

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO CIVIL

**CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE,  
MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE MATERIAL TRITURADO DE  
PRODUCTOS RECICLADOS DE TEREFTALATO DE  
POLIETILENO (PET), UTILIZANDO LOS AGREGADOS DE LA  
MINA DEL RÍO PITA EN LA CIUDAD DE QUITO, MEDIANTE LA  
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE RIGIDEZ.**

AUTORES:

DANIEL ALEJANDRO CORNEJO VILLACÍS

JIMMY CRISTIAN LAMIÑA ASUMASA

DIRECTOR:

ING. GUSTAVO YÁNEZ

QUITO NOVIEMBRE, 2018

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios quien ha sido mi guía desde niño y me ha llevado a cumplir todas mis metas anheladas, siempre confiando en que su camino será siempre el correcto.

A la mujer más excepcional del mundo para mí, mi madre, quien ha sido siempre mi mayor motivo para superarme y salir adelante, para un día ser yo quien cuide de ella, como ella lo ha hecho hasta hoy conmigo.

A mi hermano, a quien siempre he admirado por su inteligencia y dedicación, pues sin él me habría sido más difícil superar obstáculos en mi formación académica.

A mi novia Camila, quien ha sido el sustento diario que necesitaba para seguir luchando cuando las cosas se ponían difíciles. Gracias por tu paciencia, comprensión y apoyo en cada situación. Gracias por ayudarme a ser un excelente hombre y un gran profesional.

A mi tía Nancy, quien fue mi apoyo para que yo pudiera empezar la universidad, sin ella no estaría logrando este triunfo.

A mi tía Beatriz, mi tío Jaime y mi primo Javier, por ser quienes inculcaron en mí la responsabilidad, el respeto y la sencillez, valores que me han permitido alcanzar todo lo esperado.

A mi abuelita Eulalia y mi abuelito Gonzalo, quienes han sido y serán por siempre mi mayor ejemplo de vida. Gracias por ser las dos mejores personas que he llegado a tener en mi vida. Esto es por y para ustedes abuelitos.

A mis mejores amigos Mauricio, Juan Carlos, Susana, Danny, Jimmy, Natalia, les agradezco por ser incondicionales en mi vida y haberme apoyado siempre en cada paso que he dado.

A mi compañero de tesis y mejor amigo Jimmy, por haberse dedicado tanto para alcanzar esta meta juntos como una vez lo soñamos. Gracias por tu amistad hermano.

Muchas gracias

Daniel Alejandro Cornejo Villacís

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarme una vida llena de experiencias enriquecedoras, las cuales me ayudaron principalmente a formarme como persona.

A mis queridos padres, Juan Lamiña y Jannet Asumasa, por estar junto a mí en todo momento brindándome su apoyo incondicional y demostrándome que con esfuerzo se llega a obtener las metas que uno se proponga.

A mi hermano Erick Lamiña (Pelucas), por su apoyo en cada momento pues más que un hermano fue un amigo con el cual pude contar a cada instante.

A mi mamita Fanny, por ser como mi segunda madre. Preocupándose de mi bienestar día tras día.

A mi tía Miriam, por su apoyo desde el exterior en cada etapa de mi vida.

A mi novia Diana, por brindarme su cariño y comprensión a lo largo de la carrera y por su apoyo desde el inicio en la realización de esta tesis.

Por último, pero no menos importante, a mis amigos Danny y Daniel, por su grata amistad expresada a lo largo de la carrera.

Muchas gracias

Jimmy Cristian Lamiña Asumasa

## **DEDICATORIA**

Este logro se lo dedico principalmente a Dios por ser mi guía toda la vida.

A mi madre por ser mi sustento, por el amor que me ha dado cada día y por lo increíble que ha sido como padre y madre.

A mi hermano por su incondicional apoyo en cada meta que he intentado conseguir y por ser mi mejor amigo de travesuras.

A mi novia por el amor sincero, por la paciencia que ha llegado a tener conmigo y por su desinteresado apoyo a mi familia cuando más lo necesitábamos.

A mi abuelita por todo el cariño sincero y apoyo que me ha dado desde niño.

A mis amigos, Mauricio, Juan Carlos, Susana, Danny, Jimmy, Natalia que aportaron siempre con un granito de arena en mi vida y creyeron en mí.

Daniel Alejandro Cornejo Villacís

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por el esfuerzo y dedicación puesto día tras día. Por ayudar a formarme como persona y por su apoyo incondicional en cada meta que me propuse.

A mi hermano, por ser un pilar fundamental en mi vida, demostrándome a cada momento que la alegría es el elemento primordial en la vida.

A mis abuelitos, por su constante empuje para que lograra llegar a mi meta.

A mi novia, por su amor y paciencia que me supo ofrecer a lo largo de la carrera.

A mis amigos, tanto del colegio como de la universidad, que hicieron de una u otra forma que me sintiese como en casa dentro de esta prestigiosa institución educativa.

Jimmy Cristian Lamiña Asumasa.

## Resumen

El crecimiento exponencial de la humanidad alrededor del mundo se ha visto reflejado en el uso innecesario de elementos nocivos contra la naturaleza. Gran parte de estos no cuentan con una larga vida útil, por lo cual después de ser utilizados pasan a ser desechos.

El presente trabajo de carácter investigativo y correlacional tiene como principal objetivo la comparación de las propiedades mecánicas y reológicas entre una mezcla asfáltica convencional, y una mezcla asfáltica modificada con Tereftalato de polietileno (PET), que es el elemento que constituye a las botellas plásticas. Esto con el fin de promover nuevas técnicas que mejoren las características de desempeño de los pavimentos y que a su vez sean amigables con el medio ambiente.

El proceso a implementarse utilizando material triturado PET en una vía seca, se lo realiza mediante la incorporación de este en porcentajes que suplantaran al agregado fino que se asemeje a su granulometría.

La investigación abarcará de forma breve la caracterización del polímero utilizado (PET), el cuál fue obtenido mediante un proceso de reciclaje implementado en las calles de la Ciudad de Quito por parte de la empresa ENKADOR, la cual a su vez nos facilitó el producto ya triturado y listo para ser incorporado a la mezcla asfáltica.

Los resultados obtenidos en laboratorio están en base a la realización del ensayo Marshall, en cual nos indica si la incorporación de material triturado (PET) en una mezcla asfáltica mejora las propiedades mecánicas y reológicas del mismo. De tal forma que pueda ser ésta una manera de aumentar los niveles de reciclaje de productos plástico.

Finalmente, y mediante la interpretación de los resultados obtenidos en laboratorio se procede a realizar un análisis costo – beneficio entre la mezcla asfáltica convencional y la modificada, teniendo como pilar fundamental la reducción de desechos plásticos en las calles de Quito y el mejoramiento de las características mecánicas del asfalto.

## **Introducción**

En otros países de Sudamérica se han realizado mezclas asfálticas modificadas con el fin de mejorar las propiedades y el comportamiento que estas pudieran tener. Todo está enfocado hacia el mejoramiento de las vías para dar una mejor servicialidad al usuario y evitar las molestias que los deterioros pudieran causar. (Wulf, 2008)

Al modificar una mezcla asfáltica lo que se está haciendo es incorporando un nuevo agente a la composición tradicional que se tiene, de esta manera se pretende dar una mayor estabilidad y tiempo de vida útil al pavimento que pueda verse afectado por factores externos que alteren con gran impacto su integridad y comportamiento. Los materiales que modifican las mezclas varían dependiendo de la propiedad o característica que se quiera mejorar, estos podrían aumentar resistencias, mejorar la adherencia, evitar las grietas que se produzcan por cargas o variaciones de temperatura en el pavimento. (Wulf, 2008)

Para poder incorporar materiales que modifiquen las mezclas asfálticas se deben realizar estudios que determinen la combinación óptima para mejorar las propiedades de la misma, pues no se conoce si todas las combinaciones puedan darse. Cabe recalcar que dichas propiedades que se esperan mejorar se basan en la calidad del pavimento, pues al mejorarla, los costos de mantenimiento se reducirán. (Fonseca C. , 1995)

El tereftalato de polietileno (PET) es un poliéster que forma parte de la familia de los plásticos termoformables (o termoplásticos) fácilmente moldeables cuando se le aplica el nivel de temperatura correspondiente. Por este motivo el PET puede adaptarse a cualquier forma y diseño, además de contar con un gran potencial de aplicaciones. (Secretaría del Medio Ambiente, 2015)

Actualmente es la principal materia prima para la producción de envases de agua mineral, bebidas carbónicas y aceites, el PET se está consolidando en innovadoras aplicaciones para el sector de la alimentación, así como en productos de limpieza, cosméticos y farmacia. El éxito que ha experimentado y sigue experimentando el PET se debe a sus excepcionales características y propiedades técnicas que lo han convertido en uno de los plásticos con mayor versatilidad del mercado. (Secretaría del Medio Ambiente, 2015)

## **Objetivo General**

Mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas mediante la adición de materiales plásticos triturados de productos PET reciclados.

## **Objetivo Específico**

Determinar la compatibilidad de la combinación entre materiales plásticos triturados de productos PET reciclados y cemento asfáltico.

Verificar que una mezcla asfáltica modificada en caliente es más flexible que una mezcla asfáltica convencional en caliente.

Determinar el costo-beneficio de utilizar productos reciclados PET en mezclas asfálticas modificadas en caliente en las vías de la ciudad de Quito.

Dar uso a la basura generada por desperdicios de botellas plásticas de agua mineral, bebidas carbónicas y aceites en las calles de Quito.

Implementar una campaña de reciclaje de productos PET en la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

## **Alcance**

El estudio contemplará una investigación de carácter exploratorio, descriptivo y correlacional a lo largo del proceso de desarrollo. Los agentes que modifican las mezclas asfálticas son diferentes de acuerdo con lo que se requiera modificar en cuanto a sus características, existen varios residuos de productos que se han utilizado como mecanismo de exploración para saber la eficiencia que estos pueden generar modificando las mismas. Al tener la idea de agregar material triturado de productos reciclados de tereftalato de polietileno (PET) a una mezcla no se conoce si la combinación será estable o será rechazada debido a su distinta composición pues cada uno posee características totalmente diferentes que a simple inspección pareciera dificultoso lograr su combinación, sin embargo, la idea de juntar estos dos materiales resulta innovadora con el fin de mejorar su elasticidad y comportamiento a los cambios bruscos de temperatura.

El estudio se enfocará en la modificación de la composición de una mezcla asfáltica en caliente añadiendo material triturado de plástico PET proveniente de botellas de agua mineral, bebidas carbónicas y aceites, lo cual se espera mejore las características mencionadas. Las mezclas asfálticas son viscosas y se utilizan para pavimentar caminos al ser combinados con arena y grava, tienen un color negro que muestra la presencia de bitumen que actúa como ligante en la mezcla. Esta sustancia es pegajosa y su estado depende de la temperatura a la que se encuentre

para estar solida o pastosa. El asfalto no solo se produce de manera artificial ya que es un derivado del petróleo, también se lo encuentra en depósitos naturales, sin embargo, la manera más común de obtenerlo es produciéndolo de manera artificial. Sus usos son varios al ser un material con características optimas de impermeabilización y adherencia, por estos motivos es el material más común utilizado para la construcción de vías ya que al lograr una combinación eficaz de agregados puede resistir esfuerzos producidos por los automotores que circulen y de igual manera generar una gran adherencia con los neumáticos de los mismos.

Los agregados para la mezcla asfáltica en caliente serán obtenidos de la mina del Río Pita de la empresa Naranjo – López y el ligante a utilizarse es el cemento asfáltico AC – 20 proveniente de la Refinería Estatal de Esmeraldas. Las botellas plásticas se obtendrán mediante la ejecución de la campaña de reciclaje de envases de agua mineral, bebidas carbónicas y aceites. El material PET se obtendrá de los envases plásticos sin etiqueta, sin tapa y sin collarín de seguridad. Posteriormente se procederá a su trituración para ser añadidos a la mezcla asfáltica. Se procederá a realizar trabajo de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas del material una vez añadido el agente que modificará sus características.

La combinación de los materiales mencionados se realizará mediante una mezcla en caliente, en la cual se agregará el material triturado de plástico PET una vez que los agregados hayan sido pesados y se encuentren secos para posteriormente agregar el cemento asfáltico. El proceso se realizará de esta forma para adicionar el material plástico de acuerdo al tamaño máximo de la partícula de agregado.

Por último, esta disertación continuará con estudios correlacionales, pues se busca determinar qué tan efectivo resulta el agregar residuos plásticos a una mezcla asfáltica en caliente al comparar con una mezcla convencional en caliente y

determinar cuál de las dos presenta mejores comportamientos al ser ensayadas en laboratorio, mediante técnicas que permitan obtener sus propiedades mecánicas y físicas.

El método Marshall será el proceso a seguir para realizar el pavimento combinado y convencional. Posteriormente se realizará el ensayo de Módulo de Rigidez, mediante el cual se obtendrán resultados que determinarán si la combinación resulta ser beneficiosa o perjudicial para las propiedades mecánicas y físicas de la mezcla asfáltica.

Ciertamente al añadir un material extra a la mezcla incrementará el costo de producción, sin embargo, esto puede ser perjudicial o no. Ya que, si las propiedades que se modificarán presentan buenos resultados, el costo de mantenimiento a largo plazo de una mezcla combinada será mucho menor que el de una convencional. Para determinar lo mencionado se realizará una comparación de costo-beneficio una vez obtenidos los resultados.

## **Metodología**

Se iniciará con investigación bibliográfica sobre el proceso de diseño de mezclas asfálticas en caliente, los materiales que se utilizan en su elaboración y sus propiedades. Se continuará con investigación bibliográfica a fondo sobre las propiedades que tiene el tereftalato de polietileno (PET), ventajas y desventajas de su utilización, ya que el material triturado proveniente de este producto será el agente modificador de la mezcla asfáltica. Se procederá a obtener los agregados de la mina de la empresa Naranjo – López ubicada en el Río Pita de la ciudad de Quito la cual nos proveerá de las características (Granulometría) y datos (resultados de ensayos previos de laboratorio) sobre los agregados que utilizaremos. Para la obtención del

material plástico PET triturado se realizará el reciclaje y la recolección de botellas de agua, bebidas carbónicas y aceites, se utilizará el material reciclado obtenido en la campaña de reciclaje ejecutado en la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Una vez obtenidos dichos materiales la trituración del material plástico será el primer paso para poder obtener todos los materiales listos para realizar la mezcla. Se realizarán mezclas en caliente tanto para la mezcla convencional como para la modificada de esta manera podremos comparar los resultados que se obtengan al realizar el trabajo de laboratorio con las muestras de mezclas asfálticas en el laboratorio para poder concluir si en realidad la adición de residuos plásticos ha mejorado o perjudicado al comportamiento mecánico del material.

## Tabla de contenido

<b>Capítulo 1</b> .....	28
1. Mezclas asfálticas convencionales .....	28
1.1. Definición .....	28
1.2. Composición.....	28
1.3. Agregados.....	29
1.3.1. Rocas calcáreas: .....	29
1.3.2. Rocas silíceas: .....	29
1.3.3. Ígneas y metamórficas: .....	30
1.4. Ligantes .....	31
1.4.1. De base parafínica: .....	32
1.4.2. Crudo de base asfáltica: .....	32
1.4.3. Crudo de base mixta:.....	32
1.5. Características del cemento asfáltico .....	32
1.5.1. Maltenos:.....	33
1.5.2. Asfaltenos: .....	33
1.6. Propiedades del Asfalto Convencional.....	33
1.6.1. La susceptibilidad térmica del asfalto .....	34
1.6.2. La adhesión .....	34
1.6.3. El envejecimiento del asfalto .....	35
1.6.4. La durabilidad .....	35
1.6.5. Ductilidad del asfalto .....	36
1.7. Características de las mezclas asfálticas en caliente .....	36
1.7.1. Densidad de la mezcla.....	36
1.7.2. Vacíos de aire o vacíos.....	37

1.7.3.	Vacios del agregado mineral (VAM).....	38
1.7.4.	Contenido de asfalto.....	40
1.8.	Propiedades físicas y mecánicas del tereftalato de polietileno (PET).....	40
1.8.1.	Definición.....	40
1.8.2.	Composición .....	41
1.8.3.	Propiedades .....	42
<b>Capítulo 2</b>	.....	<b>44</b>
2.	Mezclas Asfálticas modificadas .....	44
2.1.	Definición.....	44
2.2.	Composición.....	44
2.3.	Propiedades que se benefician de una mezcla combinada .....	45
2.4.	Materiales utilizados para modificar una mezcla asfáltica.....	46
2.4.1.	Otros modificadores .....	46
2.5.	Reciclaje .....	47
2.5.1.	Definición.....	47
2.5.2.	Reciclaje de Plásticos.....	47
2.5.3.	Enkador .....	48
2.5.4.	Material triturado PET .....	48
<b>Capítulo 3</b>	.....	<b>49</b>
3.	Caracterización y ensayos sobre el Material Pétreo. Caracterización y ensayos sobre el Asfalto. ....	49
3.1.	Material Pétreo .....	49
3.2.	Origen del Material Pétreo .....	50
3.3.	Ensayos sobre el Agregado Grueso e Intermedio.....	51
3.3.1.	Gravedad Específica .....	51
3.3.2.	Determinación del Valor de la degradación del árido grueso de	

partículas menores a 37.5mm mediante el uso de la máquina de los ángeles.....	53
3.3.3. Determinación de la masa unitaria (Peso Volumétrico). .....	57
3.3.4. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio. ....	58
3.4. Ensayos sobre el Agregado Fino .....	60
3.4.1. Determinación de la Densidad, Densidad relativa (Gravedad Específica) y Absorción del árido fino. ....	60
3.4.2. Equivalente de arena .....	61
3.4.3. Determinación de la masa unitaria (Peso Volumétrico) .....	63
3.4.4. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio. ....	64
3.5. Granulometría.....	65
3.5.1. Granulometría Agregado Grueso .....	65
3.5.2. Granulometría Agregado Intermedio .....	67
3.5.3. Granulometría Agregado Fino .....	69
3.5.4. Granulometría Plástico PET triturado.....	71
3.6. Caracterización y Ensayos sobre el Asfalto .....	72
3.7. Ensayos sobre el asfalto .....	73
3.7.1. Gravedad Específica .....	73
3.7.2. Viscosidad del Asfalto a altas temperaturas utilizando viscosímetro rotatorio .....	74
3.7.3. Penetración.....	75
3.7.4. Punto de Ablandamiento.....	76
3.7.5. Método de prueba estándar para la viscosidad de asfaltos mediante viscosímetro capilar al vacío.....	78
3.7.6. Cambio de masa (Horno de película delgada rodante) .....	80
3.7.7. Punto de Inflamación y Combustión.....	81

3.7.8.	Ductilidad.....	82
3.8.	Requisitos para asfalto AC-20.....	83
<b>Capítulo 4</b>	.....	<b>86</b>
4.	Diseño de Mezclas Asfálticas.....	86
4.1.	Método Marshall para el diseño de mezclas asfálticas.....	86
4.1.1.	Estabilidad Marshall .....	87
4.1.2.	Flujo Marshall .....	88
4.1.3.	Ensayo de Tracción Indirecta.....	88
4.1.4.	Propiedades de las mezclas asfálticas compactadas (Volumétricas) .	90
4.2.	Diseño de mezcla asfáltica convencional .....	95
4.2.1.	Determinación del porcentaje de asfalto teórico para la mezcla.....	95
4.2.2.	Determinación del porcentaje óptimo de asfalto para la mezcla .....	100
4.2.3.	Resumen de resultados obtenidos para el porcentaje óptimo de asfalto .....	111
4.3.	Diseño de mezcla asfáltica modificada .....	111
4.3.1.	Determinación del porcentaje óptimo de polímero.....	112
4.3.2.	Determinación de valores para los parámetros de una mezcla asfáltica combinada con el porcentaje óptimo de polímero. ....	116
4.3.3.	Resumen de resultados obtenidos para el porcentaje óptimo de PET .....	120
4.4.	Determinación de Módulos de Rigidez o Módulo Resiliente .....	120
<b>Capítulo 5</b>	.....	<b>126</b>
5.	Costos de diseño de mezclas asfálticas .....	126
5.1.	Costo de diseño de mezclas asfálticas convencionales .....	126
5.1.1.	Materiales.....	126
5.1.2.	Materiales necesarios para realizar un m <sup>3</sup> de mezcla asfáltica convencional .....	127

5.1.3.	Análisis económico de una mezcla convencional.....	128
5.2.	Costo de diseño de mezclas asfálticas combinadas.....	129
5.2.1.	Materiales.....	129
5.2.2.	Materiales necesarios para realizar un m <sup>3</sup> de mezcla asfáltica modificada con 5% de PET Triturado.....	130
5.2.3.	Análisis económico de una mezcla modificada con 5% de PET Triturado.....	131
<b>Capítulo 6</b>	.....	132
6.	Conclusiones y Recomendaciones .....	132
6.1.	Conclusiones .....	132
6.2.	Recomendaciones.....	136
Bibliografía.....	.....	138

## Índice de Tablas

Tabla 1.1	Porcentaje mínimo de VAM .....	39
Tabla 1.2	Propiedades del Tereftalato de Polietileno.....	42
Tabla 3.1	Gravedad Específica y Absorción Agregado Grueso.....	52
Tabla 3.2	Gravedad Específica y Absorción Agregado Intermedio.....	52
Tabla 3.3	Desgaste del Agregado Grueso .....	53
Tabla 3.4	Desgaste del Agregado Intermedio.....	55
Tabla 3.5	Peso unitario Agregado Grueso.....	57
Tabla 3.6	Peso Unitario Agregado Intermedio .....	58
Tabla 3.7	Resistencia a los Sulfatos del Agregado Grueso.....	59
Tabla 3.8	Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino.....	60

Tabla 3.9 Equivalente de Arena del Agregado Fino.....	62
Tabla 3.10 Peso Unitario del Agregado Fino .....	63
Tabla 3.11 Resistencia a los Sulfatos del Agregado Fino .....	64
Tabla 3.12 Granulometría del Agregado Grueso .....	65
Tabla 3.13 Granulometría del Agregado Intermedio .....	67
Tabla 3.14 Granulometría del Agregado Fino .....	69
Tabla 3.15 Granulometría del Plástico PET Triturado.....	71
Tabla 3.16 Gravedad Específica del Asfalto .....	74
Tabla 3.17 Índice de penetración del Asfalto .....	76
Tabla 3.18 Punto de Ablandamiento del Asfalto .....	77
Tabla 3.19 Viscosidad del Asfalto (200).....	79
Tabla 3.20 Viscosidad del Asfalto (100).....	79
Tabla 3.21 Cambio de masa del Asfalto .....	80
Tabla 3.22 Punto de Inflamación y Combustión del Asfalto.....	81
Tabla 3.23 Ductilidad del Asfalto.....	82
Tabla 3.24 Requisitos para Asfalto Cemento gradual Viscosidad a 60° a base de asfalto original.....	83
Tabla 3.25 Resultados Obtenidos de Ensayos sobre el cemento asfáltico...	85
Tabla 4.1 Límites de material pasante con TMN 3/4" .....	96
Tabla 4.2 Porcentajes de Agregado Mineral.....	98
Tabla 4.3 Resumen de resultados de cada briqueta con su porcentaje de asfalto .....	105
Tabla 4.4 Resumen de resultados de cada porcentaje de asfalto .....	106
Tabla 4.5 Resumen de valores para ensayo Marshall .....	107

Tabla 4.6 Resumen de Resultados para el porcentaje óptimo de asfalto ...	111
Tabla 4.7 Resumen de resultados de cada briqueta con su porcentaje de PET.....	114
Tabla 4.8 Resumen de resultados de cada porcentaje de PET .....	115
Tabla 4.9 Resumen de Resultados para el porcentaje óptimo de PET .....	120
Tabla 4.10 Resultados obtenidos a 10 °C para briquetas de mezcla convencional.....	121
Tabla 4.11 Resultados obtenidos a 20 °C para briquetas de mezcla convencional.....	121
Tabla 4.12 Resultados obtenidos a 40 °C para briquetas de mezcla convencional.....	121
Tabla 4.13 Resultados obtenidos a 10 °C para briquetas de mezcla modificada con 5% PET .....	122
Tabla 4.14 Resultados obtenidos a 20 °C para briquetas de mezcla modificada con 5% PET.....	122
Tabla 4.15 Resultados obtenidos a 40 °C para briquetas de mezcla modificada con 5% PET.....	122
Tabla 4.16 Resumen de Resultados de los ensayos de módulo de rigidez	123
Tabla 5.1 Análisis Económico de Mezcla Convencional .....	128
Tabla 5.2 Análisis Económico de Mezcla Modificada con PET Triturado ...	131

## Índice de Gráficos

Gráfico 3.1 Curva Granulométrica del Agregado Grueso .....	66
Gráfico 3.2 Curva Granulométrica del Agregado Intermedio .....	68
Gráfico 3.3 Curva Granulométrica del Agregado Fino .....	70
Gráfico 3.4 Curva Granulométrica del Plástico Triturado PET .....	72
Gráfico 4.1 Curva Granulométrica para mezcla asfáltica .....	97
Gráfico 4.2 Curva porcentaje de Asfalto vs. Vacíos de Aire .....	107
Gráfico 4.3 Curva porcentaje de Asfalto vs. Densidad Bulk.....	108
Gráfico 4.4 Curva porcentaje de Asfalto vs. Estabilidad Marshall.....	109
Gráfico 4.5 Curva porcentaje de Asfalto vs. Flujo Marshall .....	109
Gráfico 4.6 Curva porcentaje de Asfalto vs. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM).....	110
Gráfico 4.7 Curva porcentaje de Asfalto vs. Vacíos llenos con Asfalto (VAF) .....	110
Gráfico 4.8 Curva porcentaje PET vs. Estabilidad (Modificada con PET)...	116
Gráfico 4.9 Curva porcentaje de asfalto vs. Densidad Bulk (Modificada con PET).....	117
Gráfico 4.10 Curva porcentaje de asfalto vs. Flujo Marshall (Modificada con PET).....	117
Gráfico 4.11 Curva porcentaje de asfalto vs. Vacíos de aire (Modificada con PET).....	118
Gráfico 4.12 Curva porcentaje de asfalto vs. Vacíos de agregado mineral (Modificada con PET) .....	119

Gráfico 4.13 Curva porcentaje de asfalto vs. Vacíos llenos con asfalto (Modificada con PET) .....	119
Gráfico 4.14 Gráfico Módulo de Rigidez Vs. Temperatura.....	123

## Índice de Fotografías

Fotografía 3.1 Origen Material Pétreo.....	50
Fotografía 3.2 Planta Constructora Naranjo - López.....	51
Fotografía 3.3 Ensayo de desgaste del agregado grueso .....	56
Fotografía 3.4 Ensayo de resistencia a los sulfatos.....	59
Fotografía 3.5 Ensayo de gravedad específica del asfalto.....	73
Fotografía 3.6 Ensayo de Viscosidad del Asfalto a altas temperaturas utilizando viscosímetro rotatorio.....	75
Fotografía 3.7 Ensayo de Punto de ablandamiento del asfalto.....	77
Fotografía 3.8 Ensayo de prueba estándar para la viscosidad del asfalto...	78
Fotografía 3.9 Ensayo de cambio de masa del asfalto .....	80
Fotografía 3.10 Ensayo de Punto de inflamación y combustión del asfalto .	81
Fotografía 4.1 Ensayo de Gravedad Específica Máxima Teórica .....	95
Fotografía 4.2 Elaboración de fundas que representan los baches .....	101
Fotografía 4.3 Mezcla de Agregados con Asfalto .....	102
Fotografía 4.4 Colocación de la Mezcla en el Molde para Compactación .	103
Fotografía 4.5 Compactación de la Mezcla.....	103

Fotografía 4.6 Desmolde de Briquetas .....	104
Fotografía 4.7 Ensayo de Briquetas.....	105
Fotografía 4.8 Plástico PET Triturado.....	112
Fotografía 4.9 Procedimiento de Secado de Plástico PET Triturado .....	113
Fotografía 4.10 Adición de Plástico PET Triturado para la Mezcla .....	114
Fotografía 4.11 Elaboración de Briquetas para el Ensayo de Modulo de Rigidez.....	124
Fotografía 4.12 Ensayo de Briquetas en la Máquina Universal .....	125

## Índice de Anexos

Anexo Nro. 1 Informe de gravedad específica del agregado grueso .....	143
Anexo Nro. 2 Informe de gravedad específica del agregado Intermedio ....	144
Anexo Nro. 3 Informe de ensayo de abrasión agregado grueso.....	145
Anexo Nro. 4 Informe de ensayo de abrasión de agregado intermedio .....	146
Anexo Nro. 5 Informe de gravedad específica del agregado fino .....	147
Anexo Nro. 6 Informe de ensayo equivalente de arena .....	148
Anexo Nro. 7 Informe de Ensayo de Penetración de Materiales Bituminosos .....	149
Anexo Nro. 8 Informe de Ensayo de Ductilidad de Materiales Bituminosos	150
Anexo Nro. 9 Informe de Ensayo de Horno de Película Delgada Rodante de Materiales Bituminosos.....	151
Anexo Nro. 10 Informe de Ensayo Punto de Inflamación y Combustión de Materiales Bituminosos.....	152

Anexo Nro. 11 Informe de Ensayo Índice de Penetración de Materiales Bituminosos .....	153
Anexo Nro. 12 Informe de Ensayo Viscosidad Capilar al Vacío de Materiales Bituminosos (Viscosímetro N° 200) .....	154
Anexo Nro. 13 Informe de Ensayo Viscosidad Capilar al Vacío de Materiales Bituminosos (Viscosímetro N° 100) .....	155
Anexo Nro. 14 Informe de Densidad de Materiales Bituminosos .....	156
Anexo Nro. 15 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 1) .....	157
Anexo Nro. 16 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 2) .....	158
Anexo Nro. 17 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 3) .....	159
Anexo Nro. 18 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 4) .....	160
Anexo Nro. 19 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 5) .....	161
Anexo Nro. 20 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 6) .....	162
Anexo Nro. 21 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 7) .....	163
Anexo Nro. 22 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 8) .....	164
Anexo Nro. 23 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 9) .....	165
Anexo Nro. 24 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 10) .....	166
Anexo Nro. 25 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 11) .....	167
Anexo Nro. 26 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 12) .....	168
Anexo Nro. 27 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 13) .....	169
Anexo Nro. 28 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 14) .....	170
Anexo Nro. 29 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 15) .....	171
Anexo Nro. 30 Informe de Ensayo de Punto de Ablandamiento de Materiales Bituminosos .....	172

Anexo Nro. 31 Informe de Ensayo de Viscosidad Cinemática de Materiales Bituminosos .....	173
Anexo Nro. 32 Informe de Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall (5.5% de Asfalto).....	174
Anexo Nro. 33 Informe de Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall (6% de Asfalto).....	175
Anexo Nro. 34 Informe de Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall (6.5% de Asfalto).....	176
Anexo Nro. 35 Informe de Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall (7% de Asfalto).....	177
Anexo Nro. 36 Informe de Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall (7.5% de Asfalto).....	178
Anexo Nro. 37 Informe de Ensayo de Gravedad Especifica Máxima Teórica (5.5% de Asfalto) .....	179
Anexo Nro. 38 Informe de Ensayo de Gravedad Especifica Máxima Teórica (6% de Asfalto) .....	180
Anexo Nro. 39 Informe de Ensayo de Gravedad Especifica Máxima Teórica (6.5% de Asfalto) .....	181
Anexo Nro. 40 Informe de Ensayo de Gravedad Especifica Máxima Teórica (7% de Asfalto) .....	182
Anexo Nro. 41 Informe de Ensayo de Gravedad Especifica Máxima Teórica (7.5% de Asfalto) .....	183
Anexo Nro. 42 Informe de Ensayo de Densidad y Flujo Marshall Modificado con 3% de PET (7.2% de Asfalto).....	184

Anexo Nro. 43 Informe de Ensayo de Densidad y Flujo Marshall Modificado con 4% de PET (7.2% de Asfalto).....	185
Anexo Nro. 44 Informe de Ensayo de Densidad y Flujo Marshall Modificado con 5% de PET (7.2% de Asfalto).....	186
Anexo Nro. 45 Informe de Ensayo de Densidad y Flujo Marshall Modificado con 6% de PET (7.2% de Asfalto).....	187
Anexo Nro. 46 Informe de Ensayo de Densidad y Flujo Marshall Modificado con 7% de PET (7.2% de Asfalto).....	188
Anexo Nro. 47 Informe de Ensayo de Gravedad Especifica Máxima Teórica Modificado con 3% de PET (7.2% de Asfalto) .....	189
Anexo Nro. 48 Informe de Ensayo de Gravedad Especifica Máxima Teórica Modificado con 4% de PET (7.2% de Asfalto) .....	190
Anexo Nro. 49 Informe de Ensayo de Gravedad Especifica Máxima Teórica Modificado con 5% de PET (7.2% de Asfalto) .....	191
Anexo Nro. 50 Informe de Ensayo de Gravedad Especifica Máxima Teórica Modificado con 6% de PET (7.2% de Asfalto) .....	192
Anexo Nro. 51 Informe de Ensayo de Gravedad Especifica Máxima Teórica Modificado con 7% de PET (7.2% de Asfalto) .....	193
Anexo Nro. 52 Porcentaje de Mezcla de los Agregados .....	194
Anexo Nro. 53 Análisis Granulométrico para Briquetas .....	195
Anexo Nro. 54 Análisis Granulométrico para Briquetas .....	196
Anexo Nro. 55 Ensayo Marshall para Mezcla Asfáltica Convencional .....	197
Anexo Nro. 56 Ensayo Marshall para Mezcla Asfáltica Modificada con varios porcentajes de PET .....	198

Anexo Nro. 57 Ensayo del Módulo Resiliente por Compresión Diametral Sin plástico, Molde 1 a 10 °C. ....	199
Anexo Nro. 58 Anexo N°58. Ensayo del Módulo Resiliente por Compresión Diametral Sin plástico, Molde 2 a 10 °C. ....	200
Anexo Nro. 59 Ensayo del Módulo Resiliente por Compresión Diametral Sin plástico, Molde 3 a 10 °C. ....	201
Anexo Nro. 60 Ensayo del Módulo Resiliente por Compresión Diametral Sin plástico, Molde 1 a 20 °C. ....	202
Anexo Nro. 61 Ensayo del Módulo Resiliente por Compresión Diametral Sin plástico, Molde 2 a 20 °C. ....	203
Anexo Nro. 62 Ensayo del Módulo Resiliente por Compresión Diametral Sin plástico, Molde 3 a 20 °C. ....	204
Anexo Nro. 63 Ensayo del Módulo Resiliente por Compresión Diametral Sin plástico, Molde 1 a 40 °C. ....	205
Anexo Nro. 64 Ensayo del Módulo Resiliente por Compresión Diametral Sin plástico, Molde 2 a 40 °C. ....	206
Anexo Nro. 65 Ensayo del Módulo Resiliente por Compresión Diametral Sin plástico, Molde 3 a 40 °C. ....	207
Anexo Nro. 66 Ensayo del Módulo Resiliente por Compresión Diametral Con plástico, Molde 4 a 10 °C. ....	208
Anexo Nro. 67 Ensayo del Módulo Resiliente por Compresión Diametral Con plástico, Molde 5 a 10 °C. ....	209
Anexo Nro. 68 Ensayo del Módulo Resiliente por Compresión Diametral Con plástico, Molde 6 a 10 °C. ....	210

Anexo Nro. 69 Ensayo del Módulo Resiliente por Compresión Diametral Con plástico, Molde 4 a 20 °C .....	211
Anexo Nro. 70 Ensayo del Módulo Resiliente por Compresión Diametral Con plástico, Molde 5 a 20 °C .....	212
Anexo Nro. 71 Ensayo del Módulo Resiliente por Compresión Diametral Con plástico, Molde 6 a 20 °C .....	213
Anexo Nro. 72 Ensayo del Módulo Resiliente por Compresión Diametral Con plástico, Molde 4 a 40 °C .....	214
Anexo Nro. 73 Ensayo del Módulo Resiliente por Compresión Diametral Con plástico, Molde 5 a 40 °C .....	215
Anexo Nro. 74 Ensayo del Módulo Resiliente por Compresión Diametral Con plástico, Molde 6 a 40 °C .....	216

# Capítulo 1

## 1. Mezclas asfálticas convencionales

### 1.1. Definición

Se define como mezcla asfáltica (o bituminosa) en caliente a la combinación de áridos (incluido el polvo mineral) con un ligante. Las cantidades relativas de ligante y áridos determinan las propiedades físicas. El proceso de fabricación implica calentar el agregado pétreo y el ligante a alta temperatura, muy superior a la ambiental. Enseguida esta mezcla es colocada en la obra. (Zúñiga, 2015)

### 1.2. Composición

Su estructura se encuentra compuesta de materiales pétreos tales como agregado fino y grueso; en ciertos casos se utilizará un agregado intermedio, dependiendo del tipo de producción que realice la planta pavimentadora. Dichos materiales son combinados con un ligante el cual para este tipo de mezclas es el cemento asfáltico. Dichos materiales son combinados en ciertas cantidades respectivamente tomando como base la normativa vigente formándose de esta manera una mezcla asfáltica.

