	gr.			
MASA DEL RECIPIENTE	gr.			
MASA MUESTRA SECA	<b>A</b> gr.			
FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA	<b>K</b>	0,997		
GRAVEDAD ESPECIFICA DE VOLUMEN	<b>S<sub>d</sub></b>			
GRAVEDAD ESPECIFICA DE VOLUMEN ( SSS )	<b>S<sub>c</sub></b>			
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	<b>S<sub>s</sub></b>	2,637	<b>2,637</b>	
ABSORCIÓN	<b>A %</b>			
<b>FORMULAS</b>				
$S_a = \frac{D}{D+B-C}$				

ENSAYADO POR:

REVISADO POR:

Anexo 15. Ensayo peso unitario arena natural

<b>PESO UNITARIO ARENA NATURAL</b>		Código : FO-023-31
		Versión : 00
		Fecha :
Elaborado por: Coordinador Control Calidad		Aprobado por: Gerente Técnico

PROYECTO: TESIS  
 LOCALIZACION: Provincia de Cotopaxi  
 MUESTRA: 1  
 DESCRIPCION:  
 YACIMIENTO:

CONTRATISTA:  
 FISCALIZA:  
 LABORATORIO: Planta de Emulsión  
 ENSAYADO POR:  
 FECHA DE ENSAYO:

Peso molde: 1882.7g  
 Volúmen Molde: 2686.2 cm<sup>3</sup>

Peso Unitario Suelto					
Muestra	Muestra + Molde (gr)	Molde (gr)	Muestra (gr)	Vol. Molde (cm <sup>3</sup> )	Peso U. Suelto (gr/cm <sup>3</sup> )
1	5354,6	1882,7	3471,9	2686,2	1,29
2	5392,07	1882,7	3509,37	2686,2	1,31
3	5402,17	1882,7	3519,47	2686,2	1,31
PROMEDIO					1,30

Peso Unitario Compactado					
Muestra	Muestra + Molde (gr)	Molde (gr)	Muestra (gr)	Vol. Molde (cm <sup>3</sup> )	Peso U. Suelto (gr/cm <sup>3</sup> )
1	5829	1882,7	3946,3	2686,2	1,47
2	5840	1882,7	3957,3	2686,2	1,47
3	5876	1882,7	3993,3	2686,2	1,49
PROMEDIO					1,48

ENSAYADO POR:

REVISADO POR:

Anexo 16. Determinación peso unitario arena triturada

<b>PESO UNITARIO ARENA TRITURADA</b>		Código : FD-023-31 Versión : 00 Fecha :
Elaborado por: Coordinador Control Calidad	Aprobado por: Gerente Técnico	

PROYECTO: TESIS  
LOCALIZACION: Provincia de Cotopaxi  
MUESTRA: 1  
DESCRIPCION:  
YACIMIENTO:

CONTRATISTA:  
FISCALIZA:  
LABORATORIO: Planta de Emulsión  
ENSAYADO POR:  
FECHA DE ENSAYO:

Peso molde: 1882.7g  
Volúmen Molde: 2686.2 cm<sup>3</sup>

Peso Unitario Suelto					
Muestra	Muestra + Molde (gr)	Molde (gr)	Muestra (gr)	Vol. Molde (cm <sup>3</sup> )	Peso U. Suelto (gr/cm <sup>3</sup> )
1	5131,04	1882,7	3248,335	2686,2	1,21
2	4194,3	1882,7	2311,604	2686,2	0,86
3	5331,88	1882,7	3449,177	2686,2	1,28
PROMEDIO					1,12

Peso Unitario Compactado					
Muestra	Muestra + Molde (gr)	Molde (gr)	Muestra (gr)	Vol. Molde (cm <sup>3</sup> )	Peso U. Suelto (gr/cm <sup>3</sup> )
1	5782,4	1882,7	3899,7	2686,2	1,45
2	5762,8	1882,7	3880,1	2686,2	1,44
3	5787,5	1882,7	3904,8	2686,2	1,45
PROMEDIO					1,45

ENSAYADO POR:

REVISADO POR:

Anexo 17. Determinación peso unitario ag. Grueso

<b>PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO</b>		Código : FO-023-31 Versión : 00 Fecha :
Elaborado por: Coordinador Control Calidad	Aprobado por: Gerente Técnico	

PROYECTO: TESIS  
LOCALIZACIÓN: Provincia de Cotopaxi  
MUESTRA: 1  
DESCRIPCIÓN:  
YACIMIENTO:

CONTRATISTA:  
FISCALIZA:  
LABORATORIO: Planta de Emulsión  
ENSAYADO POR:  
FECHA DE ENSAYO:

