



Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“COMPARACION DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFALTICAS TIBIAS  
(WMA) Y MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE (HMA) CON AGREGADOS DE  
LA MINA DE GUAYLLABAMBA”**

**Autores:**

ESCOBAR MOROCHO PEDRO PABLO

TUNALA SALAS ANDONI SEBASTIAN

**Director:**

ING. WILSON CANDO

**DISERTACIÓN DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**QUITO, OCTUBRE DE 2019**

## **Dedicatoria**

*Dedico el siguiente trabajo de investigación a  
mis padres Carlos y Marina por haber sido  
ejemplo y apoyo durante toda esta travesía.  
Gracias por enseñarme el valor del trabajo y la  
honradez, por enseñarme a perseguir mis sueños.  
Este trabajo es para ustedes.*

*A mis hermanos Marcelo, Cecilia y Marco por su  
apoyo incondicional ¡Lo logramos!*

***Pablo Escobar***

*A mis padres por el esfuerzo y sacrificio invertido a lo largo de  
toda esta etapa, gracias por enseñarme a perseguir mis sueños,  
a esforzarme por lo que quiero, este trabajo es gracias a ellos.*

*A mis hermanos que de una u otra manera siempre han estado  
brindándome su apoyo y su confianza en mis aptitudes.*

***Andoni Tunala Salas***

## **Agradecimientos**

*Agradezco a mis padres por guiarme en este duro camino y brindarme fuerza para culminar mis estudios. A mi madre por sus oraciones y su optimismo que siempre me acompañan. A mi padre por su fortaleza y responsabilidad que fueron ejemplo durante toda la vida. A mis hermanos y familia por siempre preocuparse por mi bienestar y ser apoyo incondicional.*

*A mis amigos de toda la vida, Dani, Gaby y David por siempre ser alegría en mi vida.*

*A mis amigos que durante 5 años me brindaron su amistad y apoyo dentro y fuera de las aulas.*

*A nuestro director de tesis, Ing. Wilson Cando por su asesoría y ayuda durante el desarrollo de esta tesis.*

*A nuestros lectores Ing. Gustavo Yáñez e Ing. Jorge Albuja por sus recomendaciones y correcciones.*

*A mi compañero de tesis Andoni por su compromiso, responsabilidad y dedicación en este, nuestro último trabajo como estudiantes.*

*Gracias... Totales.*

**Pablo Escobar**

*A mi mamá, por su paciencia y apoyo durante toda mi vida, sin ella no sería posible ningún logro alcanzado.*

*A mis hermanos por motivarme a siempre buscar más y no conformarme.*

*A mis amigos que han estado presentes en alguna etapa de mi vida y me han dejado todo tipo de enseñanzas.*

*A los Ingenieros Wilson Cando, Gustavo Yáñez y Jorge Albuja por haberse tomado el tiempo de guiar y corregir esta disertación.*

**Andoni Tunala Salas**

## Índice

1. Capítulo I .....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos. ....	2
1.3. Marco Teórico.....	3
1.4. Mezclas Asfálticas Convencionales.....	3
1.4.1. Definición .....	3
1.4.2. Composición .....	3
1.4.3. Agregados .....	3
1.4.4. Ligantes.....	5
1.4.5. Características del Cemento Asfáltico .....	6
1.4.6. Propiedades del Asfalto Convencional .....	8
1.4.7. Características volumétricas de las mezclas asfálticas calientes (HMA).....	11
2. Capítulo II.....	15
2.1. Mezclas Asfálticas Tibias .....	15
2.1.1. Aditivos.....	15
2.1.2. Zycotherm.....	17
2.1.3. Propiedades que se benefician de una mezcla combinada .....	23
3. Capítulo III.....	24
3.1. Ensayos del Material Granular.....	24
3.1.1. Equivalente de arena en el agregado fino (ASTM D2419-14).....	24
3.1.2. Gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado grueso (ASTM C127-15). .....	25
3.1.3. Gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado fino (ASTM C128-15)..	27
3.1.4. Ensayo de la resistencia a los sulfatos de los agregados finos y gruesos (ASTM C88)28	
3.1.5. Resistencia a la degradación del agregado grueso sometido a abrasión e impacto en la máquina de los ángeles (ASTM C131/131M-15). ....	28
3.1.6. Tabla resumen de los resultados de los ensayos. ....	29
3.2. Ensayos del Asfalto.....	30
3.2.1. Viscosidad absoluta (ASTM D2171/2171M-10).....	31
3.2.2. Viscosidad cinemática (ASTM D2170/D2170M-10). ....	31
3.2.3. Punto de inflamación y combustión (ASTM D92). ....	32
3.2.4. Gravedad específica (ASTM D70-17). ....	33
3.2.5. Índice de penetración (ASTM D5).....	34
3.2.6. Ensayo para la determinación del punto de ablandamiento del asfalto (ASTM D36)..	35

3.2.7.	Ensayo para determinar el cambio de masa (ASTM D2872).....	35
3.2.8.	Ensayo de ductilidad (ASTM D113-17) .....	37
3.2.9.	Tabla resumen de ensayos de asfalto. ....	38
4.	Capítulo IV.....	39
4.1.	Diseño de mezclas asfálticas según Método Marshall.....	39
4.1.1.	Estabilidad y flujo Marshall.....	40
4.2.	Propiedades Volumétricas de los Especímenes de Ensayo.....	41
4.2.1.	Gravedad específica Bulk (Gsb). ....	41
4.2.2.	Gravedad específica aparente (Gsa).....	42
4.2.3.	Gravedad específica efectiva (Gse).....	42
4.2.4.	Vacíos en el agregado mineral (VAM). ....	43
4.2.5.	Porcentaje de vacíos (VA). ....	43
4.2.6.	Vacíos llenos con asfalto (VAF). ....	44
4.3.	Cálculos de la Mezcla Caliente (HMA) Convencional.....	44
4.4.	Cálculos de Mezclas Asfálticas Tibias (WMA).....	54
4.4.1.	Mezclas asfálticas compactadas a 110°C sin aditivo. ....	54
4.5.	Ensayo del módulo de rigidez.....	55
4.5.1.	Procedimiento para medición de modulo con máquina universal.....	55
5.	Capítulo V.....	60
5.1.	Análisis económico.....	60
6.	Capítulo VI.....	62
6.1.	Conclusiones.....	62
6.2.	Recomendaciones .....	63
7.	Bibliografía.....	65
8.	Anexos .....	68

## Índice de Imágenes.

Imagen 1.1. Bitumen.....	8
Imagen 1.2. Vacíos en mezclas HMA compactadas.....	13
Imagen 2.1. Esquema de proceso de reducción de atracción entre asfaltenos.....	18
Imagen 2.2. Esquema de paso de una superficie de árido, de hidrófila a hidrófoba con el uso de Zycotherm. ....	19
Imagen 2.3. Cambio de polaridad en los agregados al adicionar el aditivo Zycotherm. ....	19
Imagen 2.4. Adherencia agregado – asfalto sin Zycotherm.....	20
Imagen 2.5. Adherencia agregado – asfalto con Zycotherm. ....	20
Imagen 2.6. Minimización de la temperatura de trabajo. ....	22
Imagen 3.1. Equipo ensayo contenido de arena.....	25
Imagen 3.2. Canastilla usada para medir el peso saturado sumergido.....	26
Imagen 3.3. Máquina de los ángeles. ....	29
Imagen 3.4. Equipo para ensayo de viscosidad absoluta 60°C.....	31
Imagen 3.5. Viscosímetro rotatorio. ....	32
Imagen 3.6. Copa abierta de Cleveland. ....	33
Imagen 3.7. Picnómetro. ....	34
Imagen 3.8. Equipo para el ensayo de penetración.....	34
Imagen 3.9. Briquetas para el ensayo de punto de ablandamiento. ....	35
Imagen 3.10. Esquema de la máquina de flujo de aire. ....	36
Imagen 3.11. Botellas RTFO. ....	36
Imagen 3.12. Briquetas estándar para el ensayo de ductilidad. ....	37
Imagen 3.13. Briquetas ensayadas a temperatura constante 25°C.....	37
Imagen 4.1. Curva Granulométrica de la mezcla de agregados.....	46
Imagen 4.2. asfalto (%) vs. vacíos (%).....	51
Imagen 4.3. Densidad Bulk vs. Porcentaje de asfalto.....	51
Imagen 4.4. Porcentaje de asfalto vs. Estabilidad.....	52
Imagen 4.5. Porcentaje de asfalto vs. Flujo. ....	52
Imagen 4.6. Porcentaje de asfalto vs. VAM. ....	53
Imagen 4.7. Porcentaje de asfalto vs. VAF.....	53
Imagen 4.8. Transductores LVDT. ....	56
Imagen 4.9. Ensayo Módulo de rigidez. ....	56

## Índice de Tablas.

Tabla 1.1. Porcentaje mínimo de VAM .....	13
Tabla 2.1. Especificaciones del Zycotherm .....	17
Tabla 3.1 Resumen de resultados de los ensayos de caracterización de los agregados.....	29
Tabla 3.2. Requisitos para el cemento asfáltico AC-20.....	30
Tabla 3.3. Resumen de resultados de los ensayos de caracterización del asfalto.....	38
Tabla 4.1. Límites de la especificación MOP 001 F2002 tabla 405-5.1 Agregado tamaño nominal 3/4"(ASTM 3515).....	45
Tabla 4.2. Cantidad de material necesario para elaborar una briqueta .....	48
Tabla 4.3. Resumen de resultados de cada briqueta con su porcentaje de asfalto.....	49
Tabla 4.4. Resumen de resultados de cada porcentaje de asfalto. ....	50
Tabla 4.5. Resumen de valores para ensayo Marshall.....	50
Tabla 4.6. Tabla resumen de los datos obtenidos de las mezclas con asfalto óptimo del 7%. 53	
Tabla 4.7. Resultados de mezclas asfálticas tibias.....	54
Tabla 4.8. Módulo de rigidez mezclas asfálticas calientes. ....	57
Tabla 4.9. Resultados Módulo de Rigidez Mezclas Tibias con Aditivo.....	58
Tabla 4.10. Resultados Módulo de Rigidez Tibias sin Aditivo. ....	58
Tabla 4.11. Resumen de Resultados del Ensayo para Obtener el Módulo de Rigidez. ....	59
Tabla 5.1. Precios hallados de las mezclas asfálticas en estudio. ....	60

## Índice de Ecuaciones.

Ecuación 3.1: Equivalente de arena en el agregado fino. ....	24
Ecuación 3.2: Gravedad específica del agregado grueso. ....	26
Ecuación 3.3: Porcentaje de absorción agregado grueso. ....	26
Ecuación 3.4: Gravedad específica del agregado fino. ....	27
Ecuación 3.5: Porcentaje de absorción del agregado fino. ....	27
Ecuación 3.6: Resistencia a los sulfatos. ....	28
Ecuación 3.7: Viscosidad cinemática de materiales bituminosos. ....	32
Ecuación 3.8: Corrección del punto de inflamación y combustión. ....	32
Ecuación 3.9: Gravedad específica de los materiales bituminosos. ....	33
Ecuación 4.1: Gravedad específica del agregado. ....	41
Ecuación 4.2: Gravedad específica efectiva del agregado. ....	42
Ecuación 4.3: Vacíos en el agregado. ....	43
Ecuación 4.4: Vacíos de aire. ....	43
Ecuación 4.5: Vacíos llenos con asfalto. ....	44
Ecuación 4.6: Porcentaje de asfalto teórico para una mezcla asfáltica caliente. ....	47

## **Abstract**

The use of modified asphalt mixtures covers a very large field in terms of the properties of the materials to be modified; there are several models that allow a new positive feature to asphalt mixtures to be able to generate greater efficiency in performance throughout its useful life. Conventional hot asphalt mixtures are the most used on the roads of our country, these are economical compared to a modified mixture due to the type of preparation, the materials used, including labour and studies that are carried out to design them. Such reasons make using something conventional the fastest and most appropriate way to design roads.

However, with the environmental trend, that has been taking place in the region, we have looked for ways to produce asphalt mixtures that use fewer resources, but at the same time maintain the same characteristics in terms of performance and durability. This is why WMA asphalt mixtures have gained ground in road project implementation. A warm asphalt mixture (WMA) consists of lowering the mixing and compaction temperatures without the characteristics of the mixture being significantly affected.

By having to heat the asphalt less to make the asphalt mixture, we save fuel consumption by reducing the emissions of various gases, the main one being Carbon Dioxide that is responsible for global warming. In the USA, the approximate production of Carbon Dioxide in hot asphalt mixing plants is approximately 2,500 tons per year, with the use of asphalt mixtures it is possible to reduce this amount to 1700 tons. In the case of our country, no research has yet been carried out on these typologies that allow us to reliably determine its applicability for projects that use the aggregates of the area.

## Capítulo I

### 1.1.Introducción

Las necesidades a satisfacer de las nuevas generaciones, mezcladas con los cambios que presenta el planeta, han iniciado la búsqueda de nuevas tecnologías que disminuyan el uso de recursos para satisfacer las exigencias de la población, abriendo la puerta a técnicas que buscan optimizar energía y brindan mejores experiencias al momento de la interacción entre los obreros y la materia prima. Una de las principales necesidades que presenta la humanidad es su urgencia de trasladarse de un lugar a otro, ya sea por motivos de trabajo, o simplemente por turismo, buscando comodidad en su trayecto.

El sistema vial dentro de un país representa un factor sumamente importante para el desarrollo económico del mismo. Si una ciudad presenta una red vial deficiente, con tiempos de viaje elevados debido al deterioro de sus vías, el uso de recursos para trasladarse aumentara y generara pérdidas económicas en la sociedad.

El presente trabajo de titulación, de carácter investigativo y exploratorio, tiene como finalidad la comparación del comportamiento mecánico y reológico de una mezcla asfáltica convencional, es decir una mezcla asfáltica en caliente, y una mezcla asfáltica tibia modificada con aditivo elaborado a base de nanotecnología. Con el objetivo de incentivar el uso de nuevas tecnologías en el diseño y elaboración de mezclas asfálticas en nuestro país.

La incorporación del aditivo será mediante el protocolo de laboratorio entregado por la empresa encargada de la distribución en el país, obteniendo un cemento asfaltico modificado que permite disminuir la temperatura de mezcla y compactación del asfalto para así lograr mezclas asfálticas tibias (WMA).

En otros países de la región se han realizado estudios investigativos sobre el uso de este tipo de tecnologías en mezclas asfálticas, por otro lado, en Ecuador no se tiene una idea clara

del comportamiento que pueden tener los materiales comúnmente utilizados, durante su interacción con el cemento asfáltico modificado con nanotecnología.

Los modificadores de asfalto, así como el uso de polímeros, son cada vez más frecuentes dentro de la elaboración de mezclas asfálticas, con el fin de mejorar propiedades y desempeño a lo largo de la vida útil de carpetas asfálticas, buscando, además una mínima incidencia de factores como el agrietamiento térmico, la deformación permanente, la adhesividad, la fatiga y el daño por humedad (Vera & Rojas, 2018).

El prefijo nano, del griego *nannos* (muy pequeño), se convirtió al latín como *nanus*, que significa enano. Este prefijo se aplica para indicar que es mil millones de veces menor que la unidad de referencia, ya sea de longitud, masa, tiempo, etc. En este sentido la nanotecnología da la posibilidad de modificar el comportamiento mecánico y reológico del asfalto, con el fin de poder mejorar y controlar la actuación del asfalto a las condiciones necesarias para su desempeño.

## **1.2.Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general.**

Comparar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas WMA y HMA utilizando materiales provenientes de la mina de Guayllabamba.

### **1.2.2. Objetivos específicos.**

Determinar las características físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas WMA.

Determinar el costo-beneficio de utilizar mezclas asfálticas WMA (mezcla asfáltica tibia).

Verificar que una mezcla asfáltica WMA es más flexible que una mezcla asfáltica convencional en caliente (HMA).

Determinar las propiedades del ligante asfáltico a corto plazo.

Obtener el óptimo porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica compactada, con lo cual evitamos la oxidación del asfalto.

### **1.3.Marco Teórico**

#### **1.4.Mezclas Asfálticas Convencionales**

##### **1.4.1. Definición**

En la construcción la mezcla de varios componentes, bajo ciertas condiciones permiten crear materiales con características únicas.

Según Yepes Piqueras (2014) menciona que: “una mezcla asfáltica, también denominada aglomerado, en general es una combinación de un ligante hidrocarbonato y agregados minerales pétreos” (p.12).

Las proporciones de sus componentes entonces dependerán de las características de los materiales y, de la resistencia u otras características que se busque alcanzar. En vías se persigue una buena respuesta estructural, que sea capaz de resistir la sollicitación del tráfico, y bajas deformaciones.

##### **1.4.2. Composición**

La estructura básica de una mezcla asfáltica está conformada por pétreos en gradación fina y gruesa. En algunos casos se hará uso de material intermedio. Los materiales se juntan y se mantienen unidos a través del uso de un material conglomerante también conocido como cemento asfáltico o bitumen que se encarga de unir e impermeabilizar al agregado pétreo.

##### **1.4.3. Agregados**

Existen varias definiciones para los agregados, a continuación, presentamos la que mejor representa el concepto del material.

Según Rondón & Reyes (2015) define al agregado como un conglomerado de partículas inertes de gravas, arenas, finos y/o fillers (naturales o triturados), utilizados para la

fabricación de mezclas asfálticas, concretos hidráulicos y materiales estabilizados o para la construcción de capas de terraplén.

Los agregados en la naturaleza nacen a partir de la degradación de “rocas madres” por lo que se puede clasificar los agregados de acuerdo a la naturaleza de su procedencia. De acuerdo a (Padilla, 2004), por su formación los agregados se clasifican de la siguiente forma:

#### ***1.4.3.1. Rocas calcáreas***

Son rocas sedimentarias de origen aluvial, estas rocas fueron arrastradas por cuerpos hídricos o se formaron en grandes depósitos de agua. Debido a que son propensas al desgaste por abrasión solo son empleadas para las estructuras internas del pavimento. Por otro lado tienen una buena adherencia al bitumen y se suelen añadir a mezclas con agregados poco adherentes para poder mejorar las propiedades de la mezcla asfáltica (Padilla, 2004).

#### ***1.4.3.2. 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).

#### ***1.4.3.3. 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 (Asphalt Institute, 2001).

Los agregados que mejor desempeño registran en carpetas de rodadura son las rocas ígneas y metamórficas. Por su alta resistencia al pulimento son recomendadas para vías con tráficos pesados. Granitos, cuarcitas, basaltos y andesitas son algunas de las variedades más usadas en la fabricación de pavimentos (Padilla, 2004).

Además, se puede clasificar a los agregados de acuerdo su naturaleza y modo de producción. De acuerdo a (Asphalt Institute, 2001) estos se encuentra asignados en los siguientes grupos:

- Agregados naturales: son todos aquellos agregados formados por la degradación natural de la roca madre, los cuales únicamente se han sometido a un proceso de cribado para lograr las condiciones técnicas necesarias.
- Agregados procesados: son agregados que luego de su extracción son sometidos a una trituración por medios mecánicos para su posterior tamizado.
- Agregados sintéticos: son todos aquellos residuos de procesos industriales de alta resistencia y ligero peso.

#### **1.4.4. Ligantes**

Godoy, Chiliuza, & Pazmiño, (2017) abordan el concepto de ligantes como: “ligante bituminoso a una amplia gama de materiales de composición muy compleja y naturaleza hidrocarburada que poseen propiedades adhesivas y aglomerantes” (p.82).

Según Silva (2015): “estos ligantes son formados a partir del pitch asfáltico o residuo proveniente de la destilación del crudo petróleo y la clasificación del petróleo crudo es la siguiente”.

##### **1.4.4.1. De base parafínica.**

Acorde a Silva (2015) todos ligantes son aquellos que: “contienen parafina y muy poco o ningún material asfáltico. Generalmente son aptos para obtener gasolinas” (p.92).

##### **1.4.4.2. Crudo de base asfáltica.**

Para Silva (2015) las base asfálticas son: “aquellos cuyo contenido de asfalto es relativamente superior a su contenido de parafina” (p.91).

#### **1.4.4.3. Crudo de base mixta.**

Como menciona el nombre respectivo a su clasificación estos son aquellos que contienen características que provenientes de varios tipos de bitumen, para Silva (2015) estos se consideran materiales que: “contienen materiales tanto asfáltico como parafínico, citando sus componentes principales tenemos hidrocarburos parafínicos y nafténicos junto con porcentajes variables de hidrocarburos aromáticos”.

Para el caso de nuestro país, Ecuador, los asfaltos provienen de las refinerías nacionales, principalmente son crudos de base asfáltica por dilatación.

Silva (2015) haciendo énfasis en las características de este material determina el comportamiento del mismo y establece que: “la viscosidad es una característica cambiante en el asfalto, al someterse a variaciones de temperatura las características visco elastoplásticas de este material afectan el desempeño mecánico de las mezclas asfálticas. La variación de la temperatura tiene principal incidencia en la estabilidad de las mezclas”.

#### **1.4.5. 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 (Cornejo & Lamiña, 2018).

##### **1.4.5.1. Asfaltenos.**

Son sólidos de forma irregular, de color negro o marrón, solubles en n-heptano, y que además contienen carbón, hidrógeno, algo de nitrógeno, azufre y oxígeno. Los asfaltenos son generalmente considerados materiales aromáticos complejos de alta polaridad y de gran peso

molecular. El contenido de asfalteno tiene un gran efecto en las características reológicas de un asfalto (Menéndez, 2009).

En el año 2009 Menéndez Acurio se percata que: “aumentando el contenido de asfalteno se produce un asfalto más duro y viscoso con una baja penetración, mayor punto de reblandecimiento y consecuentemente mayor viscosidad, los asfaltenos constituyen entre un 5 y 25% del asfalto” (p.99).