### 1.3. Agregados

En las mezclas asfálticas en caliente, los agregados típicos que se incluyen son grava, piedra triturada, arena, escoria y polvo de rocas, y constituye alrededor del 90 al 95 por ciento en peso, de la mezcla asfáltica. El comportamiento de un pavimento es altamente influenciado, por la selección apropiada del agregado, debido a que este proporciona la mayoría de las características de la capacidad portante. (Asphalt Institute, 2001)

Los agregados pétreos tienen varias clasificaciones para ser utilizados en una mezcla asfáltica, pero según (Padilla, 2004), de acuerdo a su formación clasifican en:

1.3.1. Rocas calcáreas: Son rocas sedimentarias, que se han formado, por la acumulación de sedimentos en el agua o durante el transcurso de su depósito. Generalmente se utilizan para las capas internas de la estructura del pavimento, evitando su uso como agregado grueso en la capa de rodadura por su facilidad de pulimentarse. Generalmente no presente problemas de adhesividad con el asfalto, e incluso se lo usa para mejora esta característica en mezclas con agregados menos adherentes. (Padilla, 2004)

1.3.2. Rocas silíceas: Son rocas de origen sedimentario, para su uso en la construcción generalmente proceden de la trituración de rocas naturales obtenidas de yacimientos. Son ampliamente utilizados en todas las

capas del pavimento, debido a los procedimientos de machaqueo y trituración para obtener las fracciones de menor tamaño, estos agregados presentan mayores angulosidades y caras fracturadas, y en complemento con su alto contenido de sílice, se crean condiciones mecánicas y de rozamiento interno, óptimas para utilizarlos en mezclas asfálticas para la superficie de rodadura. (Padilla, 2004)

1.3.3. **Ígneas y metamórficas:** De manera general, las rocas ígneas se forman de magma solidificado; mientras que las rocas metamórficas pueden ser rocas sedimentarias o ígneas, que se han ido transformando por efecto de la presión, calor dentro de la tierra o reacciones químicas, y debido a la complejidad de las transformaciones, es difícil determinar el origen exacto de una roca metamórfica. (Asphalt Institute, 2001)

Tanto las rocas ígneas y metamórficas son materiales que resultan adecuados para ser utilizados como agregado grueso en capas de rodadura. Ya que, presentan una alta resistencia al pulimento es un material totalmente adecuado a las exigencias de una zona donde el tráfico es concurrente. Por ejemplo se pueden usar materiales como granitos, cuarcitas, basaltos, andesitas, etc. (Padilla, 2004)

Cabe recalcar que para la construcción del pavimento asfáltico, los agregados a utilizarse se encuentran clasificados de acuerdo a su origen o técnica empleada para su obtención. Según (Asphalt Institute, 2001), se encuentran clasificados por:

- **Agregados naturales:** Son los agregados que se han producido por procesos naturales de erosión y degradación, y que solo han sido sometidos

a un proceso de distribución de sus tamaños para adaptarse conforme, las exigencias de su disposición final. Por lo general son rocas, redondeadas, lisas, y en ocasiones erosionadas, con gran contenido de arcilla y limo.

- **Agregados procesados:** Son aquellos que se han obtenido por la trituración de rocas de cantera y posterior tamizado en los tamaños requeridos. Son tres las razones para procesar los agregados, la primera es cuando se necesita modificar la textura superficial de los agregados de redonda a angular, la segunda es para mejorar la distribución de los tamaños del agregado, y principalmente la tercera para fragmentar las rocas grandes en tamaños manejables.
  
- **Agregados sintéticos:** Son el residuo de ciertos procesos industriales como escorias del refinamiento de metales, escombros procesados de demoliciones o arcillas sintéticas. Generalmente son agregados livianos con alta resistencia al desgaste.

#### 1.4. Ligantes

Según (Silva, 2015), los Ligantes Asfálticos son elaborados a partir del pitch asfáltico o residuo proveniente de la destilación del crudo petróleo y la clasificación del petróleo crudo es la siguiente:

#### 1.4.1. De base parafínica:

Contienen parafina y muy poco o ningún material asfáltico. Generalmente son aptos para obtener gasolinas.

#### 1.4.2. Crudo de base asfáltica:

Contienen poca o ninguna parafina, pero sí poseen material asfáltico en grandes proporciones. Los hidrocarburos consisten principalmente en la serie nafténica.

#### 1.4.3. Crudo de base mixta:

Contienen materiales tanto asfáltico como parafínico. En su composición entran hidrocarburos parafínicos y nafténicos junto con cierta proporción de hidrocarburos aromáticos.

Los asfaltos que son utilizados en el Ecuador son provenientes de las refinerías del país y principalmente son crudos de base asfáltica por destilación. De este proceso se obtiene el residuo llamado PITCH ASFÁLTICO.

El asfalto es un material termoplástico, es decir, disminuye su viscosidad al aumentar la Temperatura. El efecto viscoelasticoplástico produce una variación en la estabilidad de las mezclas asfálticas al variar las condiciones de temperatura a que están sometidas. (Silva, 2015)

### 1.5. Características del cemento asfáltico

Está compuesto por una combinación de hidrocarburos lo cual da un color café oscuro a negro. Entre sus propiedades destaca su poder aglomerante (cohesivo) el cual es aprovechado para ligar los agregados a utilizarse en un pavimento. Hay varias

clasificaciones de los constituyentes que componen el asfalto y una de éstas es la división en asfaltenos y maltenos.

#### 1.5.1. Maltenos:

Tienen relación con propiedades tales como fluidez, adhesión y ductilidad. Se trata de un líquido pegajoso con gran viscosidad que está compuesto de resinas y aceites. Estas resinas son de menor peso molecular que los asfaltenos.

#### 1.5.2. Asfaltenos:

Estos son compuestos orgánicos característicos por tener un alto peso molecular. Poseen alta viscosidad lo cual provee de elasticidad y gran resistencia al asfalto.

El asfalto se reacciona por oxidación, perdiendo cohesividad, fenómeno denominado envejecimiento. La oxidación produce en el asfalto un aumento de su rigidez y pérdida de su adhesividad. (Silva, 2015)

### 1.6. Propiedades del Asfalto Convencional

Según el (Asphalt Institute, 2001), las propiedades que más resaltan para los asfaltos semisólidos utilizados para diseño y construcción son:

### 1.6.1. La susceptibilidad térmica del asfalto

Permite determinar su comportamiento ante las variaciones de temperatura, pues al ser un material viscoelástico presenta consistencia dura (alta viscosidad) a bajas temperaturas, mientras que al aumentar la temperatura su consistencia es blanda (baja viscosidad). La importancia de evaluar la susceptibilidad a la temperatura, se vuelve relevante principalmente durante los procesos de construcción y mezcla, pues es necesario que el asfalto tenga adecuada fluidez a temperaturas que no afecten su calidad, logrando que cubra las partículas del agregado y a la vez les permita acomodarse unas respecto a otras, por otro lado, luego de finalizada la etapa de construcción, el asfalto deberá presentar alta viscosidad para mantener unidas a las partículas de agregado y adecuada dureza capaz de aportar elasticidad a la capa de rodadura. Los ensayos que permiten su evaluación son aquellos que caractericen su viscosidad, dureza y punto de ablandamiento. (Asphalt Institute, 2001)

### 1.6.2. La adhesión

Es la capacidad del asfalto para envolver las partículas de los agregados y permanecer adherido a ellas, mientras que la cohesión permitirá evaluar la capacidad del asfalto para mantener firmemente unidas las partículas entre ellas. Los ensayos para su evaluación son del tipo cualitativos, como el de peladura por el método del hervido que permiten identificar si el asfalto es apto o no. (Asphalt Institute, 2001)

### 1.6.3. El envejecimiento del asfalto

Permite evaluar su comportamiento ante la exposición a condiciones normales pero desfavorables que aparecen durante los procesos de mezcla y construcción, en el caso más crítico, el asfalto puede estar expuesto a condiciones altas de temperatura por largo tiempo, este escenario es evaluado por los ensayos de pruebas de película delgada en horno (TFO) y horno giratorio (RTFO). (Asphalt Institute, 2001)

Una respuesta inadecuada del asfalto hará que este se endurezca a causa de la combinación del asfalto con el oxígeno (procesos de oxidación), y que ocurre a temperaturas altas y en las películas delgadas que cubren a los agregados. Un asfalto endurecido aumentará su viscosidad respecto al ligante original y por consiguiente modificará las propiedades de la mezcla diseñada. Por lo tanto, la determinación de esta propiedad permitirá ajustar las técnicas de construcción y mezcla capaz de provocar el menor endurecimiento. Estos ajustes incluyen combinar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible, y durante el tiempo más corto que pueda obtenerse en la práctica. (Asphalt Institute, 2001)

### 1.6.4. La durabilidad

Como característica, permite evaluar que tan consistentes son las propiedades del asfalto, luego de exponerlo a procesos de envejecimiento y manipulación, dicha evaluación se hace comparando los cambios con respecto al asfalto sin degradar, realizando pruebas como las de viscosidad o penetración, a los residuos de las pruebas TFO o RTFO. (Asphalt Institute, 2001)

### 1.6.5. Ductilidad del asfalto

Permite evaluar su resistencia a la rotura, por medio del alargamiento máximo de la muestra, lo que, de manera tentativa, permitirá calificar si el material se comporta elásticamente ante las extenuantes deformaciones provocadas por las cargas de tránsito, sin embargo, lo más relevante es calificar la existencia o ausencia de elongación, pues un asfalto dúctil presenta mejores propiedades de aglomeración.

Otro tipo de propiedades permiten evaluar las características volumétricas del asfalto, como el peso específico, y que fundamentalmente influirá en el porcentaje de vacíos de un pavimento compactado. (Asphalt Institute, 2001)

## 1.7. Características de las mezclas asfálticas en caliente

Se encuentran definidas cuatro características que son fundamentales en las mezclas asfálticas, ya que, estas son las que regirán el desempeño de la mezcla:

### 1.7.1. Densidad de la mezcla

Corresponde a la relación entre el peso de la mezcla compactada por unidad de volumen. Es determinada en el laboratorio y para usar ese valor como patrón e identificar y controlar la compactación de la mezcla en el pavimento terminado. Las mezclas asfálticas compactadas y con valores altos de densidad son fundamentales

para conseguir un rendimiento duradero del pavimento terminado. (Asphalt Institute, 2001)

### 1.7.2. Vacíos de aire o vacíos

Son los espacios de aire que quedan atrapados en la mezcla asfáltica compactada, y se relacionan directamente con la permeabilidad y densidad de la capa terminada. Las mezclas con alto contenido de vacíos serán porosas y menos densas, mientras que bajos porcentajes de vacío permiten obtener mezclas más densas y menos permeables.

Las mezclas asfálticas convencionales de gradación densa aplicadas en bases y capas superficiales, según él (Asphalt Institute, 2001), deben contener porcentajes de vacíos determinados en muestras de laboratorio entre el 3 y 5 por ciento, mientras que en la verificación en obra deben ser porcentajes inferiores al 8 por ciento, de esta manera se permite que la carpeta pueda compactarse bajo las cargas de tránsito.

Controlar y determinar el porcentaje adecuado de vacíos de aire, mejorará la durabilidad de la mezcla, dado que cuando los porcentajes de vacío son altos, existe mayor cantidad de poros, por los cuales circula agua y aire, causando la oxidación y deterioro de la superficie. Por otro lado, cuando los porcentajes de vacíos son bajos, al comprimir la carpeta se restringe la posibilidad que el asfalto se acomode en los vacíos de aire, provocando que el asfalto se exprima hacia la superficie (exudación del asfalto).

### 1.7.3. Vacíos del agregado mineral (VAM)

Es el volumen que ocupan los vacíos de aire, y los espacios llenos por el asfalto, incluyendo el volumen de la película que rodea a los agregados, pero excluyendo la porción que es absorbida por ellos, este volumen de asfalto, se conoce como asfalto efectivo, por lo tanto, el VAM representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos de aire que se necesita en la mezcla.

De la cantidad de vacíos de agregado mineral, depende la durabilidad de la mezcla asfáltica, puesto que cuando los porcentajes de VAM son altos, existirá mayor espacio para que la película que cubre a los agregados sea más gruesa, mientras que cuando los porcentajes de VAM son inferiores a los mínimos recomendados, especialmente en mezclas excesivamente densas, la película que cubre a los agregados será demasiado fina, produciendo mezclas de baja durabilidad y con apariencia seca. (Asphalt Institute, 2001)

Los porcentajes de VAM, mínimos recomendados para mezclas densas se muestran en la Tabla N° 1, que están en función del tamaño máximo nominal de los agregados y del porcentaje de vacíos de aire de diseño.

Tabla 0.1 Porcentaje mínimo de VAM

Tamaño Máximo de Partículas Nominal <sup>1,2</sup>	VAM mínimo, porcentaje				
	Porcentaje de Vacíos de Aire de Diseño				
	Mm	pulg	3,0	4,0	5,0
	1,18	No. 16	21,5	22,5	23,5
	2,36	No. 8	19	20	21
	4,75	No. 4	16	17	18
	9,5	3/8"	14	15	16
	12,5	1/2"	13	14	15
	19	3/4"	12	13	14
	25	1	11	12	13
	37,5	1,5	10	11	12
	50	2	9,5	10,5	11,5
	63	2,5	9	10	11

Notas:

1. Especificación estándar para tamices de tela metálica para fines de ensayo, ASTM E11 (AASHTO M 92)
2. El tamaño de partícula máximo nominal es un tamaño mayor que el primer tamiz para retener más del 10 por ciento.
3. Interpolarse el VAM mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentran entre los que están citados.

**Fuente:** (Asphalt Institute, 2014)

Analizando la tabla anterior para una mezcla asfáltica formada con agregados de tamaño máximo nominal de 3/4" y con porcentaje de vacíos de aire del cinco por ciento, debe presentar un VAM mayor al catorce por ciento.

#### 1.7.4. Contenido de asfalto

Para determinar el asfalto que será incorporado en la mezcla se realizarán pruebas de laboratorio, que una vez verificadas determinarán la cantidad correcta. Existen varios métodos que proponen diferentes criterios y procedimientos. El más comúnmente utilizado es aquel que depende de la granulometría de los agregados y de su capacidad de absorción. (Minaya & Ordoñez, 2006)

Las mezclas con mayor contenido de agregado grueso, necesitan menor cantidad de asfalto, en razón que existe menor superficie total para recubrir, mientras que las mezclas con mayor contenido de agregados finos, generan mayor superficie para ser recubierta por el asfalto, además seguirá aumentando conforme crezca el contenido de relleno mineral o filler (agregado fino que pasa el tamiz N°200). Al mismo tiempo, de la capacidad de absorción de los agregados, depende la determinación del contenido y de la mezcla requerida tanto para recubrir a los agregados, como para garantizar que exista el contenido que estos absorben. (Minaya & Ordoñez, 2006)

### 1.8. Propiedades físicas y mecánicas del tereftalato de polietileno (PET)

#### 1.8.1. Definición

El Tereftalato de Polietileno es un polímero que se obtiene mediante una reacción entre el ácido tereftalático y etilenglicol llamada policondensación. Dicho polímero forma parte de los poliésteres también conocidos como materiales sintéticos, ya que, es un polímero termoplástico y esta es la razón de que sea posible reciclarlo.

Actualmente es la principal materia prima para la producción de envases de agua mineral, bebidas carbónicas y aceites, el PET se está consolidando en innovadoras aplicaciones para el sector de la alimentación, así como en productos de limpieza, cosméticos y farmacia. El éxito que ha experimentado y sigue experimentado el PET se debe a sus excepcionales características y propiedades técnicas que lo han convertido en uno de los plásticos con mayor versatilidad del mercado. (LSB, 2011)

### 1.8.2. Composición

El PET está hecho de petróleo crudo, gas y aire. Un kilo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. A partir del petróleo crudo, se extrae el paraxileno y se oxida con el aire para dar ácido tereftálico. El etileno, que se obtiene a partir de derivados del gas natural, es oxidado con aire para formar etilenglicol. (Secretaría del Medio Ambiente, 2018)

Según la (Secretaría del Medio Ambiente, 2018), el PET tiene varias aplicaciones, tales como:

#### **Fibra**

- Alfombra
- Ropa
- Telas para decoración, (cortinados, ropa de cama, tapicería, etc.).

#### **Packaging (Embalaje)**

- Bebidas (gaseosas, agua mineral jugos, etc.)

- Comidas
- Perfumería y cosméticos
- Productos para el hogar
- Licores Productos farmacéuticos

### Film (Película)

- Radiografías, tapes de video y audio

#### 1.8.3. Propiedades

El PET en general se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad. De acuerdo a su orientación presenta propiedades de transparencia y resistencia química. Existen diferentes grados de PET, los cuales se diferencian por su peso molecular y cristalinidad. Los que presentan menor peso molecular se denominan grado fibra, los de peso molecular medio, grado película y los de mayor peso molecular, grado ingeniería. Este polímero no se estira y no es afectado por ácidos ni gases atmosféricos, es resistente al calor y absorbe poca cantidad de agua, forma fibras fuertes y flexibles, también películas. Su punto de fusión es alto, lo que facilita su planchado, es resistente al ataque de polillas, bacterias y hongos. (tecnologiadelosplasticos, 2011)

*Tabla 0.2 Propiedades del Tereftalato de Polietileno*

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	1,34 – 1.39
Resistencia a la tensión	MPa	59 – 72
Resistencia a la compresión	MPa	76 – 128
Resistencia al impacto, Izod	J/mm	0.01 – 0.04
Dureza	--	Rockwell M94 – M101

<b>Dilatación térmica</b>	10 <sup>-4</sup> / °C	15.2 – 24
<b>Resistencia al calor</b>	°C	80 – 120
<b>Resistencia dieléctrica</b>	V/mm	13780 – 15750
<b>Constante dieléctrica (60 Hz)</b>	--	3.65
<b>Absorción de agua (24 h)</b>	%	0.02
<b>Velocidad de combustión</b>	mm/min	Consumo lento
<b>Efecto luz solar</b>	--	Se decolora ligeramente
<b>Calidad de mecanizado</b>	--	Excelente
<b>Calidad óptica</b>	--	Transparente a opaco
<b>Temperatura de fusión</b>	°C	244 - 260

*Fuente: Industria del Plástico. Plástico Industrial. Richardson & Lokensgard.*

## Capítulo 2

### 2. Mezclas Asfálticas modificadas

#### 2.1. Definición

La modificación del asfalto proviene de incorporar o disolver un aditivo modificador que puede ser o no dependiendo del caso un polímero. La adición de dicho polímero mejora las propiedades reológicas y mecánicas de este ligante como tal, puesto que, si se tiene una carretera con un gran número de tránsito vehicular, será necesario buscar mejores opciones dirigidas a la modificación del ligante utilizado.

Para la ingeniería en vías la modificación que sufre un material por medio de la adición de un segundo logra que al combinarse estos dos generen un nuevo elemento el cual posea propiedades superiores al de los materiales individuales. (Smith & Hashemi, 2006)

La incorporación de polímeros al asfalto convencional da paso a un asfalto modificado, el cual posee ligantes con excelentes características de elasticidad, adherencia y cohesión a un costo competitivo. (Fonseca A. M., 2010)

#### 2.2. Composición

Una mezcla asfáltica modificada es aquella la cual tiene dentro de su composición un material nuevo que va a reemplazar a uno o varios de los componentes ya existentes en la mezcla.

Entre las opciones a adicionarse se encuentran los polímeros, cuya función será la de mejorar las características de elasticidad y cohesión de una mezcla asfáltica convencional. Este polímero reemplazará un porcentaje del agregado al que se asemeje su granulometría.

Las mezclas asfálticas modificadas posees dos fases:

- 1) Fase continua: constituida por las partículas de polímeros hinchados.
- 2) Fase discontinua: constituida por el asfalto.

### 2.3. Propiedades que se benefician de una mezcla combinada

Una mezcla combinada se puede presentar al añadirse cualquier tipo de material a una mezcla convencional. Esta adición se lo realiza con la única finalidad de mejorar las características reológicas y mecánicas del ligante.

Al agregar un polímero al asfalto convencional se logra aumentar la rigidez a altas temperaturas evitando de esta manera deformaciones permanentes. Se reduce la rigidez a bajas temperaturas, previniendo que el asfalto colocado se fisure. Mejorar la adhesión de agregados pétreos y aumentar la viscosidad a bajas velocidades de corte. (Fonseca A. M., 2010).

## 2.4. Materiales utilizados para modificar una mezcla asfáltica

Existe gran variedad de polímeros que pueden mejorar de manera idónea las propiedades del asfalto modificado los cuales deben poseer baja polaridad, peso molecular medianamente alto y baja temperatura vítrea. Dentro de los polímeros que poseen estas cualidades que facilitan su aleación con el asfalto están los plastómeros, elastómeros, polímeros termoendurecibles y caucho de llanta usada. (Fonseca A. M., 2010).

### 2.4.1. Otros modificadores

En los últimos años hemos visto que el parque automotor alrededor del mundo ha incrementado de forma desmesurada, por tal motivo el asfalto incorporado a las vías también debe poseer mejores características. Gran cantidad de ingenieros en numerosas obras han incorporado nuevos elementos al asfalto entre los cuales están:

#### **- Llenante reactivo**

Constituido de polvo de piedra caliza la cual eleva sobre el nivel promedio el punto de ablandamiento y reduce de forma significativa la penetración del asfalto.

#### **- Llenante reactivos**

Su componente principal es la cal hidratada, la cual cumple la función de retrasar el envejecimiento del asfalto.

## **- Azufre**

Al agregar grandes cantidades al asfalto tiende a actuar como llenantes moldeables.

Uno de los principales problemas a la hora de usar azufre en aleación con el asfalto es que a temperaturas bajo el 150°C se produce una reacción de adición. Así mismo, a temperaturas por encima del 150°C se produce reacciones de oxidación.

## **- Modificadores químicos.**

Existen elementos oxidantes que reducen la pérdida de propiedades mecánicas y reológicas frente al incremento o decremento de la temperatura.

## 2.5. Reciclaje

### 2.5.1. Definición

Proceso mediante el cual se somete a un producto ya existente y fuera de uso a un tratamiento total o parcial para del mismo obtener materia prima o un nuevo producto con características similares o distintas.

### 2.5.2. Reciclaje de Plásticos.

Debido al éxito y el interés en reciclar botellas de plástico, ahora se están desarrollando e introduciendo en los flujos de recogida otras formas de reciclaje de envases de plástico. Principalmente dirigidos a envases de plástico "rígido", tales como botellas, tarrinas y bandejas (PET, HDPE, PVC, LDPE, PP y PS), usados tanto

para alimentos como para otras aplicaciones, procedentes de hogares y de sectores comerciales e industriales. (Ecoembes, 2015).

### 2.5.3. Enkador

En 1975, nace Enkador S.A con sus operaciones en la producción de filamentos de poliéster. Fue fundado en asociación con fabricantes textiles ecuatorianos y el consorcio AKZO-NOBEL con sede en Ecuador.

En el 2012 se inician las operaciones en la planta Recypet, de esta manera incursionó en el mercado de resinas plásticas a partir del reciclaje de las botellas PET post-consumo.

Enkador S.A. trabaja en la producción de textiles, confección de calzado y colchones. Fue la primera empresa de Industria textil ecuatoriana en obtener la Certificación ISO 9001 en el año 1996. (Enkador, 2017).

### 2.5.4. Material triturado PET

El material triturado utilizado para la modificación fue obtenido en la empresa Enkador S.A. el cual fue tamizado posteriormente de acuerdo a las características y similitudes que presentaba frente a los agregados convencionales que posee el asfalto.

## Capítulo 3

### 3. Caracterización y ensayos sobre el Material Pétreo. Caracterización y ensayos sobre el Asfalto.

#### 3.1. Material Pétreo

La denominación técnica “agregados pétreos” en pavimentos se refiere a un conglomerado de partículas inertes de gravas, arenas, finos y/o fillers (naturales o triturados), utilizados ya sea para la fabricación de mezclas asfálticas, concretos hidráulicos y materiales estabilizados o para la construcción de capas de terraplén, afirmado, subbase y/o base granular (figura 2.1). En términos generales, en un ensayo de granulometría por cribado o tamizado, las partículas con diámetro entre 2 mm y 6.4 cm son reconocidas como gravas. Aquellas con diámetro entre 0.075 y 2 mm son reconocidas como arenas (gruesas y finas) y las que son de diámetro inferior a 0.075 mm son reconocidas como tamaño de arcilla. Estas últimas pueden adquirir la denominación de filler o llenante mineral si no experimentan plasticidad en contacto con el agua (índice de plasticidad,  $IP = 0$ ). Los agregados pétreos deben poseer una granulometría adecuada y requisitos mínimos de calidad para conformar mezclas asfálticas. (Rondón Quintana, 2015)

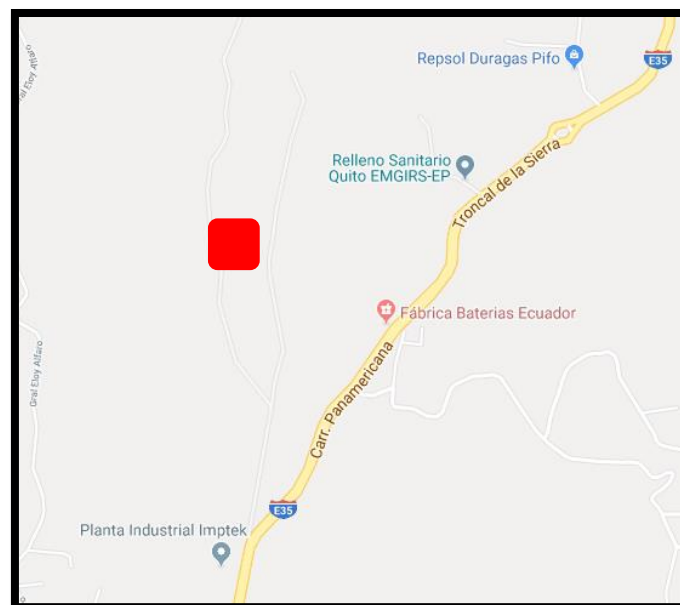
En el libro de (Rondón Quintana, 2015) menciona que dentro de una estructura de pavimento con capa asfáltica, los agregados pétreos más

exigentes, en cuanto a durabilidad, textura y resistencia mecánica se refiere, son aquellos que conforman las mezclas asfálticas. En estos últimos materiales los agregados pétreos conforman entre el 88% y el 96% de la masa y más del 75% del volumen. Dentro de las mezclas asfálticas, son los encargados de soportar las cargas impuestas por el parque automotor y transmitirla en menores proporciones a las capas subyacentes.

### 3.2. Origen del Material Pétreo

Para el presente estudio de investigación se han seleccionado los agregados pétreos de la Planta Constructora Naranjo – López ubicada en el Sector de Pifo al Sur-Este de la Ciudad de Quito, Ecuador.

*Fotografía 0.1 Origen Material Pétreo*



*Fuente: Google maps.*

 Planta Constructora Naranjo – López

*Fotografía 0.2 Planta Constructora Naranjo - López*



Se obtuvo la cantidad de 3 materiales de diferente tamaño. El material grueso tiene un tamaño máximo nominal 3/4" (19mm), el material intermedio tiene un tamaño máximo nominal de 1/2" (12.5mm), por último, el material fino que es producto de la desintegración de la roca volcánica que por su tamaño pasa el tamiz 4 y queda retenido en el tamiz número 200.

### 3.3. Ensayos sobre el Agregado Grueso e Intermedio

#### 3.3.1. Gravedad Específica

Permite determinar la densidad promedio de las partículas del árido, con esto se puede conocer el volumen que van a ocupar dentro de una mezcla ya sea de concreto, bitúmenes, entre otras. (ASTM C127 – 15, 2018)

Tabla 0.1 Gravedad Específica y Absorción Agregado Grueso

<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN</b>			
<b>MUESTRA: AGREGADO GRUESO</b>			
	<b>FÓRMULAS</b>	<b>CANTIDADES</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>Masa muestra seca (A)</b>		4580.6	gr
<b>Masa saturada con superficie seca (B)</b>		4682.5	gr
<b>Masa de la muestra sumergida ( C )</b>		2850.6	gr
<b>Gravedad específica Bulk (Ge)</b>	<b>A/(B-C)</b>	2.500	gr/cm3
<b>Gravedad específica saturada con superficie seca (Ges)</b>	<b>B/(B-C)</b>	2.556	gr/cm3
<b>Gravedad específica aparente (Gea)</b>	<b>A/(A-C)</b>	2.648	gr/cm3
<b>Porcentaje de absorción (Ab)</b>	<b>((B-A)/A)x100</b>	2.22	%

Tabla 0.2 Gravedad Específica y Absorción Agregado Intermedio

<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN</b>			
<b>MUESTRA: AGREGADO INTERMEDIO</b>			
	<b>FÓRMULAS</b>	<b>CANTIDADES</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>Masa muestra seca (A)</b>		4650.2	gr
<b>Masa saturada con superficie seca (B)</b>		4803.6	gr
<b>Masa de la muestra sumergida ( C )</b>		2836.3	gr
<b>Gravedad específica Bulk (Ge)</b>	<b>A/(B-C)</b>	2.364	gr/cm3

<b>Gravedad específica saturada con superficie</b>			
<b>seca (Ges)</b>	<b>B/(B-C)</b>	2.442	gr/cm <sup>3</sup>
<b>Gravedad específica aparente (Gea)</b>			
	<b>A/(A-C)</b>	2.564	gr/cm <sup>3</sup>
<b>Porcentaje de absorción (Ab)</b>			
	<b>((B-A)/A)x100</b>	3.30	%

3.3.2. Determinación del Valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5mm mediante el uso de la máquina de los ángeles.

Para (NTE INEN 860, 2011)

El presente informe determinara la pérdida de masa de los agregados mineral con graduación normalizada, fruto resultante de una combinación de acciones que incluyen la abrasión o desgaste, el impacto y la molienda en un tambor giratorio de acero que contiene un numero especificado de esferas de acero, cuyo número depende de la gradación de la muestra de ensayo.

*Tabla 0.3 Desgaste del Agregado Grueso*

<b>DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES</b>	
<b>MUESTRA: AGREGADO GRUESO</b>	
<b>PESO DE LA MUESTRA</b>	
(gr)	29328.1

<b>PESO</b>		
<b>TAMIZ (plg)</b>	<b>RETENIDO</b>	<b>TIPO DE GRADACIÓN</b>
1 ½	0	
1	0	
¾	360	
½	21520	
3/8	5700	
4	610	
8	371.5	<b>Gradación tipo B</b>
16	56.2	
30	33.1	
50	84.3	
100	279.9	
200	243.5	
pasa 200	69.6	

<b>FÓRMULAS</b>	<b>CANTIDADES</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>PESO INICIAL (A)</b>	5000	gr
<b>PESO RETENIDO TAMIZ No.12 (B)</b>	3290.1	Gr
<b>PESO PASA TAMIZ No.12 (C )</b> <b>C = (A - B)</b>	1709.9	Gr
<b>PORCENTAJE DE DESGASTE (D)</b> <b>D = (C/A)x100</b>	34.20	%

Tabla 0.4 Desgaste del Agregado Intermedio

<b>DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES</b>		
<b>MUESTRA: AGREGADO INTERMEDIO</b>		
<b>PESO DE LA MUESTRA</b>		
<b>(gr)</b>	19467.2	
<b>PESO</b>		
<b>TAMIZ (plg)</b>	<b>RETENIDO</b>	<b>TIPO DE GRADACIÓN</b>
1 ½	0	
1	0	
¾	0	
½	240	
3/8	5400	
4	11360	
8	721.9	<b>Gradación tipo C</b>
16	133.3	
30	82.2	
50	590	
100	705.1	
200	175.2	
pasa 200	59.5	

	FÓRMULAS	CANTIDADES	UNIDADES
PESO INICIAL (A)		5000.03	gr
PESO RETENIDO TAMIZ No.12 (B)		3315.5	gr
PESO PASA TAMIZ No.12 (C)	$C = (A - B)$	1684.53	gr
PORCENTAJE DE DESGASTE (D)	$D = (C/A) \times 100$	33.69	%

*Fotografía 0.3 Ensayo de desgaste del agregado grueso*



### 3.3.3. Determinación de la masa unitaria (Peso Volumétrico).

El método de ensayo sirve para determinar la masa unitaria del árido, en condición compactada o suelta y de esta manera calcular los vacíos entre las partículas.