Peso molde: 7436.0g  
Volúmen Molde: 12248 cm3

Peso Unitario Suelto					
Muestra	Muestra + Molde (gr)	Molde (gr)	Muestra (gr)	Vol. Molde (cm3)	Peso U. Suelto (gr/cm3)
1	24526,8	7436,0	17090,8	12248,0	1,40
2	24088,1	7436,0	16652,1	12248,0	1,36
3	24134,4	7436,0	16698,4	12248,0	1,36
PROMEDIO					1,37

Peso Unitario Compactado					
Muestra	Muestra + Molde (gr)	Molde (gr)	Muestra (gr)	Vol. Molde (cm3)	Peso U. Suelto (gr/cm3)
1	25383,1	7436,0	17947,1	12248,0	1,47
2	25203,2	7436,0	17767,2	12248,0	1,45
3	25314,1	7436,0	17878,1	12248,0	1,46
PROMEDIO					1,46

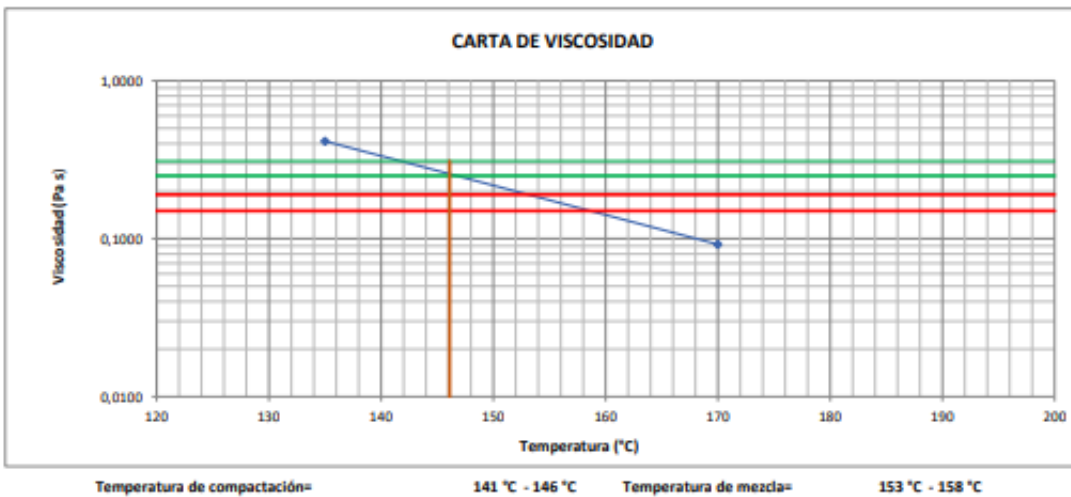
ENSAYADO POR:

REVISADO POR:

# CARTA DE VISCOSIDAD DE ASFALTO ORIGINAL + ZYCOTHERM 0.05%

## ENSAYOS DE VISCOSIDAD

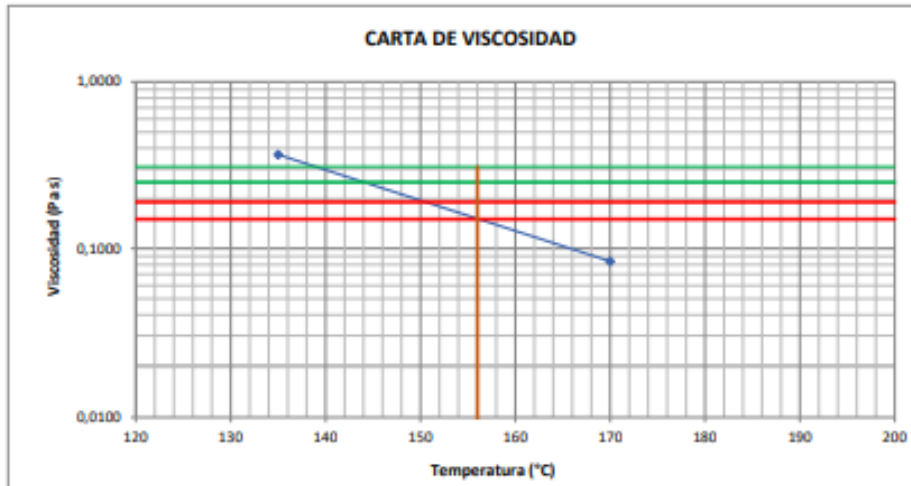
VISCOSIDAD DEL ASFALTO ORIGINAL (AC-20)							
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)	
1	60	2	57,2	SC4-29	286,000	286,00	
2	60	2	57,2	SC4-29	286,000	286,00	
3	60	2	57,2	SC4-29	286,000	286,00	
PROMEDIO						286	
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)	
1	135	100	82,8	SC4-21	414,0	0,414	
2	135	100	82,8	SC4-21	414,0	0,414	
3	135	100	82,8	SC4-21	414,0	0,414	
PROMEDIO						0,414	
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)	
1	170	200	36,8	SC4-21	92,0	0,092	
2	170	200	36,8	SC4-21	92,0	0,092	
3	170	200	36,8	SC4-21	92,0	0,092	
PROMEDIO						0,092	