Esto nos permite tener una idea de la complejidad química que tienen los ligantes asfálticos y cómo podríamos hacer uso de estas variables para lograr sustancias aditivas que mejoren estas características.

#### **1.4.5.2. Maltenos.**

Para Silva (2015): “los 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”. El peso a nivel molecular de los asfaltenos es menor comparado con los asfaltenos.

De acuerdo a Menéndez (2009) los maltenos se sub dividen en los siguientes subgrupos:

- Resinas, son solubles en n-heptano, al igual que los asfaltenos tiene una elevada proporción de hidrógeno y carbón y contienen pequeñas cantidades de oxígeno, azufre y nitrógeno. Son sólidos o semisólidos de color marrón oscuro. Estas resinas están cargadas polarmente de manera natural, motivo por el cual se son adhesivos a gran escala (Menéndez, 2009).
- Aromáticos, comprenden los compuestos nafteno aromáticos del menor peso a nivel molecular en el asfalto y representan la mayor proporción de medio de dispersión de los asfaltenos peptizados, constituyen entre el 40 y 65% del total del asfalto y son líquidos viscosos de color café oscuro (Menéndez, 2009).

- Saturados, para Menéndez Acurio (2009) define que: “consisten en hidrocarburos alifáticos de cadenas lineales abiertas y ramificadas, son aceites viscosos no polares, generalmente de color amarillo claro o blanco”.



Imagen 1.1.Bitumen

Fuente: (Indiamart, 2019).

#### **1.4.6. Propiedades del Asfalto Convencional**

De acuerdo con Asphalt Institute (2001) las propiedades que más resaltan para los asfaltos semisólidos utilizados para diseño y construcción son:

##### ***1.4.6.1. Durabilidad.***

Una de las principales características que en los materiales de construcción es analizado. La durabilidad en los materiales nos permite determinar con seguridad el desempeño que tendrá la estructura, a partir de eso también se prescriben las limitantes de las estructuras y se especifican sus usos.

El Asphalt Institute (2001) define la durabilidad del asfalto como:

Es la máxima capacidad resistente que tiene el asfalto sometido a agentes externos y procesos de degradación por intemperización. Es una peculiaridad analizada principalmente a través del comportamiento del pavimento, esto lo vuelve difícil de definir sin aislar el asfalto del pavimento. El comportamiento del pavimento es producto de las características de agregado y bitumen, además existen otros parámetros externos como la mano de obra en la construcción, las condiciones climáticas al momento de fabricarse.

Los organismos de control han creado métodos de ensayo destinados a cuantificar la calidad de los materiales. Para el caso del asfalto ASHTO ha creado la prueba estándar llamada “Prueba de película delgada en horno rotatorio”, esta prueba determina el comportamiento del asfalto envejecido.

#### **1.4.6.2. Adhesión y cohesión.**

De acuerdo con el Asphalt Institute (2001) la adhesión: “es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla” (p.32).

Por otra parte, la cohesión es la capacidad de mantener esa adhesión por largo tiempo una vez de terminado y compactada la mezcla.

Existen diversos ensayos estandarizados bajo los cuales se determinan de manera cualitativa o cuantitativa la calidad del bitumen, para evitar malas interpretaciones el Asphalt Institute (2001) es claro al expresar que el ensayo de ductilidad:

No mide directamente la adhesión o la cohesión, más bien examina una propiedad del asfalto considerada por algunos, como relacionada con la adhesión y la cohesión. En consecuencia, el ensayo es del tipo “califica – no califica”, y solo puede indicar si la muestra es, o no, lo suficiente dúctil para cumplir con los requisitos mínimos.

#### **1.4.6.3. Susceptibilidad a la temperatura**

Para ser usado en la mezcla el bitumen debe ser calentado hasta alcanzar consistencias que permiten trabajabilidad en la mezcla. Como en muchas sustancias el asfalto es susceptible de cambios debido a la incidencia de la temperatura, estos cambios tienen lugar a nivel físico y químico, para el Asphalt Institute (2001) el análisis del asfalto ante las variaciones de temperatura 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.

#### **1.4.6.4. Endurecimiento y envejecimiento.**

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, estas condiciones son evaluadas por los ensayos de prueba de la 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 (Asphalt Institute, 2001).

#### **1.4.6.5. 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 (Asphalt Institute, 2001).

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).

#### **1.4.7. Características volumétricas de las mezclas asfálticas calientes (HMA).**

Según National Asphalt Pavement Association (2008) se define: “a la mezcla asfáltica en caliente como a la mezcla la combinación aproximada de 95% agregados (grueso, medio, fino) y 5% de cemento asfáltico. Las temperaturas a las cuales se produce este asfalto bordean los 150°C” (p.120).

##### **1.4.7.1. Densidad de la mezcla.**

La densidad de una mezcla de asfalto se define como la masa de mezcla por unidad de volumen. El en el proceso de fabricación de mezclas asfálticas calientes el Asphalt Institute (2014) considera que:

Son necesarias dos densidades la densidad Bulk y la máxima densidad son medidas durante proceso de diseño de la mezcla, estos dos valores son necesarios para calcular el porcentaje de vacíos de aire en muestras compactadas durante el proceso de diseño.

#### **1.4.7.2. Porcentaje de vacíos o vacíos de aire.**

Como menciona Asphalt Institute (2014):

La durabilidad de un pavimento asfáltico está en función de los vacíos de aire de la mezcla in situ. A menores vacíos de aire, la mezcla es menos permeable.

Un contenido de vacíos alto permite pasos de agua a través de la mezcla, esto propicia el daño de la capa asfáltica. Un contenido de vacíos demasiado bajo puede conducir a ahuellamiento, corrugación y exudación.

#### **1.4.7.3. Vacíos en el agregado**

En cuanto al porcentaje de vacíos el Asphalt Institute (2014) hace anotaciones pertinentes para el diseño de mezclas:

Dado que los diseños de mezcla generalmente apuntan al 4 por ciento vacíos de aire, vacíos en el agregado mineral (VMA) debe permanecer lo suficientemente alto como para lograr un adecuado espesor de la película de asfalto, lo que resulta en una durabilidad del pavimento asfáltico. Mezclas asfálticas calientes con un valor VAM menor al mínimo tendrán finas capas de asfalto y pavimentos de menor duración.

#### **1.4.7.4. Vacíos llenos de asfalto.**

El Asphalt Institute (2014) menciona que:

Es el espacio de vacíos intergranular (VAM) que contiene o está lleno de ligante asfáltico. VAF es usado para asegurar el espesor de la película de asfalto en la mezcla. Si es muy baja, la mezcla será de una duración pobre, por el contrario, si es muy alta la mezcla se vuelve inestable. El rango aceptable de VAF depende

del tráfico. Tráficos pesados requieren bajos VAF. Tráfico ligero requiere un mayor VAF para aumentar la duración de la mezcla asfáltica en caliente, aunque esto puede provocar una mezcla suave propensa a la exudación.

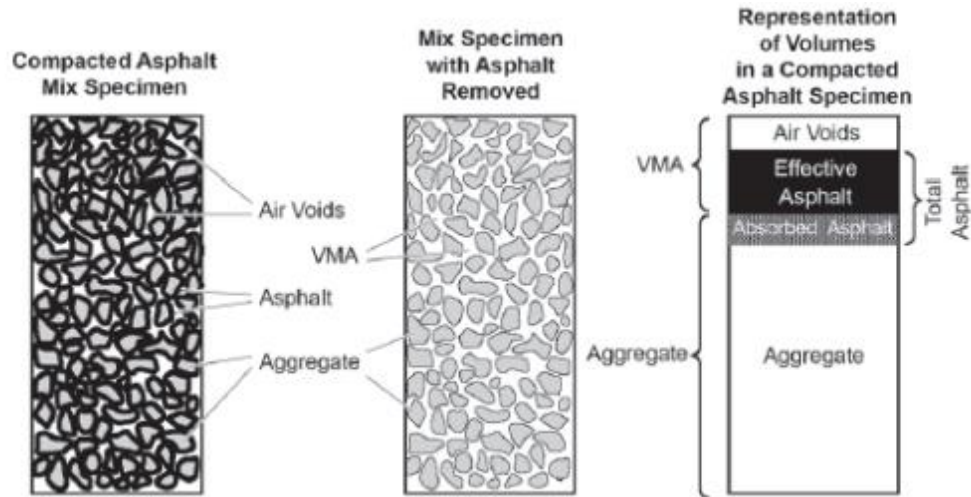


Imagen 1.2. Vacíos en mezclas HMA compactadas.

Fuente: (Asphalt Institute, 2014, pg 13).

Tabla 1.1.  
Porcentaje mínimo de VAM

Tamaño Máximo de Partículas Nominales	VAM, mínimo porcentaje			
		Porcentaje de vacíos de aire de diseño		
Mm	Plg	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

*1. Especificación estándar para los tamices de tela metálica para fines de ensayo. ASTM E11 (ASHTO M 92)*

2. El tamaño de partícula máximo nominal es un tamaño mayor que el primer tamiz que retiene más del 10 por ciento.

3. Interpolar el VAM mínimo para los valores de diseño para los valores que se encuentran en medio de los valores citados.

Fuente: (Asphalt Institute, 2001).

**1.4.7.5. Contenido de Asfalto**

La relación existente entre las características del material granular y el porcentaje de asfalto determinan en gran medida el comportamiento de la mezcla, se determina entonces que la distribución de los materiales son interdependientes, es por eso que, el Asphalt Institute (2014) se refiere al contenido de asfalto con respecto al material granular de la siguiente forma:

El porcentaje de asfalto en la mezcla está relacionado con la superficie del área de los agregados, su porcentaje de absorción y su tamaño. En particular mezclas con mayor cantidad de agregado fino requieren mayor asfalto. La cantidad de asfalto aumenta vertiginosamente cuando los porcentajes de material pasante del tamiz 200 son elevados. Los agregados con altos porcentajes de absorción tienden a reducir el asfalto que cubre las superficies de los mismos, debido a esto se debe proveer de suficiente asfalto capaz de cubrir las superficies de los agregados con una película delgada.

## Capítulo II

### 2.1. Mezclas Asfálticas Tibias

Para la clasificación de las mezclas asfálticas el parámetro determinante es la temperatura de mezclado y compactado. A partir de esto se generan diversos conceptos para determinar en sí que se entiende por mezcla asfáltica tibia, para Rondon, León, & Fernández (2017): “las mezclas asfálticas tibias son aquellos cuya temperatura de compactación y mezclado han disminuido con respecto a las calientes sin que sus características y desempeño se vean afectados”.

Algunos investigadores consideran que la disminución mínima de la temperatura de fabricación de mezcla en una planta de asfaltos debe ser de 40 °C, sin embargo, otros como Bonaquist, R. considera que la disminución mínima debe ser de 28 °C. La disminución de las temperaturas de mezcla y compactación conllevan una reducción de la energía que se requiere para la fabricación de mezclas y de las emisiones a la atmosfera.

#### 2.1.1. Aditivos.

Como menciona Vera & Rojas (2018):

Los mejoradores de adherencia son productos que mejoran el enlace químico entre el asfalto y el agregado, así como el desempeño de la mezcla asfáltica. Los aditivos de este tipo son productos tensoactivos. Los tensoactivos inciden superficialmente sobre las propiedades del sistema. Este tipo de moléculas se caracterizan por tener dos partes bien definidas: una parte afín al asfalto, formada por la cadena hidrocarbonatada y una parte afín al agua formada por grupos funcionales polares.

En las mezclas asfálticas, los aditivos mejoradores de adherencia se concentran en la interface agregado – asfalto y se orientan con la parte lipofílica al asfalto, mientras los grupos polares de la parte hidrofílica generan uniones con los grupos silicatos y carbonatos de la

superficie del agregado, en otras palabras, el mejorador de adherencia crea un enlace químico entre el agregado y el asfalto aumentando su resistencia a la acción del agua (Vera & Rojas, 2018).

En la actualidad se han desarrollado, mediante innovadoras técnicas de fabricación en el campo de la nanotecnología, aditivos que presentan visibles mejoras técnicas y económicas a comparación de aditivos producidos “tradicionalmente”. En el mercado existen diferentes tipos de aditivos, que se clasifican de acuerdo con su composición como aditivos orgánicos y químicos, algunas de tecnologías de fabricación se encuentran en más de una categoría.

#### ***2.1.1.1. Aditivos orgánicos.***

Vera & Rojas (2018) mencionan que:

El objetivo de este tipo de aditivos es reducir la viscosidad del bitumen. Los aditivos orgánicos son usualmente ceras o grasas amidas, y pueden ser añadidos o bien a la mezcla o al aglomerante. Un aditivo orgánico comúnmente usado es una cera parafinada especial producida por la conversión del gas natural.

#### ***2.1.1.2. Aditivos químicos***

Los aditivos químicos no interfieren en la viscosidad el aglomerante. Al ser considerados surfactantes, estos trabajan de manera microscópica en los agregados y el ligante asfáltico. Las temperaturas de compactación pueden ser reducidas entre 20 °C a 40 °C mediante el uso de aditivos químicos.

#### ***2.1.1.3. Aditivos minerales***

En este tipo de aditivos es habitual usar minerales hidrófilos desde la familia de zeolitas, para su fabricación. La zeolita es un silicato de aluminio que puede proporcionar una mejora en la trabajabilidad por un periodo de 6 a 7 horas o hasta que la mezcla alcance temperaturas inferiores a los 100 °C.

### 2.1.2. Zycotherm.

Es un aditivo orgánico y mineral de color amarillo pálido cuyo componente principal es un silano orgánico (organosilano) y su función principal es brindar mejoras en la adherencia de agregados a temperaturas bajas, logrando así la fabricación de mezclas asfálticas con el mismo comportamiento a menores temperaturas (mezclas tibias).

Tabla 2.1.  
*Especificaciones del Zycotherm*

<b>Característica</b>	<b>Zycotherm</b>
Apariencia	Líquido amarillo pálido
Densidad (25 °C)	1.01 g/mL
Punto de congelación	5-7 °C
Viscosidad a 25 °C	Menor a 300 cP
Solubilidad	Soluble en agua
flamabilidad	Inflamable a 80 °C

Fuente: (Zydex, 2014a).

Según la secuencia de fabricación, el aditivo Zycotherm presenta diferencias funcionales en su comportamiento:

Fase 1: En la base de ligante (Antes del mezclado): Micelación de asfaltenos

La composición genérica del betún se divide en dos tipos diferentes de compuestos:

Los maltenos, que son fundamentalmente carentes de polaridad.

Los asfaltenos, que son compuestos polares.

De acuerdo con Vera & Rojas (2018):

La molécula de Zycotherm tiene una parte orgánica extremadamente compatible con los maltenos y una parte polar. Al añadir Zycotherm en el betún, se produce una micelación de los asfaltenos, que quedan recubiertos por los organosilanos.

Cuando se micelan los asfaltenos, se reduce la atracción entre los mismos y se

mejora la trabajabilidad del betún que antes estaba limitada por la atracción polar entre los asfaltenos. Esto repercute en una mayor fluidez y facilidad de recubrimiento incluso a bajas temperaturas debido a que los asfaltenos pueden moverse más libremente entre las resinas.

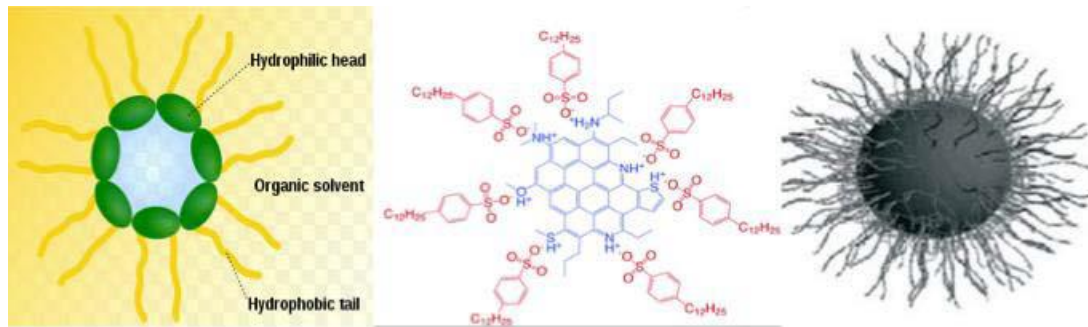


Imagen 2.1. Esquema de proceso de reducción de atracción entre asfaltenos.

Fuente: (Zydex, 2014)

Fase 2: En el contacto con el árido.

Vera & Rojas (2018) afirma que:

Zycotherm reacciona a nivel molecular con la superficie de los áridos, formando enlaces de tipo siloxano (Si-O-Si), de elevada fortaleza. Esto provoca una modificación de los áridos, convirtiéndolos en superficies hidrófobas y mejorando por ello su adhesividad al betún. Mediante la acción de Zycotherm, la unión árido betún se produce a nivel químico, y por lo tanto permanente, mejorándose así la resistencia del pavimento a los agentes degradantes habituales (agua, viento, agentes químicos).

Según Zydex (2014):

La capa hidrófoba que cubre a los áridos los convierte en superficies apolares, lo que explica su compatibilidad con los betunes y asfaltos. Esto aporta en su adhesividad, generando uniones árido – betún entre 10 a 20 veces mayores que

si no se adicionara aditivo. Este efecto conocido como efecto cáscara de Naranja a cáscara de manzana, es precisamente lo que explica el cambio del “pelado” del recubrimiento de bitumen de un agregado al pasar de una superficie polar a una apolar.

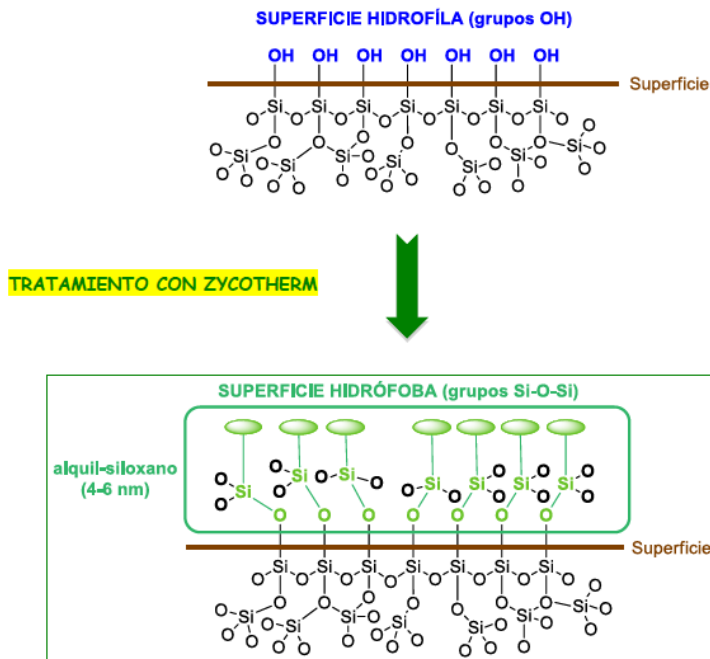


Imagen 2.2. Esquema de paso de una superficie de árido, de hidrófila a hidrófoba con el uso de Zycotherm.

Fuente: (Zydex, 2014)

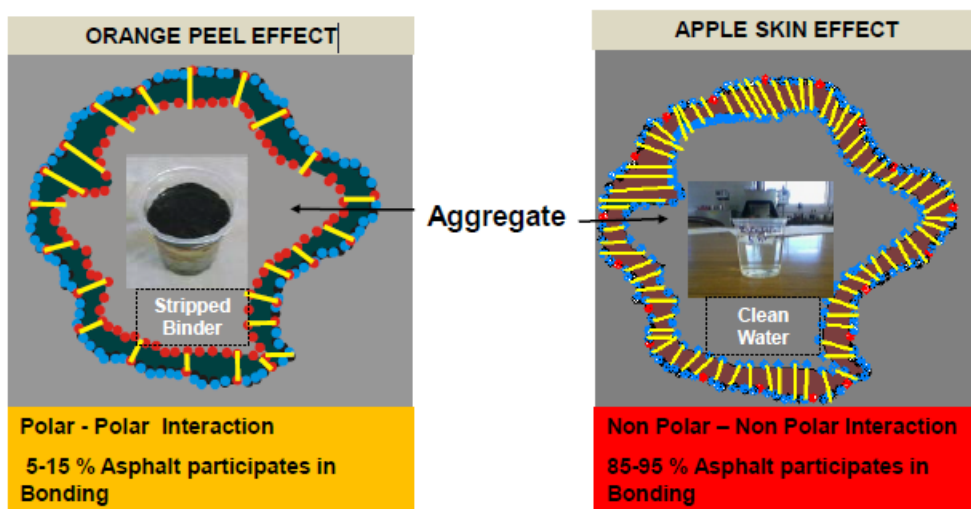


Imagen 2.3. Cambio de polaridad en los agregados al adicionar el aditivo Zycotherm.

Fuente: (Zydex, 2014)

Vera & Rojas (2018) afirman que:

Con la adición de Zycotherm, debido a la menor tensión superficial del asfalto, el agregado se recubre mejor. Esto resulta en un mejor embebido y saturación de los microporos de la superficie del agregado. Teniendo esta mejora en la adherencia entra árido - ligante, la susceptibilidad a la humedad reduce, lo que implica menos segregación y baches.