*Tabla 0.5 Peso unitario Agregado Grueso*

<b>PESO UNITARIO</b>			
<b>MUESTRA : AGREGADO GRUESO</b>			
	<b>FÓRMULAS</b>	<b>CANTIDADES</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>PESO DEL RECIPIENTE (P)</b>		3814	gr
<b>VOLUMEN DEL RECIMIENTO (V)</b>		6878	cm <sup>3</sup>
<b>PESO DEL RECIPIENTE + AGREGADO SUELTO</b>			
<b>(A)</b>		12750	gr
<b>PESO DEL RECIPIENTE + AGREGADO COMPACTADO (B)</b>			
<b>COMPACTADO (B)</b>		13190	gr
<b>MASA DEL MATERIAL COMPACTADO (MC)</b>	<b>(B - P)</b>	9376	gr
<b>PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC)</b>	<b>(MC / V)</b>	1363.2	Kg/m <sup>3</sup>
<b>MASA DEL MATERIAL SUELTO (MS)</b>	<b>(A / P)</b>	8936	gr
<b>PESO UNITARIO SUELTO (PUS)</b>	<b>(MS / V)</b>	1299.2	Kg/m <sup>3</sup>

Tabla 0.6 Peso Unitario Agregado Intermedio

<b>PESO UNITARIO</b>			
<b>MUESTRA : AGREGADO GRUESO</b>			
	<b>FÓRMULAS</b>	<b>CANTIDADES</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>PESO DEL RECIPIENTE (P)</b>		3814	gr
<b>VOLUMEN DEL RECIMIENTO (V)</b>		6878	cm <sup>3</sup>
<b>PESO DEL RECIPIENTE + AGREGADO</b>			
<b>SUELTO (A)</b>		12680	gr
<b>PESO DEL RECIPIENTE + AGREGADO</b>			
<b>COMPACTADO (B)</b>		13020	gr
<b>MASA DEL MATERIAL COMPACTADO (MC)</b>	<b>(B - P)</b>	9206	gr
<b>PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC)</b>	<b>(MC / V)</b>	1338.47	Kg/m <sup>3</sup>
<b>MASA DEL MATERIAL SUELTO (MS)</b>	<b>(A / P)</b>	8866	gr
<b>PESO UNITARIO SUELTO (PUS)</b>	<b>(MS / V)</b>	1289.04	Kg/m <sup>3</sup>

#### 3.3.4. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio.

El ensayo permite conocer el desempeño de los agregados expuestos a las condiciones ambientales reales, este comportamiento se logra bañando de manera periódica al material en soluciones saturadas ya sea de sulfato de magnesio o sulfato de sodio seguido de un secado en el horno a 110oC de manera parcial. Este

procedimiento pretende simular los efectos que pueden generarse en los agregados expuestos a condiciones ambientales de congelamiento y descongelamiento. Se debe considerar que el ensayo es presenta gran imprecisión, por lo que no debe ser considerado como criterio definitivo para el rechazo del agregado. (NTE INEN 863, 2011)

*Tabla 0.7 Resistencia a los Sulfatos del Agregado Grueso*

DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS A LA ACCIÓN DEL SULFATO DE MAGNESIO								
MUESTRA : AGREGADO GRUESO								
MASA REQUERIDA EN EL ENSAYO (A): 300 gr								
FRACCIÓN	NÚMERO DEL TAMIZ (RETIENE)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	PORCENTAJE RETENIDO PARCIAL (%)	MASA DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO (gr)	MASA DE LAS FRACCIONES DESPUES DEL ENSAYO	PORCENTAJE QUE PASA EL TAMIZ MÁS FINO DESPUES DEL ENSAYO (%)	GRADACIÓN ORIGINAL (%)	PORCENTAJE DE DESGASTE PARCIAL (%)
		B	$C = (B/A) \times 100$	D	E	$F = ((D - E)/D) \times 100$		$G = (C \times F)/100$
1	No. 4	300	100	300	293.84	2.05	3.82	0.08
DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS A LA ACCIÓN DEL SULFATO DE MAGNESIO								
MUESTRA : AGREGADO GRUESO								
MASA REQUERIDA EN EL ENSAYO (A): 1000 gr								
FRACCIÓN	NÚMERO DEL TAMIZ (RETIENE)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	PORCENTAJE RETENIDO PARCIAL (%)	MASA DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO (gr)	MASA DE LAS FRACCIONES DESPUES DEL ENSAYO	PORCENTAJE QUE PASA EL TAMIZ MÁS FINO DESPUES DEL ENSAYO (%)	GRADACIÓN ORIGINAL (%)	PORCENTAJE DE DESGASTE PARCIAL (%)
		B	$C = (B/A) \times 100$	D	E	$F = ((D - E)/D) \times 100$		$G = (C \times F)/100$
2	1/2	670	100	1000	982.7	1.73	93.9	1.62
	3/8	330						
PORCENTAJE DE DESGASTE TOTAL (%)								1.70

*Fotografía 0.4 Ensayo de resistencia a los sulfatos*



### 3.4. Ensayos sobre el Agregado Fino

#### 3.4.1. Determinación de la Densidad, Densidad relativa y Absorción del árido fino.

Este método de ensayo se aplica para la determinación de la densidad promedio en una muestra de árido fino (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa y la absorción del árido. Dependiendo del procedimiento utilizado, la densidad es expresada como: seca al horno (SH), saturada superficialmente seca (SSS) o como densidad aparente. (NTE INEN 0856, 2012)

*Tabla 0.8 Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino*

<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN</b>			
<b>MUESTRA: AGREGADO FINO</b>			
	<b>FÓRMULAS</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
<b>Masa muestra saturada con superficie</b>			
<b>seca (B)</b>		500.05	Gr
<b>Masa muestra seca (A)</b>		495.9	Gr
<b>Masa del matraz (Mm)</b>		156.5	Gr
<b>Masa agua + matraz + material (Mmw)</b>		959.2	Gr
<b>Masa del agua añadida al matraz (Ma)</b>	<b><math>(Mmw - (Mm + B))</math></b>	302.650	cm <sup>3</sup>
<b>Gravedad Específica Bulk (Ge)</b>	<b><math>((A)/(500 - Ma))</math></b>	2.513	gr/cm <sup>3</sup>

<b>Gravedad Específica Saturada con superficie seca (Ges)</b>	$((B)/(500 - Ma))$	2.534	gr/cm <sup>3</sup>
<b>Gravedad Específica Aparente (Gea)</b>	$((A)/(500 + A + Mm + Mmw))$	2.567	gr/cm <sup>3</sup>
<b>Porcentaje de Absorción</b>	$((B - A)/A) \times 100$	0.837	%

### 3.4.2. Equivalente de arena

Este método de prueba está destinado a servir como una prueba rápida de correlación de campo. El propósito de este método de prueba es indicar, en condiciones estándar, las proporciones relativas de finos de arcilla o partículas de plástico y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz de 4,75 mm (n. ° 4). El término "equivalente de arena" expresa el concepto de que la mayoría de los suelos granulares y algunos agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, partículas de tamaño de arena, y generalmente partículas no deseables de arcilla o plástico y polvo. (ASTM D2419 – 14, 2018)

Tabla 0.9 Equivalente de Arena del Agregado Fino

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>		
<b>MUESTRA : AGREGADO FINO</b>		
<b>SOLUCIÓN: CLORURO DE CALCIO</b>		
<b>PROBETA 1</b>		
<b>LECTURA A (SUSPENCIÓN)</b>	<b>LECTURA B (SEDIMENTO)</b>	<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>(B/A)X100%</b>
3.4	2.7	79.41
<b>EQUIVALENTE DE ARENA = 79%</b>		

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>		
<b>MUESTRA : AGREGADO FINO</b>		
<b>SOLUCIÓN: CLORURO DE CALCIO</b>		
<b>PROBETA 2</b>		
<b>LECTURA A (SUSPENCIÓN)</b>	<b>LECTURA B (SEDIMENTO)</b>	<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>(B/A)X100%</b>
3.8	2.9	76.32
<b>EQUIVALENTE DE ARENA = 76%</b>		
<b>EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO = 78%</b>		

### 3.4.3. Determinación de la masa unitaria (Peso Volumétrico)

Tabla 0.10 Peso Unitario del Agregado Fino

<b>PESO UNITARIO</b>			
<b>MUESTRA : AGREGADO FINO</b>			
	<b>FÓRMULAS</b>	<b>CANTIDADES</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>PESO DEL RECIPIENTE (P)</b>		1655	Gr
<b>VOLUMEN DEL RECIMIENTO (V)</b>		2735	cm <sup>3</sup>
<b>PESO DEL RECIPIENTE + AGREGADO SUELTO</b>			
<b>(A)</b>		5870	Gr
<b>PESO DEL RECIPIENTE + AGREGADO</b>			
<b>COMPACTADO (B)</b>		6020	Gr
<b>MASA DEL MATERIAL COMPACTADO (MC)</b>	<b>(B - P)</b>	4365	Gr
<b>PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC)</b>	<b>(MC / V)</b>	1595.98	Kg/m <sup>3</sup>
<b>MASA DEL MATERIAL SUELTO (MS)</b>	<b>(A / P)</b>	4215	Gr
<b>PESO UNITARIO SUELTO (PUS)</b>	<b>(MS / V)</b>	1541.13	Kg/m <sup>3</sup>

3.4.4. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio.

Tabla 0.11 Resistencia a los Sulfatos del Agregado Fino

DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS A LA ACCIÓN DEL SULFATO DE MAGNESIO								
MUESTRA : AGREGADO FINO								
MASA REQUERIDA EN EL ENSAYO (A): 100 gr								
FRACCIÓN	NÚMERO DEL TAMIZ (RETIENE)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	PORCENTAJE RETENIDO PARCIAL (%)	MASA DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO (gr)	MASA DE LAS FRACCIONES DESPUES DEL ENSAYO	PORCENTAJE QUE PASA EL TAMIZ MÁS FINO DESPUES DEL ENSAYO (%)	GRADACIÓN ORIGINAL (%)	PORCENTAJE DE DESGASTE PARCIAL (%)
		B	$C = (B/A) \times 100$	D	E	$F = ((D - E)/D) \times 100$		$G = (C \times F)/100$
1	No. 4	100	100	100	91.6	8.40	23.92	2.01
DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS A LA ACCIÓN DEL SULFATO DE MAGNESIO								
MUESTRA : AGREGADO FINO								
MASA REQUERIDA EN EL ENSAYO (A): 100 gr								
FRACCIÓN	NÚMERO DEL TAMIZ (RETIENE)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	PORCENTAJE RETENIDO PARCIAL (%)	MASA DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO (gr)	MASA DE LAS FRACCIONES DESPUES DEL ENSAYO	PORCENTAJE QUE PASA EL TAMIZ MÁS FINO DESPUES DEL ENSAYO (%)	GRADACIÓN ORIGINAL (%)	PORCENTAJE DE DESGASTE PARCIAL (%)
		B	$C = (B/A) \times 100$	D	E	$F = ((D - E)/D) \times 100$		$G = (C \times F)/100$
2	No. 8	100	100	100	92.32	7.68	19.55	1.50
DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS A LA ACCIÓN DEL SULFATO DE MAGNESIO								
MUESTRA : AGREGADO FINO								
MASA REQUERIDA EN EL ENSAYO (A): 100 gr								
FRACCIÓN	NÚMERO DEL TAMIZ (RETIENE)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	PORCENTAJE RETENIDO PARCIAL (%)	MASA DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO (gr)	MASA DE LAS FRACCIONES DESPUES DEL ENSAYO	PORCENTAJE QUE PASA EL TAMIZ MÁS FINO DESPUES DEL ENSAYO (%)	GRADACIÓN ORIGINAL (%)	PORCENTAJE DE DESGASTE PARCIAL (%)
		B	$C = (B/A) \times 100$	D	E	$F = ((D - E)/D) \times 100$		$G = (C \times F)/100$
3	No. 16	100	100	100	92.96	7.04	14.20	1.00
DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS A LA ACCIÓN DEL SULFATO DE MAGNESIO								
MUESTRA : AGREGADO FINO								
MASA REQUERIDA EN EL ENSAYO (A): 100 gr								
FRACCIÓN	NÚMERO DEL TAMIZ (RETIENE)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	PORCENTAJE RETENIDO PARCIAL (%)	MASA DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO (gr)	MASA DE LAS FRACCIONES DESPUES DEL ENSAYO	PORCENTAJE QUE PASA EL TAMIZ MÁS FINO DESPUES DEL ENSAYO (%)	GRADACIÓN ORIGINAL (%)	PORCENTAJE DE DESGASTE PARCIAL (%)
		B	$C = (B/A) \times 100$	D	E	$F = ((D - E)/D) \times 100$		$G = (C \times F)/100$
4	No. 30	100	100	100	95.2	4.80	10.57	0.51
DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS A LA ACCIÓN DEL SULFATO DE MAGNESIO								
MUESTRA : AGREGADO FINO								
MASA REQUERIDA EN EL ENSAYO (A): 100 gr								
FRACCIÓN	NÚMERO DEL TAMIZ (RETIENE)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	PORCENTAJE RETENIDO PARCIAL (%)	MASA DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO (gr)	MASA DE LAS FRACCIONES DESPUES DEL ENSAYO	PORCENTAJE QUE PASA EL TAMIZ MÁS FINO DESPUES DEL ENSAYO (%)	GRADACIÓN ORIGINAL (%)	PORCENTAJE DE DESGASTE PARCIAL (%)
		B	$C = (B/A) \times 100$	D	E	$F = ((D - E)/D) \times 100$		$G = (C \times F)/100$
5	No. 30	100	100	100	98.52	1.48	19.36	0.29
							PORCENTAJE DE DESGASTE TOTAL (%)	5.30

### 3.5. Granulometría

Este método de ensayo se utiliza principalmente para determinar la graduación de materiales con el propósito de utilizarlos como áridos para hormigón o utilizarlos como áridos para otros propósitos. Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución granulometría de las partículas con los requisitos de las especificaciones aplicables y proporcionar la información necesaria para el control de la producción de diversos productos de áridos y mezclas que contengan áridos. (NTE INEN 0696, 2011)

#### 3.5.1. Granulometría Agregado Grueso

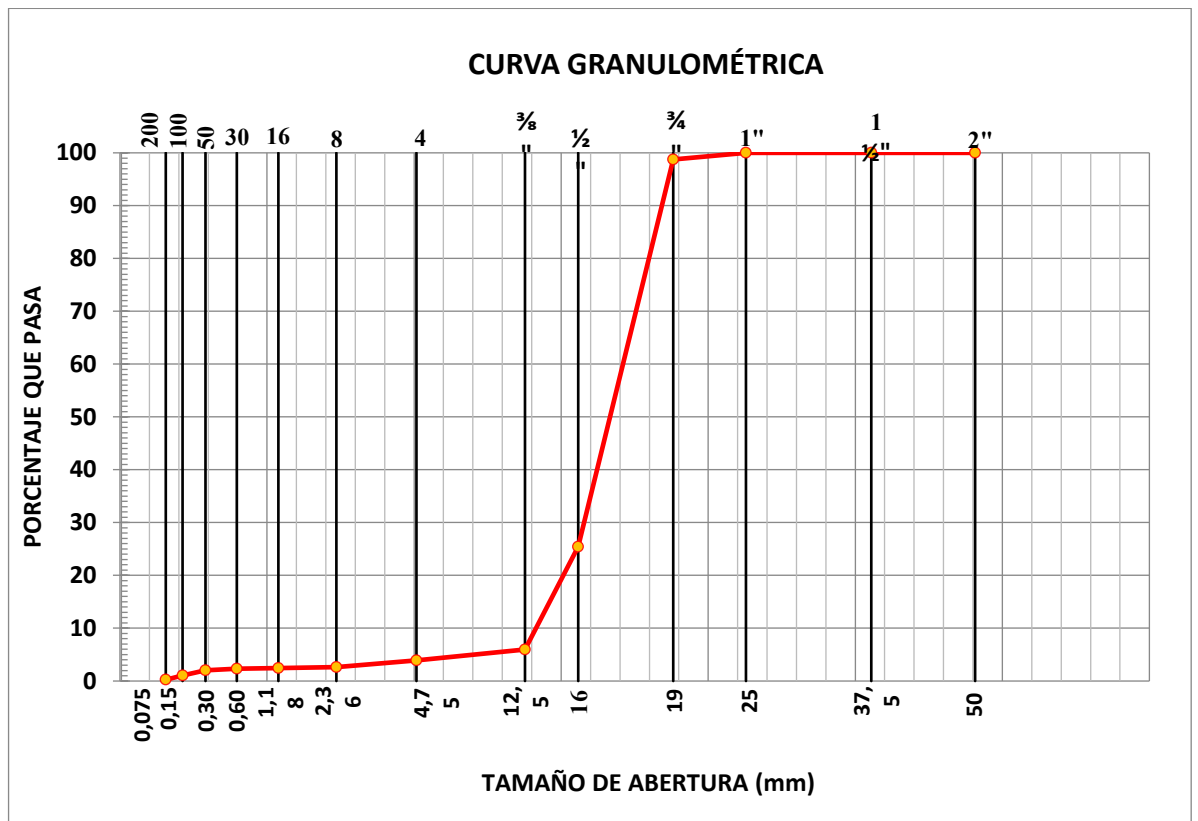
Tabla 0.12 Granulometría del Agregado Grueso

**Masa**  
**seca** 29330.00

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET. ACUM.	% RETENIDO	% PASA
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	360.00	360.00	1.23	98.77
1/2"	12.50	21,520.00	21,880.00	74.60	25.40
3/8"	9.50	5,700.00	27,580.00	94.03	5.97
4	4.75	610.00	28,190.00	96.11	3.89
8	2.36	371.50	28,561.50	97.38	2.62
16	1.18	56.20	28,617.70	97.57	2.43

30	0.600	33.10	28,650.80	97.68	2.32
50	0.300	84.30	28,735.10	97.97	2.03
100	0.150	279.90	29,015.00	98.93	1.07
200	0.075	243.50	29,258.50	99.76	0.24
<b>PASA N° 200</b>		71.50	29,330.00		

Gráfico 0.1 Curva Granulométrica del Agregado Grueso

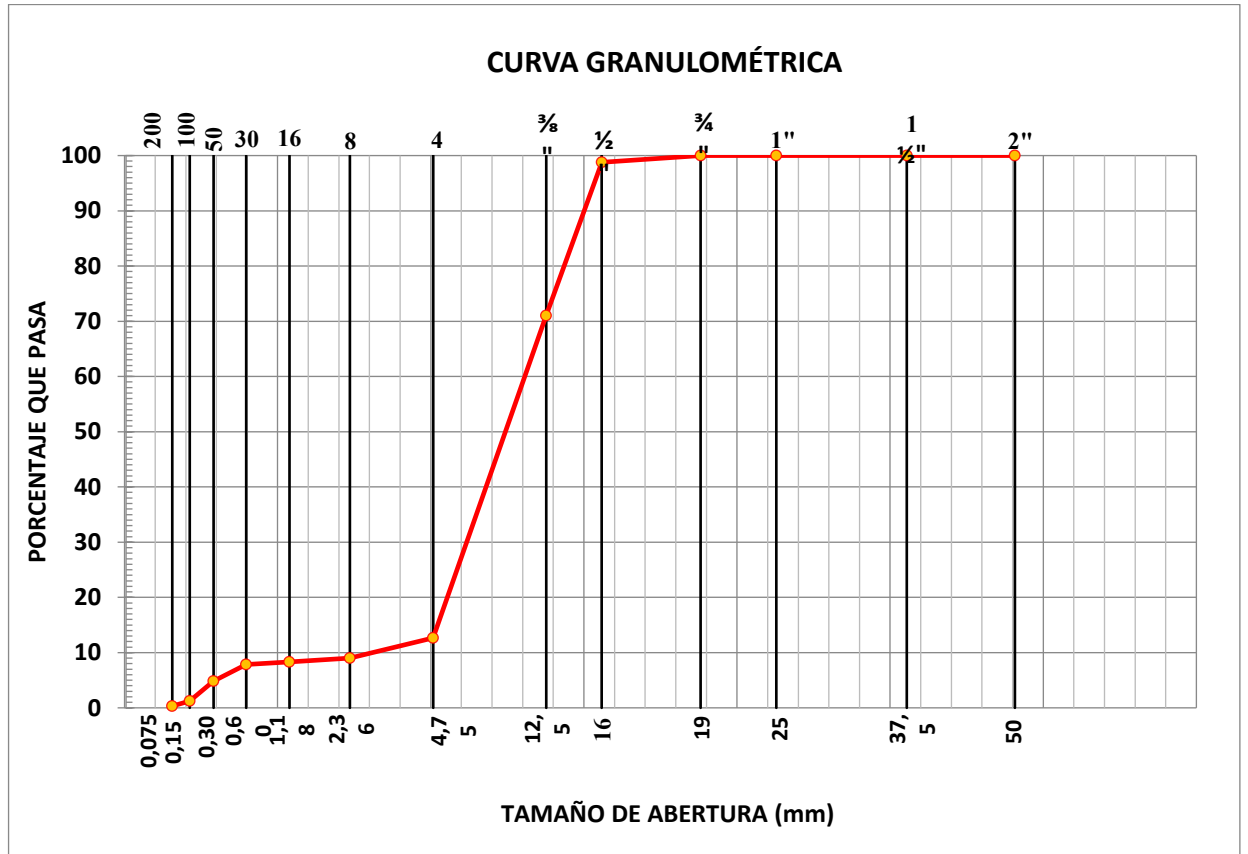


### 3.5.2. Granulometría Agregado Intermedio

Tabla 0.13 Granulometría del Agregado Intermedio

<b>Masa seca</b>		19470.00			
<b>TAMIZ N°</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO</b>	<b>PESO RET. ACUM.</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	240.00	240.00	1.23	98.77
3/8"	9.50	5,400.00	5,640.00	28.97	71.03
4	4.75	11,360.00	17,000.00	87.31	12.69
8	2.36	721.90	17,721.90	91.02	8.98
16	1.18	133.30	17,855.20	91.71	8.29
30	0.600	82.20	17,937.40	92.13	7.87
50	0.300	590.00	18,527.40	95.16	4.84
100	0.150	705.10	19,232.50	98.78	1.22
200	0.075	175.20	19,407.70	99.68	0.32
<b>PASA N° 200</b>		62.30	19,470.00		

Gráfico 0.2 Curva Granulométrica del Agregado Intermedio



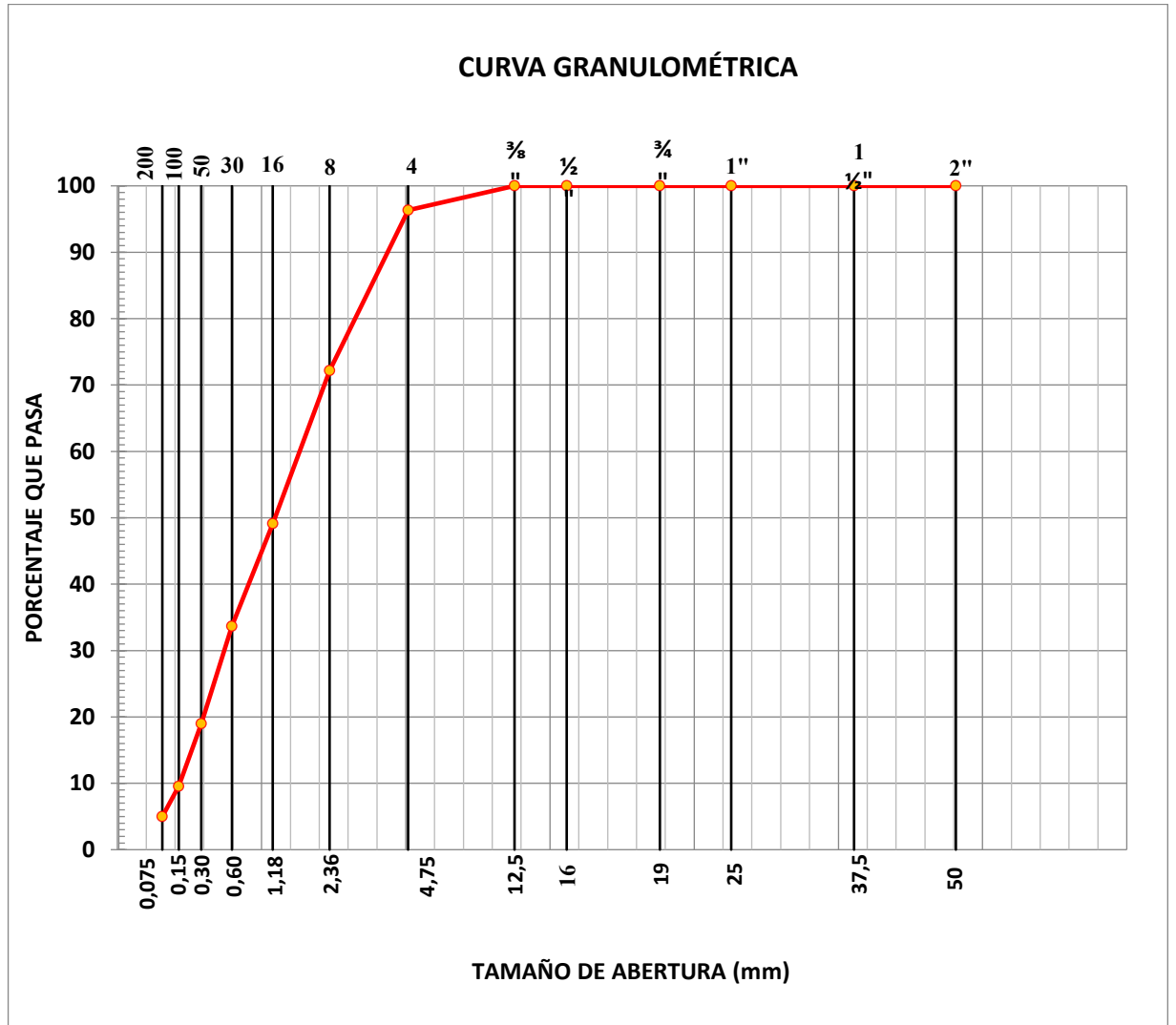
### 3.5.3. Granulometría Agregado Fino

Tabla 0.14 Granulometría del Agregado Fino

**Masa**  
**seca** 500.00

TAMIZ N°	ABERTURA	PESO	PESO RET.	%	
	(mm)	RETENIDO	ACUM.	RETENIDO	% PASA
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.0
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.0
1"	25	0.00	0.00	0.00	100.0
3/4"	19	0.00	0.00	0.00	100.0
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.0
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.0
4	4.75	18.30	18.30	3.66	96.3
8	2.36	120.90	139.20	27.84	72.2
16	1.18	115.10	254.30	50.86	49.1
30	0.600	77.34	331.64	66.33	33.7
50	0.300	73.50	405.14	81.03	19.0
100	0.150	47.10	452.24	90.45	9.6
200	0.075	22.80	475.04	95.01	5.0
<b>PASA N° 200</b>		24.96	500.00		

Gráfico 0.3 Curva Granulométrica del Agregado Fino

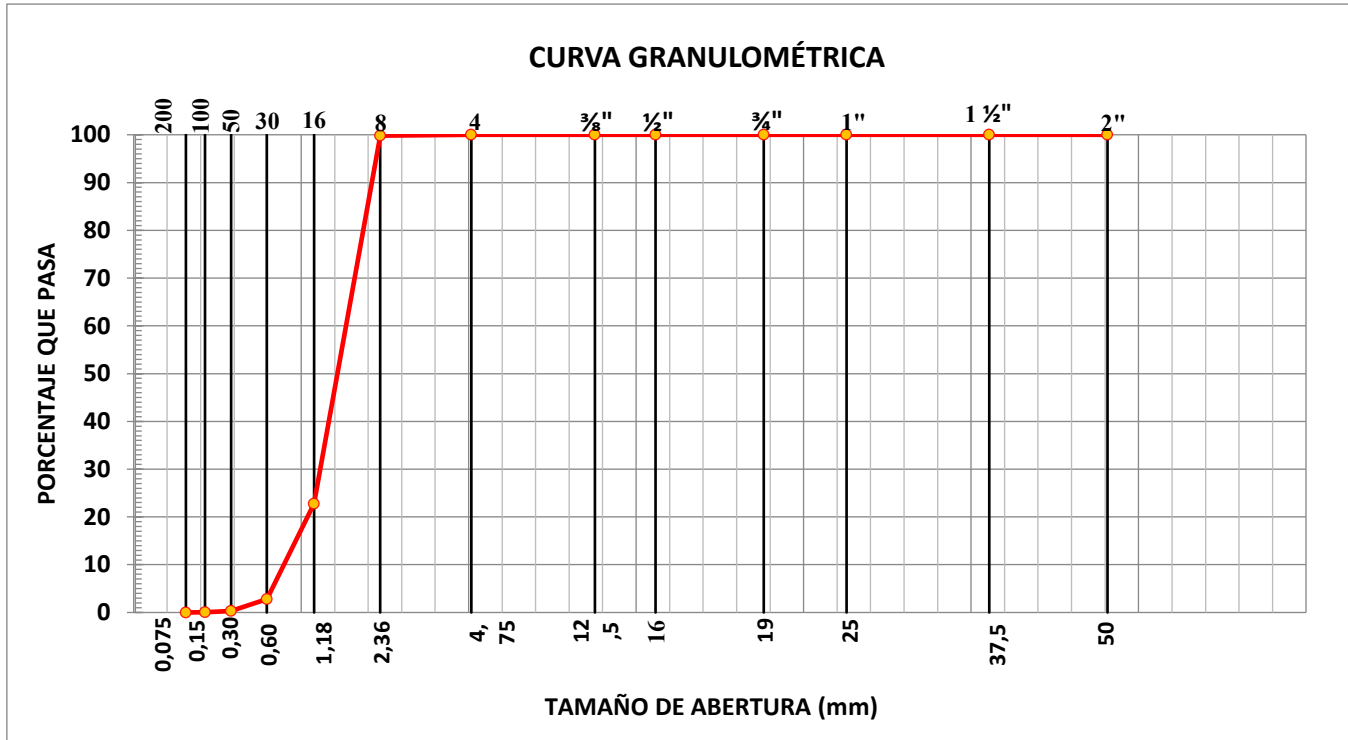


### 3.5.4. Granulometría Plástico PET triturado

Tabla 0.15 Granulometría del Plástico PET Triturado

<b>Masa</b>					
<b>seca</b>		866.50			
<b>TAMIZ N°</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO</b>	<b>PESO RET. ACUM.</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.0
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.0
1"	25	0.00	0.00	0.00	100.0
3/4"	19	0.00	0.00	0.00	100.0
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.0
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.0
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.0
8	2.36	1.56	1.56	0.18	99.8
16	1.18	667.82	669.38	77.25	22.7
30	0.600	172.81	842.19	97.19	2.8
50	0.300	21.84	864.03	99.71	0.3
100	0.150	1.79	865.82	99.92	0.1
200	0.075	0.68	866.50	100.00	0.0
<b>PASA N° 200</b>		0.00	866.50		

Gráfico 0.4 Curva Granulométrica del Plástico Triturado PET



### 3.6. Caracterización y Ensayos sobre el Asfalto

El asfalto a utilizarse es comúnmente conocido como AC-20 el cual fue obtenido de la planta constructora Naranjo – López. Según (PEMEX, 2017) el asfalto AC-20 es un residuo de la destilación atmosférica y de la destilación al vacío del petróleo crudo. Es la fracción más pesada del petróleo crudo, siendo una combinación de químicos orgánicos altamente viscosa, negra, pegajosa, completamente soluble en disulfuro de carbono y compuesta principalmente por hidrocarburos aromáticos policíclicos.

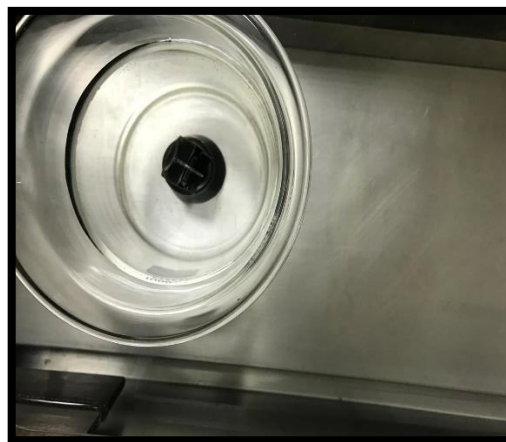
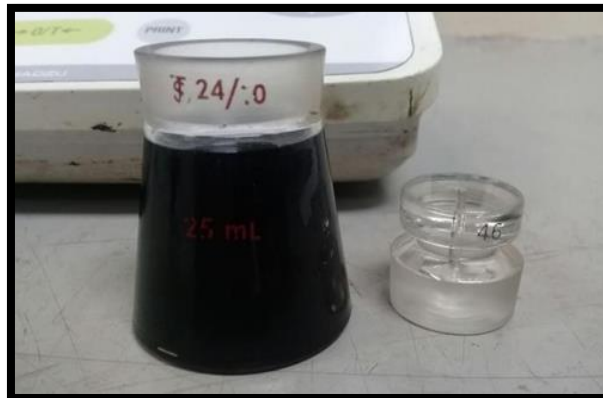
### 3.7. Ensayos sobre el asfalto

#### 3.7.1. Gravedad Específica

Este método de prueba cubre la determinación de la densidad relativa y la densidad del aglutinante de asfalto semisólido y los alquitranes de alquitrán blando mediante el uso de un picnómetro. (ASTM D70-18, 2018)

Es un ensayo utilizado principalmente para ayudar a determinar la composición volumétrica de mezclas asfálticas en caliente. (Rondón Quintana, 2015)

*Fotografía 0.5 Ensayo de gravedad específica del asfalto*



$$\text{Densidad Relativa} = (C - A) / [(B - A) - (D - C)]$$

$$\text{Densidad de la muestra} = \text{Densidad Relativa} \times W_t$$

$$W_t = \text{Densidad del agua a la temperatura de la prueba}$$

$$\text{Temperatura de la prueba } (^{\circ}\text{C}) = 25^{\circ}\text{C}$$

Tabla 0.16 Gravedad Específica del Asfalto

<b>Gravedad Específica del Asfalto</b>	
Masa del Picnómetro más tapón (A) gr.	37.134
Masa del Picnómetro lleno con agua (B) gr.	63.361
Masa del Picnómetro parcialmente lleno de asfalto (C) gr.	55.251
Masa del Picnómetro más asfalto y agua (D) gr.	62.535
Densidad relativa de la muestra	0.9564
Densidad del agua a la temperatura de ensayo (kg/m <sup>3</sup> )	997
Densidad de la muestra (kg/m <sup>3</sup> )	953.526

### 3.7.2. Viscosidad del Asfalto a altas temperaturas utilizando viscosímetro rotatorio

En el caso de los pavimentos, es un parámetro físico que ha sido utilizado principalmente para determinar de manera aproximada, las temperaturas de fabricación de mezclas asfálticas (temperatura de mezclado entre el agregado pétreo y el asfalto en la planta de asfalto) y de extensión y compactación de dichas mezclas

en el laboratorio. Adicionalmente, ofrece una medida indirecta de la consistencia y de la rigidez que presenta el asfalto, siendo por lo general el más rígido, aquel que experimenta mayor viscosidad. Puede ser entendida como la resistencia que tiene un material a fluir sobre una superficie. (Rondón Quintana, 2015)

*Fotografía 0.6 Ensayo de Viscosidad del Asfalto a altas temperaturas utilizando viscosímetro rotatorio*



### 3.7.3. Penetración

Físicamente, los resultados de este ensayo pueden ser entendidos como la resistencia que experimenta el cemento asfáltico cuando se permite penetrar en él una aguja normalizada de 100 g de masa durante cinco segundos a una temperatura estándar (25 °C). Es decir, de manera directa mide la consistencia del CA y de manera indirecta evalúa su rigidez, entendiéndose que, bajo las mismas condiciones de ensayo, el CA más rígido será aquel en el cual la aguja penetre menos. (Rondón Quintana, 2015)

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

*pen* = penetración a 25°, 100g, 5 s

*SP* = punto de ablandamiento (°C) ASTM D36

Tabla 0.17 Índice de penetración del Asfalto

<b>Penetración a 25°C, 100g, 5s</b>	
Penetración 1	82
Penetración 2	83
Penetración 3	83
<i>Penetración Promedio</i>	83
<i>Punto de Ablandamiento</i>	49.905
<b>Índice de Penetración</b>	0.1

#### 3.7.4. Punto de Ablandamiento

Según (Rondón Quintana, 2015) mide la temperatura a la cual el CA pasa de un estado sólido a uno en el cual fluye como un líquido. Esta temperatura es muchas veces utilizada como indicador empírico de máxima temperatura de operación de las mezclas en servicio. Lo ideal es que la mezcla no experimente durante su vida útil en el pavimento dicha temperatura, ya que el ligante asfáltico, y por lo tanto la mezcla, experimentarían una gran disminución en su rigidez.

Fotografía 0.7 Ensayo de Punto de ablandamiento del asfalto



Tabla 0.18 Punto de Ablandamiento del Asfalto

<b>Punto de Ablandamiento (°C)</b>	
Esfera N°1	49.8
Esfera N°2	50.01
<b>Promedio</b>	49.905

### 3.7.5. Método de prueba estándar para la viscosidad de asfaltos mediante viscosímetro capilar al vacío

Es un parámetro físico que ha sido utilizado principalmente para determinar de manera aproximada, las temperaturas de fabricación de mezclas asfálticas (temperatura de mezclado entre el agregado pétreo y el asfalto en la planta de asfalto) y de extensión y compactación de dichas mezclas en el laboratorio. (Rondón Quintana, 2015)

*Fotografía 0.8 Ensayo de prueba estándar para la viscosidad del asfalto*



*Fuente: DOCPLAYER*

Tabla 0.19 Viscosidad del Asfalto (200)

Temperatura de ensayo (°C)	60.01		
Número del viscosímetro	200		
Serie del viscosímetro	K596		
	Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D
Constante del viscosímetro			
(Pa.s/s):	11.95	6.167	4.142
Tiempo de flujo (s):	64.83	133.32	204.81
Viscosidad (Pa.s):	774.719	822.184	848.323
<b>Viscosidad (Pa.s)</b>	<b>774.719</b>		

Tabla 0.20 Viscosidad del Asfalto (100)

Temperatura de ensayo (°C)	60.00		
Número del viscosímetro	100		
Serie del viscosímetro	L801		
	Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D
Constante del viscosímetro			
(Pa.s/s):	3.177	1.608	1.071
Tiempo de flujo (s):	72.10	146.70	220.20
Viscosidad (Pa.s):	229.189	235.813	235.813
<b>Viscosidad (Pa.s)</b>	<b>229.189</b>		

### 3.7.6. Cambio de masa (Horno de película delgada rodante)

El ensayo de película delgada en RTFOT o cambio de masa es utilizado para evaluar la resistencia al envejecimiento a corto plazo del CA, entendiéndose por corto plazo aquel que experimenta el ligante durante los procesos de almacenamiento del CA, de fabricación de la mezcla en la planta asfáltica y de extensión y compactación en obra. El envejecimiento a largo plazo del CA es aquel que experimenta la mezcla asfáltica durante su vida útil o de servicio en el pavimento. (Rondón Quintana, 2015)

Fotografía 0.9 Ensayo de cambio de masa del asfalto



Fuente: CMAPT CNCTEMC .

Tabla 0.21 Cambio de masa del Asfalto

Botella	1	2
Masa de botella + asfalto antes (g)	204.991	203.177
Masa de botella + asfalto después (g)	204.928	203.127
Cambio de masa (%)	-0.031	-0.025
Cambio de masa promedio (%)	<b>-0.028</b>	

### 3.7.7. Punto de Inflamación y Combustión

Es la temperatura a la cual inflama el CA y se mide en un equipo denominado copa abierta de Cleveland. Entre mayor sea el punto de inflamación, menor es la probabilidad de experimentar problemas de combustión e inflamación durante los procesos de almacenamiento del CA y de fabricación de las mezclas en las plantas asfálticas (seguridad industrial). (Rondón Quintana, 2015)

*Fotografía 0.10 Ensayo de Punto de inflamación y combustión del asfalto*



*Tabla 0.22 Punto de Inflamación y Combustión del Asfalto*

Punto de Inflamación (°C)	282
Punto de Combustión (°C)	328
Presión Barométrica (mm Hg)	547.7

<b>Punto de Inflamación corregido</b>	
(°C)	<b>289</b>
<b>Punto de Combustión corregido</b>	
(°C)	<b>335</b>

### 3.7.8. Ductilidad

Según el libro de (Rondón Quintana, 2015), lo ideal en una mezcla asfáltica es que el CA experimente un comportamiento dúctil bajo carga durante su vida útil en el pavimento. Un comportamiento contrario o frágil en una mezcla puede inducir microfisuración térmica a bajas temperaturas de servicio y rompimiento prematuro de la mezcla bajo carga repetida (en el capítulo 3 se hará una descripción más detallada de estos fenómenos). Mezclas asfálticas dúctiles pueden desarrollar deformaciones permanentes o elásticas bajo carga repetida sin que el material experimente fallas estructurales, excepto cuando dichas cargas o deformaciones excedan los máximos permitidos por su resistencia. El problema de una mezcla asfáltica frágil es que bajo carga no puede experimentar deformación ya que inmediatamente falla, y este problema se agrava si la rigidez de la mezcla no es lo suficientemente elevada en magnitud.