# CARTA DE VISCOSIDAD DE ASFALTO ORIGINAL + ZYCOTHERM 0.10%

## ENSAYOS DE VISCOSIDAD

VISCOSIDAD DEL ASFALTO ORIGINAL (AC-20)						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	2	45,9	SC4-29	230,000	230,00
2	60	2	45,9	SC4-29	230,000	230,00
3	60	2	45,9	SC4-29	230,000	230,00
PROMEDIO						230
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	100	73,2	SC4-21	366,0	0,366
2	135	100	73,2	SC4-21	366,0	0,366
3	135	100	73,2	SC4-21	366,0	0,366
PROMEDIO						0,366
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	170	200	33,5	SC4-21	83,8	0,084
2	170	200	33,5	SC4-21	83,8	0,084
3	170	200	33,5	SC4-21	83,8	0,084
PROMEDIO						0,084

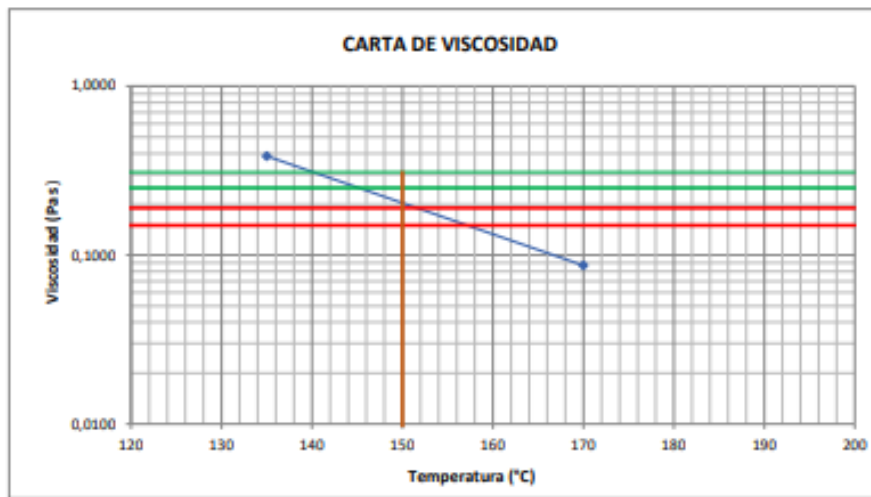


Temperatura de compactación= 138 °C - 144 °C temperatura de mezcla= 150 °C - 156 °C

# CARTA DE VISCOSIDAD DE ASFALTO ORIGINAL + ZYCOTHERM 0.20%

## ENSAYOS DE VISCOSIDAD

VISCOSIDAD DEL ASFALTO ORIGINAL (AC-20)						
LECTURA	TEMPERATUR A (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (g)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	2	58,6	SC4-29	293.000	293,00
2	60	2	58,6	SC4-29	293.000	293,00
3	60	2	58,6	SC4-29	293.000	293,00
PROMEDIO						293
LECTURA	TEMPERATUR A (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (g)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	100	77,1	SC4-21	385,5	0,386
2	135	100	77,1	SC4-21	385,5	0,386
3	135	100	77,1	SC4-21	385,5	0,386
PROMEDIO						0,386
LECTURA	TEMPERATUR A (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (g)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	170	200	34,7	SC4-21	86,8	0,087
2	170	200	34,7	SC4-21	86,8	0,087
3	170	200	34,7	SC4-21	86,8	0,087
PROMEDIO						0,087