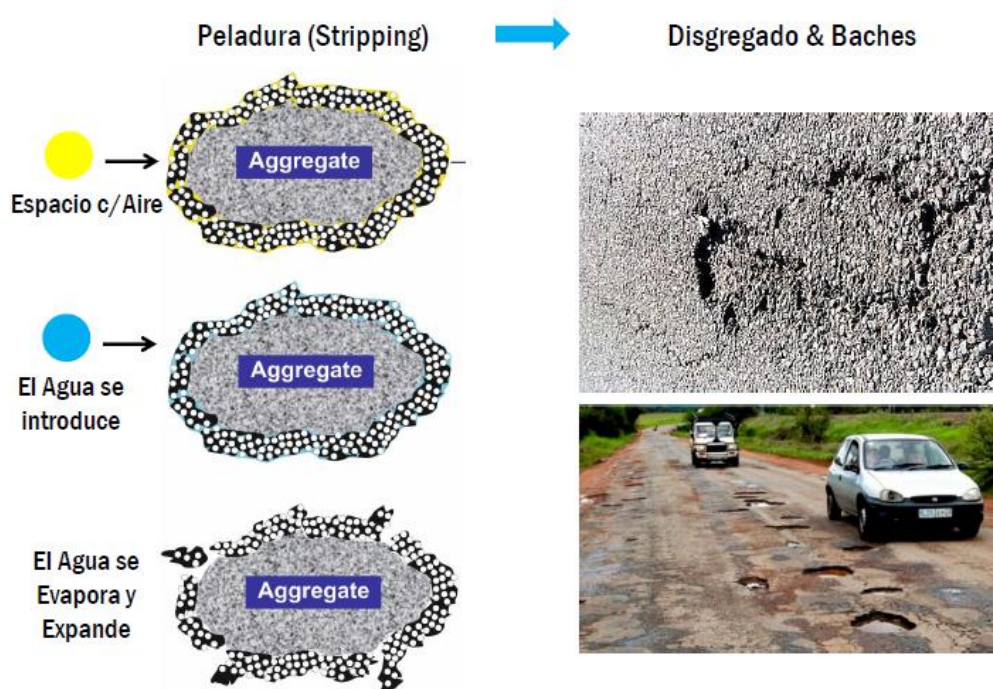


Imagen 2.4. Adherencia agregado – asfalto sin Zycotherm.

Fuente: (Zydex, 2014b)

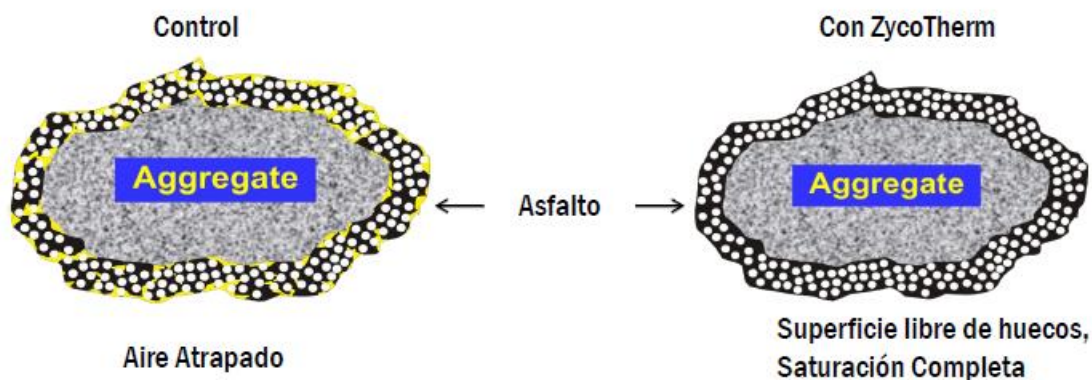


Imagen 2.5. Adherencia agregado – asfalto con Zycotherm.

Fuente: (Zydex, 2014)

### **2.1.2.1. Beneficios del uso de Zycotherm**

- Reducción del uso de combustible.

De acuerdo a Vera & Rojas (2018):

Debido a la menor temperatura de producción, es evidente la reducción del combustible utilizado para llevar a cabo el proceso de mezclado. Sin embargo, no existen valores exactos en cuanto a la reducción de combustibles debido a que son muchos los factores los que intervienen en la fabricación de una mezcla asfáltica.

- Beneficios hacia los trabajadores.

Para Vera & Rojas (2018) haciendo énfasis en la temperatura determina:

La menor temperatura de mezclado y pavimentado minimiza las emisiones de humo y olor y crea un ambiente de trabajo más frío para los trabajadores. Adicionalmente a la reducción de exposición de los trabajadores a las emisiones, las temperaturas de mezclas también proporcionan un ambiente de trabajo más confortable, esto podría adicionar en una menor de rotación del personal.

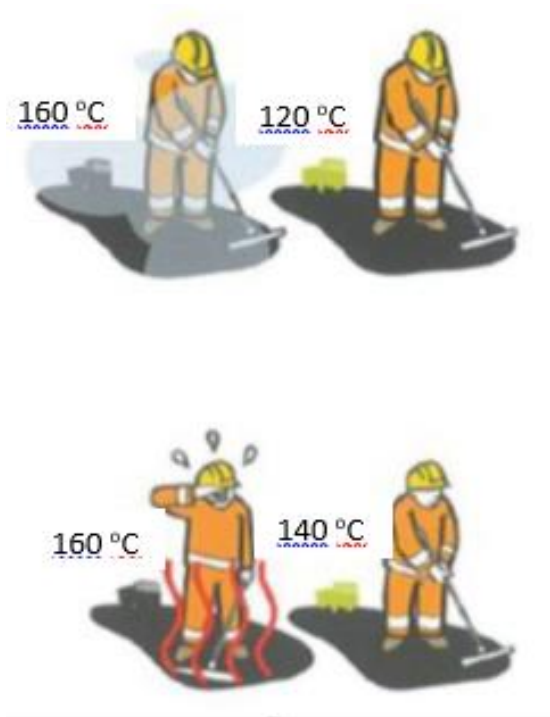


Imagen 2.6. Minimización de la temperatura de trabajo.

Fuente: (Zydex, 2014)

- Mayores distancias de transporte

Al poder mezclar y compactar a menores temperaturas, se puede tener una mayor distancia de transporte de la mezcla y ésta, a la hora de compactar, no presentaría dificultades. El uso de Zycotherm permite que a bajas temperaturas la mezcla siga siendo trabajable y conserve sus propiedades físicas, así como si se tratase de una mezcla asfáltica caliente (Vera & Rojas, 2018).

- Mejor limpieza de equipos

Al modificar la composición química del asfalto, los asfaltenos son más libres de moverse en las resinas, por lo que en los equipos de mezclado y de compactación, el asfalto se adhiere menos, lo que implica que su limpieza sea más fácil que en mezclas que no utilicen el aditivo (Vera & Rojas, 2018).

### **2.1.3. Propiedades que se benefician de una mezcla combinada**

De acuerdo con Cornejo & Lamiña (2018): “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”.

Por otra parte Fonseca (2010) determina que: “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”.

## Capítulo III

### 3.1. Ensayos del Material Granular

El material granular conocido también como agregado pétreo, el material usado proviene de la mina de Guayllabamba. Se usará la combinación de material fino y grueso. Se escoge este material conociendo de antemano que tiene una calidad mala. Esto también refleja la incertidumbre que existe en cuanto a la calidad del material que se tiene en el medio local. Este permite abordar el análisis de mezclas tibias haciendo uso de condiciones desfavorables.

#### 3.1.1. Equivalente de arena en el agregado fino (ASTM D2419-14).

De acuerdo con ASTM (2014) haciendo referencia al método de ensayo determina:

El equivalente de arena se denomina a todas aquellas partículas de diámetro menor a 0.002mm que se encuentran adheridos al agregado fino. El objetivo de este ensayo es determinar la proporción de finos con características plásticas (limos, arcillas) y polvo de suelo granular. Este ensayo se realiza para los agregados fino; aquella porción pasante del tamiz No. 4 (4.75mm).

Ecuación 3.1: Equivalente de arena en el agregado fino.

$$SE = \frac{SR}{CR} * 100 \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Donde:

SE = Equivalente de arena.

SR = Lectura de arena en centímetros (material sedimentado).

CR = Lectura finos (limo, arcilla, polvos) (material en suspensión).

Se realizaron 3 ensayos con el fin de obtener resultados representativos y descartar cualquier incertidumbre.



Imagen 3.1. Equipo ensayo contenido de arena.

Fuente: (Co-Marca, 2016)

### **3.1.2. Gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado grueso (ASTM C127-15).**

La American Estándar Test and Materials ASTM (2015) determina los procesos estándar para el ensayo:

Este ensayo estándar determina de manera paralela tanto la gravedad específica y el porcentaje de absorción. La gravedad específica, una adimensional cantidad, se expresa como secado al horno (OD), superficie seca saturada (SSD), o como densidad relativa aparente (aparente específica gravedad). La densidad relativa de OD se determina después de secar el agregado. La densidad relativa y la absorción del SSD son determinantes extraído después de remojar el agregado en agua durante un tiempo prescrito. Este ensayo tiene por objetivo determinar la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso. La gravedad específica es una propiedad adimensional, la misma se expresa en función del peso del espécimen secado al horno (OD) y el peso del espécimen sumergido en agua. La absorción es función del peso del

espécimen seco al horno (OD) y el peso del espécimen saturado superficialmente seco (SSD).

Ecuación 3.2: Gravedad específica del agregado grueso.

$$GS = \frac{A}{C-B} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Donde:

GS = Gravedad específica.

A = Masa seca de la muestra pesada en el aire (gr).

B = Masa de la muestra saturada sumergida en agua (gr).

C = Masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr).



Imagen 3.2. Canastilla usada para medir el peso saturado sumergido.

Fuente ((Técnicas CP SAC), 2015)

Ecuación 3.3: Porcentaje de absorción agregado grueso.

$$\text{Absorción}(\%) = \frac{A-B}{A} * 100 \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

En donde:

A = Masa seca de la muestra pesada en el aire (gr).

B = Masa de la muestra saturada sumergida en agua (gr).

### **3.1.3. Gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado fino (ASTM C128-15).**

El ensayo abarca el procedimiento estándar para obtener la gravedad específica y el porcentaje de absorción de muestras de agregado fino.

Existen dos procedimientos para realizar el ensayo, para el desarrollo de la investigación se escogió el método 1, conocido como el método del picnómetro. El proceso completo se contempla en la norma ASTM C128-15, en total se ensayaron 3 muestras, esto con el fin de evitar incertidumbres en los resultados.

Ecuación 3.4: Gravedad específica del agregado fino.

$$GS = \frac{A}{B+A-C} \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

En donde:

A = masa de la muestra seca al horno (g).

B = masa del picnómetro lleno de agua hasta la marca de calibración (g).

C = masa de la muestra, más agua hasta la marca de calibración en el picnómetro (g).

Ecuación 3.5: Porcentaje de absorción del agregado fino.

$$\%Absorción = \frac{S-A}{A} * 100 \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

En donde:

A = masa de la muestra seca al horno (g).

S = masa saturada superficialmente seca de la muestra (g).

### **3.1.4. Ensayo de la resistencia a los sulfatos de los agregados finos y gruesos (ASTM C88)**

Los agregados son materiales que están sometidos a la inclemencia del ambiente condiciones extremas. Este ensayo busca determinar la resistencia aproximada de los materiales ante efectos de la intemperización. Esto se logra a través de varios ciclos de ensayo en los cuales el material es sumergido en una mezcla de sodio o magnesio, seguido de un secado en horno a temperatura constante. Esto recrea la expansión y contracción que sufren los agregados como parte de la mezcla asfáltica (ASTM, 2018).

Ecuación 3.6: Resistencia a los sulfatos.

$$\%Dg = \frac{m_o}{m_f} * 100 \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

En donde:

%Dg = porcentaje de pérdida del material.

m<sub>o</sub> = masa inicial retenida en el tamiz (g).

m<sub>f</sub> = masa final retenida en el tamiz luego del ensayo (g).

### **3.1.5. Resistencia a la degradación del agregado grueso sometido a abrasión e impacto en la máquina de los ángeles (ASTM C131/131M-15).**

Este ensayo permite determinar la degradación que sufren las partículas de agregado grueso al ser sometidas a abrasión dentro de la máquina de los ángeles. En la máquina el agregado es sometido al choque continuo de las esferas de acero producto de las revoluciones dentro del tambor giratorio (ASTM, 2014).



Imagen 3.3. Máquina de los ángeles.

Fuente (ANCHICOS Ingeniería, 2015)

### 3.1.6. Tabla resumen de los resultados de los ensayos.

Tabla 3.1  
Resumen de resultados de los ensayos de caracterización de los agregados.

<b>CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS</b>			
<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>	<b>Resultado</b>	<b>Cumple (SI/NO)</b>
Equivalente de arena para agregado fino	ASTM D2419	%SE=65	--
Gravedad específica del agregado grueso	ASTM C127	GE=2.56	--
Gravedad específica del agregado fino	ASTM C128	GE=2.39	--
Absorción agregado grueso	ASTM C127	SE=3.49	--
Absorción agregado fino	ASTM C128	SE=0.98	--
Desgaste máquina de los ángeles	ASTM C131M	%p=38.62	SI
Desgaste por sulfatos agregado fino	ASTM C88	%Dg=0.9	SI
Desgaste por sulfatos agregado grueso	ASTM C88	%Dg=1.38	SI

- a) De acuerdo a la norma INEN 0860 se determina que el desgaste máximo para el agregado grueso no deberá ser mayor al 40%.
- b) El desgaste producido por los 5 ciclos de inmersión en sulfatos no debe superar el 12% de acuerdo a la norma INEN 0863.

### 3.2. Ensayos del Asfalto

El material bituminoso corresponde a un cemento asfáltico AC-20, el material es procedente de la Refinería Estatal. Para que el material sea calificado como idóneo debe ser sometido a una serie de ensayos. Los resultados del material deben cumplir con los requerimientos nacionales, de tal manera que sus valores estén dentro de los mínimos y máximos aceptables.

Las dos normas bajo las que se realizan los procedimientos son INEN (Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización) en el ámbito nacional y ASTM (American Society for Testing Materials). El Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización impone los siguientes requerimientos para el cemento asfáltico usado en mezclas asfálticas.

Tabla 3.2.  
*Requisitos para el cemento asfáltico AC-20*

Ensayo	Unidad	Grado de Viscosidad		Norma
		Min	Max	
Viscosidad absoluta 60 °C	Pa.s	200±40		ASTM 2171
Viscosidad cinemática 135 °C	mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	300	----	ASTM 2170
Punto de Inflamación	°C	232	----	NTE INEN 808
Gravedad Específica 25°C/25°C		Informe		ASTM D70
Índice de penetración		-1.5 a 1.0		ASTM D5/D5M
Viscosidad 60 °C	Pa.s	----	800	ASTM D2171
Cambio de masa	% (w/w)	----	1.0	ASTM 2872
Ductilidad 25 °C	cm	50	----	NTE INEN 915

Fuente: INEN 2515

### 3.2.1. Viscosidad absoluta (ASTM D2171/2171M-10).

La viscosidad representa la resistencia al flujo en el viscosímetro que presenta el líquido, en este caso el asfalto AC-20 a la temperatura de ensayo. La viscosidad se presenta en unidades de Pa s. Este método solo es aplicable para materiales con viscosidades entre 0,0036 y 20000 Pa s (Fiallos, Martin Unda, 2018).



Imagen 3.4. Equipo para ensayo de viscosidad absoluta 60°C.

### 3.2.2. Viscosidad cinemática (ASTM D2170/D2170M-10).

La incidencia de la temperatura en el asfalto genera un cambio en su consistencia. La consistencia en función de su viscosidad determina la trabajabilidad con la que se puede efectuar una mezcla asfáltica, es por eso que Rondón Quintana & Reyes Lizcano (2015) consideran esta propiedad importante porque: “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 superficie”.

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 & Reyes, 2015).



Imagen 3.5. Viscosímetro rotatorio.

Ecuación 3.7: Viscosidad cinemática de materiales bituminosos.

$$v = C * t \quad (\text{Ecuación 3.7})$$

En donde:

C = constante de calibración del viscosímetro ( $\text{mm}^2/\text{s}^2$ ).

t = tiempo de reflujó (s).

v = viscosidad cinemática ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ).

### 3.2.3. Punto de inflamación y combustión (ASTM D92).

Este ensayo resulta necesario para fines prácticos de seguridad puesto que los resultados que arroja permiten conocer la temperatura a la cual el bitumen podría entrar en combustión.

Ecuación 3.8: Corrección del punto de inflamación y combustión.

$$f = C + 0.033 * (760 - P) \quad (\text{Ecuación 3.8})$$

En donde:

C = temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

P = presión barométrica (mm Hg).



Imagen 3.6. Copa abierta de Cleveland.

#### 3.2.4. Gravedad específica (ASTM D70-17).

Se define como gravedad específica a la relación que existe entre la masa de un volumen especificado de bitumen con la masa de un mismo volumen de agua a 25 °C.

Ecuación 3.9: Gravedad específica de los materiales bituminosos.

$$Gs = \frac{C-A}{[(B-A)-(D-C)]} \quad (\text{Ecuación 3.9})$$

En donde:

A = masa del picnómetro con tapa seco (g).

B = masa del picnómetro lleno de agua (g).

C = masa del picnómetro parcialmente lleno de asfalto (g).

D = masa del picnómetro con asfalto y con agua (g).

La temperatura constante del ensayo debe ser de 25 °C.

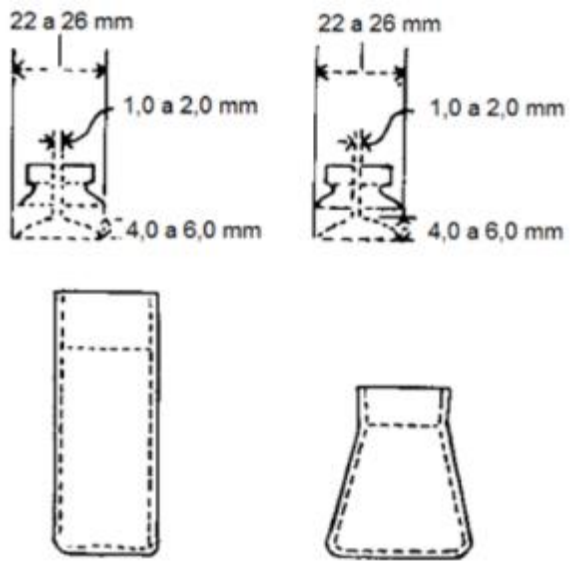


Imagen 3.7. Picnómetro.

Fuente (Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización, 2013)

### 3.2.5. Índice de penetración (ASTM D5)

El índice de penetración nos permite conocer la consistencia del asfalto mediante la medición de la altura que penetra una aguja normalizada en una briqueta de bitumen de medidas estandarizadas.



Imagen 3.8. Equipo para el ensayo de penetración.

### 3.2.6. Ensayo para la determinación del punto de ablandamiento del asfalto (ASTM D36).

También conocido como el ensayo del anillo y bola, el resultado de este ensayo nos permite determinar dos cosas; asegura la uniformidad del asfalto durante su transporte, indicador de su tendencia al flujo en bajas temperaturas (Fiallos, Martin Unda, 2018).



Imagen 3.9. Briquetas para el ensayo de punto de ablandamiento.

### 3.2.7. Ensayo para determinar el cambio de masa (ASTM D2872).

Este ensayo tiene como objetivo conocer los efectos que producen el aire y el calor en una película de pared delgada de asfalto en este caso, además permite conocer el cambio de masa que se produce en el bitumen al realizar la mezcla en caliente a 150 °C (American Society for Testing and Materials, 2019).

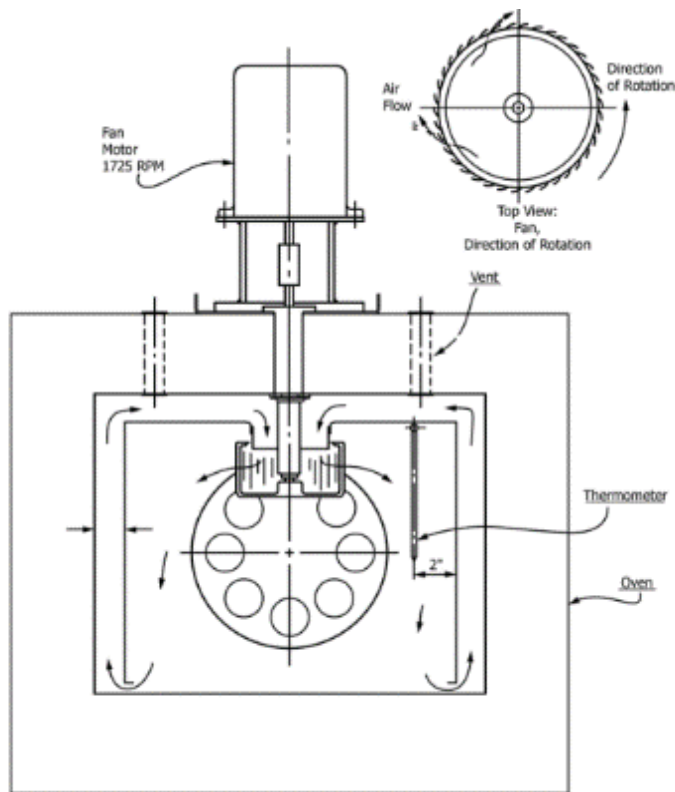


Imagen 3.10. Esquema de la máquina de flujo de aire.

Fuente (American Society for Testing and Materials, 2019b)



Imagen 3.11. Botellas RTFO.

Fuente (American Society for Testing and Materials, 2019b)

### 3.2.8. Ensayo de ductilidad (ASTM D113-17)

Este método de prueba describe el procedimiento para determinar la ductilidad de un material de asfalto medido por la distancia a la que se alargará antes de romperse cuando dos extremos de una muestra de briquetas del material se separan a una velocidad especificada y a una temperatura especificada. A menos que se especifique lo contrario, el ensayo se realizará a una temperatura de  $25 \pm 0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$  [ $77 \pm 0.9 \text{ } ^\circ\text{F}$ ] y con una velocidad de 5 cm / min  $\pm$  5.0%. A otras temperaturas, se debe especificar la velocidad (American Society for Testing and Materials, 2019).