*Tabla 0.23 Ductilidad del Asfalto*

Muestra	1	2	3	<b>Promedio</b>
Ductilidad (cm)	43	57	58	<b>53</b>

### 3.8. Requisitos para asfalto AC-20

En el presente trabajo de disertación se está utilizando el asfalto tipo AC-20, una vez realizados todos los ensayos de caracterización al material bituminoso se procederá a comprobarlos con la tabla Numero 7 de la NTE INEN 2515 “PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO. CEMENTO ASFÁLTICO (CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD) REQUISITOS”. De esta manera podrá ser clasificado como AC-20.

Tabla 0.24 Requisitos para Asfalto Cemento gradual Viscosidad a 60° a base de asfalto original

Ensayo	Unidad	Grado de Viscosidad										Norma de ensayo
		A		AC-10		AC-20		AC-30		AC-42		
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
<b>Viscosidad absoluta, 60 °C</b>	Pa s	60 ± 20		100 ± 20		200 ± 40		300 ± 60		420 ± 60		ASTMD 2171
<b>Viscosidad cinemática, 135 °C</b>	mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	175	-	25	--	30	-	35	-	40	-	ASTMD 2170
<b>Punto de Inflamación</b>	° C	177	-	219	--	2	--	232	-	232	-	NTE INEN 808
<b>Solubilidad en tricloroetilen o,<sup>c</sup></b>	%	99,	-	99,	--	9	-	99,	-	99	-	NTE INEN 915

<b>Gravedad</b>												
<b>específica</b>		Informe	Informe	Informe	Informe	Informe	Informe	Informe	Informe	Informe	Informe	ASTMD70
<b>25 °C/25 °C</b>												
<b>Índice de Penetración</b>		-1,5 a +1	-1,5 a +1	-1,5 a +1	-1,5 a +1	-1,5 a +1	-1,5 a +1	-1,5 a +1	-1,5 a +1	-1,5 a +1	-1,5 a +1	ASTM D5/D5M
<b>Residuo de ensayos de película fina en horno rotatorio:</b>												
<b>Viscosidad, 60 °C</b>	Pa	-	3	-	50	--	80	--	1	-	2	ASTMD
	s	-	0	-	0		0		200	-	000	2171
			0									
<b>Cambio de masa,</b>	%	-	1,	-	1,	--	1,	--	1,0	-	1,	ASTMD
	w/w	-	5	-	0		0			-	0	2872
<b>Ductilidad, 25 °C [77 °F], 5 cm/min</b>	c	100	-	75	--	50	-	40	-	2	-	NTE
	m		-				-		-	5	-	INEN
												916
<b>A</b> Si la ductilidad es menor a 100, el material debe ser aceptado, solo si la ductilidad a 15,5 °C es mínima 100 a una velocidad de tiro de 5 cm/min.												
<b>B</b> Índice de penetración = $\frac{1952-500 \log pen - 20 SP}{50 \log pen - SP - 120}$												
donde:												
pen = penetración a 25 °C, 100 g, 5 s												
SP = punto de ablandamiento (°C) ASTM D36												
<b>C</b> Solubilidad en bromuro de propilo N puede ser un método alternativo a la solubilidad en TCE.												

Fuente: Tabla 7. (NTE INEN 2515, 2014). Página 1

Una vez revisados todos los requisitos se presenta la tabla de resumen con el detalle de cada característica del asfalto ensayado:

Tabla 0.25 Resultados Obtenidos de Ensayos sobre el cemento asfáltico

Ensayo	Unidad	Valores para		Valor Obtenido en Ensayos	Evaluación
		AC-20			
		Mínimo	Máximo		
<b>Viscosidad Absoluta a 60</b>					
°C	Pa s	200	+40	229.189	Satisfactoria
<b>Viscosidad Cinemática a</b>					
<b>135 °C</b>	mm <sup>2</sup> s	300	-----	380.186	Satisfactoria
<b>Punto de Inflamación</b>					
	°C	232	-----	289	Satisfactoria
<b>Gravedad Específica a 25</b>					
°C	Kg/m <sup>3</sup>	99	-----	953.526	Satisfactoria
<b>Índice de Penetración</b>					
		De -1.5 a +1		0.1	Satisfactoria
<b>Viscosidad a 60 °C (Visco.</b>					
<b>200)</b>	Pa s	-----	800	774.719	Satisfactoria
<b>Cambio de Masa</b>					
	% w/w	-----	1	0.028	Satisfactoria
<b>Ductilidad a 25 °C</b>					
	cm	50	-----	53	Satisfactoria

# Capítulo 4

## 4. Diseño de Mezclas Asfálticas

### 4.1. Método Marshall

Este método es aplicable sólo a mezclas en caliente con cementos asfálticos que contengan agregados con tamaño máximo igual o inferior a 25 mm. Este método puede usarse tanto para el diseño en Laboratorio como en el control de terreno. Se confecciona una serie de probetas de 1100 gr de agregado con distintos contenidos de asfalto con incrementos de 0,5 %, las dimensiones de la probeta son 102 mm de diámetro y 63 mm de altura, Antes de ensayar se determinan las densidades de los agregados, asfalto y mezcla compactada. (Zúñiga, 2015)

Se somete al ensayo de estabilidad y fluidez a una temperatura de 60° C. Después de determinar la densidad, estabilidad y fluencia, se procede al análisis de huecos para cada serie de probetas.

Se deben confeccionar los siguientes gráficos de tendencias:

- Estabilidad
- Densidad
- Huecos de Aire

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada

lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador del cuadrante. Luego se suspende la carga una vez se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de Estabilidad Marshall. (Morales Cáceres, 2007)

#### 4.1.1. Estabilidad Marshall

La estabilidad de una mezcla depende de su cohesión y su fricción interna. Por un lado, la fricción depende de las características que presente el agregado en cuanto a su forma y textura, es decir, que mientras más angular sea, mayor fricción presentará la mezcla, y por ende se tendrá un menor desplazamiento del agregado ante fuerzas provenientes del tráfico. Por otro lado, la cohesión de la mezcla, depende de la calidad que presente el asfalto que será utilizado, ya que, a mayor viscosidad del asfalto y menor temperatura del pavimento, hay mayor cohesión. (Morales Cáceres, 2007)

Se podría deducir que mientras más alto sea el valor de la estabilidad Marshall, la mezcla sigue mejorando, pero no es así, ya que, a mayores valores de estabilidad la rigidez aumenta, comprometiendo la durabilidad del pavimento. (Morales Cáceres, 2007)

A continuación, se presentará algunas causas y efectos de problemas que se pueden presentar en la estabilidad de un pavimento:

- 1.- El exceso de asfalto en la mezcla, puede producir exudación del asfalto, ahuellamiento y ondulaciones en la superficie del pavimento.

2.-Trabajar con agregado redondeado, con carencia de superficie angular, provoca ahuellamiento.

3.- El exceso de arena de tamaño medio presente en la mezcla, reduce la resistencia durante la compactación y luego, por un tiempo produce dificultad para la compactación.

(Morales Cáceres, 2007)

#### 4.1.2. Flujo Marshall

El flujo o fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta. Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito. (Asphalt Institute, 2014)

#### 4.1.3. Ensayo de Tracción Indirecta

El ensayo de tracción indirecta, destaca por ser un método simple y representativo, que permite imitar la respuesta de un pavimento flexible y obtener la carga máxima que aguanta una mezcla antes de romper. (Garrote Villar , 2006)

Este ensayo consiste en someter a compresión diametral una probeta cilíndrica, igual a la definida en el ensayo Marshall, aplicando una carga de manera uniforme

a lo largo de dos líneas o generatrices opuestas hasta alcanzar la rotura. Esta configuración de carga de este ensayo provoca un esfuerzo de tracción relativamente uniforme en todo el diámetro del plano de carga vertical, y esta tracción es la que agota la probeta y desencadena la rotura en el plano diametral. (Garrote Villar , 2006)

Debido a que la respuesta del material depende de la temperatura en gran manera, ésta será una variable dentro del ensayo. El ensayo de tracción indirecta tiene validez para materiales de comportamiento fundamentalmente elástico y lineal. La norma indica el uso de una temperatura de  $25\pm 1$  °C, pero permite el uso de otras temperaturas para analizar la susceptibilidad térmica de la mezcla y sugiere que no se utilicen temperaturas superiores al punto de reblandecimiento del ligante por ser predominante el carácter viscoso de las mezclas. (Garrote Villar , 2006)

Como se ha comentado anteriormente, la principal ventaja del método es la sencillez de su metodología. Este es un factor muy valorado por todas aquellas instituciones que necesitan caracterizar de una forma rápida, fiable y económica los pavimentos que gestionan. El ensayo de tracción indirecta no sólo da información de la resistencia a tracción indirecta, sino que también nos informa sobre propiedades elásticas resilientes (módulo de elasticidad estático o dinámico en función del tipo de carga aplicada), fisuración térmica, fisuración por fatiga, deformación permanente y puede utilizarse para evaluar el efecto de la humedad en mezclas bituminosas. (Garrote Villar , 2006)

#### 4.1.4. Propiedades de las mezclas asfálticas compactadas (Volumétricas)

Una mezcla asfáltica al ser compactada tiene varias propiedades que son de suma importancia para obtener resultados sobre el diseño realizado, tales como:

##### 4.1.4.1. Gravedad Específica Bulk, $G_{sb}$

“Cuando el agregado total consiste en fracciones separadas de agregado grueso, agregado fino, y filler, todos tienen diferentes gravedades específicas. La gravedad específica neta del filler es difícil de determinar correctamente.” (Instituto Mexicano del Transporte, 2004) por otro lado si la gravedad específica aparente del filler es estimada, el error es usualmente insignificante. (Instituto Mexicano del Transporte, 2004)

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Donde:

$G_{sb}$  = gravedad específica neta para el agregado total

$P_1, P_2, P_n$  = porcentajes individuales por masa de agregado

$G_1, G_2, G_n$  = gravedad específica neta individual del agregado

#### 4.1.4.2. Gravedad Específica Aparente, $G_{sa}$

La proporción de peso en aire de un material impermeable a una temperatura determinada, con respecto al peso en aire de un volumen de agua destilada libre de gas, que posea la misma densidad, a una temperatura establecida.

#### 4.1.4.3. Gravedad Específica Efectiva, $G_{se}$

Para el (Instituto Mexicano del Transporte, 2004)

La gravedad específica efectiva del agregado,  $G_{se}$ , incluye espacios de vacíos en las partículas del agregado, excepto aquellos que absorben el asfalto. El volumen de asfalto absorbido por los agregados es casi invariablemente menor que el volumen de agua absorbida. Por tanto, el valor para la gravedad específica efectiva de un agregado debe estar entre su gravedad específica neta y su gravedad específica aparente.

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

$G_{se}$  = gravedad específica efectiva del agregado

$G_{mm}$  = gravedad específica máxima (ASTM D 2041/AASHTO T 209) de mezcla de pavimento (sin vacíos de aire)

$P_{mm}$  = porcentaje de masa del total de la mezcla suelta = 100

Pb = contenido de asfalto con el cual ASTM D 2041/AASHTO T 209 desarrolló el ensayo; el porcentaje por el total de la masa de la mezcla

Gb = gravedad específica del asfalto

#### 4.1.4.4. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)

“Se definen como el vacío intergranular entre las partículas del agregado en una mezcla asfáltica compactada, que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total.” (Instituto Mexicano del Transporte, 2004)

$$VAM = 100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb}$$

VAM = vacíos en el agregado mineral (porcentaje del volumen neto)

Gsb = gravedad específica neta del total de agregado

Gmb = gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada (ASTM D 1188 O D 2726/AASHTO T 166)

Ps = contenido de agregado, porcentaje del total de la masa de la mezcla asfáltica

#### 4.1.4.5. Contenido Efectivo de Asfalto ( $P_{be}$ )

Para (Instituto Mexicano del Transporte, 2004)

Es el volumen total de asfalto, menos la cantidad de asfalto perdido por absorción dentro de las partículas del agregado. Es la porción del contenido total de asfalto que se queda como una capa en el exterior de la partícula del agregado y es el contenido de asfalto que gobierna el desempeño de una mezcla asfáltica.

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \times P_s$$

Donde:

$P_{be}$  = contenido de asfalto efectivo, porcentaje de la masa total de la mezcla

$P_b$  = contenido de asfalto, porcentaje de la masa total de la mezcla

$P_{ba}$  = asfalto absorbido, porcentaje de la masa del agregado

$P_s$  = contenido de agregado, porcentaje total de la masa de la mezcla

#### 4.1.4.6. Vacíos de Aire ( $V_a$ )

“Consiste en los pequeños espacios de aire entre las partículas de agregado”.

(Instituto Mexicano del Transporte, 2004)

$$V_a = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$$

Donde:

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

Gmm = gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica

Gmb = gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada

#### 4.1.4.7. Vacíos llenos con Asfalto (VAF)

“El porcentaje de los vacíos en el agregado mineral que son llenados por el asfalto, VFA, no incluyendo el asfalto absorbido”. (Instituto Mexicano del Transporte, 2004)

$$VAF = 100 \times \frac{VAM - Va}{VAM}$$

Donde:

VAF = vacíos llenados con asfalto, porcentaje de VMA

VAM = vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen total

Va = vacíos de aire en mezclas compactadas, porcentaje del volumen total

Fotografía 0.1 Ensayo de Gravedad Específica Máxima Teórica



## 4.2. Diseño de mezcla asfáltica convencional

### 4.2.1. Determinación del porcentaje de asfalto teórico para la mezcla

Para el diseño de las briquetas se requiere un proceso de calculo que determinara el porcentaje teórico de asfalto con el cual se iniciara la mezcla, este porcentaje está en función de la granulometría del agregado según él (Asphalt Institute, 2014).

Habiendo hecho las granulometrías de los tres tipos de materiales (grueso, intermedio y fino) se procede a realizar la mezcla que representaran los baches. Existen límites de material pasante que deben ser establecidos para poder determinar la cantidad adecuada de cada uno de ellos para conformar el bache.

El material utilizado en este trabajo de disertación tiene como tamaño máximo nominal 3/4" (19mm) para el cual se tienen los siguientes límites:

*Tabla 0.1 Límites de material pasante con TMN 3/4"*

<b>TAMIZ N°</b>	<b>2 1/2"</b>	<b>2"</b>	<b>1 1/2"</b>	<b>1"</b>	<b>3/4"</b>	<b>3/8"</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>50</b>	<b>200</b>	
<b>ABERTURA</b>											
<b>(mm)</b>	63.00	50.00	37.50	25.00	19.00	9.50	4.75	2.36	0.300	0.075	
<b>Potencia</b>	<b>0.45</b>	6.45	5.81	5.11	4.26	3.76	2.75	2.02	1.47	0.58	0.31
<b>3/4 in.</b>	<b>MÍN.</b>	100	100	100	100	90	56	35	23	5	2
<b>(19,0 mm)</b>	<b>MÁX.</b>	100	100	100	100	100	80	65	49	19	8

*Fuente: (Asphalt Institute, 2014)*

Una vez establecidos los límites se debe verificar que nuestra curva granulométrica se encuentre dentro de estos límites para poder realizar la mezcla de materiales y asfalto óptima.

Utilizando los porcentajes de agregado siguientes, se obtuvo la curva granulométrica mostrada a continuación:

<b>Agregado A</b>	20%	<u>Agregado A:</u> Grueso
<b>Agregado B</b>	25%	<u>Agregado B:</u> Intermedio
<b>Agregado C</b>	55%	<u>Agregado C:</u> Fino

Gráfico 0.1 Curva Granulométrica para mezcla asfáltica

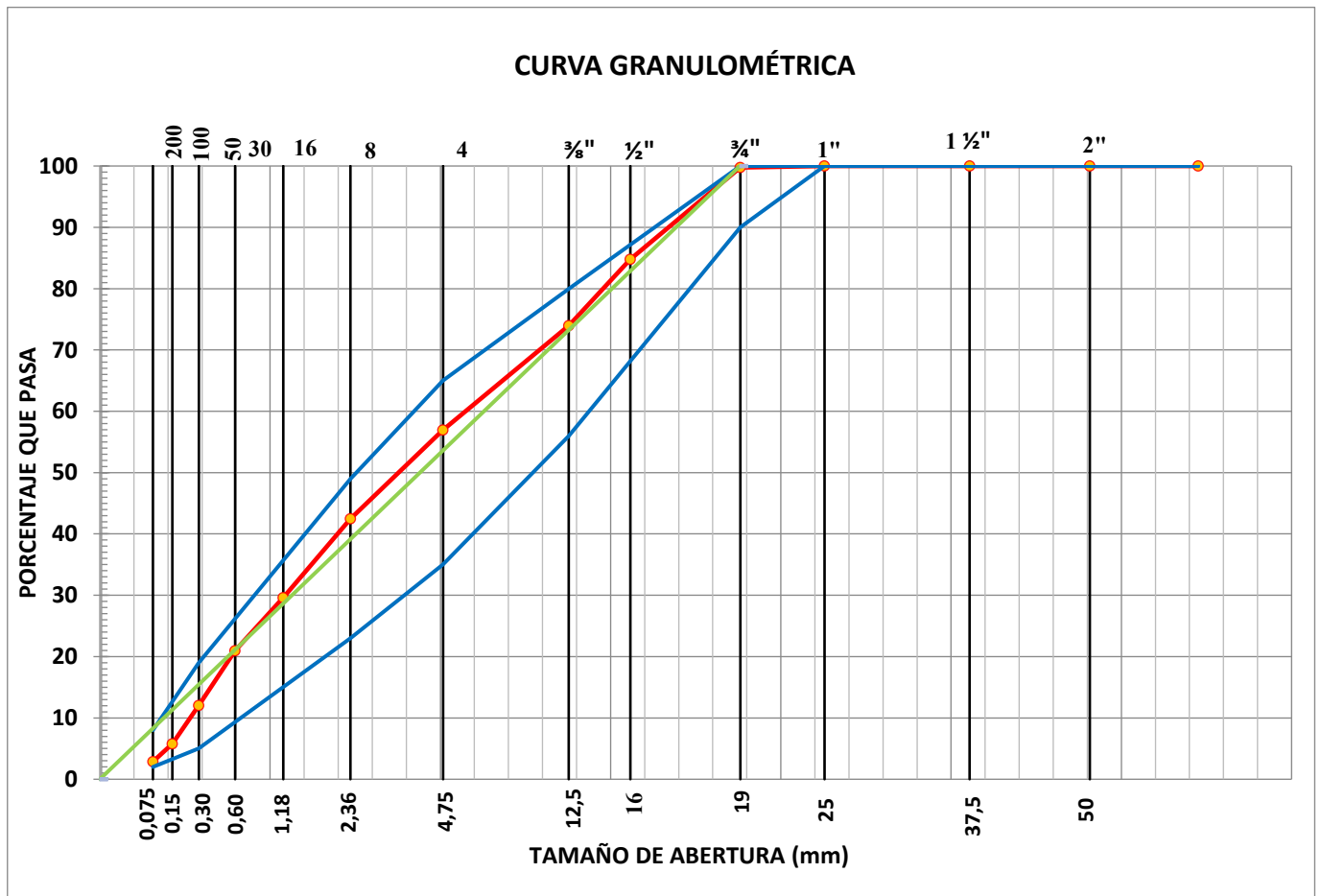


Tabla 0.2 Porcentajes de Agregado Mineral

MALLA	in	1"	3/4 "	1/2 "	3/8"	N° 4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°100	N°200
ABERTURA	(mm)	25	19	12.50	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.08
ESPECIFICACIÓN	MÍN	100	100	90	---	44	28	---	---	5	---	2
	MÁX	100	100	100	---	74	58	---	---	21	---	10
AGREGADO	A	100	100	100.00	100.00	96.34	72.16	49.14	33.67	18.97	9.55	4.99
AGREGADO	B	100	100	98.77	71.03	12.69	8.98	8.29	7.87	4.84	1.22	0.32
AGREGADO	C	100	98.77	25.40	5.97	3.89	2.62	2.43	2.32	2.03	1.07	0.24
MEZCLA AGREGADOS		100	99.75	84.77	73.95	56.94	42.46	29.59	20.95	12.05	5.77	2.87

Habiéndose ya, determinado los porcentajes de material respectivamente que serán utilizados en la elaboración de los baches, se debe calcular la porción de asfalto que será añadida a la mezcla.

Según el (Asphalt Institute, 2014), la formula a utilizarse para la determinación de la cantidad de asfalto es la siguiente:

$$P = 0,035 a + 0,045 b + Kc + F$$

Donde:

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

b = Porcentaje de material que pasa el tamiz 8 y retiene el número

200

c = Porcentaje de material pasante del tamiz número 200

K = Coeficiente de acuerdo al porcentaje de material pasante del tamiz No. 200

K = Según el valor de c

0.15 si está entre 11% y 15%.

0.18 si entre 6% y 10%.

0.20 si es el 5% o menos.

F = Coeficiente determinado por la absorción del material granular

Para determinar el factor F, se utilizan los valores de absorción obtenidos de cada tipo de agregado. Se obtiene un valor para la mezcla de F =1,80% combinando la absorción del agregado grueso, medio y fino multiplicado por el 20%, 25% y 55% respectivamente.

Utilizando los datos obtenidos para el presente trabajo de disertación se obtiene:

$$P = 0,035 (58) + 0,045 (40) + 0,20 \times (2.9) + 1,8$$

$$a = 58$$

$$b = 40$$

$$c = 2.9$$

$$K = 0,20$$

$$F = 1,8$$

Al aplicar la fórmula, tenemos un porcentaje de asfalto aproximado de 6.2%, por lo que se decide tomar el valor de 6.5% como porcentaje óptimo teórico.

#### 4.2.2. Determinación del porcentaje óptimo de asfalto para la mezcla

De acuerdo al (Asphalt Institute, 2014), Se procederá a determinar el porcentaje óptimo de asfalto , realizando tres briquetas para cada variación de porcentaje de asfalto, teniéndose un total de quince briquetas para ser ensayadas. Se debe iniciar desde el porcentaje optimo teórico de asfalto, el cual fue tomado como 6.5%.

Con este valor inicial se deberá realizar mezclas con porcentajes que se eleven y reduzcan en 1% pero cada 0.5%, teniéndose así los porcentajes de:

5.5% - 6.0% - 6.5% - 7.0% - 7.5%

Para añadir el porcentaje de asfalto se debe seguir el siguiente procedimiento:

Cada bache tendrá un peso de 1100 gramos al mezclar todos los agregados en los porcentajes determinados para cada uno, a este peso se debe añadir la cantidad de asfalto necesaria para completar el 100% del peso de la mezcla asfáltica.

Para explicar de una mejor manera estableceremos que, al realizar una mezcla asfáltica que contiene 1100 gramos de material pétreo esto representara el 95% de la mezcla para un porcentaje de asfalto correspondiente al 5%.

Fotografía 0.2 Elaboración de fundas que representan los baches



Se realizará un cálculo para cada porcentaje y así establecer el peso en gramos de asfalto necesario para cada mezcla.

$$\text{Gramos de asfalto} = \frac{\text{peso funda} \times \% \text{ asfalto}}{100 - \% \text{ asfalto}}$$

El material para la mezcla debe ser preparado antes de realizar las briquetas, este debe ser calentado a una temperatura de 152 °C a 157 °C durante 24 horas. De igual manera el asfalto a ser utilizado deberá estar en estado líquido – viscoso para lo cual debe ser calentado a la misma temperatura del agregado, siendo esta su temperatura máxima de calentamiento.

Los moldes a utilizarse para realizar las briquetas deberán ser calentados durante 10 minutos como mínimo hasta una temperatura de 140 °C a 145 °C la cual es la temperatura adecuada para compactación. Una vez calentados los moldes serán cubiertos en la base y en la pared del primer molde con aceite, además se colocará un papel filtro en la base del mismo.

Para realizar la mezcla se debe tener en cuenta que todo el material debe terminar cubierto totalmente con asfalto, es decir, no deben observarse partes del agregado sin cobertura de material ligante. La temperatura a la cual debe mezclarse el material y el asfalto será entre 150 °C a 160 °C.

*Fotografía 0.3 Mezcla de Agregados con Asfalto*



Una vez cubierto todo el agregado con asfalto se procederá a verter en el molde, se deberán dar 15 golpes con una varilla en el centro del molde y 10 alrededor del mismo completándose un total de 25 golpes previo a la compactación.

*Fotografía 0.4 Colocación de la Mezcla en el Molde para Compactación*



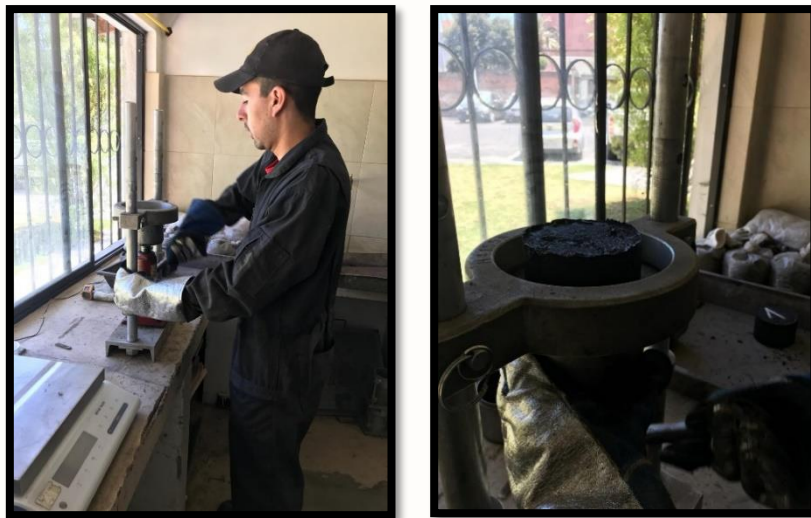
Para la compactación de la mezcla se utilizará un martillo normalizado con el cual se dará un total de 150 golpes, 75 golpes en una cara y 75 golpes en la cara contraria del molde según él (Asphalt Institute, 2014), para una vía de tráfico pesado.

*Fotografía 0.5 Compactación de la Mezcla*



Para proceder al desmolde de la muestra esta deberá enfriarse al aire libre, hasta llegar a temperatura ambiente. Se procederá a pesar las quince muestras en seco, sumergidas en agua a 25 (+-2) °C y saturadas superficialmente secas.

*Fotografía 0.6 Desmolde de Briquetas*



Antes de proceder a realizar el ensayo de las briquetas en la máquina del ensayo Marshall, estas deberán sumergirse en agua a una temperatura de 60 °C durante 30 a 40 minutos.

Fotografía 0.7 Ensayo de Briquetas



Los resultados de los ensayos realizados sobre las briquetas de mezcla convencional, son los siguientes:

Tabla 0.3 Resumen de resultados de cada briqueta con su porcentaje de asfalto

Resumen de Resultados							
	% asfalto	Bulk (gr/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad (Lb-fuerza)	Flujo (in/100)	Va (%)	VAM (%)	VAF (%)
1	5.5	2.221	5264	14.5	7.78	15.62	50.21
2	5.5	2.221	3487.4	15	7.76	15.60	50.25
3	5.5	2.222	3450.3	15	7.72	15.56	50.41
4	6	2.213	3367	15.5	7.25	16.35	55.68
5	6	2.212	3230.5	15	7.27	16.38	55.59
6	6	2.211	3569.6	15.7	7.34	16.44	55.33
7	6.5	2.208	3880	17.5	6.59	16.98	61.18

8	6.5	2.206	4018	16	6.67	17.05	60.89
9	6.5	2.207	4257	17	6.63	17.02	61.04
10	7	2.225	3003	16	4.61	16.81	72.61
11	7	2.224	3458	16	4.65	16.85	72.40
12	7	2.223	3266.3	15.5	4.67	16.87	72.31
13	7.5	2.242	3471	16.5	2.51	16.60	84.90
14	7.5	2.241	3738	17	2.55	16.63	84.68
15	7.5	2.242	3693.5	16.5	2.52	16.61	84.85

*Tabla 0.4 Resumen de resultados de cada porcentaje de asfalto*

<b>Resumen de Resultados</b>						
<b>% asfalto</b>	<b>Bulk (gr/cm3)</b>	<b>Estabilidad (Lb-fuerza)</b>	<b>Flujo (in/100)</b>	<b>Va (%)</b>	<b>VAM (%)</b>	<b>VAF (%)</b>
<b>5.5</b>	2.221	4067	15	7.75	15.59	50.29
<b>6</b>	2.212	3389	15	7.29	16.39	55.53
<b>6.5</b>	2.207	4052	17	6.63	17.02	61.04
<b>7</b>	2.224	3242	16	4.64	16.84	72.44
<b>7.5</b>	2.242	3634	17	2.52	16.61	84.81

Tabla 0.5 Resumen de valores para ensayo Marshall

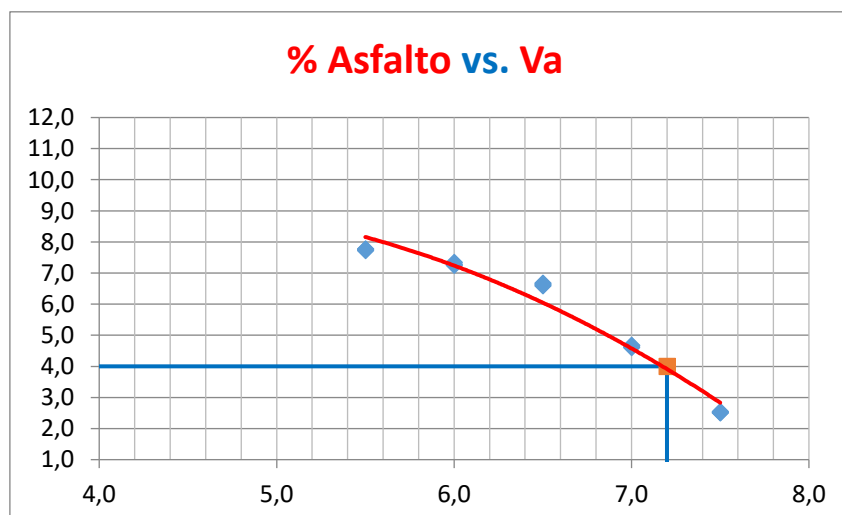
TIPO DE TRAFICO	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
<b>CRITERIOS MARSHALL</b>								
<b>No. De Golpes/Cara †</b>	75		75		50		50	
<b>Estabilidad (libras-fuerza) †</b>	2200	-	2200	-	2200	-	1000	2400
<b>Flujo (pulgada/100) †</b>	8	14	8	14	8	16	8	16
<b>% de vacíos en mezcla †</b>	3	5	3	5	3	5	3	5

†: Parámetros para la caracterización de mezclas asfálticas basados de la norma ASTM D – 1559 o AASHTO T-245-97 (2004)

Fuente: MOP – 001-F 2002, 2002, p. 309.

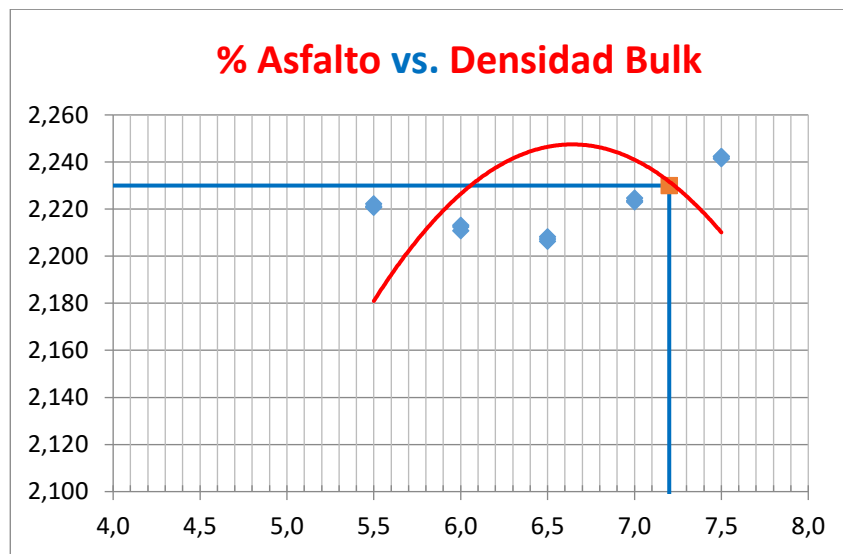
Una vez obtenidos estos resultados se procederá a realizar los gráficos de porcentaje de asfalto vs. Cada uno de los parámetros obtenidos, para obtener el porcentaje óptimo de asfalto.

Gráfico 0.2 Curva porcentaje de Asfalto vs. Vacíos de Aire



Ya que las especificaciones para el tipo de tráfico pesado indican que el porcentaje de vacíos esta entre 3 y 5, se tomara el valor de 4 para obtener el porcentaje óptimo de asfalto el cual resulta de 7.2%. Con este porcentaje de asfalto se procederá a verificar que se cumplan las especificaciones establecidas para los demás parámetros calculados.

Gráfico 0.3 Curva porcentaje de Asfalto vs. Densidad Bulk



Se observa que mientras se aumenta el porcentaje de asfalto la densidad bulk aumenta, sin embargo, disminuye para valores más altos en cierto punto, obteniéndose así un valor de densidad bulk de 2.230 (gr/cm<sup>3</sup>) para un porcentaje de asfalto de 7.2%.