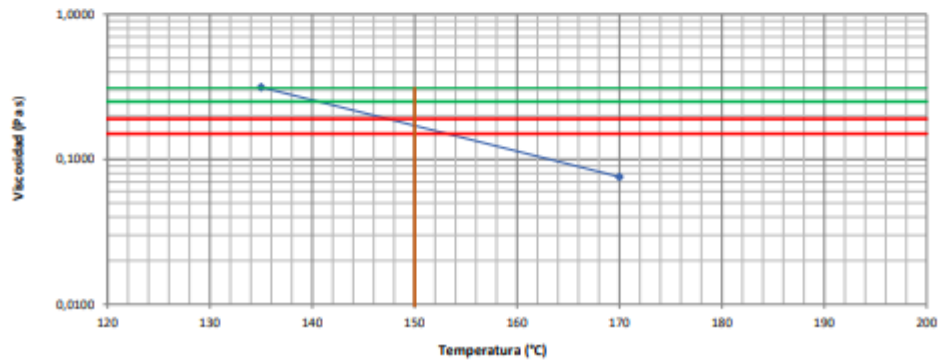
## CARTA DE VISCOSIDAD DE ASFALTO ORIGINAL + SURFAX 3%

### ENSAYOS DE VISCOSIDAD

#### VISCOSIDAD DEL ASFALTO ORIGINAL (AC-20)

LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (N)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	2	36,2	SC4-29	181,000	181,00
2	60	2	36,2	SC4-29	181,000	181,00
3	60	2	36,2	SC4-29	181,000	181,00
PROMEDIO						181
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (N)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	100	62,8	SC4-21	314,0	0,314
2	135	100	62,8	SC4-21	314,0	0,314
3	135	100	62,8	SC4-21	314,0	0,314
PROMEDIO						0,314
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (N)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	170	200	30,3	SC4-21	75,7	0,076
2	170	200	30,3	SC4-21	75,7	0,076
3	170	200	30,3	SC4-21	75,7	0,076
PROMEDIO						0,076

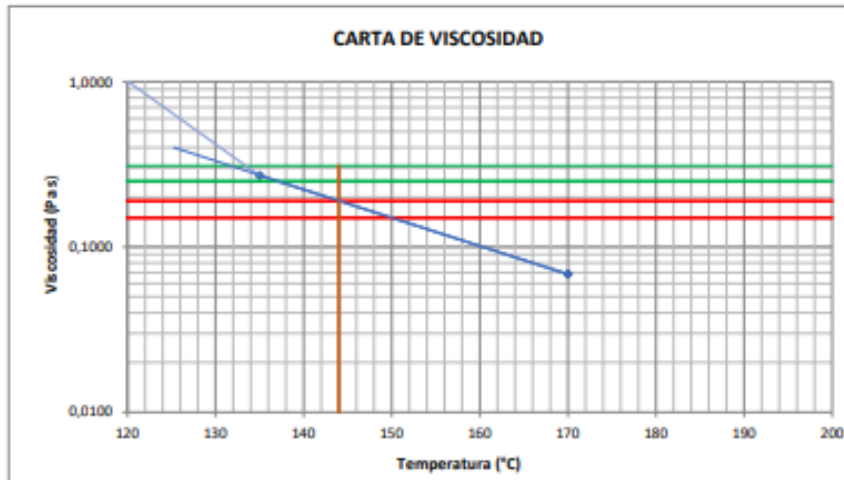
#### CARTA DE VISCOSIDAD



# CARTA DE VISCOSIDAD DE ASFALTO ORIGINAL + SURFAX 4%

## ENSAYOS DE VISCOSIDAD

VISCOSIDAD DEL ASFALTO ORIGINAL (AC-20)						
LECTURA	TEMPERATUR A (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	2	61,7	SC4-29	197,000	197,00
2	60	2	61,7	SC4-29	197,000	197,00
3	60	2	61,7	SC4-29	197,000	197,00
PROMEDIO						197
LECTURA	TEMPERATUR A (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	100	57,8	SC4-21	270,0	0,270
2	135	100	57,8	SC4-21	270,0	0,270
3	135	100	57,8	SC4-21	270,0	0,270
PROMEDIO						0,270
LECTURA	TEMPERATUR A (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	170	200	28,4	SC4-21	68,6	0,069
2	170	200	28,4	SC4-21	68,6	0,069
3	170	200	28,4	SC4-21	68,6	0,069
PROMEDIO						0,069

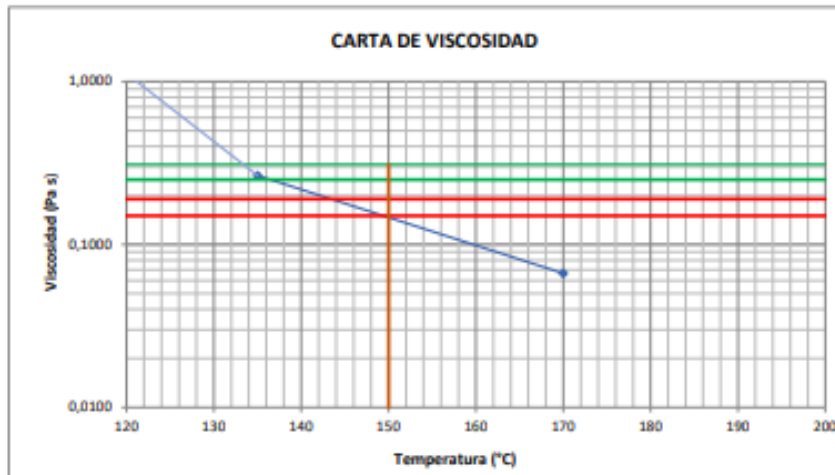


Temperatura de compactación= 134 °C - 137 °C temperatura de mezcla= 144 °C - 150 °C