Imagen 3.12. Briquetas estándar para el ensayo de ductilidad.

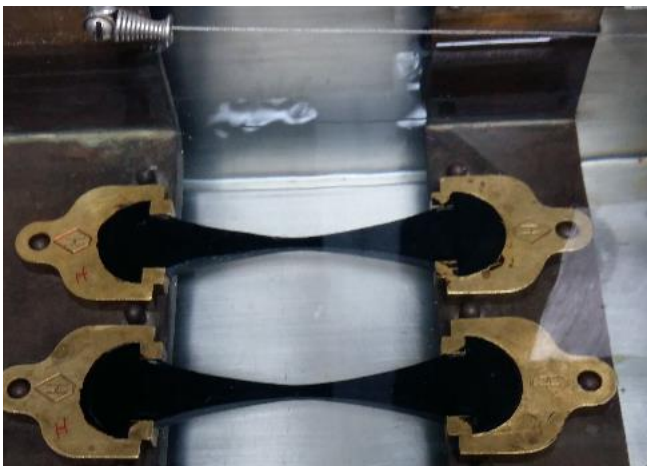


Imagen 3.13. Briquetas ensayadas a temperatura constante 25°C.

### 3.2.9. Tabla resumen de ensayos de asfalto.

Tabla 3.3.

*Resumen de resultados de los ensayos de caracterización del asfalto.*

RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO AC20						
Ensayo	Norma	Límites		Unidades	Resultado	Cumple
		Min	Max			
Viscosidad absoluta 60°C	ASTM D2171/ASTM D2171M-10	160	240	Pa.s	198.13	Sí
Viscosidad absoluta 135°C	ASTM D2170/ASTM D2170M-10	300	---	mm <sup>2</sup> /s	335	Sí
Punto de chispa copa abierta de Cleaveland	ASTM D92	232	---	°C	299	Sí
Punto de llama copa abierta de Cleaveland	ASTM 92	---	---	°C	322	Sí
Densidad por el método del picnómetro	ASTM D70	---	---	kg/m <sup>3</sup>	999.78	Sí
Penetración a 25°C	ASTM D5/ASTM D5M	-1.5	1	---	0.68	Sí
Punto de ablandamiento	ASTM D36/ASTM D36M	---	---	°C	49.6	Sí
Cambio de masa RTFO	ASTM D2872	---	1	%	0.97	Sí
Ductilidad a 25°C	ASTM D113	50	---	cm	50	Sí

## Capítulo IV

### 4.1. Diseño de mezclas asfálticas según Método Marshall

El método se remonta a los años 20 cuando Bruce Marshall en el departamento vial de Misisipi desarrolló los primeros conceptos bajo los cuales se diseñaría mezclas asfálticas en caliente.

Según (White et al., 2001) “el método Marshall busca establecer el contenido óptimo de bitumen a una densidad deseada que satisfaga la Estabilidad Marshall mínima y el rango de valores de flujo” (p280).

Se opta por el diseño mediante el Método Marshall debido a que es el más usado en el país y en Latinoamérica. Esto permita que la disertación ejemplifique de mejor manera el proceso de diseño de mezclas asfálticas en la realidad local. Es por esta razón que la gran mayoría de tesis optan por este método para la realización de sus investigaciones.

De igual manera resulta pertinente aclarar que, los ensayos de caracterización de material granular y asfalto, el diseño Marshall se realizaron en las instalaciones del laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Esta práctica abarca la preparación y compactación de una mezcla cilíndrica de asfalto de 101.6 mm de diámetro mediante y un espesor aproximado de 63.5 mm. Queda a criterio del profesional determinar el número de golpes necesarios para la compactación (ASTM, 2016).

El número de briquetas a ensayar es criterio del profesional a cargo, pero se recomienda al menos realizar tres briquetas por cada porcentaje de asfalto. Los especímenes son sometidos al ensayo de estabilidad y flujo luego de haber sido determinados su gravedad específica y porcentaje de vacíos. Con los resultados obtenidos se deben tabular para poder graficar tendencias y determinar la interrelación entre el porcentaje de asfalto y los siguientes parámetros:

- Estabilidad
- Densidad
- Vacíos de aire

Previo al ensayo Marshall las muestras deben estar completamente sumergidas en agua a una temperatura constante de 60°C. Posteriormente son retiradas y se quita el exceso de agua de sus superficies.

El Asphalt Institute (2014) haciendo énfasis en la aplicación de carga determina que:

La aplicación de carga de prueba a la muestra es a una velocidad de deformación constante, 51 mm (2 pulg.) por minuto, hasta que ocurra la falla. El punto de falla se determina cuando se obtiene la lectura de carga máxima. La fuerza total en Newtons (N) requerida para producir la falla de la muestra se registrará como su valor de estabilidad Marshall. Mientras la prueba de estabilidad está en progreso (si no se usa un dispositivo de registro automático), se debe sostener el medidor de flujo firmemente en posición sobre la varilla guía y retirarlo inmediatamente cuando la carga comience a disminuir, tome la lectura y registre. Esta lectura es el valor de flujo para la muestra, expresado en unidades de 0.25 mm (1/100 in.). Por ejemplo, si la muestra se deformaba 3.8 mm (0.15 pulg.), El valor de flujo es 15. El proceso completo desde que se retira la briqueta del agua a 60°C y el desarrollo del ensayo de estabilidad y flujo no debe tomar más de 30 segundos. La estabilidad se corrige para briquetas con espesor diferente a 63.5mm.

#### **4.1.1. Estabilidad y flujo Marshall.**

De acuerdo con (Asphalt Institute, 2014) la estabilidad es la carga de resistencia máxima obtenida durante una tasa constante de deformación. Por otra parte, el flujo es la deformación (elástica) durante el ensayo de estabilidad. El resultado del ensayo se presenta con

un gráfico estabilidad Marshall versus flujo de Marshall. La grafica debe corregirse restando la porción del flujo durante el asentamiento de la muestra. Para determinar el inicio correcto de la lectura de flujo, se dibujará una línea tangente que conecte dos puntos en la curva de estabilidad-flujo, que representa el 25 por ciento y el 75 por ciento de la estabilidad de Marshall. Donde esta línea tangente se cruza con el eje x es el comienzo del flujo de Marshall. No se necesita corrección cuando se usa un anillo de prueba y un medidor de flujo, ya que el medidor de flujo se ha "puesto a cero" en un disco o muestra de metal calibrado de 4.00 pulgadas (Asphalt Institute, 2014).

Si el flujo en el contenido óptimo de asfalto seleccionado está por encima del límite superior especificado, la mezcla se considera demasiado plástica o inestable. Si el flujo está por debajo del límite inferior especificado, la mezcla se considera demasiado frágil. Los resultados de estabilidad y flujo dependen en gran medida del grado del asfalto, la cantidad de aglutinante y la estructura del agregado (Asphalt Institute, 2014).

## **4.2. Propiedades Volumétricas de los Especímenes de Ensayo**

### **4.2.1. Gravedad específica Bulk (Gsb).**

Según lo determinado para el agregado por ASTM C127 y C128 o AASHTOT 84 y T 85, la relación de la masa seca al horno de un volumen unitario de agregado (incluidos los volúmenes vacíos impermeables y permeables al agua) a la masa del mismo volumen de agua (Asphalt Institute, 2014).

De acuerdo con Instituto Mexicano del Transporte (2004): “cuando la mezcla consiste de distintas fracciones de agregado fino y grueso se calcula con el valor ponderado que tiene cada material con su gravedad específica y su masa en la mezcla total”.

Ecuación 4.1: Gravedad específica del agregado.

$$Gsb = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

En donde:

$G_{sb}$  = gravedad específica total del agregado.

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

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

#### **4.2.2. Gravedad específica aparente ( $G_{sa}$ ).**

Según lo determinado para el agregado por ASTM C127 y C128 o AASHTO T 84 y T 85, la relación de la masa seca al horno de un volumen unitario de agregado (incluidos solo los volúmenes vacíos impermeables) a la masa del mismo volumen de agua (Asphalt Institute, 2014).

#### **4.2.3. Gravedad específica efectiva ( $G_{se}$ ).**

De acuerdo con 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.

Ecuación 4.2: Gravedad específica efectiva del agregado.

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

En donde:

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

$G_{mm}$  = gravedad específica máxima de mezcla de pavimento sin vacíos de aire.

$P_{mm}$  = porcentaje de la masa total de la mezcla en porcentaje.

$P_b$  = contenido de asfalto en la mezcla, porcentaje por la masa de la mezcla.

$G_b$  = gravedad específica del bitumen.

#### 4.2.4. Vacíos en el agregado mineral (VAM).

De acuerdo con Fiallos & Unda (2018) “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 (Fiallos, Martin Unda, 2018).

Ecuación 4.3: Vacíos en el agregado.

$$VAM = 100 - \frac{G_{mb} * P_s}{G_{sb}} \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

En donde:

VAM = vacíos del agregado mineral.

$G_{mb}$  = gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada.

$P_s$  = contenido del agredo en la mezcla en porcentaje.

#### 4.2.5. Porcentaje de vacíos (VA).

Son aquellos vacíos de aire entre los espacios intergranulares.

Ecuación 4.4: Vacíos de aire.

$$Va = 100 * \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

En donde:

Va = vacios de aire en las briquetas compactadas.

$G_{mm}$  = gravedad específica máxima.

$G_{mb}$  = gravedad específica de la briqueeta compactada.

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

Sin contar el asfalto absorbido, los vacíos llenos con asfalto son todos los vacíos en el agregado que se llenan con asfalto.

Ecuación 4.5: Vacíos llenos con asfalto.

$$VAF = 100 * \frac{VAM - Va}{VAM} \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

En donde:

VAF = vacíos llenos con asfalto (un porcentaje del VAM).

VAM = vacíos en el agregado mineral.

Va = vacíos de aire en las briquetas compactadas.

#### **4.3. Cálculos de la Mezcla Caliente (HMA) Convencional.**

Una vez realizado la caracterización de los materiales conformantes de la mezcla asfáltica se procede a realizar el diseño de la mezcla caliente convencional.

Las granulometrías del agregado fino y grueso se realiza una mezcla en proporción de los dos materiales. La mezcla resultante debe satisfacer los requerimientos prescritos en la norma ASTM D3515. A partir de la relación de los porcentajes de materiales fino y grueso se calcula la demanda de asfalto necesaria para la mezcla asfáltica, a este porcentaje se le llama el porcentaje de asfalto teórico. La curva granulométrica debe cumplir además con los requerimientos nacionales establecidos por el MOP (Ministerio de Obras Públicas).

Tabla 4.1.

*Límites de la especificación MOP 001 F2002 tabla 405-5.1 Agregado tamaño nominal 3/4"(ASTM 3515)*

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	90		56	35	23	---	---	5	---	2
	MÁX	100	100	100	100	100		80	65	49	---	---	19	---	8
AGREGADO	A (ARENA)	100	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.9	64.2	41.3	26.9	16.5	9.1	4.4
AGREGADO	B (GRUESO)	100	100.0	100.0	100.0	100.0	57.8	22.4	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MEZCLA AGREGADOS		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	78.9	61.2	50.8	32.1	20.7	13.5	8.3	4.6	2.2

Fuente: (Ministerio de Transporte y obras Públicas, 2002)

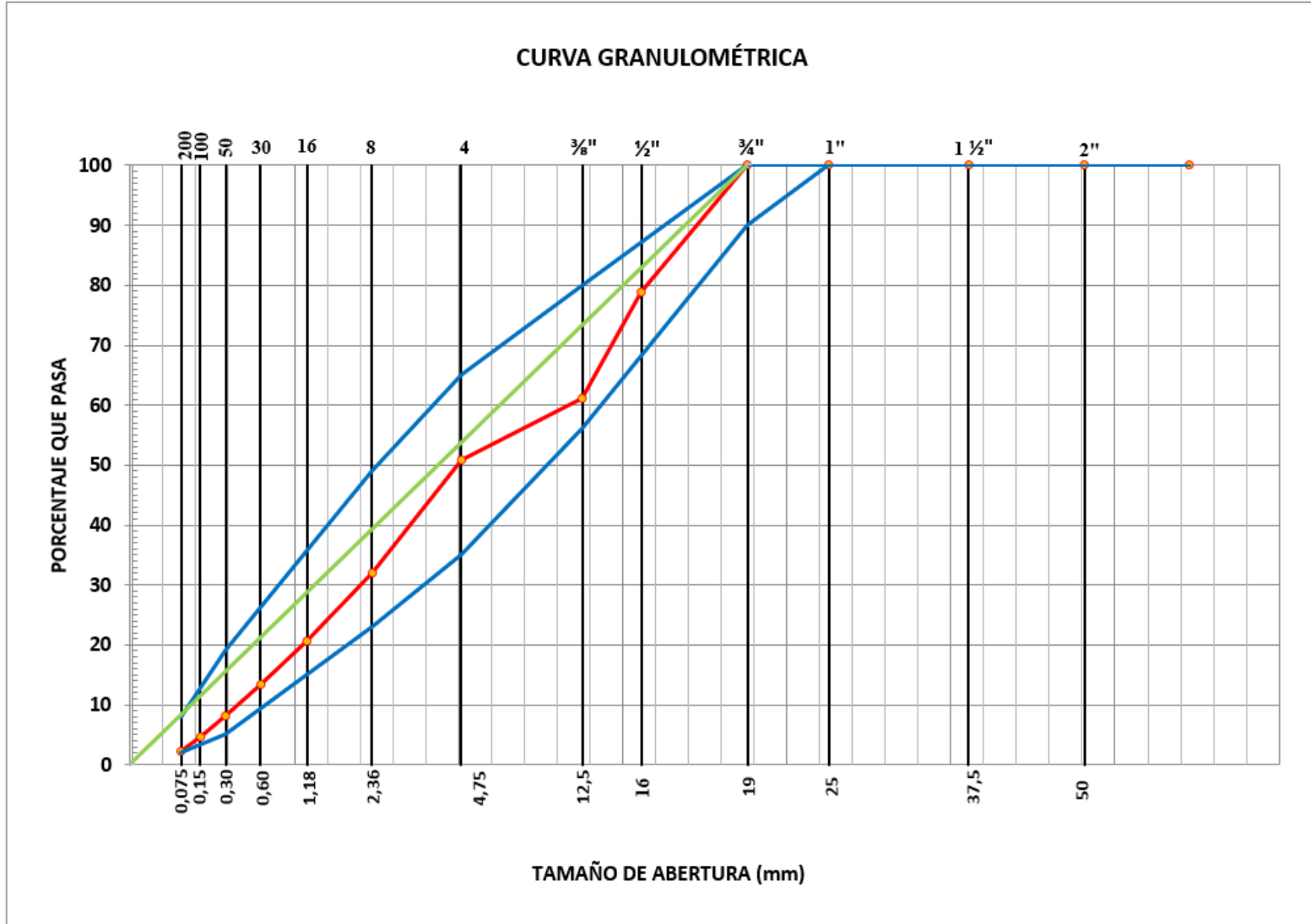


Imagen 4.1. Curva Granulométrica de la mezcla de agregados.

A partir del cumplimiento de las proporciones de mezcla de agregados se procede a calcular el porcentaje teórico de asfalto para una mezcla asfáltica caliente.

Ecuación 4.6: Porcentaje de asfalto teórico para una mezcla asfáltica caliente.

$$P = 0.035 * a + 0.045 * b + Kc + F$$

En donde:

a = porcentaje retenido en el tamiz #8.

b = porcentaje pasante del tamiz #8 y retenido en el #200.

Kc = le corresponde los siguientes valores.

Kc=0.15 para el 11 - 15 % del pasante del tamiz N° 200.

Kc=0.18 para el 6 - 10 % del pasante del tamiz N° 200.

Kc=0.20 para el 5 % o menor del pasante del tamiz N° 200.

F = entre 0 y 2, basado en la absorción del agregado fino o grueso.

Para el caso en estudio se tiene un porcentaje teórico de asfalto de 6.3%. Este valor se aproximado a su inmediato valor múltiplo de 0.5% con lo que nuestro valor teórico será de 6.5%. A partir de este valor se hacen cuatro variaciones en el porcentaje; dos valores superiores y dos valores inferiores, cada variación será de 0.5%. Por cada porcentaje se elaborarán 3 briquetas, esto con el objetivo de descartar valores que generen incertidumbre.

Tabla 4.2.  
*Cantidad de material necesario para elaborar una briqueta*

<b>Tamiz</b>	<b>3/4</b>	<b>1/2</b>	<b>3/8</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>filler</b>
<b>peso parcial</b>	9.26	431.22	94.77	18.97	191.06	126.04	79.21	57.35	40.90	18.39	32.84
<b>peso acumulado</b>	9.26	440.47	535.24	554.22	745.28	871.32	950.53	1007.87	1048.77	1067.16	1100.00

La mezcla debe realizarse de manera que se mantengan las temperaturas de mezcla y compactación. Con el fin de mantener una temperatura de mezcla adecuado se recomienda que el agregado y los moldes estén en un horno a temperatura de mezcla al menos unas dos horas antes de la elaboración de las briquetas. Las briquetas deben enfriarse antes de proceder a su extracción de los moldes. Las briquetas deberán estar correctamente numeradas y agrupadas de acuerdo con su porcentaje de asfalto.

Tabla 4.3.  
*Resumen de resultados de cada briketa con su porcentaje de asfalto*

# Briketa	Bulk (gr/cm3)	Estabilidad (lb-fuerza)	Flujo (in/100)	V. A	V. AGR	VAM	VAF
1	2.217	2270	14	9.51	79.11	20.89	54.50
2	2.213	2050	12	9.66	78.97	21.03	54.05
3	2.243	2530	14	8.44	80.04	19.96	57.71
4	2.259	2150	14	7.03	80.19	19.81	64.54
5	2.268	3190	16	6.65	80.51	19.49	65.87
6	2.252	2160	13	7.34	79.92	20.08	63.47
7	2.268	2750	15	6.30	80.05	19.95	68.43
8	2.275	3000	15	5.98	80.32	19.68	69.60
9	2.250	2550	14	7.01	79.44	20.56	65.90
10	2.273	2300	13	5.31	79.80	20.20	73.72
11	2.274	2950	15	5.23	79.87	20.13	74.03
12	2.274	2880	15	5.27	79.84	20.16	73.89
13	2.287	3080	14	4.31	79.87	20.13	78.59
14	2.299	3250	15	3.81	80.29	19.71	80.67
15	2.291	3000	16	4.13	80.03	19.97	79.34

Tabla 4.4.  
Resumen de resultados de cada porcentaje de asfalto.

Porcentaje de Asfalto	Bulk (gr/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad	Flujo	V. A	V. AGR	VAM	VAF
5.5	2.224	2283	13	9.20	79.37	20.63	55.42
6.0	2.260	2500	14	7.01	80.20	19.80	64.63
6.5	2.264	2767	15	6.43	79.94	20.06	67.98
7.0	2.274	2710	14	5.27	79.83	20.17	73.88
7.5	2.295	3110	15	4.08	80.06	19.94	79.53

Tabla 4.5.  
Resumen de valores para ensayo Marshall.

Tipo de Tráfico	Muy pesado		Pesado		Medio		Liviano	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Criterio Marshall								
# de golpes (por cara)	75		75		50		50	
Estabilidad (lb-f)	2200	---	2200	---	2200	---	1000	2400
Flujo (plg/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% vacíos	3	5	3	5	3	5	3	5

Fuente: (Ministerio de Transporte y obras Públicas, 2002, p.309)

Luego de obtenidos los resultados, es necesario elaborar los gráficos porcentaje de asfalto vs todos los parámetros obtenidos, para hallar el porcentaje óptimo de asfalto

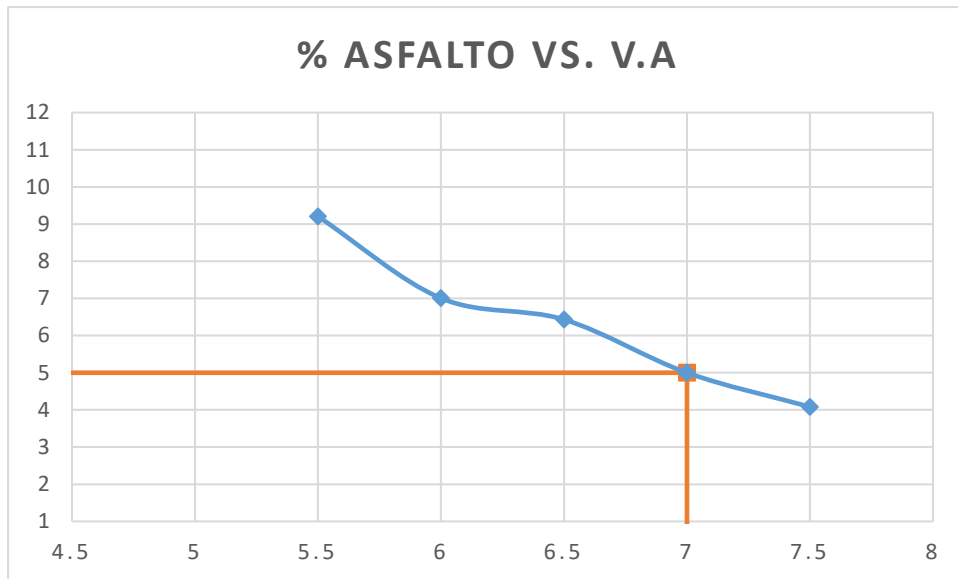


Imagen 4.2. asfalto (%) vs. vacíos (%)

Las especificaciones para tráfico pesado mencionan que el porcentaje de vacíos óptimo debe estar entre 3 y 5, en un inicio se pretendió utilizar el valor de 4 como valor óptimo, pero debido a que incumplía con los demás parámetros, se decidió utilizar 5 como porcentaje de vacíos óptimo, lo cual indica un porcentaje óptimo de asfalto de 7 %. Luego de obtenido este valor, realizamos los siguientes gráficos para determinar el cumplimiento de las especificaciones mencionadas en la tabla 11.