Gráfico 0.4 Curva porcentaje de Asfalto vs. Estabilidad Marshall

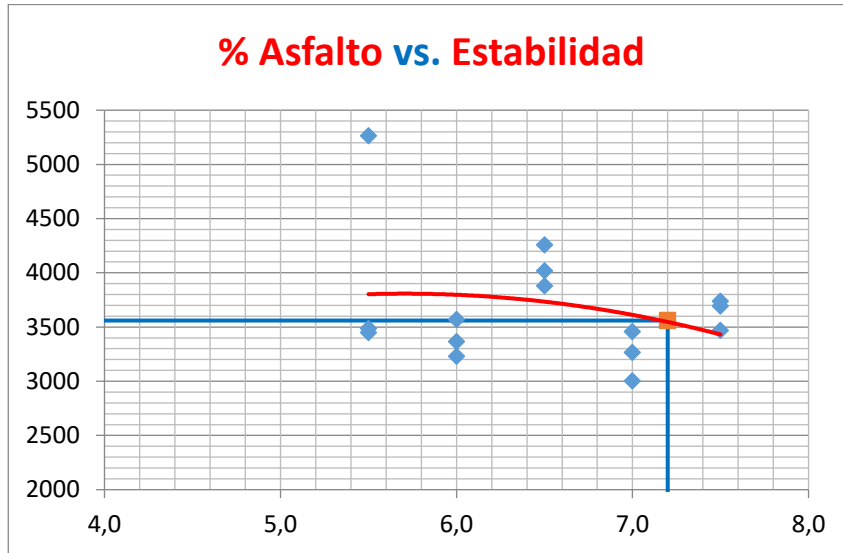
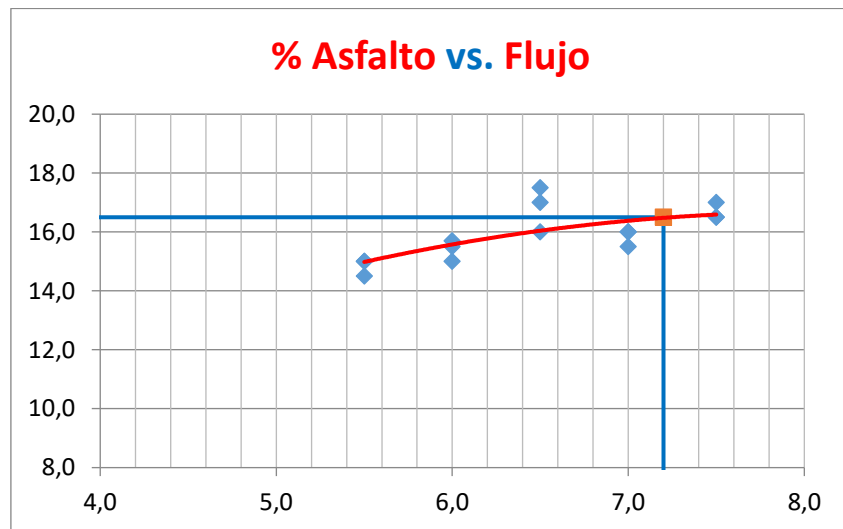
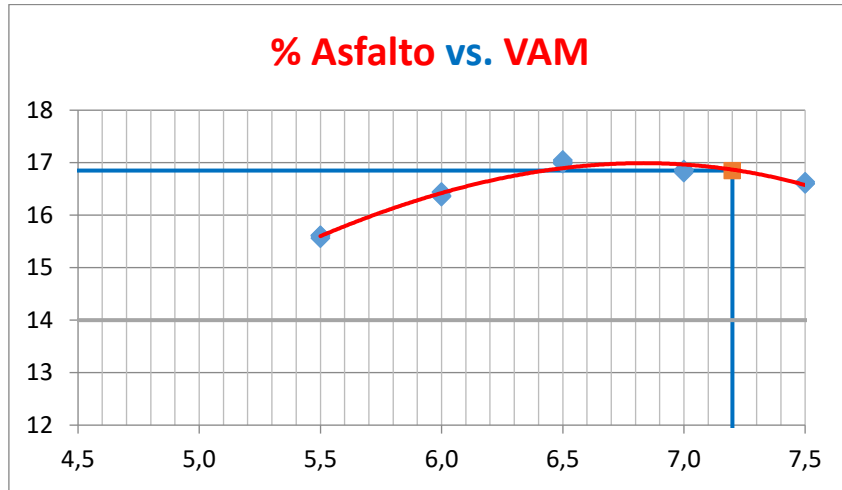


Gráfico 0.5 Curva porcentaje de Asfalto vs. Flujo Marshall



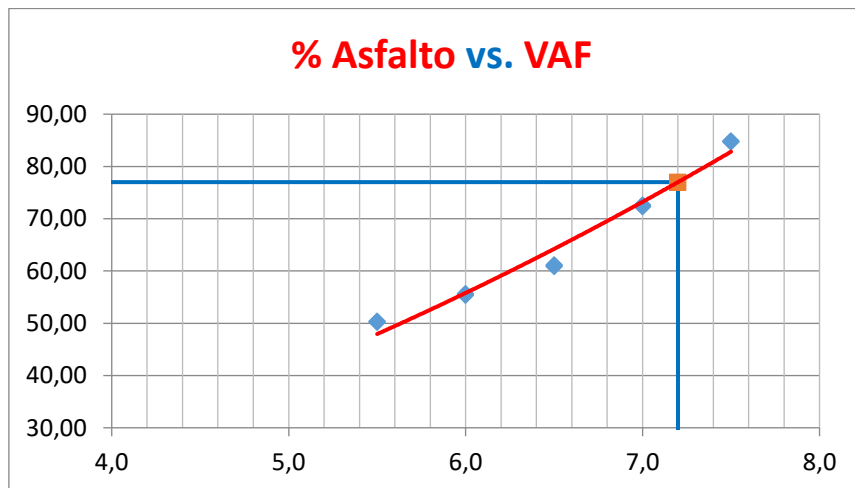
Se observa que existe una proporcionalidad entre el flujo y la cantidad de asfalto. En este caso para un porcentaje de asfalto de 7.2% el flujo es de 16.5. Este valor no se encuentra dentro de los parámetros establecidos para tráfico pesado.

Gráfico 0.6 Curva porcentaje de Asfalto vs. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)



Para un porcentaje de asfalto equivalente a 7.2% se tiene un 16.85% de VAM, lo cual se encuentra por encima del valor mínimo de 14% cumpliéndose los parámetros establecidos.

Gráfico 0.7 Curva porcentaje de Asfalto vs. Vacíos llenos con Asfalto (VAF)



Se observa que existe una relación directamente proporcional, pues a medida que aumenta la cantidad de asfalto los vacíos llenos con asfalto aumentan. Para el 7.2% de asfalto se obtiene un VAF equivalente a 77%. Dicho valor se encuentra fuera de los parámetros permitidos que son de 65% a 75%.

#### 4.2.3. Resumen de resultados obtenidos para el porcentaje óptimo de asfalto

Tabla 0.6 Resumen de Resultados para el porcentaje óptimo de asfalto

<b>Resumen de Resultados</b>						
<b>% asfalto</b>	<b>Bulk (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Estabilidad (Lb-fuerza)</b>	<b>Flujo (in/100)</b>	<b>Va (%)</b>	<b>VAM (%)</b>	<b>VAF (%)</b>
<b>7.2</b>	2.230	3560	17	4.00	16.85	77.00
		<i>Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>	<i>No Cumple</i>

#### 4.3. Diseño de mezcla asfáltica modificada

Con el valor determinado en los ensayos de la mezcla asfáltica convencional se obtuvo un valor para el porcentaje óptimo de asfalto, ahora es necesario determinar el porcentaje óptimo del polímero que se agregara a la mezcla asfáltica para modificarla, en este caso es el Tereftalato de Polietileno (PET) el cual se obtuvo de la trituración de botellas plásticas de bebidas carbónicas, aceites y agua.

Una vez triturado el material debe ser sometido a un ensayo de granulometría para determinar el tamaño de partícula adecuado que pueda sustituir cierto porcentaje de material pétreo en la mezcla.

Al tamizar dicho material se obtuvo el resultado de que la mayor cantidad retenida se encontraba en el tamiz número 16, con partículas de 1.18 mm, por lo cual este fue el material seleccionado para ser reemplazado en el agregado fino.

Fotografía 0.8 Plástico PET Triturado



#### 4.3.1. Determinación del porcentaje óptimo de polímero

Para realizar la sustitución del polímero por agregado se seleccionaron diferentes porcentajes del material para ser reemplazados en la mezcla:

3% - 4% - 5% - 6% - 7%

Estos porcentajes serán reemplazados en relación al peso del material fino que pasa el tamiz N° 8 y retiene el tamiz N° 16.

Según (Chavez & Aulestia, 2017), el porcentaje óptimo de plástico triturado PET que debe ser añadido a una mezcla asfáltica para modificarla de tal manera que mejore sus características mecánicas es menor al 10%, debido a esto hemos tomado los valores ya mencionados anteriormente como iniciales para empezar el diseño.

Al ser este un trabajo de investigación, se realizarán tres briquetas para cada porcentaje de plástico a ser reemplazado, con un total de 15 briquetas. Es importante

verificar que el material plástico se encuentre seco, para lo cual se procedió a secarlo en un horno a 110 (+-5) °C, esta temperatura no afectará de ninguna manera al plástico, ya que no es suficiente para alterar sus propiedades físicas, mecánicas o químicas, puesto que su temperatura de fusión se encuentra entre 244 – 260°C.

*Fotografía 0.9 Procedimiento de Secado de Plástico PET Triturado*



El material a ser utilizado en la mezcla tendrá la misma preparación mencionada en una mezcla asfáltica convencional. Este material estará formado con agregados pétreos más plástico PET.

El asfalto a ser utilizado en la mezcla tendrá el mismo proceso de calentamiento igualmente que en una mezcla asfáltica convencional.

Fotografía 0.10 Adición de Plástico PET Triturado para la Mezcla



Los resultados obtenidos al ensayar las briquetas modificadas con residuos triturados de plástico PET, son los siguientes:

Tabla 0.7 Resumen de resultados de cada briqueta con su porcentaje de PET

<b>Resumen de Resultados</b>							
	<b>% PET</b>	<b>Bulk (gr/cm3)</b>	<b>Estabilidad (Lb-fuerza)</b>	<b>Flujo (in/100)</b>	<b>Va (%)</b>	<b>VAM (%)</b>	<b>VAF (%)</b>
1	3	2.215	3610	16	4.39	13.60	67.72
2	3	2.226	3360.5	19.5	3.94	13.19	70.15
3	3	2.219	3162	17	4.25	13.47	68.44
4	4	2.213	3910	15.5	3.97	14.59	72.81
5	4	2.233	3724.8	18	3.08	13.80	77.69
6	4	2.212	3664.2	16.5	4.00	14.62	72.64

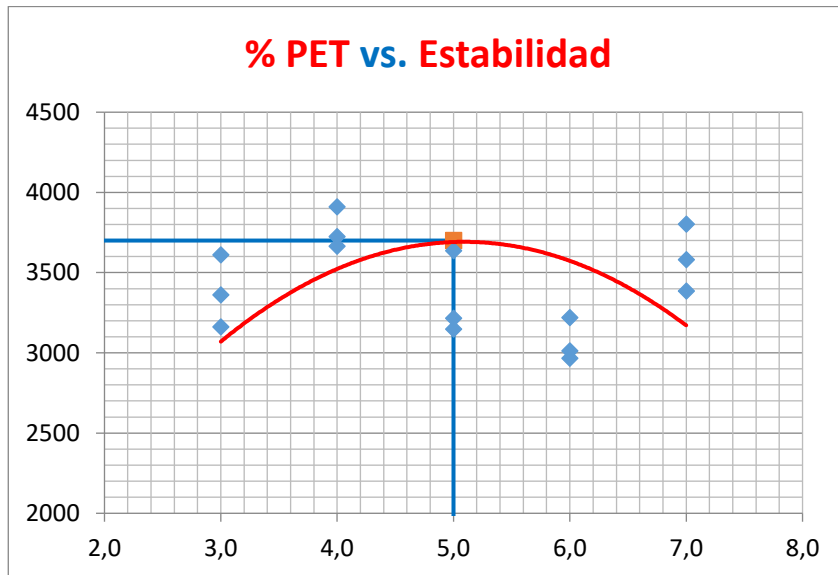
7	5	2.223	3637.5	17.5	3.63	15.07	75.92
8	5	2.238	3148.8	17.5	3.00	14.52	79.32
9	5	2.227	3216	17	3.48	14.94	76.70
10	6	2.210	2966.4	18.5	4.02	16.46	75.55
11	6	2.219	3220	16.5	3.63	16.12	77.45
12	6	2.217	3013	16	3.74	16.21	76.94
13	7	2.220	3385.2	20	3.47	16.97	79.57
14	7	2.211	3802.5	21.5	3.86	17.31	77.69
15	7	2.215	3580.5	18	3.71	17.19	78.39

*Tabla 0.8 Resumen de resultados de cada porcentaje de PET*

<b>Resumen de Resultados</b>							
<b>% Asfalto</b>	<b>% PET</b>	<b>Bulk (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Estabilidad (Lb-fuerza)</b>	<b>Flujo (in/100)</b>	<b>Va (%)</b>	<b>VAM (%)</b>	<b>VAF (%)</b>
<b>7.2</b>	<b>3</b>	2.220	3378	18	4.19	13.42	68.77
<b>7.2</b>	<b>4</b>	2.219	3766	17	3.68	14.34	74.38
<b>7.2</b>	<b>5</b>	2.229	3334	17	3.37	14.85	77.32
<b>7.2</b>	<b>6</b>	2.216	3066	17	3.80	16.26	76.64
<b>7.2</b>	<b>7</b>	2.215	3589	20	3.68	17.16	78.55

Una vez obtenidos estos resultados se procederá a realizar los gráficos de porcentaje de PET vs. Cada uno de los parámetros obtenidos, para obtener el porcentaje óptimo de PET.

Gráfico 0.8 Curva porcentaje PET vs. Estabilidad (Modificada con PET)

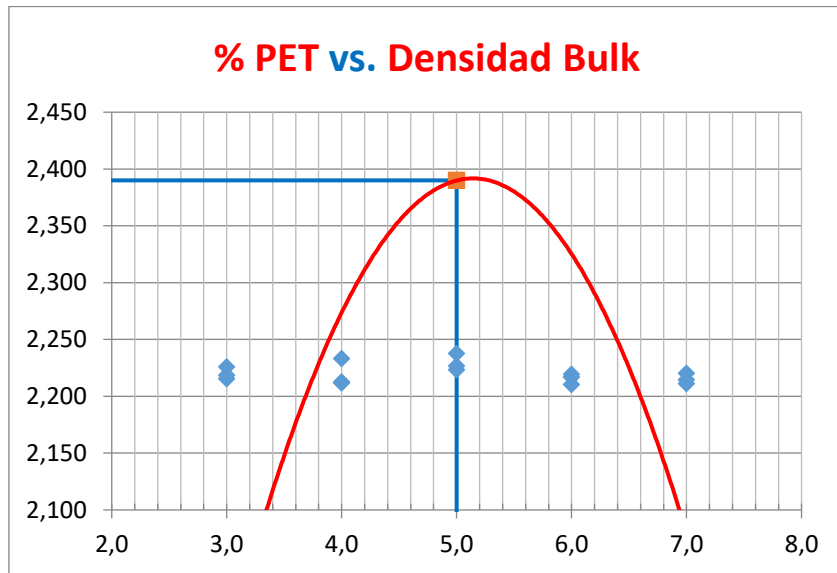


El porcentaje óptimo de PET se determina desde el punto más alto de la curva de %PET vs. Estabilidad, de esta manera se obtuvo que para un valor de estabilidad equivalente a 3700 lbf el porcentaje de PET es de 5%, siendo este el óptimo del polímero para la mezcla.

Una vez determinado el porcentaje óptimo de PET se procederá a obtener los resultados en relación a los otros parámetros calculados vs. % óptimo de PET.

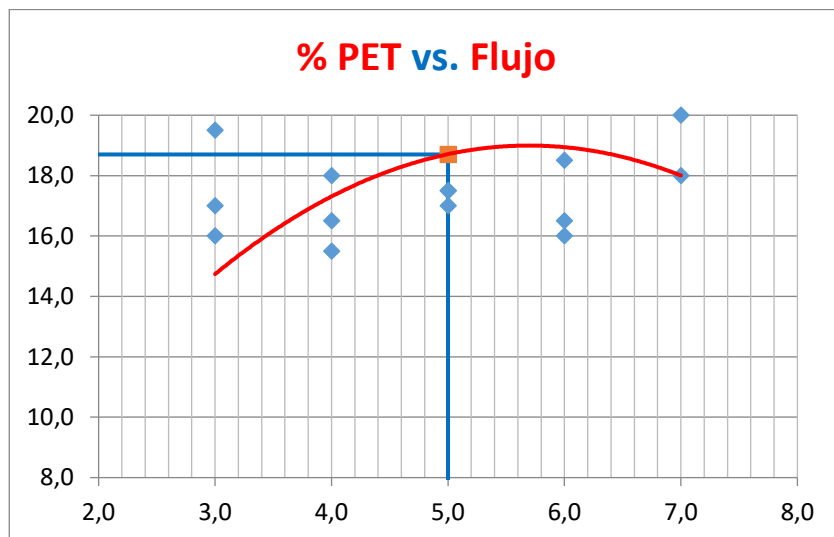
#### 4.3.2. Determinación de valores para los parámetros de una mezcla asfáltica combinada con el porcentaje óptimo de polímero.

Gráfico 0.9 Curva porcentaje de asfalto vs. Densidad Bulk (Modificada con PET)



Para un valor equivalente a 5% de PET, se obtuvo un valor de densidad bulk de 2.390 g/cm<sup>3</sup>.

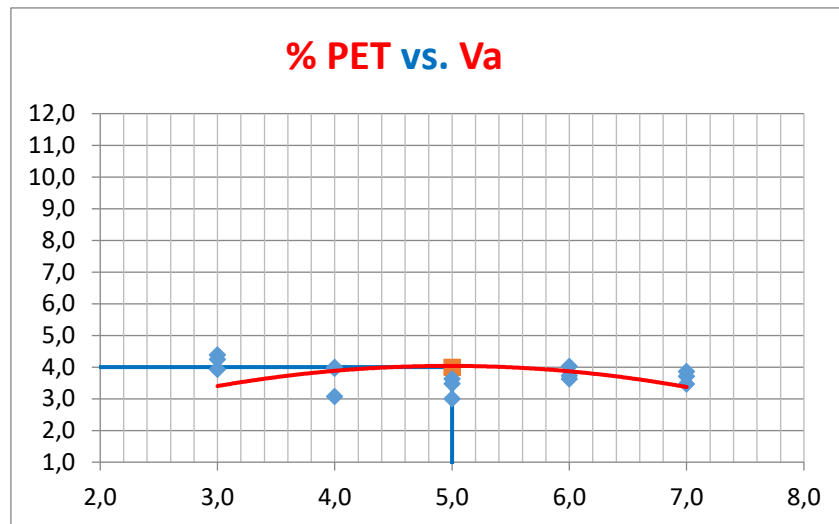
Gráfico 0.10 Curva porcentaje de asfalto vs. Flujo Marshall (Modificada con PET)



Existe una relación directamente proporcional entre el flujo y la cantidad de asfalto hasta cierto porcentaje, pues empieza a descender la curva después

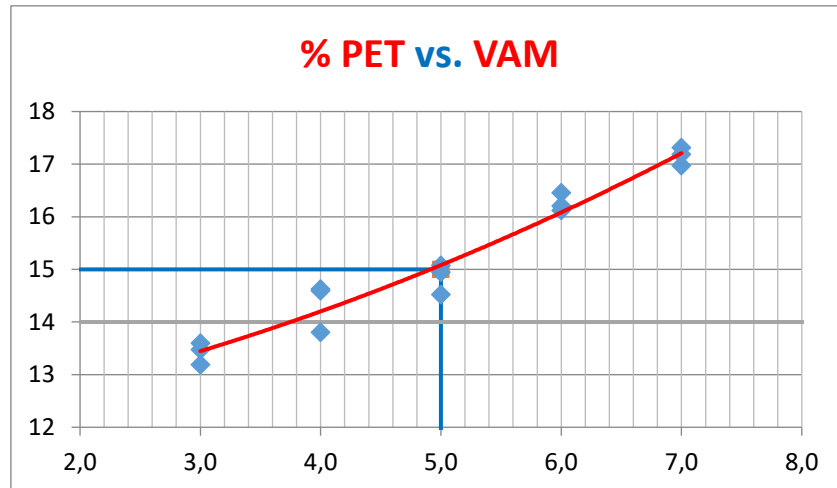
del óptimo. Para una mezcla asfáltica con el 5% de PET el flujo es de 18.7. Este valor se encuentra fuera de los límites permitidos para tráfico pesado (8 a 14).

Gráfico 0.11 Curva porcentaje de asfalto vs. Vacíos de aire (Modificada con PET)



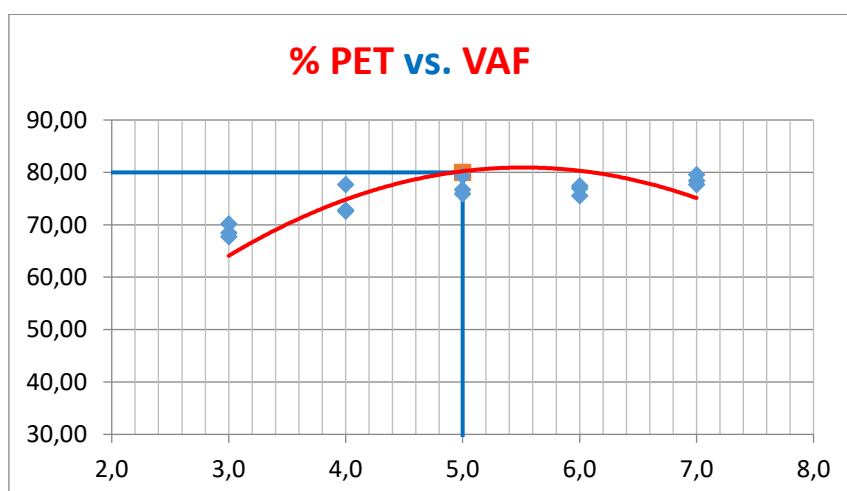
La cantidad de vacíos de aire de una mezcla asfáltica modificada con PET varía según el porcentaje de material modificador. Se observa que con el 5% de PET se llega al punto máximo de la curva el cual marca un valor de 4% en la mezcla. Este valor se encuentra dentro de los valores permitidos para tráfico pesado (3% a 5%).

Gráfico 0.12 Curva porcentaje de asfalto vs. Vacíos de agregado mineral (Modificada con PET)



Se observa una tendencia directamente proporcional entre la cantidad de PET y los vacíos de agregado mineral. Para un porcentaje de PET equivalente al 5% se tiene un 15% de VAM. Este valor es superior al mínimo establecido para tráfico pesado de 14%.

Gráfico 0.13 Curva porcentaje de asfalto vs. Vacíos llenos con asfalto (Modificada con PET)



Los vacíos llenos con asfalto aumentan hasta una mezcla modificada con 5.8% de PET, después de este punto disminuye. Para una mezcla asfáltica con 5% de PET el VAF es de 80%, valor que se encuentra fuera de los límites permitidos para tráfico pesado (65% a 75%).

#### 4.3.3. Resumen de resultados obtenidos para el porcentaje óptimo de PET

Tabla 0.9 Resumen de Resultados para el porcentaje óptimo de PET

Resumen de Resultados							
% Asfalto	% PET	Bulk (gr/cm3)	Estabilidad (Lb-fuerza)	Flujo (in/100)	Va (%)	VAM (%)	VAF (%)
7.2	5	2.390	3700	19	4.00	15.00	80.00
			Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple	No Cumple

#### 4.4. Determinación de Módulos de Rigidez o Módulo Resiliente

##### 4.4.1. Módulos de Rigidez de mezcla asfáltica convencional

Se realizó el ensayo sobre las briquetas de mezcla convencional con el porcentaje de 7.2% de asfalto de PET triturado. Dicho ensayo fue realizado a temperaturas de 10° C, 20° C y 40° C para obtener una curva que nos permita diseñar a futuro pavimentos basándonos en la temperatura a la cual van a trabajar.

Los valores presentados a continuación son los resultados obtenidos de los ensayos, aquellos que se encuentren subrayados no formaran parte del promedio a obtener,

puesto que no son valores que se encuentren en los rangos de las otras briquetas ensayadas. Esto debido a que pueden producirse errores en el momento de ensayar o puede que la briqueta no haya sido compactada correctamente.

*Tabla 0.10 Resultados obtenidos a 10 °C para briquetas de mezcla convencional*

Muestra	Temperatura	% Asfalto	Deformación lateral (um)	Módulo de Rigidez (MPa)
1	(10º)	7,2	5	6056
2	(10º)	7,2	5	6180
3	(10º)	7,2	5	4708
		<b>Promedio</b>	<b>5</b>	<b>6118</b>

*Tabla 0.11 Resultados obtenidos a 20 °C para briquetas de mezcla convencional*

Muestra	Temperatura	% Asfalto	Deformación lateral (um)	Módulo de Rigidez (MPa)
1	(20º)	7,2	5.1	2730
2	(20º)	7,2	5	2626
3	(20º)	7,2	5	1935
		<b>Promedio</b>	<b>5.03</b>	<b>2678</b>

*Tabla 0.12 Resultados obtenidos a 40 °C para briquetas de mezcla convencional*

Muestra	Temperatura	% Asfalto	Deformación lateral (um)	Módulo de Rigidez (MPa)
1	(40º)	7,2	5.6	458
2	(40º)	7,2	5.4	591
3	(40º)	7,2	5.8	429
		<b>Promedio</b>	<b>5.6</b>	<b>444</b>

#### 4.4.2. Módulos de Rigidez de mezcla asfáltica modificada

Tabla 0.13 Resultados obtenidos a 10 °C para briquetas de mezcla modificada con 5% PET

Muestra	Temperatura	% Asfalto	% PET	Deformación lateral (um)	Módulo de Rigidez (MPa)	
4	(10º)	7,2	5	5	4049	
5	(10º)	7,2	5	5	3689	
6	(10º)	7,2	5	5.2	3636	
				<b>Promedio</b>	<b>5.1</b>	<b>3663</b>

Tabla 0.14 Resultados obtenidos a 20 °C para briquetas de mezcla modificada con 5% PET

Muestra	Temperatura	% Asfalto	% PET	Deformación lateral (um)	Módulo de Rigidez (MPa)	
4	(20º)	7,2	5	5	1634	
5	(20º)	7,2	5	5	1697	
6	(20º)	7,2	5	5	1823	
				<b>Promedio</b>	<b>5.00</b>	<b>1666</b>

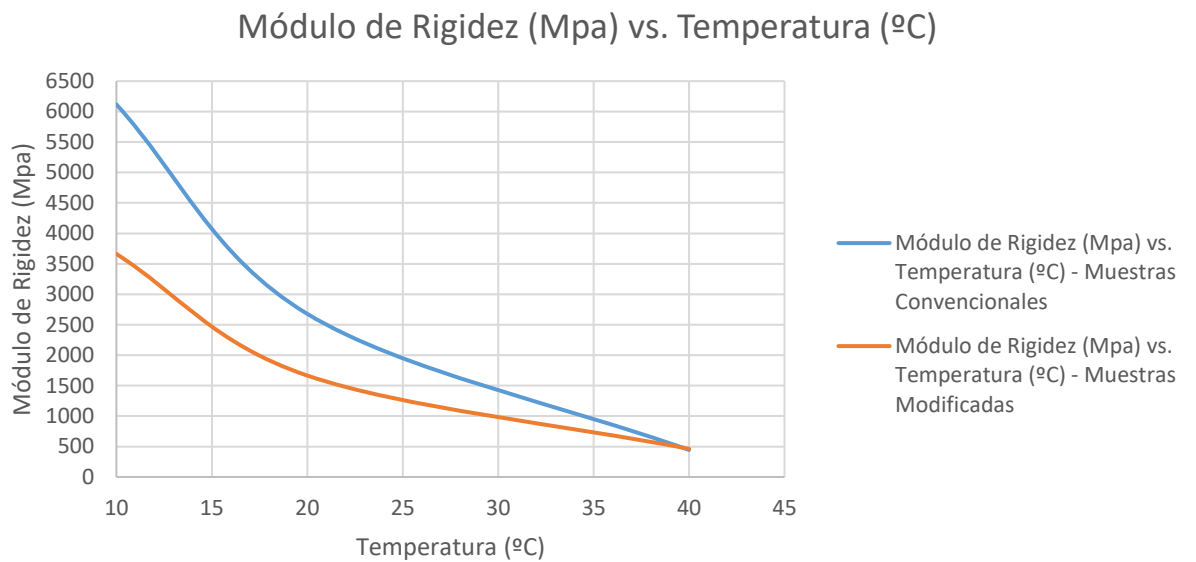
Tabla 0.15 Resultados obtenidos a 40 °C para briquetas de mezcla modificada con 5% PET

Muestra	Temperatura	% Asfalto	% PET	Deformación lateral (um)	Módulo de Rigidez (MPa)	
4	(40º)	7,2	5	5.3	450	
5	(40º)	7,2	5	5.6	418	
6	(40º)	7,2	5	5.3	520	
				<b>Promedio</b>	<b>5.4</b>	<b>463</b>

Tabla 0.16 Resumen de Resultados de los ensayos de módulo de rigidez

Temperatura (°C)	MUESTRAS CONVENCIONALES		MUESTRAS MODIFICADAS 5% PET	
	Deformación lateral (um)	Módulo de Rigidez (MPa)	Deformación lateral (um)	Módulo de Rigidez (MPa)
10	5	6118	5.1	3663
20	5.03	2678	5	1666
40	5.6	444	5.4	463

Gráfico 0.14 Gráfico Módulo de Rigidez Vs. Temperatura



Fotografía 0.11 Elaboración de Briquetas para el Ensayo de Modulo de Rigidez



*Fotografía 0.12 Ensayo de Briquetas en la Máquina Universal*



# Capítulo 5

## 5. Costos de diseño de mezclas asfálticas

### 5.1. Costo de diseño de mezclas asfálticas convencionales

#### 5.1.1. Materiales

Según (Zúñiga, 2015), las dimensiones promedio de las briquetas para diseño Marshall son de 102 mm de diámetro y 63 mm de altura.

Volumen promedio para biqueta:  $V = \pi \times r^2 \times h$

Donde:

r = radio de la probeta

h = altura de la probeta

Volumen promedio para biqueta:  $V = \pi \times 5.1^2 \times 6.3$

Volumen promedio para briqueta: **515 cm<sup>3</sup>**

<b>Materiales</b>	<b>Masa (gr)</b>
Agregado	1100
Asfalto (7.2%)	85.35

<b>Agregado</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Masa (gr)</b>
Grueso	20	220
Intermedio	25	275
Fino	55	605

5.1.2. Materiales necesarios para realizar un m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica convencional

<b>Materiales</b>	<b>Masa (kg)</b>
Agregado	2135.92
Asfalto (7.2%)	165.73

<b>Agregado</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Masa (kg)</b>
Grueso	20	427.18
Intermedio	25	533.98
Fino	55	1174.76

### 5.1.3. Análisis económico de una mezcla convencional

*Tabla 0.1 Análisis Económico de Mezcla Convencional*

<b>Evaluación de Costos</b>			
<b>Materiales</b>	<b>Cantidad (kg)</b>	<b>P.U (\$/kg)</b>	<b>Valor Total (\$)</b>
<b>Agregado grueso</b>	427.18	0.0089	3.80
<b>Agregado Intermedio</b>	533.98	0.0089	4.75
<b>Agregado Fino</b>	1174.76	0.0079	9.28
<b>Asfalto †</b>	165.73	0.33	54.69
<b>Total</b>			<b>72.53</b>

†: Precio establecido por la Planta Naranja – López por kilogramo de asfalto.

El valor de \$72.53 es el que costaría realizar un metro lineal de capa de pavimento flexible convencional.

## 5.2. Costo de diseño de mezclas asfálticas combinadas

### 5.2.1. Materiales

Volumen promedio para briqueta: **515 cm<sup>3</sup>**

<b>Materiales</b>	<b>Masa (gr)</b>
Agregado	1100
Asfalto (7.2%)	85.35
PET (5%)	6.97

<b>Agregado</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Masa (gr)</b>
Grueso	20	220
Intermedio	25	275
Fino	55	605

5.2.2. Materiales necesarios para realizar un m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica modificada con 5% de PET Triturado

<b>Materiales</b>	<b>Masa (kg)</b>
Agregado	2135.92
Asfalto (7.2%)	165.73
PET (5%)	13.52

<b>Agregado</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Masa (kg)</b>
Grueso	20	427.18
Intermedio	25	533.98
Fino	55	1174.76

### 5.2.3. Análisis económico de una mezcla modificada con 5% de PET

Triturado

Tabla 0.2 Análisis Económico de Mezcla Modificada con PET Triturado

<b>Evaluación de Costos</b>			
<b>Materiales</b>	<b>Cantidad (kg)</b>	<b>P.U (\$/kg)</b>	<b>Valor Total (\$)</b>
<b>Agregado grueso</b>	427.18	0.0089	3.80
<b>Agregado Intermedio</b>	533.98	0.0089	4.75
<b>Agregado Fino</b>	1174.76	0.0079	9.28
<b>Asfalto ₡</b>	165.73	0.33	54.69
<b>PET (Triturado) T</b>	13.52	0.69	9.33
<b>Total</b>			<b>81.86</b>

₡: Precio establecido por la Planta Naranja – López por kilogramo de asfalto.

T: Precio establecido por la empresa ENKADOR por kilogramo de PET.

El valor de \$81.86 es el que costaría realizar un metro lineal de capa de pavimento flexible modificado con plástico PET triturado.

## Capítulo 6

### 6. Conclusiones y Recomendaciones

#### 6.1. Conclusiones

-Al haber realizado los ensayos de caracterización de agregados minerales, se puede concluir que cumplen con las especificaciones establecidas en normas INEN y ASTM para: resistencia a la degradación con la máquina de los ángeles, equivalente de arena, resistencia a los sulfatos, gravedad específica.

-Después de haber realizado los ensayos de caracterización de bitúmenes, se puede decir que, el material utilizado como ligante en la presente investigación corresponde a la clasificación AC – 20 según lo establecido en los requerimientos de la Tabla 7 de la norma NTE INEN 2515.

-Al comparar los resultados obtenidos al ensayar las briquetas de mezcla asfáltica convencional vs. Mezcla asfáltica modificada, se puede concluir que, la incorporación del 5% del plástico PET mejora la estabilidad, sin embargo, el flujo también aumenta, alejándose aún más de los límites establecidos para tráfico pesado.

-Una vez realizado el ensayo Marshall para la determinación del porcentaje óptimo de asfalto para mezclas se determinó que, su valor sería el correspondiente a 7.2%, mismo valor que se obtuvo luego de haber realizado el mismo ensayo sobre especímenes con el 5.5%, 6%, 6.5%. 7% y 7.5%

-Al realizar los ensayos sobre las muestras de mezcla asfáltica convencional, se determinó que la estabilidad promedio para briquetas elaboradas con 7.2% de asfalto es de 3560 psi, valor que cumple el requerimiento establecido por la MTOP de 2200psi como mínimo, sin embargo, el flujo promedio es de 17, valor que queda fuera de los límites en 8 a 14 establecidos por la MTOP.

-Según el Asphalt Institute 2014, los valores obtenidos de  $V_a=4\%$ ,  $VAM=16.85\%$  y  $VAF=77\%$  para briquetas de mezcla asfáltica convencional nos dicen que, el valor de  $V_a$  cumple con el requerimiento establecido entre 3 a 5, el valor de  $VAM$  cumple con el requerimiento establecido como mínimo de 14% y el valor de  $VAF$  no cumple con el requerimiento entre 65% y 75%.

-Las briquetas diseñadas con mezcla asfáltica modificada con 7.2% de asfalto y 5% de plástico PET en sustitución del material granular fino retenido en el tamiz N° 16, obtienen como valor promedio de estabilidad 3700 psi y un valor de flujo promedio de 19, lo cual nos dice que, según la MTOP, la estabilidad cumple satisfactoriamente el requisito mínimo, mientras que, el flujo se encuentra fuera de los límites establecidos.

-Los ensayos de briquetas realizadas con mezcla asfáltica modificada con 7.2% de asfalto y 5% de plástico PET, muestran resultados de  $V_a=4\%$ ,  $VAM=15\%$  y  $VAF=80\%$ , con lo que puede concluirse que él  $V_a$  y el  $VAF$  cumplen con los requisitos de 3% a 5% y mínimo 14% respectivamente, mientras que el  $VAF$  excede en 5% al máximo de 75%. Esto según el Asphalt Institute 2014.

-Al comparar los valores de estabilidad entre una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada con 5% de plástico PET se observa que, la estabilidad de la mezcla modificada supera en 140 psi a la estabilidad de la mezcla asfáltica convencional, lo que nos muestra que al ser superior es una mezcla con más rigidez

que es capaz de soportar mayores cargas de impacto, sin embargo al ser valores de estabilidad elevados la mezcla es demasiado rígida, lo cual compromete la durabilidad que puede tener el pavimento.

-Los valores obtenidos de flujo Marshall tanto para una mezcla convencional y para una mezcla modificada con 5% de plástico PET superan al máximo permitido (14), lo cual nos dice que la mezcla obtenida es muy elástica presentando deformaciones excesivas. Vale aclarar que, la mezcla modificada con 5% de plástico PET es más flexible que la mezcla convencional, superando en 2 al valor del flujo de la mezcla convencional.

-La combinación del plástico triturado PET con cemento asfáltico para modificar una mezcla es compatible, puesto que, el cemento asfáltico al ser añadido a la mezcla no fue capaz de derretir el plástico a pesar de su alta temperatura, manteniendo así el plástico sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. Vale aclarar que, si se hubiera derretido el plástico PET este no estaría actuando como material granular que reemplaza al material retenido en el tamiz N° 16.

-El valor de porcentaje de vacíos ( $V_a$ ) para la mezcla convencional y para la mezcla modificada con 5% de plástico PET es de 4%. Con esto podemos concluir que ambas mezclas al incrementarse la temperatura del ambiente permiten que el asfalto sea capaz de llenar los vacíos sin generarse exudación hacia el exterior del pavimento.

-Al realizar una comparación de costo entre una mezcla asfáltica convencional en caliente y una mezcla asfáltica modificada con 5% de plástico PET en caliente, se puede concluir que el pavimento modificado es \$9.33 más costoso por  $m^3$  que el pavimento convencional, debido a la adición del plástico PET para su producción.

-Se puede concluir que el agregado pétreo utilizado en el presente trabajo de disertación tiene en su mayoría partículas planas y alargadas, los cuales al ser utilizados en una mezcla asfáltica y al ser ensayada muestra valores de flujo correspondientes a 17 in/100 para mezcla asfáltica convencional y 19 in/100 para mezcla asfáltica modificada con 5% de plástico triturado PET, estos valores son superiores a los permitidos para tráfico muy pesado (8 a 14) in/100, por lo tanto, este tipo de agregado no cumple con los requerimientos necesarios para ser utilizado en mezclas asfálticas destinadas para tráfico muy pesado.

-Se puede concluir que la adición de plástico PET al 5% disminuye el módulo de rigidez de las briquetas a temperaturas 10 °C y a 20 °C, sin embargo, a 40 °C tienen un módulo de rigidez similar al de las briquetas de mezcla convencional.

-La deformación lateral no se ve afectada significativamente por lo cual podemos concluir que la adición de PET al 5% no aumenta ni disminuye el valor de dicho parámetro en la mezcla.