# CARTA DE VISCOSIDAD DE ASFALTO ORIGINAL + SURFAX 5%

## ENSAYOS DE VISCOSIDAD

VISCOSIDAD DEL ASFALTO ORIGINAL (AC-20)						
LECTURA	TEMPERATUR A (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa·s)
1	60	2	71,8	SC4-29	359,000	359,00
2	60	2	71,8	SC4-29	359,000	359,00
3	60	2	71,8	SC4-29	359,000	359,00
PROMEDIO						359
LECTURA	TEMPERATUR A (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa·s)
1	135	100	53,0	SC4-21	265,0	0,265
2	135	100	53,0	SC4-21	265,0	0,265
3	135	100	53,0	SC4-21	265,0	0,265
PROMEDIO						0,265
LECTURA	TEMPERATUR A (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa·s)
1	170	200	26,6	SC4-21	66,5	0,067
2	170	200	26,6	SC4-21	66,5	0,067
3	170	200	26,6	SC4-21	66,5	0,067
PROMEDIO						0,067



Temperatura de compactación= 134 °C - 137 °C      Temperatura de mezcla= 144 °C - 150 °C

Anexo 24. Tracción indirecta diseño original

<b>RESISTENCIA DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE AL DAÑO INDUCIDO POR LA HUMEDAD</b>	
Elaborado por: Coordinador Control Calidad	Aprobado por: Gerente Técnico

**OBRA:** TESIS PUCE  
**LOCALIZACIÓN:** Provincia de Pichincha  
**MUESTRA:** Agregados para Hormigón Asfáltico Mina  
**DESCRIPCIÓN:** Mezcla asfáltica TMN 3/4" triturado en terciaria + Asfalto sin Aditivo  
**NORMA:** AASHTO T 283

**FECHA INICIO:**  
**FECHA ENTREGA:**  
**SOLICITADO POR:**  
**ENSAYADO POR:**  
**CALCULADO POR:**  
**PAGINA:**

PARAMETROS DE ANALISIS DE ENTRADA Y GENERALES	Símbolo	CONDICIÓN HÚMEDA			CONDICIÓN SECA		
		1	2	3	4	5	6
Número de Espécimen	No.						
Diámetro, (m)	D	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60
Espesor, (m)	t	69,00	69,00	68,00	67,50	68,00	68,00
Peso Seco Aire, (g)	A	1.194,50	1.197,70	1.196,00	1.199,30	1.189,90	1.201,10
Peso Saturado Superficialmente Seco, (g)	B	1.201,30	1.203,90	1.201,10	1.204,20	1.194,50	1.206,40
Peso Sumergido, (g)	C	662,20	661,50	665,70	664,10	657,70	667,80
Volumen del Espécimen, (B-C)	E	538,90	542,40	535,40	540,10	536,80	538,60
Gravedad Especifica Bulk (Gmb), (A/E)	F	2,217	2,208	2,234	2,221	2,217	2,230
Gravedad Especifica Teórica Máxima, (Gmm)	G	2,395	2,395	2,395	2,395	2,395	2,395
% Vacíos Aire (Va), (100*(G-F)/G)		7,451	7,802	6,729	7,285	7,447	6,888
Volumen de Vacío Aire, (H*E)/100	J	40,15	42,32	36,03	39,35	39,97	37,10
Carga Resultante Especímenes en Seco, (N)	P				6384,00	6174,00	6384,00

SATURACION A VACIO PARCIAL: 5 min a una presión de 20 in de Hg en agua destilada a 25°C							
Peso Saturado Superficialmente Seco, (g)	B'	1226,00	1229,90	1221,60			
Peso Sumergido, (g)	C'	683,30	684,20	684,30			
Volumen del Espécimen, (B'-C')	E'	542,70	545,70	537,30			
Volumen de agua Absorbida, (B'-A)	J'	31,50	32,20	25,60			
% Saturación, (100*J'/J)		78,45	76,09	71,06			
% Hinchamiento, (100*(E'-E)/E)		0,71	0,61	0,35			