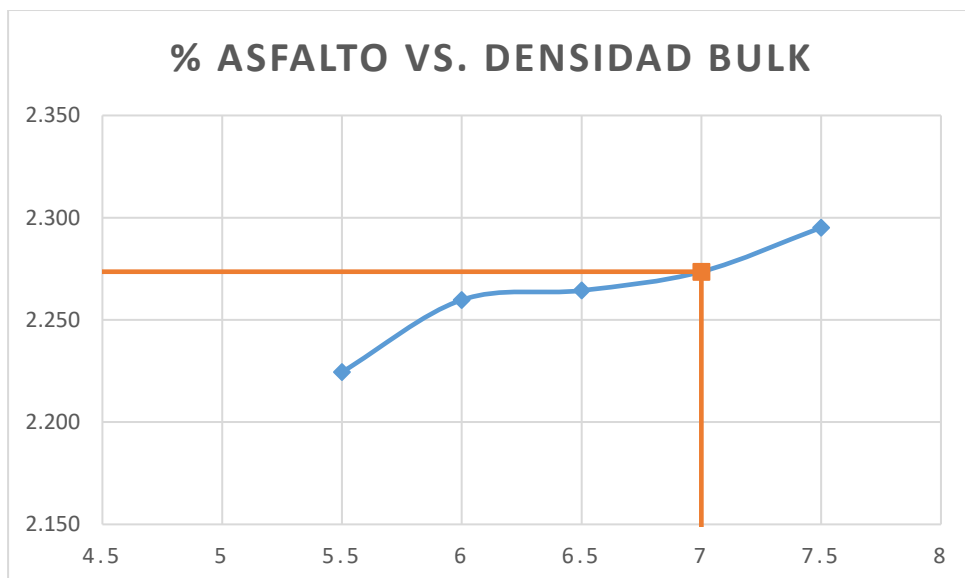


Imagen 4.3. Densidad Bulk vs. Porcentaje de asfalto.

La gráfica anterior nos permite apreciar el comportamiento que sufre la densidad Bulk en las briquetas con la variación de asfalto. Se puede apreciar que el porcentaje de asfalto en la mezcla tiende a aumentar la densidad de la misma.

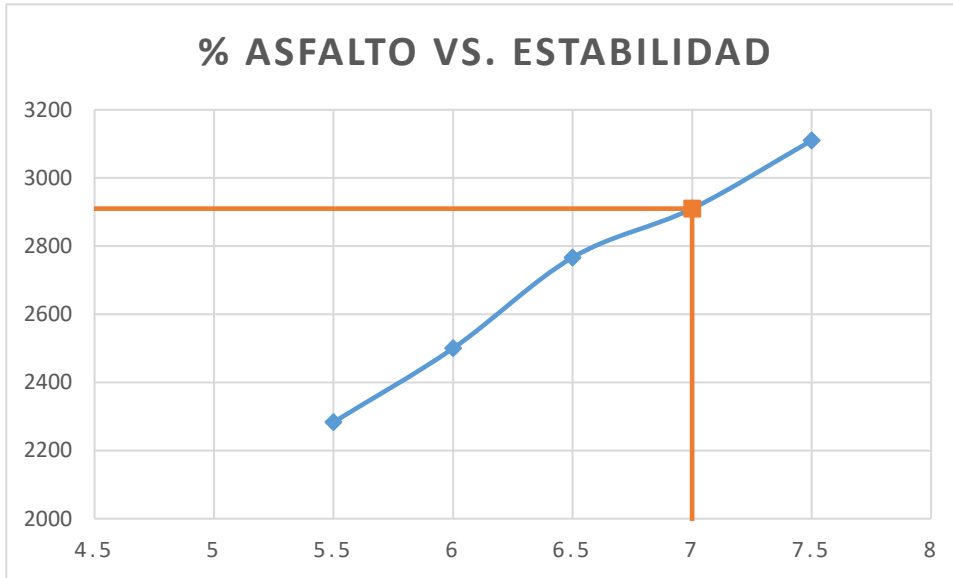


Imagen 4.4. Porcentaje de asfalto vs. Estabilidad.

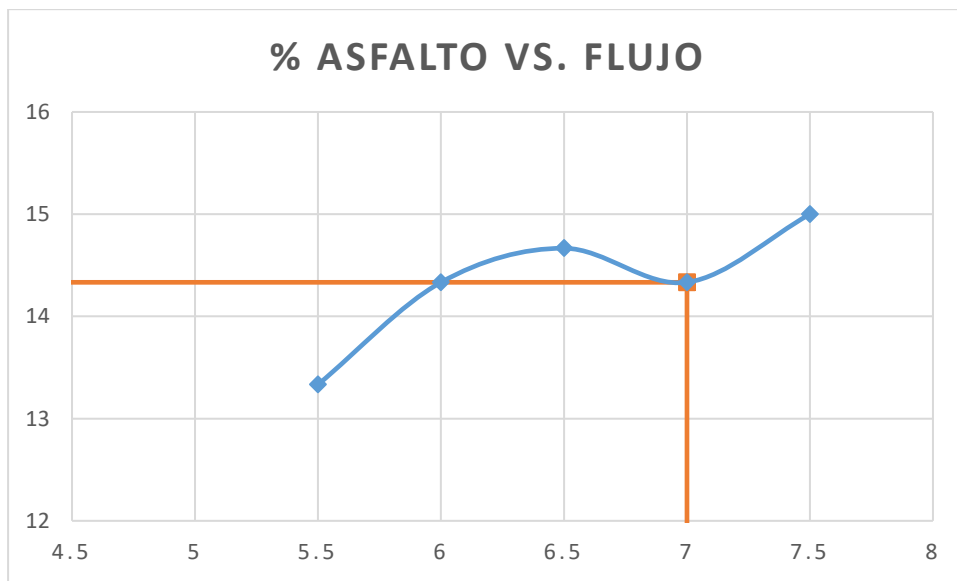


Imagen 4.5. Porcentaje de asfalto vs. Flujo.

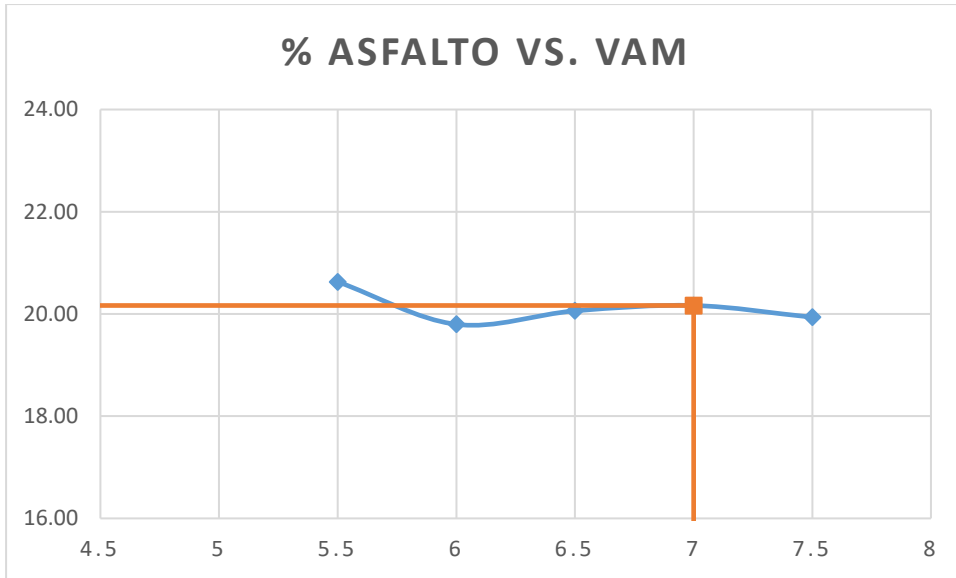


Imagen 4.6. Porcentaje de asfalto vs. VAM.

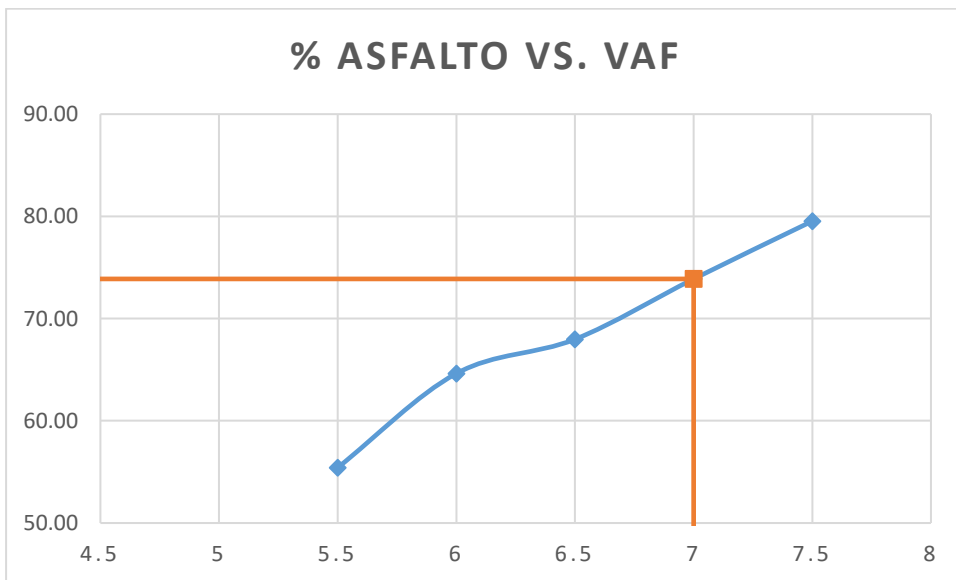


Imagen 4.7. Porcentaje de asfalto vs. VAF.

Tabla 4.6.

Tabla resumen de los datos obtenidos de las mezclas con asfalto óptimo del 7%.

Porcentaje de Asfalto	Bulk (gr/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad	Flujo	V. A	V. AGR	VAM	VAF
7.0	2.274	2710	14	5.00	79.83	20.17	73.88

#### 4.4. Cálculos de Mezclas Asfálticas Tibias (WMA).

Las mezclas asfálticas tibias son todas aquellas mezclas cuyas temperaturas de compactación oscilan entre 110°C y 140°C. Para la elaboración de las mezclas asfálticas tibias se escogió la menor temperatura posible de compactación por lo que todas las briquetas se elaboraron a 110°C.

Se elaboraron dos grupos de mezclas tibias, el primer grupo contempla todas las mezclas compactadas a temperatura de 110°C y sin aditivo. El segundo grupo corresponde a las mezclas compactadas con aditivo.

##### 4.4.1. Mezclas asfálticas compactadas a 110°C sin aditivo.

Una vez obtenido el porcentaje óptimo de asfalto se procede a realizar las mezclas tibias sin aditivo. El objeto de realizar estas mezclas es para poder observar de mejor manera el impacto que tiene el aditivo en mezclas bajo las mismas condiciones.

##### 4.4.1.1. Resumen de resultados de las mezclas asfálticas tibias a 110°C

Tabla 4.7.  
Resultados de mezclas asfálticas tibias.

	#briqueta	Estabilidad (lb)	Flujo (in/100)	V.A	V.AGR	VAM	VAF	Estabilidad promedio	Flujo Promedio
	1	2450	14.1						
<b>Aditivo</b>	2	2050	14	3.7	80.7	19.3	81.1	2375.3	14.0
	3	2626	14						
<b>Sin aditivo</b>	7	2180	14.5						
	8	1980	14.5	4.3	80.6	19.4	78.1	1953.3	15.0
	9	1700	16						

#### **4.5. Ensayo del módulo de rigidez**

De acuerdo con Palma (2010):

El ensayo de tracción indirecta destaca por ser un método no destructivo que permite determinar el módulo de rigidez de los materiales asfálticos de pavimentos para una deformación horizontal seleccionada. Este ensayo se realiza normalmente sobre especímenes de diámetro de 100 o 150 mm, con un espesor entre 50 a 70 mm generalmente. Durante el ensayo, la probeta cilíndrica es sometida a cargas axiales de compresión de forma ondulada (*Haversine*). La carga se aplica verticalmente en un plano diametral del espécimen cilíndrico. La máquina universal utilizada en este ensayo genera pulsos de cargas en forma repetitiva con periodos de descanso. Los tiempos de carga están comprendidos entre los 50 y 150 milisegundos. El tiempo hasta la carga vertical máxima es medido desde la carga cero hasta su máximo valor, este tiempo deberá ser de  $124 \pm 4$  ms (milisegundos), lo que corresponde a una velocidad de alrededor de 100 Km /h. El período de repetición del pulso aplicado deberá ser de  $3 \pm 0,1$  segundo, lo que equivale a una frecuencia de 0,33Hz.

Cabe mencionar que para determinar el módulo de rigidez en probetas cilíndricas se varia la temperatura de ensayo entre 5 y 25 °C, esto se produce para replicar las condiciones a las que va a estar sometida la mezcla asfáltica. Durante la preparación de los ensayos hay que tener en cuenta que las muestras deben estar aclimatadas a la temperatura a ser ensayadas por lo menos 24 horas antes de realizar el procedimiento de estudio.

##### **4.5.1. Procedimiento para medición de modulo con máquina universal**

Palma (2010) describe el procedimiento de la maquina universal como se cita:

La máquina universal tiene un software que facilita la realización de los ensayos, disminuyendo así la fuente de error. En el software se ingresan los datos de

entrada con el fin de realizar la primera medición (primer ensayo). Luego de ingresar los datos de entrada se colocan los transductores LVDT (imagen 28) en las probetas, para realizar entre cinco y quince aplicaciones de pulsos de carga. Esto se hace con la finalidad de calibrar la carga requerida para obtener la deformación deseada, para esa probeta. Es importante recalcar que se debe alinear la altura del submarco de carga (imagen. 28) para asegurar que los transductores se fijen en los puntos a  $90^\circ$  del punto en que se aplica la carga, de modo de medir la deformación axial.



Imagen 4.8. Transductores LVDT.

Fuente: (Palma, 2010)

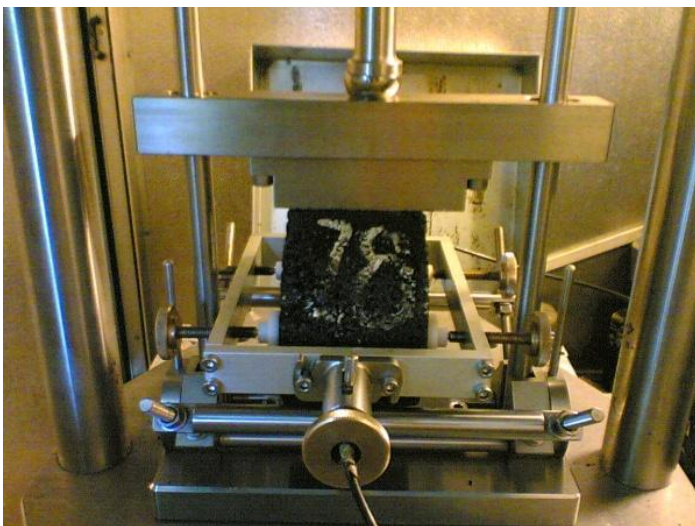


Imagen 4.9. Ensayo Módulo de rigidez.

Fuente:(Palma, 2010)

Una vez realizados los pulsos de carga se revisan los transductores y se procede a realizar cinco aplicaciones adicionales de pulsos de carga, con estos últimos cinco pulsos de carga se determina el Módulo de Rigidez de la probeta para esa orientación, el segundo ensayo que se realiza a la probeta debe ser aplicado en una dirección en 90° con respecto a la primera medición (Palma, 2010).

Hay que tener en cuenta que los LVDT presentan alta sensibilidad de precisión por lo que las probetas cilíndricas deben tener una calidad suficiente al ser elaboradas para que al momento del ensayo no presenten incongruencias en los datos de respuesta. De igual modo la colocación del submarco de carga debe garantizar que los LVDT no sufran ningún tipo de movimiento durante el tiempo que dure el ensayo.

Tabla 4.8.  
*Módulo de rigidez mezclas asfálticas calientes.*

<b>Muestra</b>	<b>Temperatura</b>	<b>% Asfalto</b>	<b>Deformación lateral (um)</b>	<b>Módulo Rigidez (Mpa)</b>
13	10	7	5.2	4447
14	10	7	5.4	4467
15	10	7	5.1	4166
		<b>Promedio</b>	5.2	4360.0
13	20	7	5.3	2499
14	20	7	5.6	2467
15	20	7	5.5	2166
		<b>Promedio</b>	5.5	2377.3
13	40	7	5.4	561
14	40	7	5.8	461
15	40	7	5.6	431
		<b>Promedio</b>	5.6	484.3

Tabla 4.9.  
Resultados Módulo de Rigidez Mezclas Tibias con Aditivo.

Muestra	Temperatura	% Asfalto	Deformación lateral (um)	Módulo Rigidez (Mpa)
4	10	7	5.2	3847
5	10	7	5.5	3967
6	10	7	5.4	3896
		<b>Promedio</b>	5.4	3903.3
4	20	7	5.3	1847
5	20	7	5.5	1967
6	20	7	5.5	1896
		<b>Promedio</b>	5.4	1903.3
4	40	7	5.4	361
5	40	7	5.8	331
6	40	7	5.5	301
		<b>Promedio</b>	5.6	331.0

Tabla 4.10.  
Resultados Módulo de Rigidez Tibias sin Aditivo.

Muestra	Temperatura	% Asfalto	Deformación lateral (um)	Módulo Rigidez (Mpa)
10	10	7	6.2	2347
11	10	7	6.4	2172
12	10	7	5.9	2265
		<b>Promedio</b>	6.2	2261.3
10	20	7	6.3	1147
11	20	7	6.6	1172
12	20	7	6.2	1265
		<b>Promedio</b>	6.4	1194.7
10	40	7	6.4	161
11	40	7	6.9	131
12	40	7	7.3	111
		<b>Promedio</b>	6.9	134.3

Tabla 4.11.

*Resumen de Resultados del Ensayo para Obtener el Módulo de Rigidez.*

Temperatura	%asfalto	Mezclas calientes		Mezclas tibias con aditivo		Mezclas tibias sin aditivo	
		Deformación lateral (um)	Modulo Rigidez (Mpa)	Deformación lateral (um)	Modulo Rigidez (Mpa)	Deformación lateral (um)	Modulo Rigidez (Mpa)
10	7	5.2	4360.0	5.4	3903.3	6.2	2261.3
20	7	5.5	2377.3	5.4	1903.3	6.4	1194.7
40	7	5.6	484.3	5.6	331.0	6.9	134.3

De acuerdo a los resultados de la tabla No. 4.11. se evidencia el impacto que tiene la temperatura en los módulos de rigidez. A mayor temperatura los módulos de rigidez de las muestras tienden a disminuir. También se evidencia el impacto que tiene el aditivo, si comparamos las mezclas tibias con y sin aditivo se evidencia que se tiene una ligera mejora en las mezclas asfálticas tibias con aditivo.

## Capítulo V

### 5.1. Análisis económico

Dentro del procedimiento de elaboración de mezclas asfálticas es necesario el uso de varios recursos, así como también actividades, mano de obra, materiales, etc., que afectan directamente en el costo de producción de una mezcla. Este puede variar de acuerdo al rendimiento que pueda tener la maquinaria y la mano de obra, incluyendo los materiales que componen la mezcla asfáltica.

El costo en el mercado del cemento asfáltico es de \$0.30 el Kg, generalmente en el país se utiliza asfalto AC-20, procesado por la refinería estatal.

El precio actual del aditivo Zycotherm fue proporcionado por la empresa BREM, distribuidor de este tipo de aditivos en el país, su costo en el mercado es de \$34.50 el Kg. Otros factores importantes son las características de las mezclas que son sus propiedades volumétricas.

El análisis de costos de las mezclas elaboradas en la presente disertación se hizo en base a la composición de la mezcla (materiales) tanto en peso como en volumen y en la influencia que genera el aditivo al ser agregado a la mezcla.

Se realizó el diseño para una carpeta asfáltica de 5 cm de espesor, tomando en cuenta que la unidad de medida del análisis de precios unitarios es m<sup>2</sup>.

Tabla 5.1.  
*Precios hallados de las mezclas asfálticas en estudio.*

<b>Muestra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo</b>
<b>Mezcla asfáltica convencional</b>	\$ US/ m <sup>2</sup>	6.36
<b>Mezcla asfáltica + 0.07% Zycotherm</b>	\$ US/ m <sup>2</sup>	6.18

Se puede observar que existe una clara disminución al utilizar Zycotherm, ya que al momento de elaborar la mezcla asfáltica convencional se utiliza una mayor cantidad de energía

y combustibles en la maquinaria utilizada. A su vez, se registró una disminución del porcentaje de asfalto en 0.1% que, a la larga, en proyectos viales es una reducción significativa de costos por kilómetro de carpeta asfáltica y en mantenimiento.

## Capítulo VI

### 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.

Concluidos los ensayos de caracterización de bitúmenes, se puede decir que, el material utilizado como ligante en la presente investigación corresponde a la clasificación AC20 según lo establecido en los requerimientos de la Tabla 7 de la norma NTE INEN 2515.

Una vez obtenidos los resultados de mezclas asfálticas calientes, mezclas asfálticas tibias sin el uso de aditivo y mezclas asfálticas tibias con aditivo, se determina que las mezclas con aditivo poseen menor porcentaje de vacíos al momento de compararlas con las mezclas asfálticas convencionales calientes y tibias.