-La adición de plástico PET al 5% no mejora las propiedades elásticas de la mezcla ni la deformación que esta pueda sufrir debido a las cargas a las que pueda ser sometida.

-El polímero PET tiene gran compatibilidad con el cemento asfáltico al ser añadido en una mezcla asfáltica reemplazando cierto porcentaje de agregado fino, esto se evidencia ya que las briquetas no muestran irregularidades al ser compactadas por el método Marshall.

-La mezcla asfáltica modificada con 5% de PET es más flexible a temperaturas de 10 °C y 20 °C ya que su rigidez disminuye, sin embargo, se observa que al aumentar la

temperatura y acercarse a 40 °C la mezcla convencional y modificada se acercan al mismo valor de rigidez.

-Se puede concluir que la relación costo – beneficio de agregar PET a una mezcla asfáltica en caliente no es beneficiosa, debido a que disminuye la rigidez de la mezcla al ser modificada y su costo es más alto en comparación a una mezcla convencional.

## 6.2. Recomendaciones

-Se recomienda revisar con precaución los límites de la curva granulométrica para el diseño de los baches, ya que, al estar mal delimitados, los porcentajes de agregado serán totalmente diferentes a los óptimos, produciendo errores significativos para la investigación.

-Al realizar el ensayo RICE para gravedad específica teórica máxima es recomendable disponer del material en moldes pequeños que permitan su fácil colocación dentro del equipo de ensayo, de esta manera se evitara la perdida de material que pueda alterar los resultados.

-Se recomienda verificar que el cemento asfáltico utilizado como ligante en las mezclas en caliente, no se encuentre más de 1 vez recalentado puesto que al ser sometido varias veces a cambios de temperatura pierde sus propiedades iniciales alterando los resultados de la investigación.

-Es indispensable que los ensayos de absorción para el material pétreo sean realizados con la mayor exactitud, ya que de estos resultados depende la obtención del porcentaje óptimo teórico de asfalto para el diseño de las mezclas.

-No se recomienda la adición de plástico PET al 5% a una mezcla asfáltica reemplazando el agregado fino por dicho material, ya que, utilizando los agregados de la mina Naranja – López los resultados de ensayos no fueron favorables.

-Se recomienda investigar una manera diferente de agregar el polímero PET a la mezcla para obtener resultados positivos que mejoren sus características elásticas.

-Se recomienda realizar la mezcla en húmedo, de tal manera que el polímero no se agregue a la mezcla en reemplazo de un agregado, si no combinado con el asfalto.

## Bibliografía

- Asphalt Institute. (2001). *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente*. USA: MS-22 (2ª ed.). Recuperado el 12 de Marzo de 2018
- Asphalt Institute. (2014). *Asphalt Mix Design Methods*. USA: MS-2 (7ª ed.).
- ASTM C127 – 15. (2018). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. ASTM International.
- ASTM D2419 – 14. (2018). *Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate*. ASTM International. Recuperado el 12 de Octubre de 2018
- ASTM D70-18. (2018). *Standard Test Method for Density of Semi-Solid Asphalt Binder (Pycnometer Method)*. ASTM International.
- Chavez, S., & Aulestia, S. (2017). *COMPARACIÓN DE PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS ENTRE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE NORMAL Y UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLÍMEROS (TAPAS PLÁSTICAS DE BOTELLAS) POR VÍA SECA*. Quito.
- Córcoles, A. R., Lokensgard, E., & Richardson, T. (1999). *Industria del Plástico. Plástico Industrial*. España: Ediciones Paraninfo.
- Ecoembes. (Febrero de 2015). *Envases de plástico*. Obtenido de RECOUP:  
[https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos\\_publicaciones\\_empresas/guia-envases-de-plastico-disena-para-reciclar.pdf](https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos_publicaciones_empresas/guia-envases-de-plastico-disena-para-reciclar.pdf)

Enkador. (2017). *Historia*. Obtenido de Enkador. Fibras Sintéticas y Textiles:

<https://www.enkador.com/history/>

Fonseca, A. M. (2010). *Ingeniería de Pavimentos*. Bogotá, D.C.: Universidad Católica de Colombia. Recuperado el 20 de Noviembre de 2018

Fonseca, C. (1995). *Estudio de capas antifisuras para retarsar el inicio y propagacion de grietas en pavimentos flexible y semirrígidos*. Bogotá: Tesis Doctoral. Recuperado el 22 de Noviembre de 2018

Garrote Villar , E. (2006). *EL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA* . Obtenido de Upcommons:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3324/55872-8.pdf?sequence=8>

Instituto Mexicano del Transporte. (2004). *Aspectos del Diseño volumétrico de mezclas asfálticas*. Obtenido de [www.imt.mx](http://www.imt.mx):

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

LSB. (2011). *PET (Polietileno Tereftalato)*. Obtenido de Innovation in Plastic Packaging:

[http://laseda.es/index2.php?lang=es&ID\\_cat=&PID\\_cat=&SID\\_cat=338&SSID\\_cat=343](http://laseda.es/index2.php?lang=es&ID_cat=&PID_cat=&SID_cat=338&SSID_cat=343)

Minaya, S., & Ordoñez, A. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*. Lima, Perú:

ICG (2ª ed.).

Morales Cáceres. (2007). *Análisis de la Metodología Superpave para el Diseño de Mezclas*

*Asfálticas en México*. Puebla: Universidad de las Américas Puebla, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Recuperado el 12 de Noviembre de 2018

NTE INEN 0696. (2011). *Áridos. Análisis Granulométrico en los áridos. Fino y Grueso*. Quito:

INEN. Obtenido de INEN.

NTE INEN 0856. (2012). 3.4.1. *Determinación de la Densidad, Densidad relativa (Gravedad Específica) y Absorción del árido fino*. Quito: INEN.

NTE INEN 2515. (2014). *PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO. CEMENTO ASFÁLTICO (CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD) REQUISITOS*. Quito: INEN.

NTE INEN 860. (2011). *Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles*. Quito: INEN. Recuperado el 11 de Enero de 2018

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

Padilla, A. (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista*.

Recuperado el 18 de Noviembre de 2018, de UPCommons:

<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3334>

PEMEX. (04 de 10 de 2017). *Asfalto AC-20*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2018, de

PEMEX. Productos y Servicios:

<http://www.pemex.com/comercializacion/productos/Paginas/refinados/asfalto-ac-20.aspx>

Rondón Quintana, H. A. (2015). *Pavimentos: materiales, construcción y diseño*. Bogotá: Ecoe Ediciones. Recuperado el 10 de Octubre de 2018

Secretaría del Medio Ambiente. (23 de Agosto de 2015). *Gobierno del Estado de México*.

Recuperado el 22 de Noviembre de 2018, de ¿Qué es el Polietileno - Tereftalato?:

[http://sma.edomex.gob.mx/que\\_es\\_polietilenotereftalato](http://sma.edomex.gob.mx/que_es_polietilenotereftalato)

Secretaria del Medio Ambiente. (2018). *¿Que es Polietileno-Tereftalato?* Obtenido de Cuida

el Medio Ambiente: [http://sma.edomex.gob.mx/que\\_es\\_polietilenotereftalato](http://sma.edomex.gob.mx/que_es_polietilenotereftalato)

Silva, J. (2015). *Ligantes Asfálticos y Sellos de Juntas*. Recuperado el 12 de Agosto de 2018,

de Dirección de Vialidad:

[http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/CAP%20I%20LIGANTES%20LAB%20C%20\[Modo%20de%20compatibilidad\].pdf](http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/CAP%20I%20LIGANTES%20LAB%20C%20[Modo%20de%20compatibilidad].pdf)

Smith, W. F., & Hashemi, J. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*.

México, D.F: McGraw-Hill Interamericana. Recuperado el 20 de Noviembre de 2018

tecnologiadelosplasticos. (30 de 05 de 2011). *PET*. Obtenido de Tecnología de los Plásticos:

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/pet.html>

Wulf, F. A. (2008). *ANÁLISIS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMERO*.

Valdivia: Universidad Austral de Chile. Recuperado el 20 de Noviembre de 2018

Zúñiga, R. (Junio de 2015). *Mezcla Asfáltica en Caliente*. Recuperado el 20 de Noviembre de

2018, de Dirección de Vialidad:

<http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/Mezclas%20Asf%C3%A1lticas.pdf>



Anexo Nro. 1 Informe de gravedad específica del agregado grueso

ÁREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO:	Tesis	REALIZADO POR:	Daniel Cornejo
LOCALIZACIÓN:	Quito		Jimmy Lamiña
FECHA:	10/08/2018	YACIMIENTO:	Naranjo Lopez - Pifo
MUESTRA:	Agregado Grueso	LABORATORIO:	PUCE

**GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO**

ASTM C-127

Peso en el Aire ( A )	4580.6	gr
Peso Sat. Sup. Seca ( B )	4682.5	gr
Peso en el Agua ( C )	2850.6	gr

Gravedad Específica Bulk	<b>2.50</b>	gr/cm <sup>3</sup>
Gravedad Específica SSS	<b>2.56</b>	gr/cm <sup>3</sup>
Gravedad Específica AP	<b>2.65</b>	gr/cm <sup>3</sup>

% de Absorción	<b>2.22</b>
----------------	-------------

**OBSERVACIONES:**

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

Daniel Cornejo

Jimmy Lamiña

Laboratorista

Director de Laboratorio

Anexo Nro. 2 Informe de gravedad específica del agregado Intermedio

AREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO:	Tesis	REALIZADO POR:	Daniel Cornejo
LOCALIZACION:	Quito		Jimmy Lamiña
FECHA:	10/08/2018	YACIMIENTO:	Naranjo Lopez - Pifo
MUESTRA:	Agregado Intermedio	LABORATORIO:	PUCE

**GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO**

ASTM C-127

Peso en el Aire ( A )	4650.2	gr
Peso Sat. Sup. Seca ( B )	4803.6	gr
Peso en el Agua ( C )	2836.3	gr

Gravedad Específica Bulk	<b>2.36</b>	gr/cm <sup>3</sup>
Gravedad Específica SSS	<b>2.44</b>	gr/cm <sup>3</sup>
Gravedad Específica AP	<b>2.56</b>	gr/cm <sup>3</sup>

% de Absorción	<b>3.3</b>
----------------	------------

**OBSERVACIONES:**

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

Daniel Cornejo

Jimmy Lamiña

Laboratorista

Director de Laboratorio

PUCE

PUCE

PUCE

PUCE

ÁREA DE PAVIMENTOS  
INFORME DE ENSAYO

PROYECTO:	Tesis	REALIZADO POR:	Daniel Cornejo
LOCALIZACIÓN:	Quito		Jimmy Lamifia
FECHA:	10/08/2018	YACIMIENTO:	Naranjo Lopez - Pifo
MUESTRA:	Agregado Intermedio	LABORATORIO:	PUCE

ENSAYO DE ABRASIÓN  
ASTM C-131

**RESULTADOS:**

Tamaño máximo nominal (in)	3/4"
Grado de Ensayo	B
Masa Inicial (gr)	5000
Masa retenida en tamiz No. 12 después de 500 revoluciones (gr)	3290.1
Perdida a las 500 revoluciones (gr)	1709.9
% pérdida a 500 revoluciones	34.2
% máximo de pérdidas	50
<b>CRITERIO</b>	<b>CUMPLE</b>

**OBSERVACIONES:**

ELABORADO POR:	FISCALIZADO POR:	APROBADO POR:
Daniel Cornejo	Jimmy Lamifia	Director de Laboratorio
PUCE	PUCE	PUCE

ÁREA DE PAVIMENTOS  
INFORME DE ENSAYO

PROYECTO:	Tesis	REALIZADO POR:	Daniel Cornejo
LOCALIZACIÓN:	Quito		Jimmy Lamíña
FECHA:	10/08/2018	YACIMIENTO:	Naranjo López - Pifo
MUESTRA:	Agregado Intermedio	LABORATORIO:	PUCE

**ENSAYO DE ABRASIÓN**  
ASTM C-131

**RESULTADOS:**

Tamaño máximo nominal (in)	1/2"
Grado de Ensayo	C
Masa Inicial (gr)	5000.03
Masa retenida en tamiz No. 12 después de 500 revoluciones (gr)	3315.5
Perdida a las 500 revoluciones (gr)	1684.53
% pérdida a 500 revoluciones	33.69
% máximo de pérdidas	50
<b>CRITERIO</b>	<b>CUMPLE</b>

**OBSERVACIONES:**

ELABORADO POR:	FISCALIZADO POR:	APROBADO POR:
Daniel Cornejo PUCE	Jimmy Lamíña Laboratorista PUCE	Director de Laboratorio PUCE

Anexo Nro. 5 Informe de gravedad específica del agregado fino

ÁREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO:	Tesis	REALIZADO POR:	Daniel Cornejo
LOCALIZACIÓN:	Quito		Jimmy Lamiña
FECHA:	10/08/2018	YACIMIENTO:	Naranjo Lopez - Pifo
MUESTRA:	Agregado Intermedio	LABORATORIO:	PUCE

**GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO**

ASTM C-128

Peso en el Aire ( A ) =	495.9	gr
Peso Pic + agua ( E ) =	459.15	gr
Peso Sat. Sup. Seca ( B )=	500.05	gr
Peso Pic. + agua + muestra ( D ) =	959.2	gr

Gravedad Específica Bulk	<b>2.513</b>	gr/cm <sup>3</sup>
Gravedad Específica SSS	<b>2.534</b>	gr/cm <sup>3</sup>
Gravedad Específica AP	<b>2.567</b>	gr/cm <sup>3</sup>

% de Absorción	<b>0.837</b>
----------------	--------------

Jimmy Lamiña

OBSERVACIONES:

PUCE

Anexo Nro. 6 Informe de ensayo equivalente de arena

AREA DE PAVIMENTOS INFORME DE ENSAYO

PROYECTO:	Tesis	REALIZADO POR:	Daniel Cornejo
LOCALIZACION:	Quito		Jimmy Lamiña
FECHA:	10/08/2018	YACIMIENTO:	Naranjo Lopez - Pifo
MUESTRA:	Agregado Intermedio	LABORATORIO:	PUCE

**ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA**

No. probeta	Lectura de arcilla (in.)	Lectura de arena (in.)	Equivalente de arena (%)
1	3.4	2.7	79.41
2	3.8	2.9	76.32
PROMEDIO			78

**OBSERVACIONES:**

ELABORADO POR:	FISCALIZADO POR:	APROBADO POR:
Daniel Cornejo	Jimmy Lamiña	Director de Laboratorio
PUCE	PUCE	PUCE

Anexo Nro. 7 Informe de Ensayo de Penetración de Materiales Bituminosos

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D5/D5M - 13  
**PROCEDIMIENTO:** LMC-MPT-5.4-AP-1  
**RECEPCIÓN N°:**  
**HOJA:** 1 de 1  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**OLICITA:**  
**FISCALIZACIÓN:**  
**CONTRATISTA:**  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3740-1
Temperatura de ensayo (°C)	25.1
Carga (g)	100.01
Tiempo de carga (s)	5

**Valores de penetración en la muestra:**

Punto	1	2	3	Promedio
Penetración (0,1 mm)	82	83	83	<b>83</b>

**Especificación del producto:**

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

**Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:**

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

**Información de la muestra:**

Número de muestra	1
Norma de muestreo	
Fecha de muestreo	
Origen del producto	
Lugar de muestreo	
Identificación del camión	

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 8 Informe de Ensayo de Ductilidad de Materiales Bituminosos

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA **OLICITA:** -----  
**LOCALIZACIÓN:** ----- **FISCALIZACIÓN:** -----  
**NORMA DE REFER:** ASTM D113 - 07 **CONTRATISTA:** -----  
**PROCEDIMIENTO:** LMC-MPT-5.4-AP-2 **RECEPCIÓN DE MUESTRA:** -----  
**RECEPCIÓN N°:** ----- **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**HOJA:** 2 de 4  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	1
Temperatura de ensayo (°C)	25.0
¿Se usa aditivo para densidad de	NO
Número de réplicas	3

**Valores de ductilidad en la muestra:**

Molde	1	2	3	Promedio
Ductilidad (cm)	43	57	58	<b>53</b>
¿Ensayo normal?	SI	SI	SI	

**Especificación del producto:**

NTE INEN 2515:2014, Tabla 7, Grado AC-20	mínimo	50
--	--------	----

**Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:**

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

**Información de la muestra:**

Número de muestra	1
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

**OBSERVACIONES:**

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA **OLICITA:**  
**LOCALIZACIÓN:** **FISCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2872 - 12<sup>1</sup> **CONTRATISTA:**  
**PROCEDIMIENTO:** LMC-MPT-5.4-AP-3 **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**RECEPCIÓN N°:** **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**HOJA:** 1 de 1  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3841-1
------------------------------	--------

**Determinación del cambio de masa**

Botella	1	2
Masa de botella + asfalto antes (g)	204.991	203.177
Masa de botella + asfalto después (g)	204.928	203.127
Cambio de masa (%)	-0.031	-0.025
Cambio de masa promedio (%)	<b>-0.028</b>	

**Especificación del producto:**

NTE INEN 2515:2014, Tabla 7, Grado AC-20	máximo	1.000	%
--	--------	-------	---

**Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:**

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

**Información de la muestra:**

Número de muestra	1
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

**OBSERVACIONES:**

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D92 - 12b  
**PROCEDIMIENTO:** LMC-MPT-5.4-AP-4  
**RECEPCIÓN N°:**  
**HOJA:** 1 de 1  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**OLICITA:**  
**FISCALIZACIÓN:**  
**CONTRATISTA:**  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30

**Información del ensayo:**

Identificación de la muestra	3841-1
Punto de Chispa (°C)	282
Punto de Llama (°C)	328
Presión barométrica (mm Hg)	547.7
Punto de Chispa corregido (°C)	<b>289</b>
Punto de Llama corregido (°C)	<b>335</b>

**Especificación del producto para punto de chispa:**

NTE INEN 2515:2014, Tabla 7, Grado AC-20	mínimo	232
--	--------	-----

**Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:**

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

**Información de la muestra:**

Número de muestra	1
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 11 Informe de Ensayo Índice de Penetración de Materiales Bituminosos

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA **OLICITA:**  
**LOCALIZACIÓN:** **FISCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFER:** ASTM D3381/D3381M - 12 **CONTRATISTA:**  
**PROCEDIMIENTO:** **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**RECEPCIÓN N°:** **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**HOJA:** 1 de 1  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3841-1
Penetración a 25°C, 100g, 5s	83
Punto de ablandamiento, °C	49.91
<b>Índice de penetración</b>	<b>0.1</b>

**Especificación del producto:**

NTE INEN 2515:2014, Tabla 7, Grado AC-20	Mínimo	-1.5	Máximo	1.0
--	--------	------	--------	-----

**Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:**

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

**Información de la muestra:**

Número de muestra	1
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del cam	N/D

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 12 Informe de Ensayo Viscosidad Capilar al Vacío de Materiales Bituminosos (Viscosímetro N° 200)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO-LAMIÑA **ILICITA:**  
**LOCALIZACIÓN:** **FISCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2171/D2171M-10 **CONTRATISTA:**  
**RECEPCIÓN N°:** **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**HOJA:** 1 de 1 **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**MUESTRA:** Tomada al cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	4000-1
Temperatura de ensayo (°C)	60.01
Número del viscosímetro	200
Serie del viscosímetro	K596

	Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	Bulbo E	Bulbo F
Constante del viscosímetro (Pa·s)	11.95	6.167	4.142	3.138	2.497
Tiempo de flujo (s)	64.8	133.3	204.8	-----	-----
Viscosidad (Pa·s)	774.719	822.184	848.323		

**Resultado del ensayo:**

Viscosidad (Pa·s)	774.719
-------------------	---------

**Especificación del producto:**

NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grado AC-20	máxima	1000	Pa·s
--	--------	------	------

**Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:**

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

**Información de la muestra:**

Número de muestra	
Norma de muestra	
Fecha de muestra	
Origen del producto	
Lugar de muestra	
Identificación del camión	

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 13 Informe de Ensayo Viscosidad Capilar al Vacío de Materiales Bituminosos (Viscosímetro N° 100)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA **ILICITA:**  
**LOCALIZACIÓN:** **FISCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2171/D2171M - 10 **CONTRATISTA:**  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**HOJA:** 1 de 1 **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**MUESTRA:** Tomada al cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3740-1
Temperatura de ensayo (°C)	60.00
Número del viscosímetro	100
Serie del viscosímetro	L801

	Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	Bulbo E	Bulbo F
Constante del viscosímetro (Pa·s)	3.177	1.608	1.071	0.7987	0.6235
Tiempo de flujo (s)	72.1	146.7	220.2	-----	----
Viscosidad (Pa·s)	229.189	235.813	235.813		

**Resultado del ensayo:**

Viscosidad (Pa·s)	229.189
-------------------	---------

**Especificación del producto:**

NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grada AO-20	mínima	160	Pa·s
	máxima	240	Pa·s

**Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:**

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

**Información de la muestra:**

Número de muestra	1
Norma de muestra	INEN 922
Fecha de muestra	2013-09-05
Origen del producto	Refinería de Esmeraldas, tanque AO-V8
Lugar de muestra	Cañón de las Manas, Cacha
Identificación del camión	PVN-0251

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 14 Informe de Densidad de Materiales Bituminosos

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA **OLICITA:** -----  
**LOCALIZACIÓN:** ----- **FISCALIZACIÓN:** -----  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D70 - 09 **CONTRATISTA:** -----  
**PROCEDIMIENTO:** **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**RECEPCIÓN N°:** **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**HOJA:** 4 de 4  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	1
Temperatura de ensayo (°C)	25.0

**Registros para densidad:**

Serie del picnómetro	46
(A) Masa del picnómetro (más tapa)	37.134
(B) Masa del picnómetro lleno de agua	63.361
(C) Masa del picnómetro parcialmente lleno con asfalto	55.251
(D) Masa del picnómetro más asfalto y más agua	62.535
Densidad relativa de la muestra	0.956
Densidad del agua a la temperatura de ensayo (kg/m <sup>3</sup> )	997.0
Densidad de la muestra (kg/m <sup>3</sup> )	953.526

**Información de la muestra:**

Número de muestra	1
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

Anexo Nro. 15 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 1)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA **SOLICITA:**  
**LOCALIZACIÓN:** **FISCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2726/D2726M - 13 **CONTRATISTA:** -----  
**PROCEDIMIENTO:** ----- **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**RECEPCIÓN N°:** **ECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	1
Temperatura del agua, °C	25.0
Tipo de mezcla	Densa
Altura promedio, mm	66.10
Diámetro promedio, mm	101.63

**Resultados del ensayo:**

Masa seca en aire (A), g	1153.29
Masa en agua (C), g	634.64
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	1153.96
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2.221</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2214</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen</b>	<b>0.13</b>

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 16 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 2)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2726/D2726M - 13  
**PROCEDIMIENTO:** .....  
**RECEPCIÓN N°:**  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**OLICITA:**  
**FISCALIZACIÓN:**  
**CONTRATISTA:** .....  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	2
Temperatura del agua, °C	25.0
Tipo de mezcla	Densa
Altura promedio, mm	65.95
Diámetro promedio, mm	101.56

**Resultados del ensayo:**

Masa seca en aire (A), g	1152.96
Masa en agua (C), g	634.32
Masa saturada con superficie seca en aire (B)	1153.42
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2.221</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2214</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por vol</b>	<b>0.09</b>

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 17 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 3)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMINA  
**LOCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2726/D2726M - 13  
**PROCEDIMIENTO:** -----  
**RECEPCIÓN N°:**  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**SOLICITA:**  
**FISCALIZACIÓN:**  
**CONTRATISTA:** -----  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3
Temperatura del agua, °C	25.0
Tipo de mezcla	Densa
Altura promedio, mm	66.21
Diámetro promedio, mm	101.47

**Resultados del ensayo:**

Masa seca en aire (A), g	1152.65
Masa en agua (C), g	634.25
Masa saturada con superficie seca en aire (B)	1152.96
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2.222</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2215</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por vol</b>	<b>0.06</b>

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 18 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 4)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2726/D2726M - 13  
**PROCEDIMIENTO:** .....  
**RECEPCIÓN N°:**  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**SOLICITA:**  
**FISCALIZACIÓN:**  
**CONTRATISTA:** .....  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	4
Temperatura del agua, °C	25.0
Tipo de mezcla	Densa
Altura promedio, mm	67.15
Diámetro promedio, mm	101.68

**Resultados del ensayo:**

Masa seca en aire (A), g	1158.25
Masa en agua (C), g	635.42
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	1158.79
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2.213</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2206</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen</b>	<b>0.10</b>

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 19 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 5)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2726/D2726M - 13  
**PROCEDIMIENTO:** .....  
**RECEPCIÓN N°:**  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**SOLICITA:**  
**FISCALIZACIÓN:**  
**CONTRATISTA:** .....  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	5
Temperatura del agua, °C	25.0
Tipo de mezcla	Densa
Altura promedio, mm	66.94
Diámetro promedio, mm	102.01

**Resultados del ensayo:**

Masa seca en aire (A), g	1159.02
Masa en agua (C), g	635.98
Masa saturada con superficie seca en aire (B)	1159.84
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2.212</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2206</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por vol</b>	<b>0.16</b>

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 20 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 6)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2726/D2726M - 13  
**PROCEDIMIENTO:** -----  
**RECEPCIÓN N°:**  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**SOLICITA:**  
**FISCALIZACIÓN:**  
**CONTRATISTA:** -----  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	6
Temperatura del agua, °C	25.0
Tipo de mezcla	Densa
Altura promedio, mm	66.85
Diámetro promedio, mm	101.84

**Resultados del ensayo:**

Masa seca en aire (A), g	1158.95
Masa en agua (C), g	635.21
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	1159.43
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2.211</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2204</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen</b>	<b>0.09</b>

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 21 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 7)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2726/D2726M - 13  
**PROCEDIMIENTO:** .....  
**RECEPCIÓN N°:**  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**SOLICITA:**  
**FISCALIZACIÓN:**  
**CONTRATISTA:** .....  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	7
Temperatura del agua, °C	25.0
Tipo de mezcla	Densa
Altura promedio, mm	64.78
Diámetro promedio, mm	102.92

**Resultados del ensayo:**

Masa seca en aire (A), g	1164.66
Masa en agua (C), g	637.40
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	1164.84
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2.208</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2202</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen</b>	<b>0.03</b>

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 22 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 8)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA **OLICITA:**  
**LOCALIZACIÓN:** **FISCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2726/D2726M - 13 **CONTRATISTA:** -----  
**PROCEDIMIENTO:** ----- **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**RECEPCIÓN N°:** **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	8
Temperatura del agua, °C	25.0
Tipo de mezcla	Densa
Altura promedio, mm	64.56
Diámetro promedio, mm	102.46

**Resultados del ensayo:**

Masa seca en aire (A), g	1164.84
Masa en agua (C), g	637.19
Masa saturada con superficie seca en aire (B)	1165.14
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2.206</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2200</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen</b>	<b>0.06</b>

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 23 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 9)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA **OLICITA:**  
**LOCALIZACIÓN:** **FISCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2726/D2726M - 13 **CONTRATISTA:** -----  
**PROCEDIMIENTO:** ----- **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**RECEPCIÓN N°:** **ECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	9
Temperatura del agua, °C	25.0
Tipo de mezcla	Densa
Altura promedio, mm	64.12
Diámetro promedio, mm	102.98

**Resultados del ensayo:**

Masa seca en aire (A), g	1164.12
Masa en agua (C), g	637.12
Masa saturada con superficie seca en aire (B)	1164.52
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2.207</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2201</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por vol</b>	<b>0.08</b>

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 24 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 10)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2726/D2726M - 13  
**PROCEDIMIENTO:** .....  
**RECEPCIÓN N°:**  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**OLICITA:**  
**FISCALIZACIÓN:**  
**CONTRATISTA:** .....  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	10
Temperatura del agua, °C	25.0
Tipo de mezcla	Densa
Altura promedio, mm	67.00
Diámetro promedio, mm	101.58

**Resultados del ensayo:**

Masa seca en aire (A), g	1172.21
Masa en agua (C), g	645.54
Masa saturada con superficie seca en aire (B)	1172.47
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2.225</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2218</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por vol</b>	<b>0.05</b>

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 25 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 11)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2726/D2726M - 13  
**PROCEDIMIENTO:** .....  
**RECEPCIÓN N°:**  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**SOLICITA:**  
**FISCALIZACIÓN:**  
**CONTRATISTA:** .....  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	11
Temperatura del agua, °C	25.0
Tipo de mezcla	Densa
Altura promedio, mm	67.23
Diámetro promedio, mm	101.42

**Resultados del ensayo:**

Masa seca en aire (A), g	1173.15
Masa en agua (C), g	645.95
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	1173.56
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2.224</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2217</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen</b>	<b>0.08</b>

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 26 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 12)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2726/D2726M - 13  
**PROCEDIMIENTO:** .....  
**RECEPCIÓN N°:**  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**SOLICITA:**  
**FISCALIZACIÓN:**  
**CONTRATISTA:** .....  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	12
Temperatura del agua, °C	25.0
Tipo de mezcla	Densa
Altura promedio, mm	67.94
Diámetro promedio, mm	101.45

**Resultados del ensayo:**

Masa seca en aire (A), g	1173.12
Masa en agua (C), g	645.95
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	1173.65
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2.223</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2216</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen</b>	<b>0.10</b>

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 27 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 13)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA **OLICITA:**  
**LOCALIZACIÓN:** **FISCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2728/D2726M - 13 **CONTRATISTA:** .....  
**PROCEDIMIENTO:** ..... **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**RECEPCIÓN N°:** **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	13
Temperatura del agua, °C	25.0
Tipo de mezcla	Densa
Altura promedio, mm	67.85
Diámetro promedio, mm	102.52

**Resultados del ensayo:**

Masa seca en aire (A), g	1182.85
Masa en agua (C), g	655.65
Masa saturada con superficie seca en aire (B)	1183.15
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2.242</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2236</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por vol</b>	<b>0.06</b>

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 28 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 14)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2726/D2726M - 13  
**PROCEDIMIENTO:** .....  
**RECEPCIÓN N°:**  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**SOLICITA:**  
**FISCALIZACIÓN:**  
**CONTRATISTA:** .....  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	14
Temperatura del agua, °C	25.0
Tipo de mezcla	Densa
Altura promedio, mm	68.02
Diámetro promedio, mm	102.12

**Resultados del ensayo:**

Masa seca en aire (A), g	1181.95
Masa en agua (C), g	655.12
Masa saturada con superficie seca en aire (B)	1182.45
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2.241</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2235</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por vol</b>	<b>0.09</b>

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 29 Informe de Ensayo de Densidad Bulk (Briqueta N° 15)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2726/D2726M - 13  
**PROCEDIMIENTO:** -----  
**RECEPCIÓN N°:**  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**licitación:**  
**FISCALIZACIÓN:**  
**CONTRATISTA:** -----  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	15
Temperatura del agua, °C	25.0
Tipo de mezcla	Densa
Altura promedio, mm	67.84
Diámetro promedio, mm	102.19

**Resultados del ensayo:**

Masa seca en aire (A), g	1182.01
Masa en agua (C), g	655.29
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	1182.47
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2.242</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2235</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen</b>	<b>0.09</b>

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 30 Informe de Ensayo de Punto de Ablandamiento de Materiales Bituminosos

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA **OLICITA:** -----  
**LOCALIZACIÓN:** ----- **FISCALIZACIÓN:** -----  
**NORMA DE REFER:** ASTM D36/D36M - 12 **CONTRATISTA:** -----  
**PROCEDIMIENTO:** **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**RECEPCIÓN N°:** **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-03-30  
**HOJA:** 1 de 4  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	1
Líquido usado en el baño	agua

**Registros de la muestra:**

*Anillo 1 Anillo 2 Promedio*

Punto de ablandamiento, °C	49.80	50.01	<b>49.91</b>
----------------------------	-------	-------	--------------

**OBSERVACIONES:**

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA **OLICITA:**  
**LOCALIZACIÓN:** **FISCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** **CONTRATISTA:**  
**PROCEDIMIENTO:** **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**RECEPCIÓN N°:** **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**HOJA:** 1 de 1  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3841-1
Temperatura de ensayo (°C)	135.00

**Registros de la muestra:**

Viscosidad con viscosímetro rotatorio (ASTM D4402)	359.0
Densidad relativa de la muestra a 25/25 °C	1.011
Viscosidad cinemática (mm <sup>2</sup> /s)	380.186

**Especificación del producto:**

NTE INEN 2515:2014, Tabla 7, Grado AC-20	mínimo	300	mm <sup>2</sup> /s
--	--------	-----	--------------------

**Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:**

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

**Información de la muestra:**

Número de muestra	1
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del campo	N/D

**OBSERVACIONES:**

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:** **OLICITA:**  
**NORMA DE REFER:** ASTM D6927 -06 **FISCALIZACIÓN:**  
**PROCEDIMIENTO:** ----- **CONTRATISTA:**  
**RECEPCIÓN N°** **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**HOJA:** de **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**MUESTRA:** Tomada en el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	1	2	3
Tipo de muestra	Briqueta	Briqueta	Briqueta
Tipo de mezcla	Densa	Densa	Densa
Grado de ligante	AC-20	AC-20	AC-20
Contenido de ligante, % total me	5.5	5.5	5.5

**Resultados del ensayo:**

Identificación de la muestra	1	2	3
Gravedad específica Bulk	2.221	2.221	2.222
Gravedad específica Bulk prome	2.221		
Altura promedio, mm	66.1	65.95	66.21
Factor de corrección	0.94	0.94	0.93
Estabilidad medida, lbf	5600	3710	3710
Estabilidad corregida, lbf	5240	3486	3460
Estabilidad promedio, lbf	4062		
Flujo, 0.01 in	14.5	15	15
Flujo promedio, 0.01 in	15		
Método para determinar flujo	pico	pico	pico
Temperatura de ensayo, °C	60.0	60.0	60.0

**OBSERVACIONES:**

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:** **OLICITA:**  
**NORMA DE REFER:** ASTM D6927 -06 **FISCALIZACIÓN:**  
**PROCEDIMIENTO:** ----- **CONTRATISTA:**  
**RECEPCIÓN N°** **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**HOJA:** de **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**MUESTRA:** Tomada | el clicante

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	4	5	6
Tipo de muestra	Briqueta	Briqueta	Briqueta
Tipo de mezcla	Densa	Densa	Densa
Grado de ligante	AC-20	AC-20	AC-20
Contenido de ligante, % total me	6	6	6

**Resultados del ensayo:**

Identificación de la muestra	4	5	6
Gravedad específica Bulk	2.213	2.212	2.211
Gravedad específica Bulk prome	2.212		
Altura promedio, mm	67.15	66.94	66.85
Factor de corrección	0.91	0.91	0.92
Estabilidad medida, lbf	3700	3550	3880
Estabilidad corregida, lbf	3360	3243	3554
Estabilidad promedio, lbf	3386		
Flujo, 0.01 in	15.5	15	15.7
Flujo promedio, 0.01 in	15		
Método para determinar flujo	pico	pico	pico
Temperatura de ensayo, °C	60.0	60.0	60.0

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 34 Informe de Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall (6.5% de Asfalto)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:** **OLICITA:**  
**NORMA DE REFER:** ASTM D6927 -06 **FISCALIZACIÓN:**  
**PROCEDIMIENTO:** ----- **CONTRATISTA:**  
**RECEPCIÓN N°** **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**HOJA:** de **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	7	8	9
Tipo de muestra	Briqueta	Briqueta	Briqueta
Tipo de mezcla	Densa	Densa	Densa
Grado de ligante	AC-20	AC-20	AC-20
Contenido de ligante, % total me	6.5	6.5	6.5

**Resultados del ensayo:**

Identificación de la muestra	7	8	9
Gravedad específica Bulk	2.208	2.206	2.207
Gravedad específica Bulk prome	2.207		
Altura promedio, mm	64.78	64.56	64.12
Factor de corrección	0.97	0.98	0.99
Estabilidad medida, lbf	4000	4100	4300
Estabilidad corregida, lbf	3888	4011	4261
Estabilidad promedio, lbf	4053		
Flujo, 0.01 in	17.5	16	17
Flujo promedio, 0.01 in	17		
Método para determinar flujo	pico	pico	pico
Temperatura de ensayo, °C	60.0	60.0	60.0

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 35 Informe de Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall (7% de Asfalto)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:** **OLICITA:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D6927 -06 **FISCALIZACIÓN:**  
**PROCEDIMIENTO:** ..... **CONTRATISTA:**  
**RECEPCIÓN N°:** **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**HOJA:** de **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-03-30  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	10	11	12
Tipo de muestra	Briqueta	Briqueta	Briqueta
Tipo de mezcla	Densa	Densa	Densa
Grado de ligante	AC-20	AC-20	AC-20
Contenido de ligante, % total me	7	7	7