NOTA: Un grado de saturación aceptable esta entre 55 y 80%, según ASTM D4867, sección 8.6.3, si el grado de saturación es menor a 55% usar más presión de vacío y/o tiempo; si el grado de saturación es mayor a 80%, el espécimen ha sido dañado y debe ser descartado

**Congelamiento D10**

ACONDICIONAMIENTO EN CONDICIÓN HÚMEDA: Baño María a 60°C por 24h							
Espesor, (m)	t''	69,10	69,10	68,10			
Peso Saturado Superficialmente Seco, (g)	B''	1227,00	1231,80	1225,00			
Peso Sumergido, (g)	C''	683,90	685,10	685,00			
Volumen, (B''-C'')	E''	543,10	546,70	540,00			
Volumen de agua Absorbida, (B''-A)	J''	32,50	34,10	29,00			
% Saturación, (100*J''/J)		80,94	80,58	80,50			
% Hinchamiento, (100*(E''-E)/E)		0,78	0,79	0,86			
Carga Resultante Especímenes en Seco, (N)	P''	5880,00	6090,00	6300,00			

NOTA: Según ASTM D-4867 en su sección 8.9.1, un grado de saturación mayor al 80% después del acondicionamiento en húmedo por 24 h a 60°C es considerado como aceptable.

**25°: 1 HORA BAÑO MARÍA D10**

Cálculo del TSR (Tensil Strength Ratio), Relación de Esfuerzo de Tensión:							
Esfuerzo de Especímenes en seco (kPa), (2000*P)/(t''*D)''	S <sub>sd</sub>		5926,19	5689,11	5882,61		
Esfuerzo de Especímenes en húmedo (kPa), (2000*P)/(t''*D)''	2	5331,95	5522,37	5796,69			
Promedio de Esfuerzo Especímenes en Seco		5.832,64					
Promedio de Esfuerzo Especímenes en Húmedo		5.550,33					
Relación de Esfuerzo de Tensión S <sub>sdw</sub> /S <sub>sd</sub>		95,2%					

NOTA: Las Especificación MOP-001-F REQUIERE UN TSR mayor o igual a 80%, para una mezcla asfáltica en caliente diseñada por el Método Marshall

ENSAYADO POR:

REVISADO POR:

Anexo 25. Tracción indirecta diseño original + 0.1% Zycotherm

<b>RESISTENCIA DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE AL DAÑO INDUCIDO POR LA HUMEDAD</b>	
Elaborado por: Coordinador Control Calidad	Aprobado por: Gerente Técnico

**OBRA:** TESIS PUCE  
**LOCALIZACIÓN:** Provincia de Pichincha  
**MUESTRA:** Agregados para Hormigón Asfáltico Mina  
**DESCRIPCIÓN:** Mezcla asfáltica TMN 3/4" triturado en terciaria + Asfalto + Zyc-Therm al 0,10%  
**NORMA:** AASHTO T 283

**FECHA INICIO:**  
**FECHA ENTREGA:**  
**SOLICITADO POR:**  
**ENSAYADO POR:**  
**CALCULADO POR:**  
**PAGINA:**

PARAMETROS DE ANALISIS DE ENTRADA Y GENERALES	Símbolo	CONDICIÓN HÚMEDA			CONDICIÓN SECA		
		4	5	6	1	2	3
Número de Especímen	No.	4	5	6	1	2	3
Diámetro, (m)	D	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60
Espesor, (m)	t	66,00	67,00	68,00	68,00	68,00	68,00
Peso Seco Aire, (g)	A	1.206,40	1.195,40	1.187,90	1.201,90	1.193,00	1.184,50
Peso Saturado Superficialmente Seco, (g)	B	1.211,80	1.199,60	1.194,40	1.206,10	1.197,80	1.189,00
Peso Sumergido, (g)	C	671,90	661,00	656,50	662,40	658,10	656,40
Volumen del Especímen, (B- C)	E	539,90	538,60	537,90	543,70	539,70	532,60
Gravedad Especifica Bulk (Gmb), (A / E)	F	2,234	2,219	2,208	2,211	2,210	2,224
Gravedad Especifica Teórica Máxima, (Gmm)	G	2,395	2,395	2,395	2,395	2,395	2,395
% Vacíos Aire (Va), (100*(G-F)/G)		6,702	7,330	7,791	7,700	7,704	7,140
Volumen de Vacío Aire, (H*E)/100	J	36,18	39,48	41,91	41,86	41,58	38,03
Carga Resultante Especímenes en Seco, (N=)	P				7140,00	6510,00	7770,00