Luego de analizar los resultados de los parámetros Marshall para las distintas muestras, se puede verificar que las mezclas asfálticas calientes presentan una estabilidad de 2710 lb, para el caso de las mezclas asfálticas modificadas, se puede observar que poseen una estabilidad menor pero sigue siendo superior a la mínima establecida por el MTOP. Las mezclas asfálticas tibias sin aditivo no cumplen con los parámetros establecidos ni de estabilidad ni de flujo.

Durante el proceso de elaboración de las mezclas se pudo evidenciar que al agregar el aditivo, además de disminuir la temperatura, mejora las propiedades de la mezcla como la trabajabilidad y la adherencia entre las partículas de agregado y cemento asfáltico, siendo esta una de las principales ventajas de usar este aditivo.

Al culminar el proceso de elaboración de mezclas asfálticas tibias se determinó que, al momento de iniciar el proceso de compactación, la temperatura de la muestra debe oscilar

dentro de los 125 °C y 135 °C. Para así obtener una temperatura ideal de 115 °C al terminar la compactación.

Las mezclas asfálticas tibias sin aditivo son más flexibles a medida que aumenta la temperatura de 10 °C, 20 °C y 40 °C ya que su rigidez disminuye. Por otra parte, se observa que las mezclas asfálticas tibias presentan módulos de rigidez ligeramente menores a los módulos de las mezclas asfálticas calientes.

## **6.2.Recomendaciones**

Se recomienda tener un amplio conocimiento en cuanto a la normativa y los procesos que rigen la elaboración y caracterización de las muestras asfálticas, esto para agilizar el proceso manteniendo precaución al momento de utilizar los aparatos.

Se recomienda al momento de utilizar los equipos de los ensayos disponer de toda la indumentaria de protección personal, para mantener la integridad física de los laboratoristas, o personas que realicen los ensayos de laboratorio. Esto tomando en cuenta que existe manipulación directa de materiales peligrosos.

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.

Se recomiendo tener en cuenta que los LVDT presentan alta sensibilidad de precisión por lo que las probetas cilíndricas deben tener una calidad suficiente al ser elaboradas para que al momento del ensayo no presenten incongruencias en los datos de respuesta. De igual modo la colocación del submarco de carga debe garantizar que los LVDT no sufran ningún tipo de movimiento durante el tiempo que dure el ensayo.

Es importante seguir el protocolo de laboratorio brindado por las especificaciones del aditivo, con el fin de aprovechar al máximo los beneficios que brinda este producto y no estar expuestos a fallas de interacción entre el cemento asfáltico y el aditivo.

Para la elaboración de las mezclas asfálticas se recomienda tener en cuenta las temperaturas a las cuales deben estar los materiales, moldes y cemento asfáltico, con el fin de garantizar las temperaturas de mezcla y compactación a las cuales van a estar sometidas las muestras asfálticas.

## Bibliografía

- (ANCHICOS Ingeniería). (2015). Máquina de los ángeles.
- (Técnicas CP SAC). (2015). Conjunto para pruebas de gravedad específica y absorción en agregado grueso/LA-0520-05.
- American Society for Testing and Materials. (2015). Ensayo para la determinación de la gravedad específica y absorción del agregado grueso (ASTM C127-15). In *American standar test methods* (2nd ed., p. 8).
- American Society for Testing and Materials. (2019a). *Standard Test Method for Ductility of Asphalt Materials. i*, 1–5. <https://doi.org/10.1520/D0113-17.aware>
- American Society for Testing and Materials. (2019b). *Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt ( Rolling Thin-Film Oven Test )*. 1–6. <https://doi.org/10.1520/D2872-19.2>
- American Society for Testing and Materials. (2019c). *Standard Test Method for Relative Density ( Specific Gravity ) and Absorption of Fine. i*, 7–12. <https://doi.org/10.1520/C0128-15.2>
- Asphalt Institute. (2001). *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente* (1st ed.). Lexintong: Asphalt Institute.
- Asphalt Institute. (2014). *MS-2 7 th Edition Asphalt Mix Design Methods MS-2 7 th Edition Asphalt Mix Design Methods* (7th ed.; M. Buncher & M. Anderson, Eds.). USA.
- ASTM. (2014a). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. *ASTM*, 5.
- ASTM. (2014b). Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate. *ASTM*, 10.
- ASTM. (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. *ASTM*, 5. <https://doi.org/10.1520/C0127-15>

- ASTM. (2016). Standard Practice for Preparation of Asphalt Mixture Specimens Using Marshall Apparatus. *ASTM*.
- ASTM. (2018). Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate. *ASTM*, 6.
- Co-Marca. (2016). Equivalente de arena.
- Cornejo Villacís, D. A., & Lamiña Asumasa, J. C. (2018). *CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE MATERIAL TRITURADO DE PRODUCTOS RECICLADOS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET), UTILIZANDO LOS AGREGADOS DE LA MINA DEL RÍO PITA EN LA CIUDAD DE QUITO, MEDIANTE LA DETERMINACIÓN*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Fiallos, Martin Unda, L. (2018). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS ENTRE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE “AUTORREPARABLE”(CON LANA DE ACERO) Y MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Fonseca, A. (2010). *Ingeniería de pavimentos*. Bogotá.
- Guerrero Godoy, A. P., & Chiliuza, Pazmiño, H. V. (2017). *Uso de Lubricantes Desechados de Vehículos como Rejuvenecedores de Ligantes Bituminosos y su Aplicación en Mezclas Asfálticas en Caliente HMA*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Indiamart. (2019). Bitumen 90/15.
- Instituto Mexicano del Transporte. (2004). *Aspectos del Diseño volumétrico de mezclas asfálticas*.
- Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización. (2013). *MATERIALES BITUMINOSOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD POR EL MÉTODO DEL PICNÓMETRO*.
- Menéndez, J. (2009). *Ingeniería de Pavimentos. Materiales, diseño y conservación*. (1st ed.).

- Lima: Fondo Editorial ICG.
- Ministerio de Transporte y obras Públicas. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES DE CAMINOS Y PUENTES* (MOP, Ed.). Quito: MOP.
- National Asphalt Pavement Association. (2008). What is hot mix asphalt?
- Padilla, A. (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista*. Universitat Politécnica de Catalunya.
- Palma, G. (2010). *Módulo De Rigidez En Mezclas Asfálticas , Determinado Mediante*.
- Rondon, H., León, O., & Fernández, W. (2017). Comportamiento de una mezcla asfáltica tibia fabricada en una planta de asfalto. *Ingeniería y Desarrollo*, 152–169.
- Rondón, H., & Reyes, F. (2015). *Pavimentos materiales, construcción y diseño*. (1st ed.). Bogotá: ECOE Ediciones.
- Silva, J. (2015). Dirección de Vialidad.
- Vera, J., & Rojas, J. (2018). *COMPORTAMIENTO FÍSICO – MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y UNA POLIMERIZADA CON LA ADICIÓN DE UN ADITIVO LÍQUIDO MEJORADO CON NANOTECNOLOGÍA (ZYCOTHERM)*.
- White, S., Sottos, N., Geubelle, P., Moore, J., Kessler, M., Sriram, S., ... Viswanathan, S. (2001). Autonomic healing of polymer composites. *Nature*, 409(Autonomic healing of polymer composites), 200.
- Yepes Piqueras, V. (2014). mezcla asfáltica – El blog de Víctor Yepes.
- Zydex. (2014a). Asphalt Emulsion Additives.
- Zydex, I. (2014b). Road solutions.

## Anexos

### Anexo 1. Ensayo durabilidad a los sulfatos

#### ÁREA DE HORMIGONES

#### INFORME DE ENSAYO

##### DURABILIDAD DE LOS ÁRIDOS A LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS

PROYECTO: SOLICITADO POR:  
LOCALIZACIÓN: FISCALIZADOR:  
MUESTRA: CONTRATISTA:  
NORMA ENSAYO: FECHA DE RECEPCIÓN:  
  
CANTERA: FECHA DE EMISIÓN:  
LOCALIZACIÓN: ORDEN DE TRABAJO:  
DESCRIPCIÓN: HOJA:

##### Agregado fino

Tamiz	Masa Inicial (g)	Masa final (g)	% pérdida
4	300	299.2	0.3%
8	250	248.1	0.8%
16	250	245.1	2.0%
30	150	148.2	1.2%
50	150	149	0.7%
		Total	4.9%

##### Agregado grueso

Tamiz	Masa Inicial (g)	Masa final (g)	% pérdida
3/4	502.3	489.7	2.5%
1/2	405.7	400.1	1.4%
3/8	380.7	370.2	2.8%
4	300	288.2	3.9%
		10.6%	

*Anexo 2. Hoja de campo ensayo abrasión máquina de los ángeles*

**ÁREA DE HORMIGONES**

**ABRASIÓN E IMPÁCTO POR LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES**

**INFORME DE ENSAYO**

**ABRASIÓN E IMPACTO POR LA MÁQUINA DE LOS ANGELES**

PROYECTO:

SOLICITADO POR:

LOCALIZACIÓN:

FISCALIZADOR:

MUESTRA:

CONTRATISTA:

NORMA ENSAYO:

FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA:

FECHA DE EMISIÓN:

LOCALIZACIÓN:

ORDEN DE TRABAJO:

DESCRIPCIÓN:

HOJA:

TIPO DE GRADACIÓN	B
Masa Inicial de la muestra(g)	5000
Masa retenida en el tamiz 12(g)	3019
Masa que pasa el tamiz 12 (g)	1981
% desgaste	39.62%

*Anexo 3. Hoja de campo ensayo gravedad específica agregado fino*

**ÁREA DE HORMIGONES**

**INFORME DE ENSAYO**

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO**

**PROCEDIMIENTO GRAVIMÉTRICO**

PROYECTO: SOLICITADO POR:  
LOCALIZACIÓN: FISCALIZADOR:  
MUESTRA: CONTRATISTA:  
NORMA ENSAYO: FECHA DE RECEPCIÓN:  
  
CANTERA: FECHA DE EMISIÓN:  
LOCALIZACIÓN: ORDEN DE TRABAJO:  
DESCRIPCIÓN: HOJA:

Masa del matraz + agua(g)	658.00
Masa conjunto matraz+agua+muestra (g)	962.10
Masa de la muestra saturada con superficie seca (g)	500.00
Masa de la muestra seca (g)	468.00
Gravedad específica	2.39
Gravedad específica saturada con superficie seca	2.55
Gravedad específica aparente	2.86
Porcentaje de absorción	0.98

*Anexo 4. Hoja de campo ensayo gravedad específica agregado grueso*

**ÁREA DE HORMIGONES**

**INFORME DE ENSAYO**

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO**

PROYECTO: SOLICITADO POR:  
LOCALIZACIÓN: FISCALIZADOR:  
MUESTRA: CONTRATISTA:  
NORMA ENSAYO: FECHA DE RECEPCIÓN:  
  
CANTERA: FECHA DE EMISIÓN:  
LOCALIZACIÓN: ORDEN DE TRABAJO:  
DESCRIPCIÓN: HOJA:

Masa de la muestra seca (g)	4965.00
Masa de la muestra saturada con superficie seca (g)	5060.00
Masa aparente de la muestra saturada con superficie seca (g)	3122.00
Gravedad específica	2.56
Gravedad específica saturada con superficie seca	2.61
Gravedad específica aparente	2.69
Porcentaje de absorción	3.49

*Anexo 5. Hoja de campo ensayo equivalente de arena*

**ÁREA DE HORMIGONES**

**INFORME DE ENSAYO**

**EQUIVALENTE DE ARENA**

PROYECTO:

SOLICITADO POR:

LOCALIZACIÓN:

FISCALIZADOR:

MUESTRA:

CONTRATISTA:

NORMA ENSAYO:

FECHA DE RECEPCIÓN:

CANTERA:

FECHA DE EMISIÓN:

LOCALIZACIÓN:

ORDEN DE TRABAJO:

DESCRIPCIÓN:

HOJA:

Lectura inicial	A	4.8
Lectura final	B	3.1
Equivalente de arena	C	64.58%

Anexo 6. Hoja de campo ensayo viscosidad a 60 °C

ÁREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD DE ASFALTOS POR VISCOSÍMETRO CAPILAR AL VACÍO

PROYECTO:

SOLICITADO POR:

LOCALIZACIÓN:

FISCALIZADOR:

MUESTRA:

CONTRATISTA:

NORMA ENSAYO: ASTM D2171

FECHA DE RECEPCIÓN:

DESCRIPCIÓN:

HOJA:

Identificación de la muestra	
Temperatura de ensayo	60.01
Número del viscosímetro	100
Serie del viscosímetro	L807

	Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	Bulbo E	Bulbo F
Constante del viscosímetro (Pa.s/s)	3.18	1.601	1.066	0.7929	0.6261
Tiempo de flujo (s)	61.5	122.4	189.7	....	....
Viscosidad (Pa.s)	196.7	197.1	201.4		

Resultado del ensayo

Viscosidad (Pa.s)	198.13
-------------------	--------

Cumplimiento con respecto a la especificación del producto

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

*Anexo 7. Hoja de campo ensayo viscosidad a 135 °C*

**ÁREA DE PAVIMENTOS**

**INFORME DE ENSAYO**

**DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD CINEMÁTICA DE ASFALTO (BITÚMENES)**

PROYECTO:

SOLICITADO POR:

LOCALIZACIÓN:

FISCALIZADOR:

MUESTRA:

CONTRATISTA:

NORMA ENSAYO: ASTM D2170

FECHA DE RECEPCIÓN:

DESCRIPCIÓN:

HOJA:

Identificación de la muestra	
Temperatura de ensayo	135
Número del viscosímetro	7
Serie del viscosímetro	N353
Constante del viscosímetro (cSt/s)	2.952

**Valores del flujo y viscosidad de la muestra**

Tiempo de flujo (s)	120.3
Viscosidad (Pa.s)	335

Cumplimiento con respecto a la especificación del producto

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

*Anexo 8. Hoja de campo ensayo determinación del punto de chispa y llama*

**ÁREA DE PAVIMENTOS**

**INFORME DE ENSAYO**

**DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE CHISPA Y LLAMA DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS  
CON EL EQUIPO DE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND**

PROYECTO: SOLICITADO POR:

LOCALIZACIÓN: FISCALIZADOR:

MUESTRA: CONTRATISTA:

NORMA ENSAYO: FECHA DE RECEPCIÓN:

DESCRIPCIÓN: HOJA:

Identificación de la muestra	
Punto de chispa °C	290
Punto de llama °C	306
Presión barométrica (mmHg)	550
Punto de chispa corregido °C	299
Punto de llama corregido °C	322

Cumplimiento con respecto a la especificación del producto

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

Anexo 9. Hoja de campo ensayo densidad de material bituminoso

ÁREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DENSIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS SEMISÓLIDOS (MÉTODO DEL PICNÓMETRO)

PROYECTO:

SOLICITADO POR:

LOCALIZACIÓN:

FISCALIZADOR:

MUESTRA:

CONTRATISTA:

NORMA ENSAYO:

FECHA DE RECEPCIÓN:

DESCRIPCIÓN:

HOJA:

Identificación de la muestra	
Temperatura de ensayo	25

Serie del picnómetro	1
Masa del picnómetro (más tapa)	37.134
Masa del picnómetro lleno de agua	62.38
Masa del picnómetro parcialmente lleno con asfalto	57.623
Masa del picnómetro + asfalto + agua	62.581
Densidad de la muestra (kg/m <sup>3</sup> )	999.78

Información de la muestra

Información de la muestra	
Número de la muestra	
Norma de muestreo	
Fecha de muestreo	
Origen de producto	
Lugar de muestreo	
Identificación de camión	

Observaciones:

*Anexo 10. Hoja de campo ensayo de penetración del asfalto*

**ÁREA DE PAVIMENTOS**

**INFORME DE ENSAYO**

**PENETRACIÓN DE MATERIALES BITUMINOSOS**

PROYECTO:

SOLICITADO POR:

LOCALIZACIÓN:

FISCALIZADOR:

MUESTRA:

CONTRATISTA:

NORMA ENSAYO:

FECHA DE RECEPCIÓN:

DESCRIPCIÓN:

HOJA:

Identificación de la muestra	
Temperatura de ensayo	25
Carga (g)	100.01
Tiempo de carga (s)	5

**Valores de penetración en la muestra**

Punto	1	2	3	Promedio
Penetración (0.1mm)	69	68	69	68

Cumplimiento con respecto a la especificación del producto

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

**Información de la muestra**

Información de la muestra	
Número de la muestra	
Norma de muestreo	
Fecha de muestreo	
Origen de producto	
Lugar de muestreo	
Identificación de camión	

Observaciones:

*Anexo 11. Hoja de campo ensayo punto de ablandamiento*

**ÁREA DE PAVIMENTOS**

**INFORME DE ENSAYO**

**PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE BITUMEN**

PROYECTO:

SOLICITADO POR:

LOCALIZACIÓN:

FISCALIZADOR:

MUESTRA:

CONTRATISTA:

NORMA ENSAYO:

FECHA DE RECEPCIÓN:

DESCRIPCIÓN:

HOJA:

Identificación del líquido	....
Líquido usado en el baño	Agua

**Registros de la muestra**

	Anillo 1	Anillo 2	Promedio
Punto de ablandamiento °C	48.65	49.5	49.6

Cumplimiento con respecto a la especificación del producto

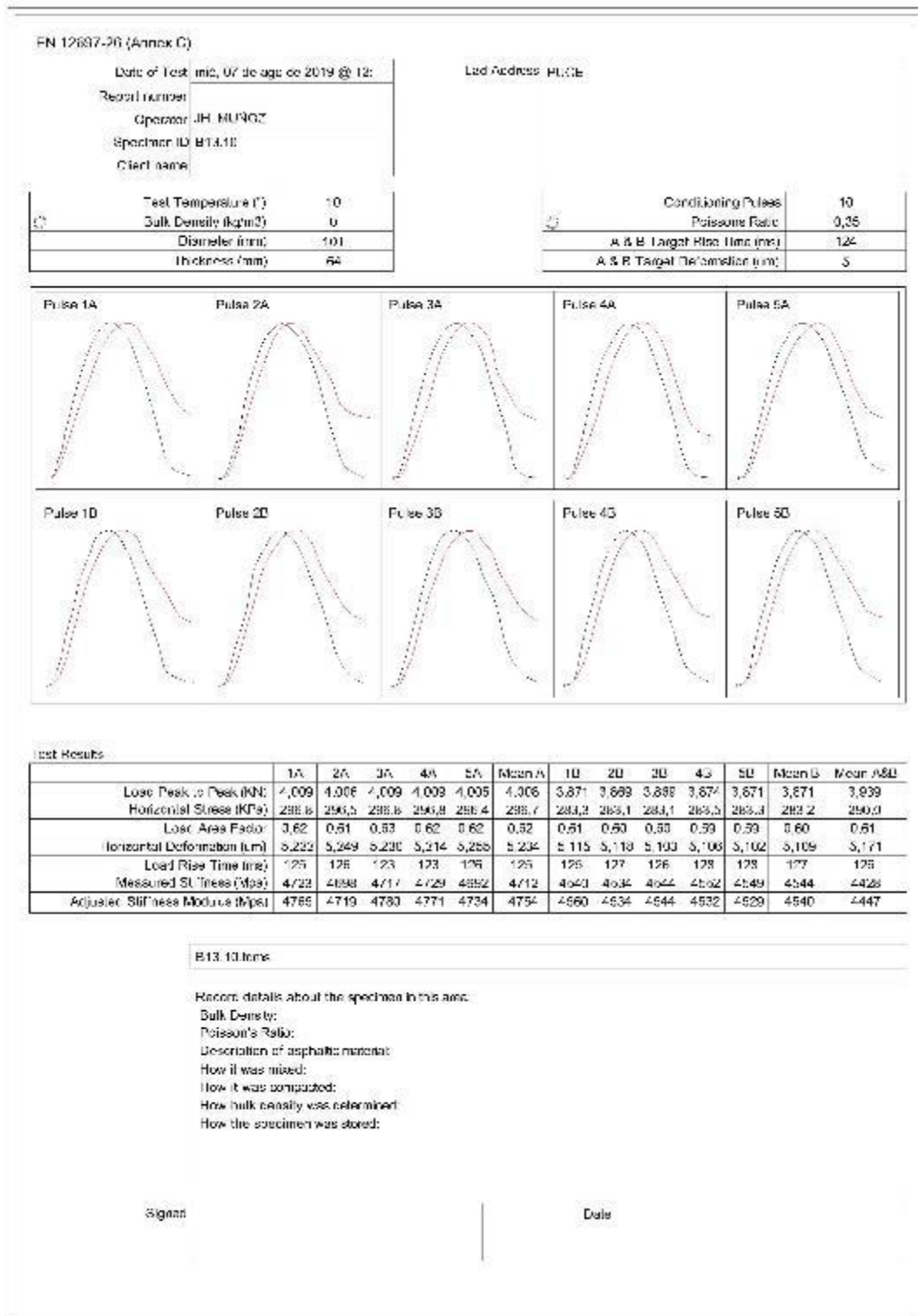
Resultado	CUMPLE
-----------	--------

**Información de la muestra**

Información de la muestra	
Número de la muestra	
Norma de muestreo	
Fecha de muestreo	
Origen de producto	
Lugar de muestreo	
Identificación de camión	

Observaciones:

Anexo 12. Resultado módulo de rigidez a 10°C briqueta 1 mezcla caliente.



Anexo 13. Resultado módulo de rigidez a 10°C briqueta 2 mezcla caliente.