**Resultados del ensayo:**

Identificación de la muestra	10	11	12
Gravedad específica Bulk	2.225	2.224	2.223
Gravedad específica Bulk promedio	2.224		
Altura promedio, mm	67	67.23	67.94
Factor de corrección	0.91	0.91	0.89
Estabilidad medida, lbf	3300	3800	3670
Estabilidad corregida, lbf	3010	3443	3260
Estabilidad promedio, lbf	3238		
Flujo, 0.01 in	16	16	15.5
Flujo promedio, 0.01 in	16		
Método para determinar flujo	pico	pico	pico
Temperatura de ensayo, °C	60.0	60.0	60.0

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 36 Informe de Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall (7.5% de Asfalto)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:** **OLICITA:**  
**NORMA DE REFER:** ASTM D6927 -06 **FISCALIZACIÓN:**  
**PROCEDIMIENTO:** ----- **CONTRATISTA:**  
**RECEPCIÓN N°** **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**HOJA:** de **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**MUESTRA:** Tomada | el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	13	14	15
Tipo de muestra	Briqueta	Briqueta	Briqueta
Tipo de mezcla	Densa	Densa	Densa
Grado de ligante	AC-20	AC-20	AC-20
Contenido de ligante, % total me	7.5	7.5	7.5

**Resultados del ensayo:**

Identificación de la muestra	13	14	15
Gravedad específica Bulk	2.242	2.241	2.242
Gravedad específica Bulk prome	2.242		
Altura promedio, mm	67.85	68.02	67.84
Factor de corrección	0.89	0.89	0.89
Estabilidad medida, lbf	3900	4200	4150
Estabilidad corregida, lbf	3473	3723	3697
Estabilidad promedio, lbf	3631		
Flujo, 0.01 in	16.5	17	16.5
Flujo promedio, 0.01 in	17		
Método para determinar flujo	pico	pico	pico
Temperatura de ensayo, °C	60.0	60.0	60.0

**OBSERVACIONES:**

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO-LAMIÑA **ILICITA:**  
**LOCALIZACIÓN:** **FISCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2041/D2041M-11 **CONTRATISTA:**  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada al cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	5.5%
Tipo de mezcla	H/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metalica
Tipo de procedimiento	En aire

**Requisitos de la muestra:**

Masa de muestra seca en aire (A), g	2311.7
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413.0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8764.8
Procedimiento suplementario	NO

**Requisitos del procedimiento suplementario:**

Masa de la bandeja, g	
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Masa de la muestra con superficie seca (A), g	
---	--

<b>Gravedad específica máxima teórica (G<sub>mm</sub>)</b>	<b>2.408</b>
--	--------------

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 38 Informe de Ensayo de Gravedad Específica Máxima Teórica (6% de Asfalto)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2041/D2041M-11  
**PROCEDIMIENTO:**  
**RECEPCIÓN MUESTRA:**  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada al cliente

**ILICITA:**  
**FISCALIZACIÓN:**  
**CONTRATISTA:**  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-20

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	5.5%
Tipo de mezcla	H/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálica
Tipo de procedimiento	En aire

**Registros de la muestra:**

Masa de muestra seca en aire (A), g	2317.5
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413.0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8759.23
Procedimiento suplementario	NO

**Registros del procedimiento suplementario:**

Masa de la bandeja, g	
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Masa de la muestra con superficie seca (A), g	
---	--

<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	<b>2.346</b>
---	--------------

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 39 Informe de Ensayo de Gravedad Especifica Máxima Teórica (6.5% de Asfalto)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA **ILICITA:**  
**LOCALIZACIÓN:** **FISCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2041/D2041M-11 **CONTRATISTA:**  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**HOJA:** 4  
**MUESTRA:** Tomada al cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	6.5%
Tipo de mezcla	H/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

**Requisitos de la muestra:**

Masa de muestra seca en aire (A), g	2348.6
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413.0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8768.2
Procedimiento suplementario	NO

**Requisitos del procedimiento suplementario:**

Masa de la bandeja, g	
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Masa de la muestra con superficie seca (A'), g	
--	--

<b>Gravedad específica máxima teórica (6mm)</b>	<b>2.364</b>
---	--------------

**OBSERVACIONES:**

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO-LAMIÑA **ILICITA:**  
**LOCALIZACIÓN:** **FISCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2041/D2041M-11 **CONTRATISTA:**  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**RECEPCIÓN N°:** **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada al cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	6.5%
Tipo de mezcla	N/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálica
Tipo de procedimiento	En aire

**Registros de la muestra:**

Masa de muestra seca en aire (A), g	2350.4
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413.0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8755.3
Procedimiento suplementario	NO

**Registros del procedimiento suplementario:**

Masa de la bandeja, g	
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Masa de la muestra con superficie seca (A), g	
---	--

<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	<b>2.332</b>
---	--------------

**OBSERVACIONES:**

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA **ILICITA:**  
**LOCALIZACIÓN:** **FISCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2041/D2041M - 11 **CONTRATISTA:**  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**RECEPCIÓN N.º:** **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada al cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	6.5%
Tipo de mezcla	M/D
Número de mostrador	1
Tipo de contenedor	Metálica
Tipo de procedimiento	En aire

**Registros de la muestra:**

Masa de muestra seca en aire (A), g	2361.5
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413.0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8747.56
Procedimiento suplementario	NO

**Registros del procedimiento suplementario:**

Masa de la bandeja, g	
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Masa de la muestra con superficie seca (A), g	
---	--

<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	<b>2.300</b>
---	--------------

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 42 Informe de Ensayo de Densidad y Flujo Marshall Modificado con 3% de PET (7.2% de Asfalto)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:** **OLICITA:**  
**NORMA DE REFER:** ASTM D6927 -06 **FISCALIZACIÓN:**  
**PROCEDIMIENTO:** ----- **CONTRATISTA:**  
**RECEPCIÓN N°:** **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**HOJA:** de **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	1	2	3
Tipo de muestra	Briqueta	Briqueta	Briqueta
Tipo de mezcla	Densa	Densa	Densa
Grado de ligante	AC-20	AC-20	AC-20
Contenido de PET %	3	3	3

**Resultados del ensayo:**

Identificación de la muestra	1	2	3
Gravedad específica Bulk	2.215	2.226	2.219
Gravedad específica Bulk promedio	2.220		
Altura promedio, mm	65.63	65.81	66.21
Factor de corrección	0.95	0.94	0.93
Estabilidad medida, lbf	3800	3575	3400
Estabilidad corregida, lbf	3604	3373	3171
Estabilidad promedio, lbf	3383		
Flujo, 0.01 in	16	19.5	17
Flujo promedio, 0.01 in	18		
Método para determinar flujo	pico	pico	pico
Temperatura de ensayo, °C	60.0	60.0	60.0

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 43 Informe de Ensayo de Densidad y Flujo Marshall Modificado con 4% de PET (7.2% de Asfalto)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:** **OLICITA:**  
**NORMA DE REFER:** ASTM D6927 -06 **FISCALIZACIÓN:**  
**PROCEDIMIENTO:** ----- **CONTRATISTA:**  
**RECEPCIÓN N°** **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**HOJA:** de **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	4	5	6
Tipo de muestra	Briqueta	Briqueta	Briqueta
Tipo de mezcla	Densa	Densa	Densa
Grado de ligante	AC-20	AC-20	AC-20
Contenido de PET %	4	4	4

**Resultados del ensayo:**

Identificación de la muestra	4	5	6
Gravedad específica Bulk	2.213	2.233	2.212
Gravedad específica Bulk promedio	2.219		
Altura promedio, mm	66.52	64.78	66.13
Factor de corrección	0.92	0.97	0.93
Estabilidad medida, lbf	4250	3840	3940
Estabilidad corregida, lbf	3929	3732	3683
Estabilidad promedio, lbf	3782		
Flujo, 0.01 in	16	18	16.5
Flujo promedio, 0.01 in	17		
Método para determinar flujo	pico	pico	pico
Temperatura de ensayo, °C	60.0	60.0	60.0

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 44 Informe de Ensayo de Densidad y Flujo Marshall Modificado con 5% de PET (7.2% de Asfalto)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:** **OLICITA:**  
**NORMA DE REFER:** ASTM D6927 -06 **FISCALIZACIÓN:**  
**PROCEDIMIENTO:** ----- **CONTRATISTA:**  
**RECEPCIÓN N°** **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**HOJA:** de **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	7	8	9
Tipo de muestra	Briqueta	Briqueta	Briqueta
Tipo de mezcla	Densa	Densa	Densa
Grado de ligante	AC-20	AC-20	AC-20
Contenido de PET %	5	5	5

**Resultados del ensayo:**

Identificación de la muestra	7	8	9
Gravedad específica Bulk	2.223	2.238	2.227
Gravedad específica Bulk promedio	2.229		
Altura promedio, mm	65	65.03	65.14
Factor de corrección	0.97	0.96	0.96
Estabilidad medida, lbf	3750	3280	3350
Estabilidad corregida, lbf	3622	3165	3222
Estabilidad promedio, lbf	3336		
Flujo, 0.01 in	18	17.5	17
Flujo promedio, 0.01 in	18		
Método para determinar flujo	pico	pico	pico
Temperatura de ensayo, °C	60.0	60.0	60.0

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 45 Informe de Ensayo de Densidad y Flujo Marshall Modificado con 6% de PET (7.2% de Asfalto)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:** **OLICITA:**  
**NORMA DE REFER:** ASTM D6927 -06 **FISCALIZACIÓN:**  
**PROCEDIMIENTO:** ..... **CONTRATISTA:**  
**RECEPCIÓN N°** **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**HOJA:** de **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	10	11	12
Tipo de muestra	Briqueta	Briqueta	Briqueta
Tipo de mezcla	Densa	Densa	Densa
Grado de ligante	AC-20	AC-20	AC-20
Contenido de PET %	6	6	6

**Resultados del ensayo:**

Identificación de la muestra	10	11	12
Gravedad específica Bulk	2.21	2.219	2.217
Gravedad específica Bulk promedio	2.215		
Altura promedio, mm	65.3	66.87	66.54
Factor de corrección	0.96	0.92	0.92
Estabilidad medida, lbf	3090	3500	3275
Estabilidad corregida, lbf	2958	3204	3026
Estabilidad promedio, lbf	3063		
Flujo, 0.01 in	18.5	16.5	16
Flujo promedio, 0.01 in	17		
Método para determinar flujo	pico	pico	pico
Temperatura de ensayo, °C	60.0	60.0	60.0

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 46 Informe de Ensayo de Densidad y Flujo Marshall Modificado con 7% de PET (7.2% de Asfalto

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:** **OLICITA:**  
**NORMA DE REFER:** ASTM D6927 -06 **FISCALIZACIÓN:**  
**PROCEDIMIENTO:** ----- **CONTRATISTA:**  
**RECEPCIÓN N°** **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**HOJA:** de **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	13	14	15
Tipo de muestra	Briqueta	Briqueta	Briqueta
Tipo de mezcla	Densa	Densa	Densa
Grado de ligante	AC-20	AC-20	AC-20
Contenido de PET %	7	7	7

**Resultados del ensayo:**

Identificación de la muestra	13	14	15
Gravedad específica Bulk	2.22	2.211	2.215
Gravedad específica Bulk promedio	2.215		
Altura promedio, mm	66.25	67.62	66.21
Factor de corrección	0.93	0.90	0.93
Estabilidad medida, lbf	3640	4225	3850
Estabilidad corregida, lbf	3391	3787	3591
Estabilidad promedio, lbf	3590		
Flujo, 0.01 in	20	21.5	18
Flujo promedio, 0.01 in	20		
Método para determinar flujo	pico	pico	pico
Temperatura de ensayo, °C	60.0	60.0	60.0

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 47 Informe de Ensayo de Gravedad Específica Máxima Teórica Modificado con 3% de PET  
(7.2% de Asfalto)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA **ILICITA:**  
**LOCALIZACIÓN:** **FISCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2041/D2041M-11 **CONTRATISTA:**  
**PROCEDIMIENTO:** **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**RECEPCIÓN N°:** **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada al cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3%
Tipo de mezcla	N/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálica
Tipo de procedimiento	En aire

**Requirir de la muestra:**

Masa de muestra seca en aire (A), g	2345.7
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413.0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8746.2
Procedimiento suplementario	NO

**Requirir del procedimiento suplementario:**

Masa de la bandeja, g	
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Masa de la muestra con superficie seca (A), g	
---	--

<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	<b>2.317</b>
---	--------------

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 48 Informe de Ensayo de Gravedad Específica Máxima Teórica Modificado con 4% de PET  
(7.2% de Asfalto)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO-LAMIÑA  
**LOCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2041/D2041M-11  
**PROCEDIMIENTO:**  
**RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**ILICITA:**  
**FISCALIZACIÓN:**  
**CONTRATISTA:**  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada al cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	4%
Tipo de mezcla	H/D
Número de mostrador	1
Tipo de contenedor	Metálica
Tipo de procedimiento	En aire

**Registros de la muestra:**

Masa de mostrador en aire (A), g	2357.1
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413.0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8747
Procedimiento suplementario	NO

**Registros del procedimiento suplementario:**

Masa de la bandeja, g	
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Masa de la muestra con superficie seca (A), g	
---	--

<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	<b>2.304</b>
---	--------------

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 49 Informe de Ensayo de Gravedad Especifica Máxima Teórica Modificado con 5% de PET  
(7.2% de Asfalto)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA **ILICITA:**  
**LOCALIZACIÓN:** **FISCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2041/D2041M - 11 **CONTRATISTA:**  
**PROCEDIMIENTO:** **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**RECEPCIÓN N°:** **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada al cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	5%
Tipo de mezcla	N/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálica
Tipo de procedimiento	En aire

**Requisitos de la muestra:**

Masa de muestra seca en aire (A), g	2345.2
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413.0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8741.7
Procedimiento suplementario	NO

**Requisitos del procedimiento suplementario:**

Masa de la bandeja, g	
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Masa de la muestra con superficie seca (A), g	
---	--

<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	<b>2.307</b>
---	--------------

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 50 Informe de Ensayo de Gravedad Especifica Máxima Teórica Modificado con 6% de PET  
(7.2% de Asfalto)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA **ILICITA:**  
**LOCALIZACIÓN:** **FISCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2041/D2041M-11 **CONTRATISTA:**  
**PROCEDIMIENTO:** **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**RECEPCIÓN N°:** **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada al cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	6%
Tipo de mezcla	H/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálica
Tipo de procedimiento	En aire

**Registro de la muestra:**

Masa de muestra seca en aire (A), g	2352.8
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413.0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8744.3
Procedimiento suplementario	NO

**Registro del procedimiento suplementario:**

Masa de la bandeja, g	
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Masa de la muestra con superficie seca (A), g	
---	--

<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	<b>2.383</b>
---	--------------

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 51 Informe de Ensayo de Gravedad Especifica Máxima Teórica Modificado con 7% de PET  
(7.2% de Asfalto)

**PROYECTO:** TESIS CORNEJO - LAMIÑA **ILICITA:**  
**LOCALIZACIÓN:** **FISCALIZACIÓN:**  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2041/D2041M-11 **CONTRATISTA:**  
**PROCEDIMIENTO:** **RECEPCIÓN DE MUESTRA:**  
**RECEPCIÓN N°:** **FECHA DE EMISIÓN:** 2018-09-30  
**HOJA:** de  
**MUESTRA:** Tomada al cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	7
Tipo de mezcla	M/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálica
Tipo de procedimiento	En aire

**Registros de la muestra:**

Masa de muestra seca en aire (A), g	2352.2
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413.0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8742.5
Procedimiento suplementario	NO

**Registros del procedimiento suplementario:**

Masa de la bandeja, g	
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Masa de la muestra con superficie seca (A), g	
---	--

<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	<b>2.300</b>
---	--------------

**OBSERVACIONES:**

Anexo Nro. 52 Porcentaje de Mezcla de los Agregados

MALLA		2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4 "	1/2 "	3/8"	N° 4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°100	N°200
ABERTURA	(mm)	63	50	37.5	25	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
ESPECIFICACIÓN	MÍN	100	100	100	100	100	90	---	44	28	---	---	5	---	2
	MÁX	100	100	100	100	100	100	---	74	58	---	---	21	---	10
AGREGADO	A	100	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.3	72.2	49.1	33.7	19.0	9.6	5.0
AGREGADO	B	100	100.0	100.0	100.0	100.0	98.8	71.0	12.7	9.0	8.3	7.9	4.8	1.2	0.3
AGREGADO	C	100	100.0	100.0	100.0	98.8	25.4	6.0	3.9	2.6	2.4	2.3	2.0	1.1	0.2
<b>MEZCLA AGREGADOS</b>		<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>99.8</b>	<b>84.8</b>	<b>74.0</b>	<b>56.9</b>	<b>42.5</b>	<b>29.6</b>	<b>21.0</b>	<b>12.1</b>	<b>5.8</b>	<b>2.9</b>

Anexo Nro. 53 Análisis Granulométrico para Briquetas

Masa seca 1100.00

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET. ACUM.	% RETENIDO	% PASA
2"	50.00	0.0	0.00	0.00	100.0
1 1/2"	37.50	0.0	0.00	0.00	100.0
1"	25.00	0.0	0.00	0.00	100.0
3/4"	19.00	2.7	2.70	0.25	99.8
1/2"	12.50	164.8	167.5	15.2	84.8
3/8"	9.50	119.0	286.5	26.0	74.0
4	4.75	187.2	473.7	43.1	56.9
8	2.36	159.3	633.0	57.5	42.5
16	1.18	141.6	774.6	70.4	29.6
30	0.600	95.0	869.5	79.0	21.0
50	0.300	97.9	967.4	87.9	12.1
100	0.150	69.0	1,036.5	94.2	5.8
200	0.075	31.9	1,068.4	97.1	2.9
	<b>PASA N° 200</b>	31.6	1,100.0		

Anexo Nro. 54 Análisis Granulométrico para Briquetas

<b>DISEÑO N° 2</b>		<b>AGREGADO A</b>	<b>AGREGADO B</b>	<b>AGREGADO C</b>
		<b>PORCENTAJES DE MEZCLAS</b>		
		<b>55%</b>	<b>25%</b>	<b>20%</b>
		<b>605</b>	<b>275</b>	<b>220</b>
		Asfáltica en Caliente - Mezcla de Prueba 2	Mezcla Asfáltica en Caliente - Mezcla de Prueba 2	Asfáltica en Caliente - Mezcla de Prueba 2
<b>TAMIZ N°</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO</b>	<b>PESO RET. ACUM.</b>	<b>PESO RET. ACUM.</b>
<b>2"</b>	50.00	0.0	0.0	0.0
<b>1 1/2"</b>	37.50	0.0	0.0	0.0
<b>1"</b>	25.00	0.0	0.0	0.0
<b>3/4"</b>	19.00	0.0	0.0	2.7
<b>1/2"</b>	12.50	0.0	3.4	161.4
<b>3/8"</b>	9.50	0.0	76.3	42.8
<b>4</b>	4.75	22.1	160.5	4.6
<b>8</b>	2.36	146.3	10.2	2.8
<b>16</b>	1.18	139.3	1.9	0.4
<b>30</b>	0.600	93.6	1.2	0.2
<b>50</b>	0.300	88.9	8.3	0.6
<b>100</b>	0.150	57.0	9.96	2.1
<b>200</b>	0.075	27.6	2.5	1.8
<b>Pasa Tamiz N° 200</b>		30.2	1.9	1.5

Anexo Nro. 55 Ensayo Marshall para Mezcla Asfáltica Convencional

Briqueta	Porcentaje Asfalto	Peso Aire	Peso Sat. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm <sup>3</sup> )	D. Bulk g/cm <sup>3</sup>	Gmm g/cm <sup>3</sup>	V. a. %	V. agr. %	VAM %	VAF %	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01"
												Medida	F Correc.	Corregida	
1	5.5	1153.29	1153.96	634.64	519.3	2.221	2.408					5600	0.94	5264	15
2	5.5	1152.96	1153.42	634.32	519.1	2.221	2.408					3710	0.94	3487	15
3	5.5	1152.65	1152.96	634.25	518.7	2.222	2.408					3710	0.93	3450	15
					PROMEDIO	2.221	2.408	7.8	84.4	15.6	50.3			4067	15
4	6.0	1158.25	1158.79	635.42	523.4	2.213	2.386					3700	0.91	3367	16
5	6.0	1159.02	1159.84	635.98	523.9	2.212	2.386					3550	0.91	3231	15
6	6.0	1158.95	1159.43	635.21	524.2	2.211	2.386					3880	0.92	3570	16
					PROMEDIO	2.212	2.386	7.3	83.6	16.4	55.5			3389	15
7	6.5	1164.66	1164.84	637.40	527.4	2.208	2.364					4000	0.97	3880	18
8	6.5	1164.84	1165.14	637.19	528.0	2.206	2.364					4100	0.98	4018	16
9	6.5	1164.12	1164.52	637.12	527.4	2.207	2.364					4300	0.99	4257	17
					PROMEDIO	2.207	2.364	6.6	83.0	17.0	61.0			4052	17
10	7.0	1172.21	1172.47	645.54	526.9	2.225	2.332					3300	0.91	3003	16
11	7.0	1173.15	1173.56	645.95	527.6	2.224	2.332					3800	0.91	3458	16
12	7.0	1173.12	1173.65	645.95	527.7	2.223	2.332					3670	0.89	3266	16
					PROMEDIO	2.224	2.332	4.6	83.2	16.8	72.4			3242	16
13	7.5	1182.85	1183.15	655.65	527.5	2.242	2.300	2.51				3900	0.89	3471	17
14	7.5	1181.95	1182.45	655.12	527.3	2.241	2.300	2.55				4200	0.89	3738	17
15	7.5	1182.01	1182.47	655.29	527.2	2.242	2.300	2.52				4150	0.89	3694	17
					PROMEDIO	2.242	2.300	2.5	83.4	16.6	84.8			3634	17

Anexo Nro. 56 Ensayo Marshall para Mezcla Asfáltica Modificada con varios porcentajes de PET

Briqueta	Porcentaje PET	Peso Aire	Peso Sat. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm3)	D. Bulk g/cm3	Gmm g/cm3	V. a. %	V. agr. %	VAM %	VAF %	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01"
												Medida	F Correc.	Corregida	
1	3.0	1174.81	1175.16	644.85	530.3	2.215	2.317					3800	0.95	3610	16
2	3.0	1178.94	1179.50	649.83	529.7	2.226	2.317					3575	0.94	3361	20
3	3.0	1173.52	1174.13	645.16	529.0	2.219	2.317					3400	0.93	3162	17
					PROMEDIO	2.220	2.317	4.2	86.6	13.4	68.8			3378	18
4	4.0	1175.07	1175.80	644.72	531.1	2.213	2.304					4250	0.92	3910	16
5	4.0	1173.70	1173.74	648.14	525.6	2.233	2.304					3840	0.97	3725	18
6	4.0	1173.62	1174.14	643.53	530.6	2.212	2.304					3940	0.93	3664	17
					PROMEDIO	2.219	2.304	3.7	85.7	14.3	74.4			3766	17
7	5.0	1173.31	1173.51	645.77	527.7	2.223	2.307					3750	0.97	3638	18
8	5.0	1175.03	1175.18	650.08	525.1	2.238	2.307					3280	0.96	3149	18
9	5.0	1174.64	1175.04	647.51	527.5	2.227	2.307					3350	0.96	3216	17
					PROMEDIO	2.229	2.307	3.4	85.2	14.8	77.3			3334	17
10	6.0	1173.11	1173.25	642.51	530.7	2.210	2.303					3090	0.96	2966	19
11	6.0	1173.61	1173.64	644.82	528.8	2.219	2.303					3500	0.92	3220	17
12	6.0	1173.41	1173.46	644.16	529.3	2.217	2.303					3275	0.92	3013	16
					PROMEDIO	2.216	2.303	3.8	83.7	16.3	76.6			3066	17
13	7.0	1176.16	1176.45	646.71	529.7	2.220	2.300	3.47				3640	0.93	3385	20
14	7.0	1177.02	1177.23	644.92	532.3	2.211	2.300	3.86				4225	0.90	3803	22
15	7.0	1176.52	1176.72	645.46	531.3	2.215	2.300	3.71				3850	0.93	3581	18
					PROMEDIO	2.213	2.300	3.7	82.8	17.2	78.6			3589	20

### Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: **BRIQUETA1 10<sup>º</sup>**

#### Dirección del laboratorio de ensayo

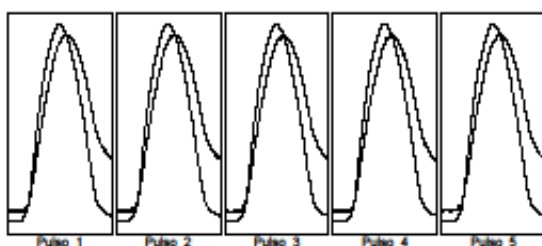
Cooper Research Technology Limited  
Athene House  
Heage Road Ind Est  
Ripley

Fecha de impresión: 20:11:2018  
Ensayo realizado por: CORNEJO-LAMIÑA  
Referencia de la probeta: SIN PLASTICO1- 10<sup>º</sup>  
Temperatura de la probeta: 10°C  
Diámetro de la probeta: 103.8 mm  
Espesor de la probeta: 63.2 mm  
Densidad aparente: 2181 (kg/m<sup>3</sup>)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

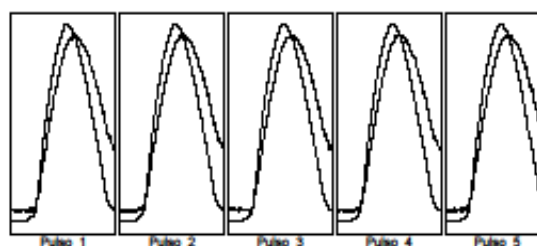
Fecha y hora del ensayo :	20:Nov:2018 17:21	Nombre del cliente :	LABORATORIO
---------------------------	-------------------	----------------------	-------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	SIN PLASTICO
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	TIPO MARSHAL
Método de compactación	AUTOMATICO
Condiciones de almacenamiento	TEMPERATURA 10 <sup>º</sup>
Método de determinación de la densidad aparente	BASICO

#### Ensayo sobre el primer diámetro



#### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	3.18	3.18	3.18	
Esfuerzo horizontal (kPa)	306.3	306.9	306.6	
Factor de área de carga	0.80	0.82	0.82	0.82
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.9	5.1	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	119.0	121.0	120.2
Módulo resiliente medido (MPa)		6102	6267	6181
Módulo resiliente ajustado (MPa)		6213	6339	6274

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	2.92	2.96	2.96	
Esfuerzo horizontal (kPa)	283.7	287.1	285.9	
Factor de área de carga	0.80	0.82	0.82	0.82
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.9	5.1	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	121.0	122.0	121.6
Módulo resiliente medido (MPa)		5703	5938	5771
Módulo resiliente ajustado (MPa)		5772	6005	5838

#### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	120.9
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0048
Módulo resiliente medido (MPa) :	5976
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	6056

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (7)

Responsable del ensayo	Firmado
CORNEJO-LAMIÑA	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	20:11:2018

**Informe del módulo resiliente por compresión diametral**

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: **BRIQUETA2 10°**

**Dirección del laboratorio de ensayo**

Cooper Research Technology Limited  
Athene House  
Heage Road Ind Est  
Ripley

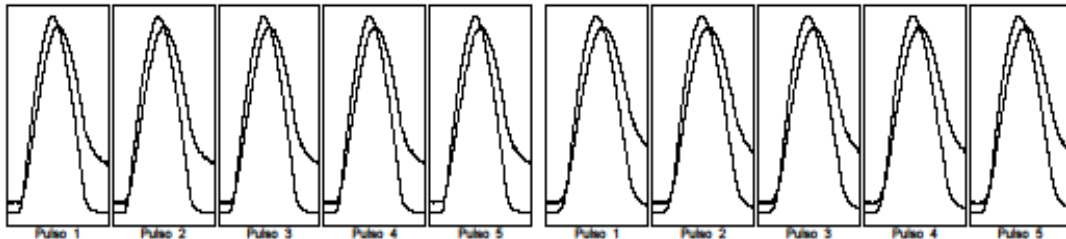
Fecha de impresión: 20:11:2018  
Ensayo realizado por: CORNEJO-LAMIÑA  
Referencia de la probeta: SIN PLASTICO2-10°  
Temperatura de la probeta: 10°C  
Diámetro de la probeta: 102.9 mm  
Espesor de la probeta: 61.9 mm  
Densidad aparente: 2214 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

Fecha y hora del ensayo :	20:Nov:2018 17:28	Nombre del cliente :	LABORATORIO
---------------------------	-------------------	----------------------	-------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	SIN PLASTICO
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	TIPO MARSHAL
Método de compactación	AUTOMATICO
Condiciones de almacenamiento	TEMPERATURA 10°
Método de determinación de la densidad aparente	BASICO

**Ensayo sobre el primer diámetro**

**Ensayo sobre el segundo diámetro**



Resultados	Deseado	Real Min	Real Max	Medio
Fuerza vertical (kN)	3.05	3.06	3.05	3.05
Esfuerzo horizontal (kPa)	304.7	305.6	305.1	305.1
Factor de área de carga	0.80	0.80	0.80	0.80
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.9	5.0	4.9
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	122.0	125.0	125.0
Módulo resiliente medido (MPa)		6154	6295	6197
Módulo resiliente ajustado (MPa)		6146	6285	6188

Resultados	Deseado	Real Min	Real Max	Medio
Fuerza vertical (kN)	3.06	3.11	3.07	3.07
Esfuerzo horizontal (kPa)	305.4	310.7	306.8	306.8
Factor de área de carga	0.80	0.80	0.80	0.80
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.9	5.1	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	122.0	127.0	125.0
Módulo resiliente medido (MPa)		6119	6256	6178
Módulo resiliente ajustado (MPa)		6129	6209	6171

**Media de los dos ensayos**

Tiempo de carga (subida) (ms) :	124.0
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0048
Módulo resiliente medido (MPa) :	6188
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	6180

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (0.3)

<b>Responsable del ensayo</b>	<b>Firmado</b>
CORNEJO-LAMIÑA	
	<b>Fecha de emisión del informe de ensayo</b>
	20:11:2018

### Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: BRIQUETA3 10°

#### Dirección del laboratorio de ensayo

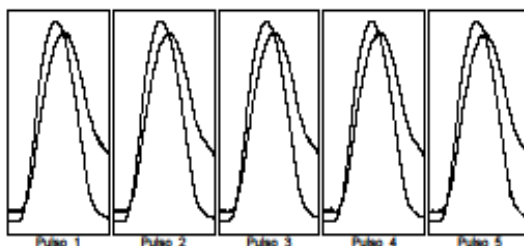
Cooper Research Technology Limited  
Athene House  
Heage Road Ind Est  
Ripley

Fecha de impresión: 20:11:2018  
Ensayo realizado por: CORNEJO-LAMIÑA  
Referencia de la probeta: SIN PLASTICO3 - 10°  
Temperatura de la probeta: 10°C  
Diámetro de la probeta: 102.8 mm  
Espesor de la probeta: 62.6 mm  
Densidad aparente: 2243 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

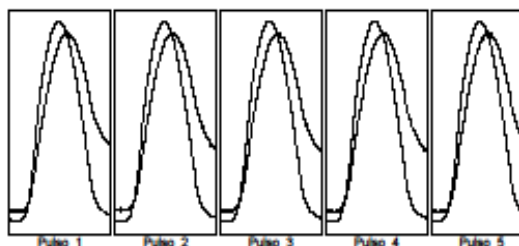
Fecha y hora del ensayo :	20:Nov:2018 17:34	Nombre del cliente :	LABORATORIO
---------------------------	-------------------	----------------------	-------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	SIN PLASTICO
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	TIPO MARSHAL
Método de compactación	AUTOMATICO
Condiciones de almacenamiento	TEMPERATURA 10°
Método de determinación de la densidad aparente	BASICO

#### Ensayo sobre el primer diámetro



#### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseado	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	2.42	2.43	2.42	
Esfuerzo horizontal (MPa)	236.5	240.3	236.9	
Factor de área de carga	0.80	0.80	0.80	
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.0	
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	123.0	124.2	
Módulo resiliente medido (MPa)	4763	4817	4791	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	4753	4816	4779	

Resultados	Deseado	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	2.34	2.36	2.35	
Esfuerzo horizontal (MPa)	231.2	236.3	232.4	
Factor de área de carga	0.80	0.80	0.82	
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.1	
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	121.0	126.0	
Módulo resiliente medido (MPa)	4562	4626	4609	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	4605	4659	4637	

#### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	123.5
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0049
Módulo resiliente medido (MPa) :	4700
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	4708

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (3)

Responsable del ensayo	Firmado
CORNEJO-LAMIÑA	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	20:11:2018

### Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: **BRIQUETA1**

#### Dirección del laboratorio de ensayo

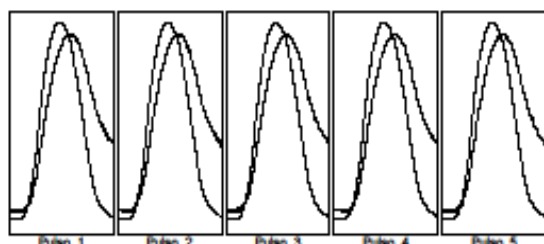
Cooper Research Technology Limited  
Athene House  
Heage Road Ind Est  
Ripley

Fecha de impresión: 20:11:2018  
Ensayo realizado por: CORNEJO-LAMIÑA  
Referencia de la probeta: SIN PLASTICO1  
Temperatura de la probeta: 20°C  
Diámetro de la probeta: 103.8 mm  
Espesor de la probeta: 63.2 mm  
Densidad aparente: 2181 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

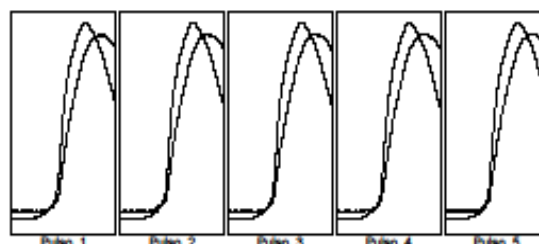
Fecha y hora del ensayo :	20:Nov:2018 08:04	Nombre del cliente :	LABORATORIO
---------------------------	-------------------	----------------------	-------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	SIN PLASTICO
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	TIPO MARSHAL
Método de compactación	AUTOMATICO
Condiciones de almacenamiento	TEMPERATURA 20°
Método de determinación de la densidad aparente	BASICO

#### Ensayo sobre el primer diámetro



#### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	1.42	1.42	1.42	1.42
Esfuerzo horizontal (kPa)	137.9	138.2	138.0	138.0
Factor de área de carga	0.80	0.80	0.81	0.80
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.9	5.0	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	118.0	128.0	121.8
Módulo resiliente medido (MPa)	2775	2824	2798	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	2779	2803	2793	

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	1.35	1.36	1.36	1.36
Esfuerzo horizontal (kPa)	130.7	131.9	131.5	131.5
Factor de área de carga	0.80	0.85	0.87	0.86
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.1	5.2	5.1
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	110.0	118.0	114.2
Módulo resiliente medido (MPa)	2574	2593	2585	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	2640	2687	2686	

#### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	117.9
Deformación horizontal (µm) :	5.1
Deformación horizontal (%) :	0.0049
Módulo resiliente medido (MPa) :	2691
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	2730

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (5)

Responsable del ensayo	Firmado
CORNEJO-LAMIÑA	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	20:11:2018

### Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: BRIQUETA2

#### Dirección del laboratorio de ensayo

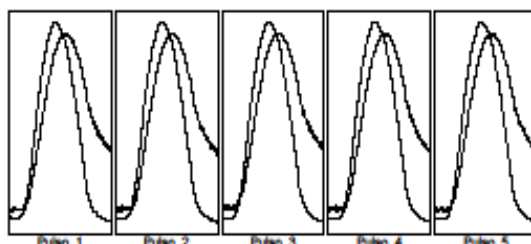
Cooper Research Technology Limited  
Athene House  
Heage Road Ind Est  
Ripley

Fecha de impresión: 20:11:2018  
Ensayo realizado por: CORNEJO-LAMIÑA  
Referencia de la probeta: SIN PLASTICO2  
Temperatura de la probeta: 20°C  
Diámetro de la probeta: 102.9 mm  
Espesor de la probeta: 61.9 mm  
Densidad aparente: 2214 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (micróns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

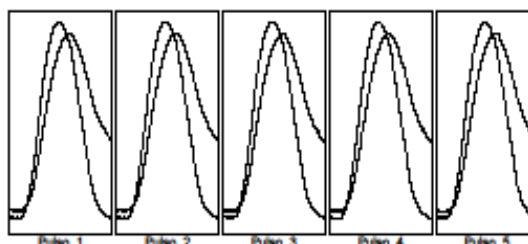
Fecha y hora del ensayo :	20:Nov:2018 08:11	Nombre del cliente :	LABORATORIO
---------------------------	-------------------	----------------------	-------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	SIN PLASTICO
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	TIPO MARSHAL
Método de compactación	AUTOMATICO
Condiciones de almacenamiento	TEMPERATURA 20°
Método de determinación de la densidad aparente	BASICO