SATURACION A VACIO PARCIAL: 5 min a una presión de 20 in de Hg en agua destilada a 25°C						
Peso Saturado Superficialmente Seco, (g)	B'	1233,70	1225,00	1220,00		
Peso Sumergido, (g)	C'	691,50	685,80	682,00		
Volumen del Especímen, (B'-C')	E'	540,20	539,20	538,00		
Volumen de agua Absorbida, (B'-A)	F'	27,30	29,60	32,10		
% Saturación, (100*F'/J)		75,45	74,98	76,60		
% Hinchamiento, (100*(E'-E)/E)		0,06	0,11	0,02		

NOTA: Un grado de saturación aceptable esta entre 55 y 80%, según ASTM D4867 sección 8.6.1, si el grado de saturación es menor a 55% usar más presión de vacío y/o tiempo; si el grado de saturación es mayor a 80%, el espécimen ha sido dañado y debe ser descartado

ACONDICIONAMIENTO EN CONDICIÓN HÚMEDA: Baño María a 60°C por 24h						
Espesor, (m)	t''	66,10	67,10	68,10		
Peso Saturado Superficialmente Seco, (g)	B''	1235,50	1227,00	1222,00		
Peso Sumergido, (g)	C''	690,30	685,60	681,40		
Volumen, (B''-C'')	E''	545,20	541,40	538,60		
Volumen de agua Absorbida, (B''-A)	F''	29,10	31,60	34,10		
% Saturación, (100*F''/J)		80,42	80,05	81,37		
% Hinchamiento, (100*(E''-E)/E)		0,98	0,52	0,13		
Carga Resultante Especímenes en Seco, (N)	P''	7350,00	6720,00	6930,00		

NOTA: Según ASTM D-4867 en su sección 8.9.1, un grado de saturación mayor al 80% después del acondicionamiento en húmedo por 24 h a 60°C es considerado como aceptable.

Cálculo del TSR (Tensile Strength Ratio), Relación de Esfuerzo de Tensión:						
Esfuerzo de Especímenes en seco (kPa), (2000*P)/(t''*D)	S <sub>sd</sub>		6579,24	5998,72	7159,76	
Esfuerzo de Especímenes en húmedo (kPa), (2000*P'')/(t''*D)	2	6967,42	6275,28	6376,36		
Promedio de Esfuerzo Especímenes en Seco		6.579,24				
Promedio de Esfuerzo Especímenes en Húmedo		6.539,69				
Relación de Esfuerzo de Tensión S <sub>sd</sub> /S <sub>sd</sub>		99,4%				

NOTA: Las Especificación MOP-001-FREQUIERE UN TSR mayor o igual a 80%, para una mezcla asfáltica en caliente diseñada por el Método Marshall

ENSAYADO POR:

REVISADO POR:

Anexo 26. Tracción indirecta diseño original + 4% Zycotherm

<b>RESISTENCIA DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE AL DAÑO INDUCIDO POR LA HUMEDAD</b>		Código : Versión : Fecha :
Elaborado por: Coordinador Control Calidad		Aprobado por: Gerente Técnico

**OBRA:** TESIS PUCE  
**LOCALIZACIÓN:** Provincia de Pichincha  
**MUESTRA:** Agregados para Hormigón Asfáltico Mina  
**DESCRIPCIÓN:** Mezcla asfáltica TMN 3/4" triturado en terciaria + Asfalto + Surfalox al 4,0%  
**NORMA:** AASHTO T 283

**FECHA INICIO:**  
**FECHA ENTREGA:**  
**SOLICITADO POR:**  
**ENSAYADO POR:**  
**CALCULADO POR:**  
**PAGINA:**

PARAMETROS DE ANALISIS DE ENTRADA Y GENERALES	Símbolo	CONDICIÓN HÚMEDA			CONDICIÓN SECA		
		1	2	5	3	4	6
Número de Espécimen	No.						
Diámetro, (m)	D	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60
Espesor, (m)	t	66,00	66,00	68,00	66,00	67,00	68,00
Peso Seco Aire, (g)	A	1.195,10	1.194,10	1.194,50	1.189,80	1.197,50	1.195,70
Peso Saturado Superficialmente Seco, (g)	B	1.199,40	1.200,90	1.199,20	1.195,50	1.201,60	1.199,90
Peso Sumergido, (g)	C	665,60	667,90	664,50	666,40	669,00	659,20
Volumen del Especímen, (B-C)	E	533,80	533,00	534,70	529,10	532,60	540,70
Gravedad Específica Bulk (Gmb), (A / E)	F	2,239	2,240	2,234	2,249	2,248	2,211
Gravedad Específica Teórica Máxima, (Gmm)	G	2,395	2,395	2,395	2,395	2,395	2,395
% Vacíos Aire (Va), (100*(G-F)/G)		6,520	6,458	6,724	6,108	6,121	7,666
Volumen de Vacío Aire, (H*E)/100	J	34,80	34,42	35,95	32,32	32,60	41,45
Carga Resultante Especímenes en Seco, (N=)	P				6930,00	7350,00	7140,00