FN 12687-26 (Annex C)			Load Address: H1.01b		
Date of Test	10/07 de agosto de 2019 @ 12:				
Record number					
Operator	JH. MURGZ				
Specimen ID	B14.1E				
Client name					
Test Temperature (°C)	10	Conditioning Pulses	10		
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0	Poisson's Ratio	0,35		
Diameter (mm)	102	A & B Target Rise Time (ms)	124		
Thickness (mm)	63	A & B Target Deformation (µm)	5		

Pulse 1A

Pulse 2A

Pulse 3A

Pulse 4A

Pulse 5A

Pulse 1B

Pulse 2B

Pulse 3B

Pulse 4B

Pulse 5B

Test Results	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	4,109	4,016	4,009	4,009	4,005	4,006	3,871	3,589	3,388	3,474	3,671	3,718	3,789
Horizontal Stress (KPa)	298,7	279,3	263,1	298,5	293,3	295,5	265,1	250,5	236,8	250,5	288,8	273,3	276,7
Load Area Factor	0,62	0,51	0,53	0,62	0,62	0,52	0,51	0,52	0,62	0,59	0,59	0,60	0,62
Horizontal Deformation (µm)	5,222	5,249	5,348	5,122	5,222	5,234	5,115	5,118	5,222	5,115	5,125	5,109	5,261
Load Rise Time (ms)	125	128	127	127	126	125	126	127	126	128	128	127	128
Measured Stiffness (Mpa)	4613	4598	4817	4529	4852	4712	4043	4034	4044	4762	4549	4734	4418
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	4765	4719	4783	4771	4734	4754	4560	4534	4544	4532	4529	4540	4467

B14.10 Item

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

How the specimen was stored:

Signat: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Anexo 14. Resultado módulo de rigidez a 10°C briqueta 3 mezcla caliente.

FN 12887-26 (Anexo C)		Lab Address: HUNLE	
Date of Test: 01/07/2019 @ 12:			
Record number:			
Operator: JH. MURGOZ			
Specimen ID: B15.1E			
Chart name:			

Test Temperature (°C)	10	Conditioning Pulses	10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0	Poisson's Ratio	0,35
Diameter (mm)	102	A & B Target Max. Time (ms)	124
Thickness (mm)	63	A & B Target Deformation (µm)	5

Test Results	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	4,009	4,006	4,009	4,008	4,005	4,006	3,871	3,869	3,888	3,874	3,871	3,871	3,539
Horizontal Strain (KPa)	298,6	295,3	284,1	298,6	293,3	295,5	293,1	293,5	293,8	294,5	293,6	293,3	262,1
Load Area Factor	0,60	0,51	0,53	0,62	0,62	0,52	0,51	0,52	0,60	0,59	0,59	0,60	0,63
Horizontal Deformation (µm)	5,412	5,249	5,348	5,122	5,222	5,234	5,115	5,118	5,222	5,115	5,125	5,109	5,101
Load Rise Time (ms)	125	128	127	127	126	125	125	127	126	128	128	127	127
Measured Stiffness (Mpa)	4612	4698	4817	4629	4892	4712	4541	4534	4544	4752	4549	4734	4118
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	4665	4619	4690	4771	4334	4354	4260	4234	4244	4532	4529	4240	4166

B15.1E.1one

Random details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

How the specimen was stored:

Anexo 15. Resultado módulo de rigidez a 20°C briqueta 1 mezcla caliente.

FN 12697-26 (Annex C)		Lab Address: HUE	
Date of Test	inc, 07 de ago de 2019 @ 12:		
Record Number			
Operator	JH MURCZ		
Specimen ID	B14.2II		
Client name			
Test Temperature (°C)	10	Conditioning Pulses	10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0	Poisson's Ratio	0,25
Diameter (mm)	101	A & B Target Hts. (mm)	124
Thickness (mm)	64	A & B Target Deformation (mm)	5

Pulse 1A	Pulse 2A	Pulse 3A	Pulse 4A	Pulse 5A
Pulse 10	Pulse 20	Pulse 30	Pulse 40	Pulse 50

Test Results	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	10	20	30	40	50	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	2,009	2,008	2,009	2,009	2,005	2,006	1,671	1,969	1,669	1,674	1,671	1,671	1,939
Horizontal Stress (kPa)	190,8	188,0	190,8	188,8	190,4	186,7	183,3	183,1	183,1	183,8	183,3	183,2	191,0
Load Area Factor	0,62	0,61	0,63	0,62	0,62	0,62	0,61	0,60	0,60	0,59	0,59	0,60	0,61
Horizontal Deformation (mm)	5,223	5,249	5,230	5,214	5,258	5,234	5,115	5,119	5,193	5,109	5,102	5,109	5,211
Load Rise Time (ms)	125	126	123	123	126	125	125	127	126	128	128	127	126
Measured Stiffness (Mpa)	2723	2698	2717	2729	2692	2712	2643	2634	2644	2632	2628	2644	2428
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	2766	2719	2780	2771	2734	2754	2660	2634	2644	2632	2628	2640	2459

B14.20.10ms

Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

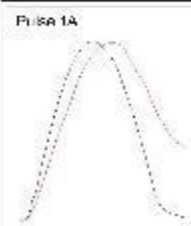
Signature: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Anexo 16. Resultado módulo de rigidez a 20°C briqueta 2 mezcla caliente.

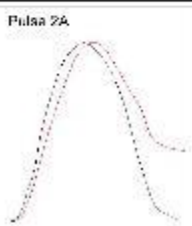
FN 12687-26 (Annex C)

Date of Test	inc, 07 de ago de 2019 @ 12:	Lab Address	HUITE
Record Number			
Operator	JH MURCZ		
Specimen ID	B14.20		
Client name			

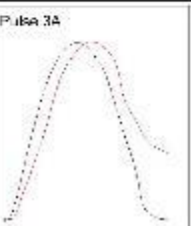
Test Temperature (°C)	10	Conditioning Pulses	10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0	Poisson's Ratio	0,25
Diameter (mm)	102	A & B Target Hra (mm)	124
Thickness (mm)	63	A & B Target Deformation (mm)	5




Pulse 1A



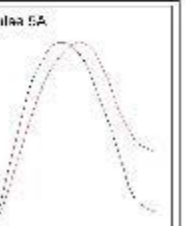
Pulse 2A



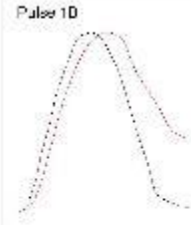
Pulse 3A




Pulse 4A




Pulse 5A




Pulse 1B



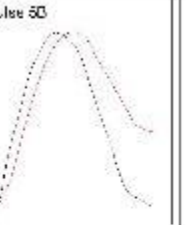
Pulse 2B



Pulse 3B



Pulse 4B



Pulse 5B

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	2,109	2,018	2,009	2,009	2,005	2,006	1,671	1,569	1,669	2,474	2,671	1,718	1,959
Horizontal Stress (kPa)	298,7	275,3	263,7	298,5	283,3	290,5	263,1	250,5	290,8	290,5	298,8	273,3	276,7
Load Area Factor	0,62	0,61	0,63	0,62	0,62	0,62	0,61	0,62	0,62	0,59	0,59	0,60	0,62
Horizontal Deformation (mm)	5,222	5,249	5,348	5,422	5,222	5,234	5,115	5,119	5,222	5,119	5,125	5,109	5,161
Load Rise Time (ms)	125	126	127	127	126	126	125	127	126	128	128	127	128
Measured Stiffness (Mpa)	2812	2658	2817	2829	2852	2712	2040	2034	2044	2702	2528	2734	2418
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	2755	2719	2780	2771	2734	2754	2660	2634	2644	2632	2528	2540	2467

**B14.20 Items**

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

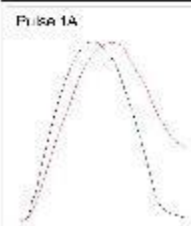
How the specimen was stored:

Anexo 17. Resultado módulo de rigidez a 20°C briqueta 3 mezcla caliente.

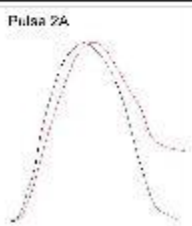
FN 12687-26 (Annex C)

Date of Test	inc, 07 de ago de 2019 @ 12:	Lab Address	PLATE
Record Number			
Operator	JH MURGOZ		
Specimen ID	B15.20		
Client name			

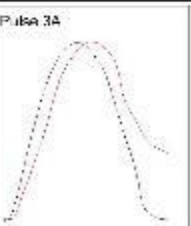
Test Temperature (°C)	10	Conditioning Pulses	10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0	Poisson's Ratio	0,25
Diameter (mm)	102	A & B Target Hra (mm)	124
Thickness (mm)	63	A & B Target Deformation (mm)	5




Pulse 1A



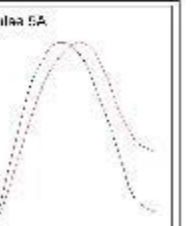
Pulse 2A



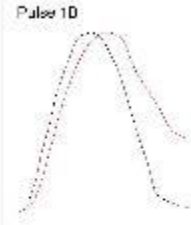
Pulse 3A




Pulse 4A




Pulse 5A




Pulse 10



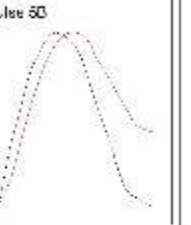
Pulse 20



Pulse 30



Pulse 40



Pulse 50

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	10	20	30	40	50	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	4,009	4,006	4,009	4,009	4,005	4,006	3,871	3,889	3,888	3,874	3,871	3,871	3,539
Horizontal Stress (kPa)	288,8	288,3	288,1	288,5	288,3	288,5	283,1	290,5	290,8	290,5	288,8	283,3	282,1
Load Area Factor	0,60	0,61	0,63	0,62	0,62	0,62	0,61	0,62	0,62	0,60	0,59	0,60	0,63
Horizontal Deformation (mm)	5,413	5,249	5,348	5,422	5,222	5,234	5,115	5,119	5,222	5,119	5,125	5,109	5,471
Load Rise Time (ms)	125	126	127	127	126	126	125	127	126	128	128	127	127
Measured Stiffness (Mpa)	2812	2858	2817	2829	2852	2812	2643	2634	2644	2662	2649	2634	2118
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	2655	2619	2693	2771	2334	2354	2260	2234	2244	2532	2528	2240	2166

**B15.20 Item**

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

How the specimen was stored:

Anexo 18. Resultado módulo de rigidez a 40°C briqueta 1 mezcla caliente.

FN 12697-26 (Annex C)		Lead Address: PU/CE	
Date of Test	inc, 07 de ago de 2019 @ 12:		
Record Number			
Operator	JH MURCZ		
Specimen ID	B14.201		
Client name			
Test Temperature (°C)	10	Conditioning Pulses	10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0	Poisson's Ratio	0,25
Diameter (mm)	101	A & B Target Hra (mm)	124
Thickness (mm)	64	A & B Target Deformation (mm)	5

Pulse 1A	Pulse 2A	Pulse 3A	Pulse 4A	Pulse 5A
Pulse 10	Pulse 20	Pulse 30	Pulse 40	Pulse 50

Test Results	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	10	20	30	40	50	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0,31	0,30	0,30	0,31	0,30	0,30	0,31	0,30	0,30	0,31	0,31	0,30	0,30
Horizontal Stress (kPa)	32,2	31,8	31,8	31,1	31,1	32,2	31,1	32,2	32,2	31,8	31,1	31,1	31,4
Load Area Factor	0,62	0,61	0,63	0,62	0,62	0,62	0,61	0,60	0,60	0,59	0,59	0,60	0,61
Horizontal Deformation (mm)	5,222	5,249	5,230	5,214	5,258	5,234	5,115	5,119	5,193	5,109	5,102	5,109	5,278
Load Rise Time (ms)	125	128	123	123	126	125	125	127	126	128	128	127	127
Measured Stiffness (Mpa)	567	589	545	544	544	578	588	580	582	544	531	512	541
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	577	601	555	558	561	588	579	581	544	532	551	542	561

B14.201 Inc

Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signature: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Anexo 19. Resultado módulo de rigidez a 40°C briqueta 2 mezcla caliente.

FN 12687-26 (Annex C)		Lab Address: PU.16	
Date of Test	inc, 07 de ago de 2019 @ 12:		
Record Number			
Operator	JH MURCZ		
Specimen ID	B14.20		
Client name			
Test Temperature (°C)	10	Conditioning Pulses	10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0	Poisson's Ratio	0,25
Diameter (mm)	101	A & B Target Hra Time (ms)	124
Thickness (mm)	64	A & B Target Deformation (mm)	5

Pulse 1A	Pulse 2A	Pulse 3A	Pulse 4A	Pulse 5A
Pulse 10	Pulse 20	Pulse 30	Pulse 40	Pulse 50

Test Results	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	10	20	30	40	50	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0,30	0,29	0,28	0,31	0,30	0,29	0,31	0,30	0,27	0,29	0,31	0,30	0,28
Horizontal Stress (kPa)	31,2	30,8	32,8	31,1	31,1	31,2	31,1	30,2	31,2	31,8	31,1	30,1	30,4
Load Area Factor	0,62	0,61	0,63	0,62	0,62	0,63	0,61	0,60	0,60	0,59	0,59	0,60	0,58
Horizontal Deformation (mm)	5,822	5,849	5,830	5,814	5,858	5,834	5,215	5,119	5,193	5,208	5,102	5,109	5,171
Load Rise Time (ms)	125	126	123	123	126	125	125	127	126	128	128	127	127
Measured Stiffness (Mpa)	467	485	445	444	434	478	486	490	462	444	431	412	441
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	477	471	455	458	451	460	470	461	444	432	451	442	461

B14.20 Items

Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signature: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Anexo 20. Resultado módulo de rigidez a 40°C briqueta 3 mezcla caliente.

FN 12687-26 (Annex C)		Load Address: PL13E	
Date of Test: mid, 07 de ago de 2019 @ 12:			
Record number:			
Operator: JH MURGO			
Specimen ID: B13.20			
Client name:			

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Test Temperature (°C)</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Bulk Density (kg/m<sup>3</sup>)</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Diameter (mm)</td> <td>101</td> </tr> <tr> <td>Thickness (mm)</td> <td>64</td> </tr> </table>	Test Temperature (°C)	10	Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0	Diameter (mm)	101	Thickness (mm)	64	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Conditioning Pulses</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Poisson's Ratio</td> <td>0,35</td> </tr> <tr> <td>A &amp; B Target Hires (mm/mm)</td> <td>1,24</td> </tr> <tr> <td>A &amp; B Target Deformation (µm)</td> <td>5</td> </tr> </table>	Conditioning Pulses	10	Poisson's Ratio	0,35	A & B Target Hires (mm/mm)	1,24	A & B Target Deformation (µm)	5
Test Temperature (°C)	10																
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0																
Diameter (mm)	101																
Thickness (mm)	64																
Conditioning Pulses	10																
Poisson's Ratio	0,35																
A & B Target Hires (mm/mm)	1,24																
A & B Target Deformation (µm)	5																

Pulse 1A

Pulse 2A

Pulse 3A

Pulse 4A

Pulse 5A

Pulse 1B

Pulse 2B

Pulse 3B

Pulse 4B

Pulse 5B

Test Results	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0,30	0,29	0,28	0,31	0,30	0,29	0,31	0,30	0,27	0,29	0,31	0,30	0,28
Horizontal Stress (KPa)	31,2	30,6	32,6	31,1	31,1	31,2	31,1	30,2	31,2	31,8	31,1	30,1	30,4
Load Area Factor	0,62	0,61	0,63	0,62	0,62	0,63	0,61	0,60	0,60	0,59	0,59	0,60	0,58
Horizontal Deformation (µm)	5,622	5,649	5,630	5,614	5,626	5,634	5,215	5,118	5,103	5,206	5,102	5,109	5,111
Load Rise Time (ms)	125	126	123	123	126	125	126	127	126	128	128	127	127
Measured Stiffness (Mpa)	467	485	445	444	434	478	486	460	432	444	421	412	421
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	477	401	455	458	451	460	479	461	444	432	451	442	431

**B13.20 Items**

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphalt/mix:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

How the specimen was stored:

Anexo 21. Resultado módulo de rigidez a 10°C briqueta 1 mezcla tibia con aditivo.

FN 12687-26 (Annex C)		Lab Address: PU.16	
Date of Test	inc, 07 de ago de 2019 @ 12:		
Record number			
Operator	JH. MURCZ		
Specimen ID	B4 10		
Client name			
Test Temperature (°C)	10	Conditioning Pulses	10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0	Poisson's Ratio	0,25
Diameter (mm)	101	A & B Target Ht (mm)	124
Thickness (mm)	64	A & B Target Deformation (mm)	5

Pulse 1A	Pulse 2A	Pulse 3A	Pulse 4A	Pulse 5A
Pulse 1B	Pulse 2B	Pulse 3B	Pulse 4B	Pulse 5B

Test Results	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	2,009	2,008	2,009	2,009	2,005	2,006	2,871	2,869	2,868	2,874	2,871	2,871	2,939
Horizontal Stress (kPa)	190,8	188,0	190,8	188,8	190,4	186,7	183,3	183,1	183,1	183,8	203,3	213,2	199,8
Load Area Factor	0,62	0,61	0,63	0,60	0,62	0,62	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Horizontal Deformation (mm)	5,222	5,249	5,130	5,114	5,158	5,134	5,115	5,119	5,193	5,109	5,102	5,109	5,171
Load Rise Time (ms)	125	128	123	123	126	125	125	127	126	128	128	127	127
Measured Stiffness (Mpa)	4722	4858	4717	4729	4892	4712	4043	4034	4044	4162	4149	4144	3828
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	4766	4719	3780	3771	3734	3754	3560	3534	3544	3832	3528	3540	3847

B4 10 Data

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

How the specimen was stored:

Signature: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Anexo 22. Resultado módulo de rigidez a 10°C briqueta 2 mezcla tibia con aditivo.

FN 12697-26 (Annex C)		Lab Address: HUE	
Date of Test	inc, 07 de ago de 2019 @ 12:		
Record number			
Operator	JH MURCZ		
Specimen ID	Br 10		
Client name			
Test Temperature (°C)	10	Conditioning Pulses	10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0	Poisson's Ratio	0,25
Diameter (mm)	102	A & B Target Hmax (mm)	124
Thickness (mm)	63	A & B Target Deformation (µm)	5

Test Results	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	10	20	30	40	50	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	4,109	4,016	4,009	4,009	4,005	4,006	3,871	3,589	3,398	3,474	3,671	3,716	3,789
Horizontal Stress (kPa)	298,7	279,3	263,1	288,5	283,3	285,5	265,1	256,5	256,8	256,5	285,8	273,3	276,7
Load Area Factor	0,62	0,61	0,63	0,62	0,62	0,62	0,61	0,62	0,62	0,59	0,59	0,60	0,62
Horizontal Deformation (µm)	5,222	5,249	5,348	5,422	5,222	5,234	5,115	5,119	5,222	5,119	5,125	5,109	5,111
Load Rise Time (ms)	125	128	127	127	125	125	125	127	126	128	128	127	128
Measured Stiffness (Mpa)	4612	4558	4817	4529	4892	4712	4043	4034	4044	4702	4549	4724	3919
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	4768	4719	4780	4771	4734	4754	4560	4534	4544	4532	4529	4540	3967

BR 10 Data

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

How the specimen was stored:

Signal

Date

Anexo 23. Resultado módulo de rigidez a 10°C briqueta 3 mezcla tibia con aditivo.