#### Ensayo sobre el primer diámetro



#### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	1.38	1.38	1.38	1.38
Esfuerzo horizontal (kPa)	137.5	138.2	137.9	137.9
Factor de área de carga	0.80	0.57	0.59	0.58
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.1	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	118.0	122.0	119.8
Módulo resiliente medido (MPa)	2710	2784	2748	2748
Módulo resiliente ajustado (MPa)	2701	2759	2726	2726

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	1.26	1.27	1.27	1.27
Esfuerzo horizontal (kPa)	126.5	127.0	126.8	126.8
Factor de área de carga	0.80	0.57	0.59	0.59
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.0	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	125.0	127.0	126.2
Módulo resiliente medido (MPa)	2537	2550	2543	2543
Módulo resiliente ajustado (MPa)	2503	2538	2526	2526

#### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	122.9
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0049
Módulo resiliente medido (MPa) :	2646
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	2626

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (8)

Responsable del ensayo	Firmado
CORNEJO-LAMIÑA	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	20:11:2018

### Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: BRIQUETA3

#### Dirección del laboratorio de ensayo

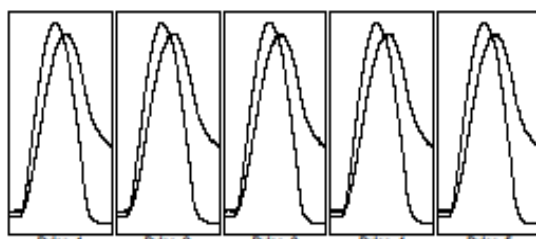
Cooper Research Technology Limited  
Athene House  
Heage Road Ind Est  
Ripley

Fecha de impresión: 20:11:2018  
Ensayo realizado por: CORNEJO-LAMIÑA  
Referencia de la probeta: SIN PLASTICO3  
Temperatura de la probeta: 20°C  
Diámetro de la probeta: 102.8 mm  
Espesor de la probeta: 62.6 mm  
Densidad aparente: 2243 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

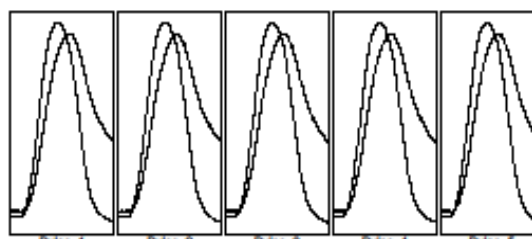
Fecha y hora del ensayo :	20:Nov:2018 08:17	Nombre del cliente :	LABORATORIO
---------------------------	-------------------	----------------------	-------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	SIN PLASTICO
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	TIPO MARSHAL
Método de compactación	AUTOMATICO
Condiciones de almacenamiento	TEMPERATURA 20°
Método de determinación de la densidad aparente	BASICO

#### Ensayo sobre el primer diámetro



#### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.98	1.00	0.99	
Esfuerzo horizontal (MPa)		97.3	98.1	98.2
Factor de área de carga	0.80	0.59	0.82	0.80
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.9	5.1	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	117.0	129.0	123.4
Módulo resiliente medido (MPa)		1945	1978	1981
Módulo resiliente ajustado (MPa)		1941	1977	1959

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.98	0.97	0.97	
Esfuerzo horizontal (MPa)		95.1	95.4	95.7
Factor de área de carga	0.80	0.57	0.81	0.59
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.9	5.0	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	115.0	124.0	119.8
Módulo resiliente medido (MPa)		1907	1938	1921
Módulo resiliente ajustado (MPa)		1890	1928	1910

#### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	121.5
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0049
Módulo resiliente medido (MPa) :	1941
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	1935

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (3)

Responsable del ensayo	Firmado
CORNEJO-LAMIÑA	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	20:11:2018

### Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: **BRIQUETA#1- 40ª**

#### Dirección del laboratorio de ensayo

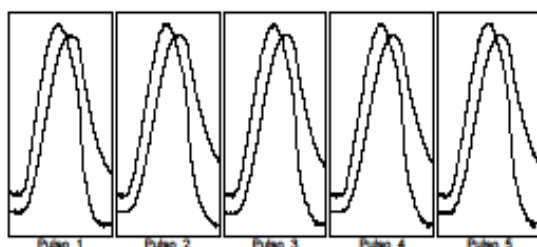
Cooper Research Technology Limited  
Athene House  
Heage Road Ind Est  
Ripley

Fecha de impresión: 21:11:2018  
Ensayo realizado por: CORNEJO-LAMIÑA  
Referencia de la probeta: SIN PLASTICO1 - 40ª  
Temperatura de la probeta: 40°C  
Diámetro de la probeta: 102.8 mm  
Espesor de la probeta: 63.2 mm  
Densidad aparente: 2161 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

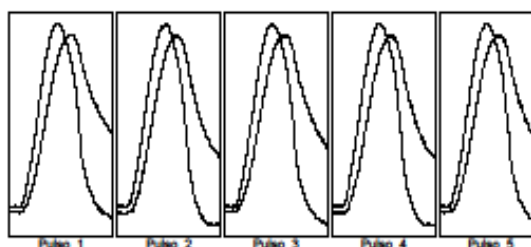
Fecha y hora del ensayo :	21:Nov:2018 08:29	Nombre del cliente :	LABORATORIO
---------------------------	-------------------	----------------------	-------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	SIN PLASTICO
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	TIPO MARSHAL
Método de compactación	AUTOMATICO
Condiciones de almacenamiento	TEMPERATURA 40ª
Método de determinación de la densidad aparente	BASICO

#### Ensayo sobre el primer diámetro



#### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Medio
Fuerza vertical (kN)	0.18	0.20	0.19	
Esfuerzo horizontal (kPa)	17.5	19.4	18.5	
Factor de área de carga	0.80	0.55	0.82	0.58
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.9	5.6
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	125.0	145.0	135.6
Módulo resiliente medido (MPa)	320	348	331	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	319	346	330	

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Medio
Fuerza vertical (kN)	0.31	0.35	0.33	
Esfuerzo horizontal (kPa)	30.9	34.3	32.7	
Factor de área de carga	0.80	0.55	0.59	0.57
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.1	6.2	5.5
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	121.0	130.0	127.0
Módulo resiliente medido (MPa)	557	612	591	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	553	609	586	

#### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	131.8
Deformación horizontal (µm) :	5.6
Deformación horizontal (%) :	0.0054
Módulo resiliente medido (MPa) :	461
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	458

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (56)

Responsable del ensayo	Firmado
CORNEJO-LAMIÑA	Fecha de emisión del informe de ensayo 21:11:2018

### Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: BRIQUETA#2- 40°

#### Dirección del laboratorio de ensayo

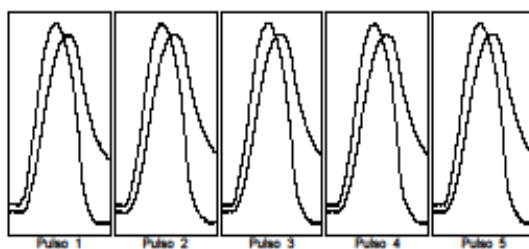
Cooper Research Technology Limited  
Athene House  
Heage Road Ind Est  
Ripley

Fecha de impresión: 21:11:2018  
Ensayo realizado por: CORNEJO-LAMIÑA  
Referencia de la probeta: SIN PALSTICO2 - 40°  
Temperatura de la probeta: 40°C  
Diámetro de la probeta: 102.9 mm  
Espesor de la probeta: 81.9 mm  
Densidad aparente: 2215 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

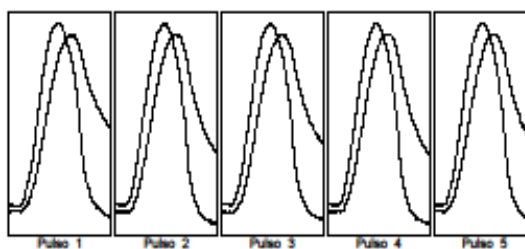
Fecha y hora del ensayo :	21:Nov:2018 07:55	Nombre del cliente :	LABORATORIO
---------------------------	-------------------	----------------------	-------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	SIN PLASTICO
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	TIPO MARSHAL
Método de compactación	AUTOMATICO
Condiciones de almacenamiento	TEMPERATURA 40°
Método de determinación de la densidad aparente	BASICO

#### Ensayo sobre el primer diámetro



#### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.30	0.32	0.32	0.32
Esfuerzo horizontal (kPa)	29.9	32.3	31.7	
Factor de área de carga	0.80	0.55	0.82	0.58
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.9	5.5	5.3
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	118.0	133.0	125.4
Módulo resiliente medido (MPa)		590	611	596
Módulo resiliente ajustado (MPa)		585	614	595

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.30	0.34	0.32	0.32
Esfuerzo horizontal (kPa)	30.4	33.8	32.0	
Factor de área de carga	0.80	0.58	0.80	0.59
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.1	6.2	5.5
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	125.0	134.0	129.8
Módulo resiliente medido (MPa)		543	614	588
Módulo resiliente ajustado (MPa)		544	613	587

#### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	127.5
Deformación horizontal (µm) :	5.4
Deformación horizontal (%) :	0.0052
Módulo resiliente medido (MPa) :	593
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	591

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (1)

Responsable del ensayo	Firmado
CORNEJO-LAMIÑA	Fecha de emisión del informe de ensayo 21:11:2018

**Informe del módulo resiliente por compresión diametral**

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: **BRIQUETA#3- 40°**

**Dirección del laboratorio de ensayo**

Cooper Research Technology Limited  
Athene House  
Heage Road Ind Est  
Ripley

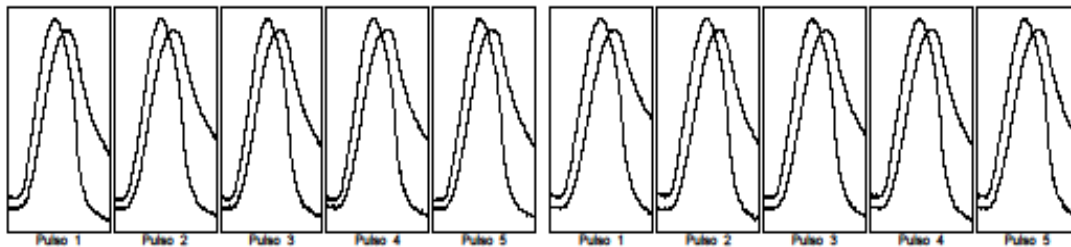
Fecha de impresión: 21:11:2018  
Ensayo realizado por: CORNEJO-LAMIÑA  
Referencia de la probeta: SIN PLASTICO3 - 40°  
Temperatura de la probeta: 40°C  
Diámetro de la probeta: 102.8 mm  
Espesor de la probeta: 62.8 mm  
Densidad aparente: 2243 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

Fecha y hora del ensayo :	21:Nov:2018 08:01	Nombre del cliente :	LABORATORIO
---------------------------	-------------------	----------------------	-------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	SIN PLASTICO
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	TIPO MARSHAL
Método de compactación	AUTOMATICO
Condiciones de almacenamiento	TEMPERATURA 40°
Método de determinación de la densidad aparente	BASICO

**Ensayo sobre el primer diámetro**

**Ensayo sobre el segundo diámetro**



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.25	0.26	0.27	
Esfuerzo horizontal (kPa)		24.5	27.4	26.4
Factor de área de carga	0.80	0.55	0.57	0.56
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.1	6.0	5.7
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	121.0	127.0	126.2
Módulo resiliente medido (MPa)		454	480	467
Módulo resiliente ajustado (MPa)		451	476	463

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)		0.22	0.25	0.24
Esfuerzo horizontal (kPa)		22.2	24.9	23.6
Factor de área de carga	0.80	0.57	0.59	0.56
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.5	6.9	6.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	124.0	133.0	126.0
Módulo resiliente medido (MPa)		359	413	397
Módulo resiliente ajustado (MPa)		356	410	394

**Media de los dos ensayos**

Tiempo de carga (subida) (ms) :	126.1
Deformación horizontal (µm) :	5.8
Deformación horizontal (%) :	0.0057
Módulo resiliente medido (MPa) :	432
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	429

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (16)

Responsable del ensayo	Firmado
CORNEJO-LAMIÑA	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	21:11:2018

**Informe del módulo resiliente por compresión diametral**

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: **BRIQUETA4 10°**

**Dirección del laboratorio de ensayo**

Cooper Research Technology Limited  
Athene House  
Heage Road Ind Est  
Ripley

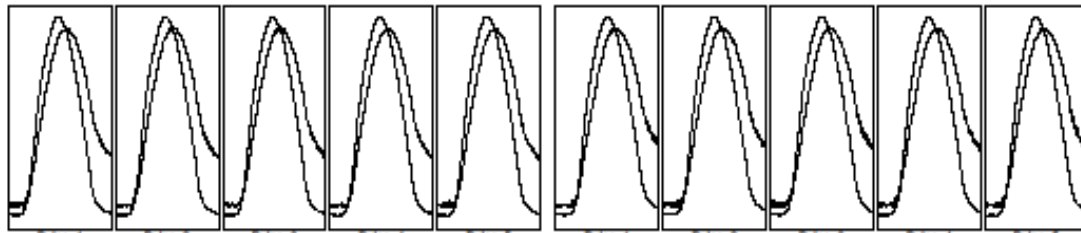
Fecha de impresión: 20:11:2018  
Ensayo realizado por: CORNEJO-LAMIÑA  
Referencia de la probeta: CON PLASTICO1 - 10°  
Temperatura de la probeta: 10°C  
Diámetro de la probeta: 102.4 mm  
Espesor de la probeta: 65.6 mm  
Densidad aparente: 2084 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

Fecha y hora del ensayo :	20:Nov:2018 17:40	Nombre del cliente :	LABORATORIO
---------------------------	-------------------	----------------------	-------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	CON PLASTICO
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	TIPO MARSHAL
Método de compactación	AUTOMATICO
Condiciones de almacenamiento	TEMPERATURA 10°
Método de determinación de la densidad aparente	BASICO

Ensayo sobre el primer diámetro

Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Medio
Fuerza vertical (kN)	2.17	2.15	2.17	
Esfuerzo horizontal (MPa)	205.7	206.3	205.1	
Factor de área de carga	0.80	0.81	0.82	0.81
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.9	4.9	4.9
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	120.0	125.0	122.4
Módulo resiliente medido (MPa)	4187	4199	4183	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	4203	4245	4218	

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Medio
Fuerza vertical (kN)	2.07	2.12	2.08	
Esfuerzo horizontal (MPa)	195.0	200.8	197.5	
Factor de área de carga	0.80	0.81	0.81	0.81
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.2	5.1
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	122.0	126.0	124.0
Módulo resiliente medido (MPa)	3826	3899	3982	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	3851	3911	3982	

Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	123.2
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0049
Módulo resiliente medido (MPa) :	4023
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	4049

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (8)

Responsable del ensayo	Firmado
CORNEJO-LAMIÑA	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	20:11:2018

### Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: **BRIQUETA5 10°**

#### Dirección del laboratorio de ensayo

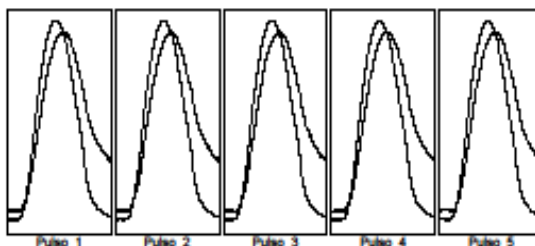
Cooper Research Technology Limited  
Athene House  
Heage Road Ind Est  
Ripley

Fecha de impresión: 20:11:2018  
Ensayo realizado por: CORNEJO-LAMIÑA  
Referencia de la probeta: CON PLASTICO2 - 10°  
Temperatura de la probeta: 10°C  
Diámetro de la probeta: 101.7 mm  
Espesor de la probeta: 88.3 mm  
Densidad aparente: 2091 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

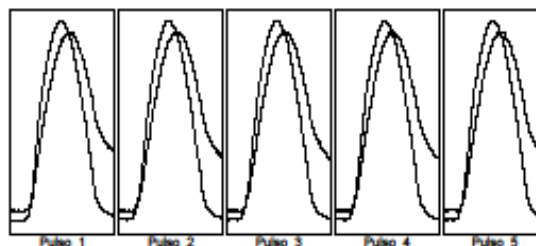
Fecha y hora del ensayo :	20:Nov:2018 17:48	Nombre del cliente :	LABORATORIO
---------------------------	-------------------	----------------------	-------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	CON PLASTICO
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	TIPO MARSHAL
Método de compactación	AUTOMATICO
Condiciones de almacenamiento	TEMPERATURA 10°
Método de determinación de la densidad aparente	BASICO

#### Ensayo sobre el primer diámetro



#### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados					Resultados				
	Deseada	Real Min	Real Max	Media		Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	2.09	2.10	2.10	2.10	Fuerza vertical (kN)	1.96	2.01	1.97	1.97
Esfuerzo horizontal (kPa)	0.80	0.58	0.59	0.59	Esfuerzo horizontal (kPa)	0.80	0.81	0.82	0.81
Factor de área de carga	5.0	4.9	5.0	5.0	Factor de área de carga	5.0	4.9	5.2	5.0
Deformación horizontal (µm)	124	125.0	126.0	124.8	Deformación horizontal (µm)	124	119.0	125.0	121.8
Tiempo de carga (subida) (ms)	3790	3858	3821		Tiempo de carga (subida) (ms)	3538	3597	3564	
Módulo resiliente medido (MPa)	3755	3843	3790		Módulo resiliente medido (MPa)	3548	3615	3588	

#### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	123.3
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0049
Módulo resiliente medido (MPa) :	3693
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	3689

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (5)

Responsable del ensayo	Firmado
CORNEJO-LAMIÑA	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	20:11:2018

### Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: **BRIQUETA6 10°**

#### Dirección del laboratorio de ensayo

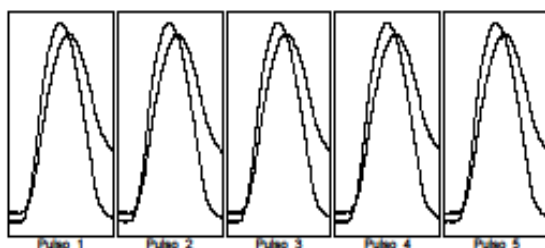
Cooper Research Technology Limited  
Athene House  
Heage Road Ind Est  
Ripley

Fecha de impresión: 20:11:2018  
Ensayo realizado por: CORNEJO-LAMIÑA  
Referencia de la probeta: CON PLASTICO3 - 10°  
Temperatura de la probeta: 10°C  
Diámetro de la probeta: 102.3 mm  
Espesor de la probeta: 88.1 mm  
Densidad aparente: 2144 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

Fecha y hora del ensayo :	20:Nov:2018 17:57	Nombre del cliente :	LABORATORIO
---------------------------	-------------------	----------------------	-------------

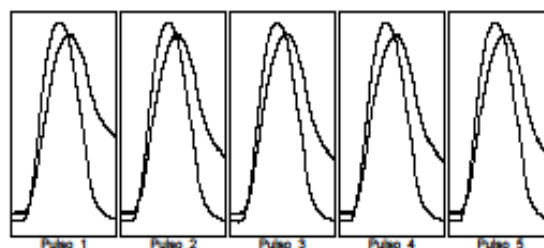
Tipo y origen de la mezcla bituminosa	CON PLASTICO
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	TIPO MARSHAL
Método de compactación	AUTOMATICO
Condiciones de almacenamiento	TEMPERATURA 10°
Método de determinación de la densidad aparente	BASICO

#### Ensayo sobre el primer diámetro



Resultados	Deseado	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	2.02	2.03	2.03	2.03
Esfuerzo horizontal (MPa)	0.80	190.4	191.0	190.7
Factor de área de carga	0.80	0.80	0.80	0.80
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.9	5.0	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	121.0	127.0	124.4
Módulo resiliente medido (MPa)		3822	3884	3835
Módulo resiliente ajustado (MPa)		3820	3872	3837

#### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseado	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	1.95	1.95	1.95	1.95
Esfuerzo horizontal (MPa)	0.80	183.2	183.8	183.5
Factor de área de carga	0.80	0.59	0.82	0.81
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.1	6.2	5.4
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	115.0	127.0	119.2
Módulo resiliente medido (MPa)		2950	3586	3427
Módulo resiliente ajustado (MPa)		2975	3597	3435

#### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	121.8
Deformación horizontal (µm) :	5.2
Deformación horizontal (%) :	0.0050
Módulo resiliente medido (MPa) :	3631
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	3636

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (11)

Responsable del ensayo	Firmado
CORNEJO-LAMIÑA	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	20:11:2018

### Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: **BRIQUETA4**

#### Dirección del laboratorio de ensayo

Cooper Research Technology Limited  
Athene House  
Heage Road Ind Est  
Ripley

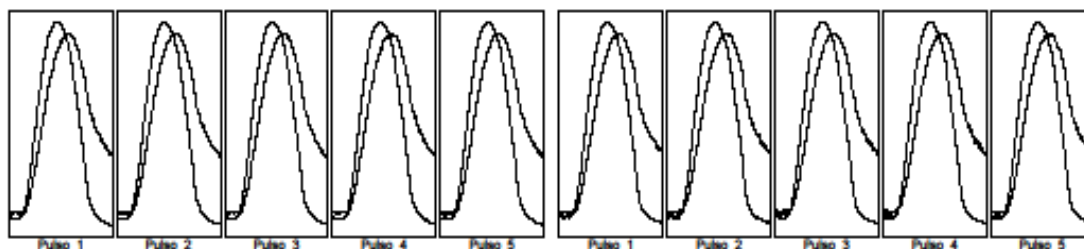
Fecha de impresión: 20:11:2018  
Ensayo realizado por: CORNEJO-LAMIÑA  
Referencia de la probeta: CON PLASTICO1  
Temperatura de la probeta: 20°C  
Diámetro de la probeta: 102.4 mm  
Espesor de la probeta: 65.6 mm  
Densidad aparente: 2064 (kg/m<sup>3</sup>)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

Fecha y hora del ensayo :	20:Nov:2018 08:24	Nombre del cliente :	LABORATORIO
---------------------------	-------------------	----------------------	-------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	CON PLASTICO
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	TIPO MARSHAL
Método de compactación	AUTOMATICO
Condiciones de almacenamiento	TEMPERATURA 20°
Método de determinación de la densidad aparente	BASICO

#### Ensayo sobre el primer diámetro

#### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseado	Real Min	Real Max	Medio
Fuerza vertical (kN)	0.89	0.90	0.90	0.90
Esfuerzo horizontal (kPa)	84.3	85.5	85.0	85.0
Factor de área de carga	0.80	0.58	0.82	0.80
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.1	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	125.0	128.0	124.2
Módulo resiliente medido (MPa)	1676	1695	1685	1684
Módulo resiliente ajustado (MPa)	1684	1711	1684	1684

#### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	124.8
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0049
Módulo resiliente medido (MPa) :	1630
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	1634

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (8)

Responsable del ensayo	Firmado
CORNEJO-LAMIÑA	Fecha de emisión del informe de ensayo 20:11:2018

### Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: **BRIQUETA5**

#### Dirección del laboratorio de ensayo

Cooper Research Technology Limited  
Athene House  
Heage Road Ind Est  
Ripley

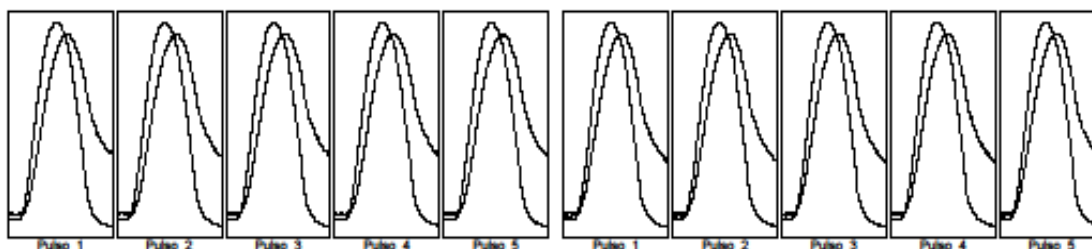
Fecha de impresión: 20:11:2018  
Ensayo realizado por: CORNEJO-LAMIÑA  
Referencia de la probeta: CON PLASTICO2  
Temperatura de la probeta: 20°C  
Diámetro de la probeta: 101.7 mm  
Espesor de la probeta: 68.3 mm  
Densidad aparente: 2091 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

Fecha y hora del ensayo :	20:Nov:2018 08:34	Nombre del cliente :	LABORATORIO
---------------------------	-------------------	----------------------	-------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	CON PLASTICO
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	TIPO MARSHAL
Método de compactación	AUTOMATICO
Condiciones de almacenamiento	TEMPERATURA 20°
Método de determinación de la densidad aparente	BASICO

#### Ensayo sobre el primer diámetro

#### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.97	0.98	0.98	
Esfuerzo horizontal (kPa)	88.9	90.0	89.4	
Factor de área de carga	0.80	0.59	0.81	0.80
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.1	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	119.0	124.0	122.5
Módulo resiliente medido (MPa)		1795	1784	1773
Módulo resiliente ajustado (MPa)		1783	1775	1769

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.88	0.90	0.89	
Esfuerzo horizontal (kPa)	81.0	82.2	81.7	
Factor de área de carga	0.80	0.58	0.82	0.80
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.8	5.1	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	118.0	129.0	122.4
Módulo resiliente medido (MPa)		1806	1698	1826
Módulo resiliente ajustado (MPa)		1803	1657	1825

#### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	122.5
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0049
Módulo resiliente medido (MPa) :	1700
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	1697

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (8)

Responsable del ensayo	Firmado
CORNEJO-LAMIÑA	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	20:11:2018

**Informe del módulo resiliente por compresión diametral**

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: BRIQUETA6

**Dirección del laboratorio de ensayo**

Cooper Research Technology Limited  
Athene House  
Heage Road Ind Est  
Ripley

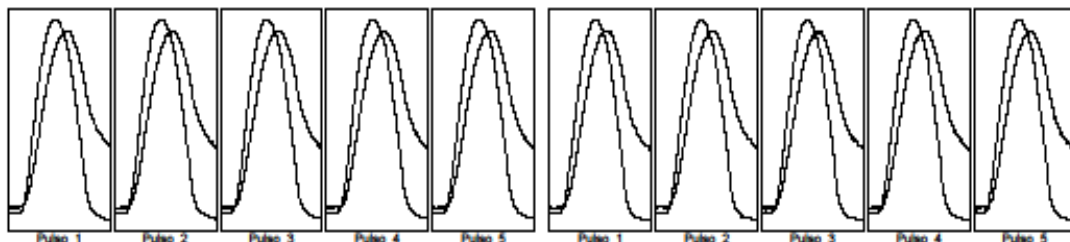
Fecha de impresión: 20:11:2018  
Ensayo realizado por: CORNEJO-LAMIÑA  
Referencia de la probeta: CON PLASTICO3  
Temperatura de la probeta: 20°C  
Diámetro de la probeta: 102.3 mm  
Espesor de la probeta: 86.1 mm  
Densidad aparente: 2144 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

Fecha y hora del ensayo :	20:Nov:2018 08:42	Nombre del cliente :	LABORATORIO
---------------------------	-------------------	----------------------	-------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	CON PLASTICO
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	TIPO MARSHAL
Método de compactación	AUTOMATICO
Condiciones de almacenamiento	TEMPERATURA 20°
Método de determinación de la densidad aparente	BASICO

**Ensayo sobre el primer diámetro**

**Ensayo sobre el segundo diámetro**



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	1.02	1.04	1.03	
Esfuerzo horizontal (MPa)	96.3	97.5	97.1	
Factor de área de carga	0.80	0.80	0.83	0.81
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.1	5.1	5.1
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	122.0	126.0	123.6
Módulo resiliente medido (MPa)		1889	1910	1899
Módulo resiliente ajustado (MPa)		1889	1939	1908

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)		0.91	0.92	0.91
Esfuerzo horizontal (MPa)		85.3	86.6	85.9
Factor de área de carga	0.80	0.80	0.83	0.81
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.8	5.0	4.9
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	121.0	126.0	123.4
Módulo resiliente medido (MPa)		1714	1771	1731
Módulo resiliente ajustado (MPa)		1721	1769	1737

**Media de los dos ensayos**

Tiempo de carga (subida) (ms) :	123.5
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0049
Módulo resiliente medido (MPa) :	1815
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	1823

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (9)

<b>Responsable del ensayo</b>  CORNEJO-LAMIÑA	<b>Firmado</b>   <b>Fecha de emisión del informe de ensayo</b> 20:11:2018
---	---

### Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: **BRIQUETA#4- 40<sup>o</sup>**

#### Dirección del laboratorio de ensayo

Cooper Research Technology Limited  
Athene House  
Heage Road Ind Est  
Ripley

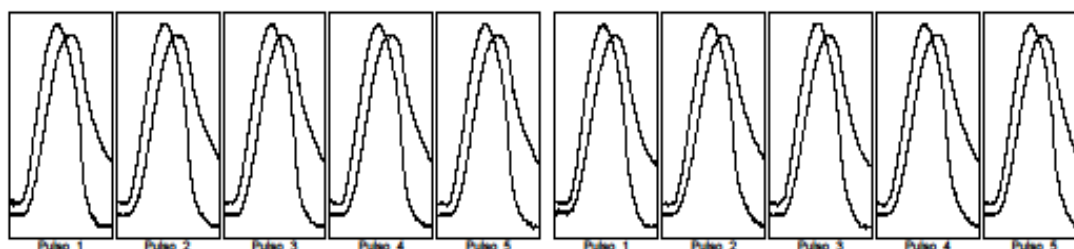
Fecha de impresión: 21:11:2018  
Ensayo realizado por: CORNEJO-LAMIÑA  
Referencia de la probeta: CON PLASTICO1 - 40°  
Temperatura de la probeta: 40°C  
Diámetro de la probeta: 102.4 mm  
Espesor de la probeta: 65.6 mm  
Densidad aparente: 2064 (kg/m<sup>3</sup>)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

Fecha y hora del ensayo :	21:Nov:2018 08:07	Nombre del cliente :	LABORATORIO
---------------------------	-------------------	----------------------	-------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	CON PLASTICO
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	TIPO MARSHAL
Método de compactación	AUTOMATICO
Condiciones de almacenamiento	TEMPERATURA 40°
Método de determinación de la densidad aparente	BASICO

#### Ensayo sobre el primer diámetro

#### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Medio
Fuerza vertical (kN)	0.24	0.26	0.25	
Esfuerzo horizontal (MPa)	22.8	24.4	23.7	
Factor de área de carga	0.80	0.58	0.59	0.58
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.7	5.3	5.1
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	112.0	140.0	129.4
Módulo resiliente medido (MPa)	458	476	462	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	454	475	460	

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Medio
Fuerza vertical (kN)	0.25	0.27	0.26	
Esfuerzo horizontal (MPa)	23.2	25.7	24.4	
Factor de área de carga	0.80	0.58	0.60	0.59
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.1	5.9	5.5
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	122.0	132.0	129.0
Módulo resiliente medido (MPa)	432	454	441	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	431	455	440	

#### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	129.2
Deformación horizontal (µm) :	5.3
Deformación horizontal (%) :	0.0052
Módulo resiliente medido (MPa) :	452
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	450

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (4)

Responsable del ensayo	Firmado
CORNEJO-LAMIÑA	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	21:11:2018

### Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: **BRIQUETA#5- 40°**

#### Dirección del laboratorio de ensayo

Cooper Research Technology Limited  
Athene House  
Heage Road Ind Est  
Ripley

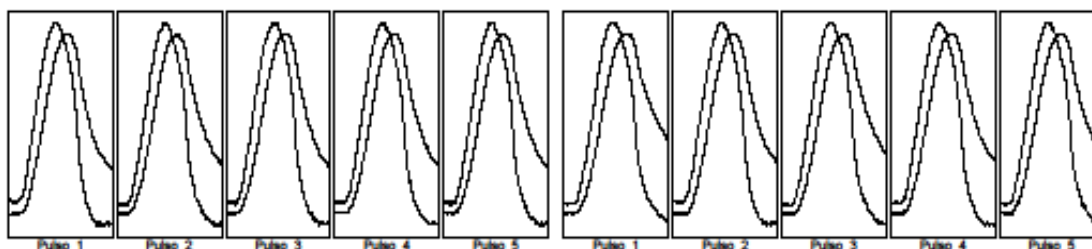
Fecha de impresión: 21:11:2018  
Ensayo realizado por: CORNEJO-LAMIÑA  
Referencia de la probeta: CON PLASTICO2 - 40°  
Temperatura de la probeta: 40°C  
Diámetro de la probeta: 101.7 mm  
Espesor de la probeta: 68.3 mm  
Densidad aparente: 2091 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

Fecha y hora del ensayo :	21:Nov:2018 08:15	Nombre del cliente :	LABORATORIO
---------------------------	-------------------	----------------------	-------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	CON PLASTICO
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	TIPO MARSHAL
Método de compactación	AUTOMATICO
Condiciones de almacenamiento	TEMPERATURA 40°
Método de determinación de la densidad aparente	BASICO

#### Ensayo sobre el primer diámetro

#### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.24	0.26	0.25	
Esfuerzo horizontal (kPa)	21.7	23.8	23.0	
Factor de área de carga	0.80	0.58	0.59	0.58
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.8	5.5
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	118.0	140.0	128.2
Módulo resiliente medido (MPa)	406	427	414	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	404	426	412	

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.25	0.29	0.27	
Esfuerzo horizontal (kPa)	22.9	26.2	24.7	
Factor de área de carga	0.80	0.55	0.58	0.57
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.2	6.4	5.7
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	119.0	140.0	130.0
Módulo resiliente medido (MPa)	407	438	427	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	403	435	424	

#### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	129.1
Deformación horizontal (µm) :	5.6
Deformación horizontal (%) :	0.0055
Módulo resiliente medido (MPa) :	421
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	418

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (3)

Responsable del ensayo	Firmado
CORNEJO-LAMIÑA	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	21:11:2018

### Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: **BRIQUETA#6- 40º**

#### Dirección del laboratorio de ensayo

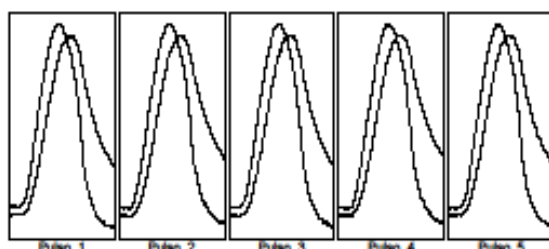
Cooper Research Technology Limited  
Athene House  
Heage Road Ind Est  
Ripley

Fecha de impresión: 21:11:2018  
Ensayo realizado por: CORNEJO-LAMIÑA  
Referencia de la probeta: CON PLASTICO3 - 40º  
Temperatura de la probeta: 40°C  
Diámetro de la probeta: 102.3 mm  
Espesor de la probeta: 86.1 mm  
Densidad aparente: 2144 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

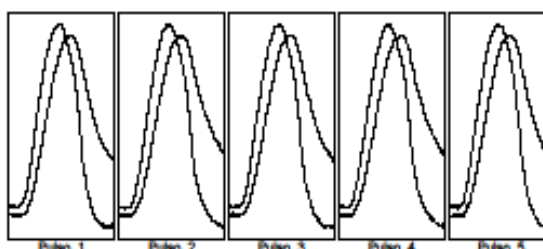
Fecha y hora del ensayo :	21:Nov:2018 08:22	Nombre del cliente :	LABORATORIO
---------------------------	-------------------	----------------------	-------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	CON PLASTICO
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	TIPO MARSHAL
Método de compactación	AUTOMATICO
Condiciones de almacenamiento	TEMPERATURA 40º
Método de determinación de la densidad aparente	BASICO

#### Ensayo sobre el primer diámetro



#### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.29	0.31	0.30	
Esfuerzo horizontal (MPa)	27.8	29.7	28.8	
Factor de área de carga	0.80	0.96	0.80	0.58
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.1	5.6	5.4
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	121.0	129.0	124.4
Módulo resiliente medido (MPa)		523	544	532
Módulo resiliente ajustado (MPa)		518	543	530

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.29	0.30	0.29	
Esfuerzo horizontal (MPa)	28.5	28.3	27.3	
Factor de área de carga	0.80	0.96	0.81	0.58
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.7	5.3
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	124.0	130.0	127.0
Módulo resiliente medido (MPa)		498	525	512
Módulo resiliente ajustado (MPa)		493	527	510

#### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	125.7
Deformación horizontal (µm) :	5.3
Deformación horizontal (%) :	0.0052
Módulo resiliente medido (MPa) :	522
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	520

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (4)

Responsable del ensayo	Firmado
CORNEJO-LAMIÑA	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	21:11:2018