SATURACION A VACIO PARCIAL: 5 min a una presión de 20 in de Hg en agua destilada a 25°C						
Peso Saturado Superficialmente Seco, (g)	B'	1221,20	1220,40	1221,20		
Peso Sumergido, (g)	C'	687,20	687,20	686,10		
Volumen del Especímen, (B'-C')	E'	534,00	533,20	535,10		
Volumen de agua Absorbida, (B'-A)	J'	26,10	26,30	26,70		
% Saturación, (100*J'/J)		75,00	76,41	74,26		
% Hinchamiento, (100*(E'-E)/E)		0,04	0,04	0,07		

NOTA: Un grado de saturación aceptable esta entre 55 y 80%, según ASTM D4867 sección 8.6.2, si el grado de saturación es menor a 55% usar más presión de vacío y/o tiempo; si el grado de saturación es mayor a 80%, el espécimen ha sido dañado y debe ser descartado

ACONDICIONAMIENTO EN CONDICIÓN HÚMEDA: Baño María a 60°C por 24h						
Espesor, (m)	t*	66,10	66,10	68,10		
Peso Saturado Superficialmente Seco, (g)	B*	1223,10	1221,90	1223,60		
Peso Sumergido, (g)	C*	686,30	685,60	685,40		
Volumen, (B*-C*)	E*	536,80	536,30	538,20		
Volumen de agua Absorbida, (B*-A)	J*	28,00	27,80	29,10		
% Saturación, (100*J'/J)		80,45	80,77	80,94		
% Hinchamiento, (100*(E*-E)/E)		0,56	0,62	0,65		
Carga Resultante Especímenes en Seco, (N)	P*	6510,00	7360,00	6804,00		

NOTA: Según ASTM D-4867 en su sección 8.9.1, un grado de saturación mayor al 80% después del acondicionamiento en húmedo por 24 h a 60°C es considerado como aceptable.

Cálculo del TSR (Tensile Strength Ratio), Relación de Esfuerzo de Tensión:						
Esfuerzo de Especímenes en seco (kPa), (2000*P)/n*(t*D) <sup>2</sup>	S <sub>sd</sub>				6579,24	6873,83
Esfuerzo de Especímenes en húmedo (kPa), (2000*P*)/n*(t*) <sup>2</sup> D*) <sup>2</sup>	2	6171,15	7166,49	6260,42		
Promedio de Esfuerzo Especímenes en Seco	6.677,44					
Promedio de Esfuerzo Especímenes en Húmedo	6.532,69					
Relación de Esfuerzo de Tensión S <sub>sd</sub> /S <sub>sd</sub> *	97,8%					

NOTA: Las Especificación MOP-001-F REQUIERE UN TSR mayor o igual a 80%, para una mezcla asfáltica en caliente diseñada por el Método Marshall

ENSAYADO POR:

REVISADO POR:

**Para una capa de 3"**

**DATOS**

APORTE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
50%	Arena Natural	m3	3,000
15%	Triturada 3/8	m3	11,000
35%	Triturada 3/4	m3	11,000

**CONVENCIONAL**

**163 °C**

g.e mezcla	2,290	1m3	
Cantidad total de material	2,146	x= 0,937	m3
Cantidad total de asfalto	0,144	ton	

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
Arena Natural	m3	0,825	\$3	\$2,48
Triturada 3/8	m3	0,287	\$11	\$3,16
Triturada 3/4	m3	0,548	\$11	\$6,03
Asfalto	kg	144,270	\$0,30	\$43,28
Diessel	GL.	6,250	\$1,44	\$8,99
<b>TOTAL</b>				<b>\$63,94</b>

**VALOR POR M2 \$4,87**

**Aditivo zycotherm 0.1 %**

**143 °C**

g.e mezcla	2,297	1m3	
Cantidad total de material	2,166	x= 0,943	m3
Cantidad total de asfalto	0,131	ton	

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
Arena Natural	m3	0,833	\$3	\$2,50
Triturada 3/8	m3	0,290	\$11	\$3,19
Triturada 3/4	m3	0,553	\$11	\$6,09
Asfalto	kg	130,929	\$0,30	\$39,28
Diessel	GL.	5,480	\$1,44	\$7,88
zycotherm	kg	0,131	\$34,50	\$4,52
<b>TOTAL</b>				<b>\$63,45</b>

**VALOR POR M2 \$4,84**