FN 12697-20 (Annex C)		Lot Address: PL01E	
Date of Test (incl. UT de agua de 2019 @ 12:			
Record number:			
Operator: JH. MURCZ			
Specimen ID: B6 10			
Client name:			
Test Temperature (°C)	10	Conditioning Pulses	10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0	Poisson's Ratio	0,35
Diameter (mm)	102	A & B Target Rise Time (ms)	124
Thickness (mm)	63	A & B Target Deformation (µm)	5

Pulse 1A	Pulse 2A	Pulse 3A	Pulse 4A	Pulse 5A
Pulse 1B	Pulse 2B	Pulse 3B	Pulse 4B	Pulse 5B

Test Results	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak (Peak (kN))	4,009	4,006	4,009	4,009	4,005	4,006	3,871	3,899	3,888	3,874	3,671	3,671	3,539
Horizontal Stress (kPa)	288,3	288,3	288,3	288,3	288,3	288,3	263,1	266,6	266,6	266,6	266,6	266,6	262,1
Load Area Factor	0,60	0,61	0,63	0,62	0,62	0,62	0,61	0,62	0,62	0,63	0,63	0,60	0,63
Horizontal Deformation (µm)	5,412	5,249	5,349	5,122	5,222	5,234	5,115	5,118	5,222	5,118	5,125	5,109	5,401
Load Rise Time (ms)	125	128	127	127	126	125	126	127	126	128	128	127	128
Measured Stiffness (Mpa)	4612	4588	4617	4529	4652	4712	4640	4634	4644	4762	4549	4724	3946
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	4665	4619	4693	4771	4334	4354	4260	4234	4244	4532	4529	4240	3856

BR 10.Mms

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

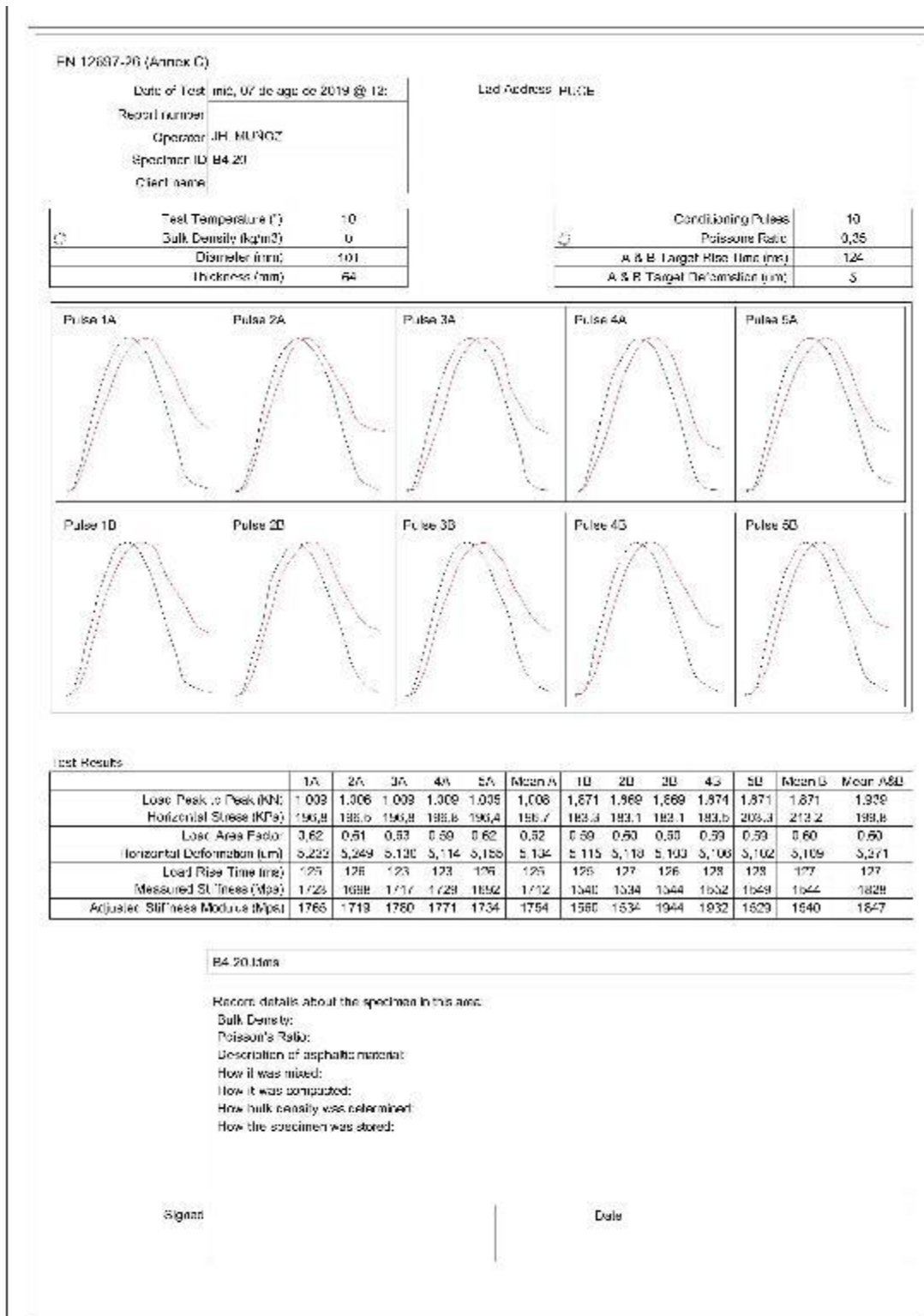
How bulk density was determined:

How the specimen was stored:

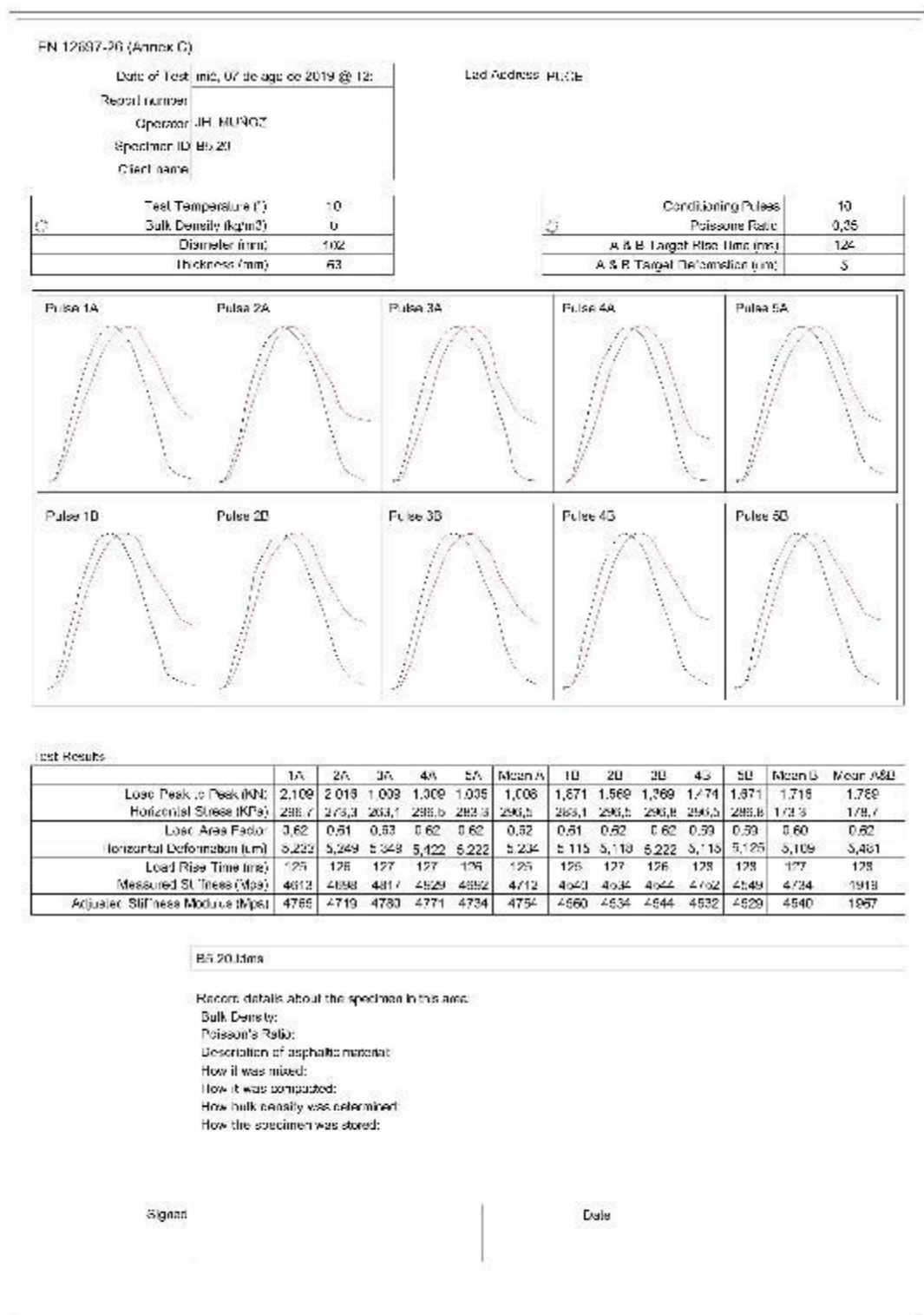
  

Signat: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Anexo 24. Resultado módulo de rigidez a 20°C briqueta 1 mezcla tibia con aditivo.



Anexo 25. Resultado módulo de rigidez a 20°C briqueta 2 mezcla tibia con aditivo.



Anexo 26. Resultado módulo de rigidez a 20°C briqueta 3 mezcla tibia con aditivo.

FN 12687-26 (Annex C)		Lab Address: PULCIB	
Date of Test	10/07/2019 @ 12:		
Record Number			
Operator	JH. MURCZ		
Specimen ID	BR 20		
Client name			
Test Temperature (°C)	10	Conditioning Pulses	10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0	Poisson's Ratio	0,35
Diameter (mm)	102	A & B Target Rise Time (ms)	124
Thickness (mm)	63	A & B Target Deformation (µm)	5

Pulse 1A

Pulse 2A

Pulse 3A

Pulse 4A

Pulse 5A

Pulse 1B

Pulse 2B

Pulse 3B

Pulse 4B

Pulse 5B

Test Results	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	2,009	2,008	2,309	2,008	2,005	2,306	1,871	1,969	1,869	1,874	1,871	1,871	1,539
Horizontal Stress (kPa)	298,6	295,3	283,7	298,6	293,9	296,5	265,1	296,5	296,8	294,5	293,8	293,3	182,1
Load Area Factor	0,60	0,61	0,63	0,62	0,62	0,62	0,61	0,62	0,62	0,59	0,59	0,60	0,63
Horizontal Deformation (µm)	5,412	5,249	5,348	5,122	5,222	5,234	5,115	5,118	5,222	5,118	5,125	5,109	5,501
Load Rise Time (ms)	125	126	127	127	126	125	125	127	126	128	128	127	128
Measured Stiffness (Mpa)	4812	4858	4817	4829	4882	4712	4043	4034	4044	4032	4149	4734	1848
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	4665	4619	4683	4771	4334	4354	4260	4234	4244	4532	4629	4240	1695

BR 20 Data

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

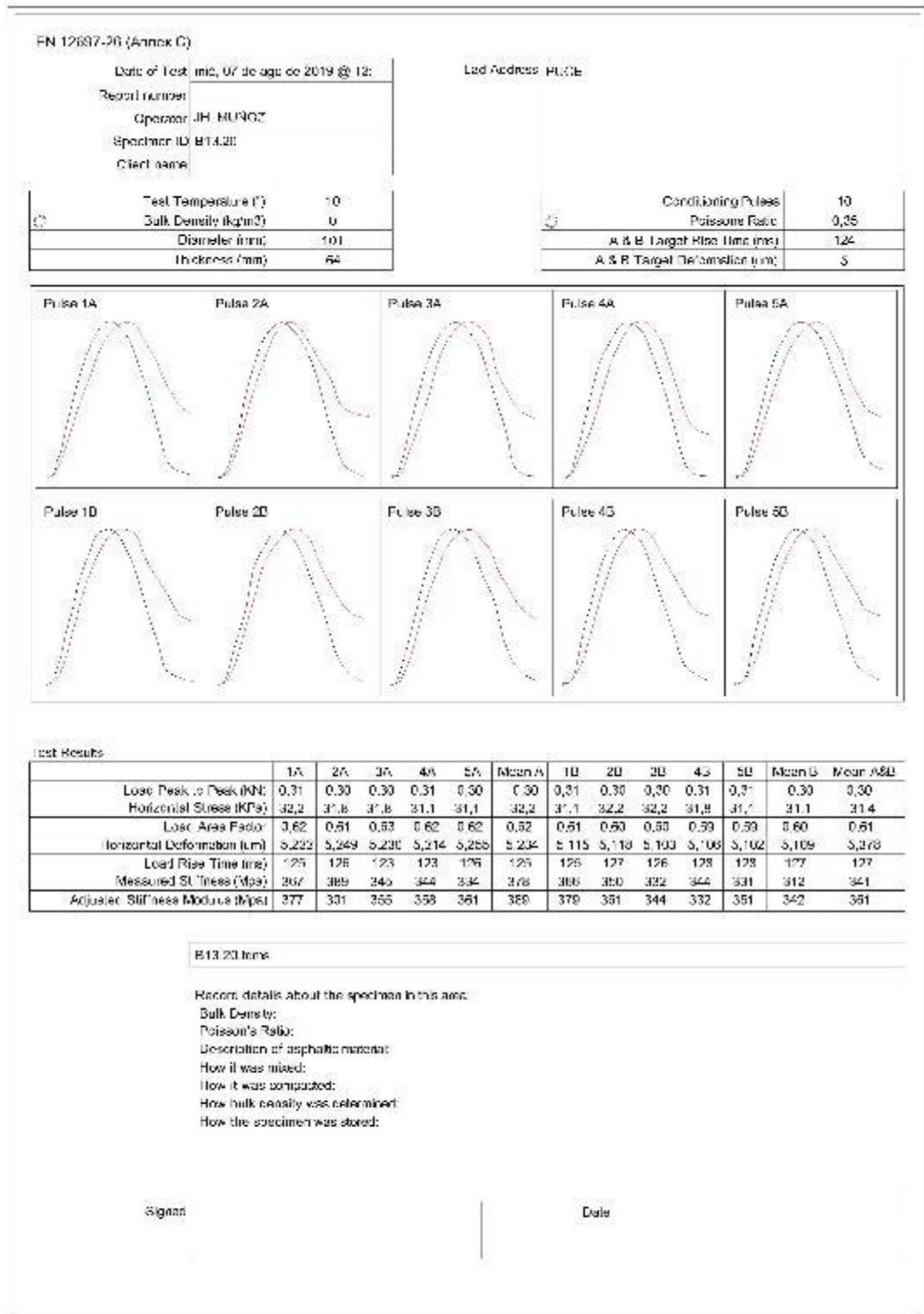
How the specimen was stored:

Signature

Date

Anexo 27. Resultado módulo de rigidez a 40°C briqueta 1 mezcla tibia con aditivo.



Anexo 28. Resultado módulo de rigidez a 40°C briqueta 2 mezcla tibia con aditivo.

FN 12687-26 (Annex C)		Lab Address: HUE	
Date of Test	inc, 07 de ago de 2019 @ 12:		
Record Number			
Operator	JH MURCZ		
Specimen ID	B14.2II		
Client name			
Test Temperature (°C)	10	Conditioning Pulses	10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0	Poisson's Ratio	0,25
Diameter (mm)	101	A & B Target Hts. (mm)	124
Thickness (mm)	64	A & B Target Deformation (mm)	5

Pulse 1A	Pulse 2A	Pulse 3A	Pulse 4A	Pulse 5A
Pulse 10	Pulse 20	Pulse 30	Pulse 40	Pulse 50

Test Results	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	10	20	30	40	50	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0,30	0,29	0,28	0,31	0,30	0,29	0,31	0,30	0,27	0,29	0,31	0,30	0,28
Horizontal Stress (kPa)	31,2	30,8	32,8	31,1	31,1	31,2	31,1	30,2	31,2	31,8	31,1	30,1	30,4
Load Area Factor	0,62	0,61	0,63	0,62	0,62	0,63	0,61	0,60	0,60	0,59	0,59	0,60	0,58
Horizontal Deformation (mm)	5,822	5,849	5,830	5,814	5,858	5,834	5,215	5,119	5,193	5,208	5,102	5,109	5,171
Load Rise Time (ms)	125	126	123	123	126	125	125	127	126	128	128	127	127
Measured Stiffness (Mpa)	367	369	345	344	344	378	366	350	352	344	331	312	341
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	377	331	355	358	361	380	379	351	344	332	351	342	331

B14.20 Items

Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

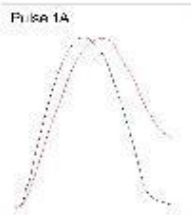
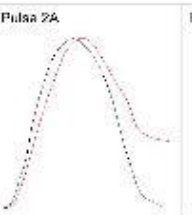
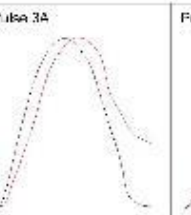
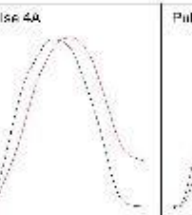
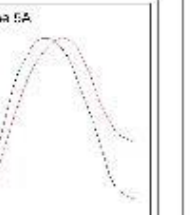
  


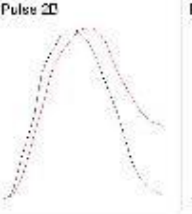
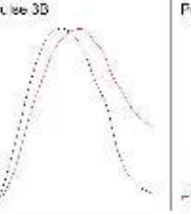
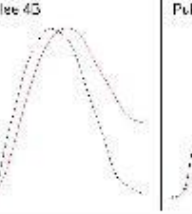
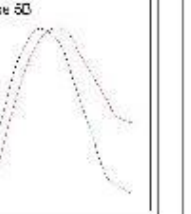
Signature: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Anexo 29. Resultado módulo de rigidez a 40°C briqueta 3 mezcla tibia con aditivo.

FN 12697-26 (Annex C)		Lead Address: HUNG	
Date of Test	inc, 07 de ago de 2019 @ 12:		
Report number			
Operator	JH HUNGOZ		
Specimen ID	B14.20		
Client name			
Test Temperature (°)	10	Conditioning Pulses	10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0	Poisson Ratio	0,35
Diameter (mm)	101	A & B Target Rise Time (ms)	124
Thickness (mm)	64	A & B Target Deformation (µm)	5

Test Results	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak σ Peak (kN)	0,30	0,29	0,28	0,31	0,30	0,29	0,31	0,30	0,27	0,29	0,31	0,30	0,28
Horizontal Stress (kPa)	31,2	30,8	32,8	31,1	31,1	31,2	31,1	30,2	31,2	31,8	31,7	30,1	30,4
Load Area Factor	0,62	0,51	0,53	0,62	0,62	0,53	0,51	0,50	0,50	0,59	0,59	0,60	0,58
Horizontal Deformation (µm)	5,822	5,649	5,820	5,814	5,828	5,824	5,215	5,119	5,193	5,208	5,102	5,109	5,511
Load Rise Time (ms)	125	126	123	123	126	125	126	127	126	128	128	127	127
Measured Stiffness (Mpa)	267	309	345	344	334	308	306	310	322	344	331	312	321
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	377	331	355	338	361	359	379	351	344	332	351	342	331

B14.20 Inc.

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

How the specimen was stored:

Anexo 30. Resultado módulo de rigidez a 10°C briqueta 1 mezcla tibia sin aditivo.

FN 12687-26 (Annex C)

Date of Test: 04/07/2019 @ 12:	Lab Address: HUE
Record Number:	
Operator: JH MURCZ	
Specimen ID: B4 10	
Client name:	

Test Temperature (°C): 10	Conditioning Pulses: 10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> ): 0	Poisson's Ratio: 0,25
Diameter (mm): 101	A & B Target Hts. (mm): 124
Thickness (mm): 64	A & B Target Deformation (mm): 5

Pulse 1A

Pulse 2A

Pulse 3A

Pulse 4A

Pulse 5A

Pulse 10

Pulse 20

Pulse 30

Pulse 40

Pulse 50

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	10	20	30	40	50	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	1,909	1,906	1,909	1,909	1,905	1,906	1,671	1,969	1,669	1,674	1,671	1,671	1,939
Horizontal Stress (kPa)	190,8	188,0	190,8	188,8	190,4	186,7	163,3	183,1	163,1	163,6	163,3	163,2	199,8
Load Area Factor	0,62	0,61	0,63	0,60	0,62	0,62	0,59	0,60	0,59	0,59	0,59	0,60	0,60
Horizontal Deformation (mm)	5,223	5,249	5,130	5,114	5,158	5,134	5,115	5,119	5,193	5,109	5,102	5,109	5,171
Load Rise Time (ms)	125	126	123	123	126	125	125	127	126	128	128	127	127
Measured Stiffness (Mpa)	1,723	1,988	2,317	2,129	2,892	2,112	2,043	2,394	2,044	2,362	2,349	2,344	2,328
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	1765	1713	2783	2771	2734	2754	2360	2334	2644	2632	2628	2540	2347

**B4 10 Data**

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

How the specimen was stored:

Anexo 31. Resultado módulo de rigidez a 10°C briqueta 2 mezcla tibia sin aditivo.

FN 12697-26 (Annex C)		Lab Address: HUE	
Date of Test	inc, 07 de ago de 2019 @ 12:		
Record number			
Operator	JH MURCZ		
Specimen ID	BU 10		
Client name			
Test Temperature (°C)	10	Conditioning Pulses	10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0	Poisson's Ratio	0,25
Diameter (mm)	102	A & B Target Hmax (mm)	124
Thickness (mm)	63	A & B Target Deformation (mm)	5

Pulse 1A	Pulse 2A	Pulse 3A	Pulse 4A	Pulse 5A
Pulse 10	Pulse 20	Pulse 30	Pulse 40	Pulse 50

Test Results	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	10	20	30	40	50	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	2.109	2.018	2.009	2.009	2.005	2.006	2.371	2.299	2.388	2.474	2.171	1.918	2.189
Horizontal Stress (kPa)	218,7	213,3	203,1	203,5	203,3	205,5	205,1	206,5	206,8	206,5	205,8	203,3	206,7
Load Area Factor	0,62	0,61	0,63	0,62	0,62	0,62	0,61	0,62	0,62	0,59	0,59	0,60	0,62
Horizontal Deformation (mm)	6,222	6,249	6,348	6,422	6,222	6,234	6,214	6,612	6,387	6,412	6,175	6,127	6,261
Load Rise Time (ms)	125	126	127	127	126	126	126	127	126	128	128	127	128
Measured Stiffness (Mpa)	1813	1688	1878	1528	1662	1712	2140	2231	1923	1832	1912	1789	2101
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	1834	1788	2008	1650	1734	1764	2180	2241	1983	1892	1892	1812	2172

BS 10 Data

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphalt material:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

How the specimen was stored:

Signal

Date

Anexo 32. Resultado módulo de rigidez a 10°C briqueta 3 mezcla tibia sin aditivo.

EN 12697-26 (Annex C)		Lab Address: PUCE	
Date of Test	mié. 17 de ago de 2019 @ 12		
Report number			
Operator	JH. MURAZ		
Specimen ID	B6.10		
Client name			

Test Temperature (°F)	10	Conditioning Pulses	10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0	Poissons Ratio	0,3b
Diameter (mm)	102	A & B Target Rise Time (ms)	124
Thickness (mm)	62	A & B Target Deformation (µm)	5

Test Results	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A/B
Load Peak In-Peak (kN)	2.039	2.036	2.038	2.038	2.035	2.038	1.877	1.889	2.060	12.874	1.871	1.871	1.830
Horizontal Stress (KPa)	298,6	293,3	293,1	296,0	293,3	296,3	293,1	293,5	296,0	296,0	293,0	293,3	262,7
Load Area Factor	0,82	0,81	0,83	0,82	0,82	0,82	0,61	0,62	0,82	0,80	0,70	0,63	0,63
Horizontal Deformation (µm)	8,472	8,248	8,348	8,422	8,222	8,234	6,71b	6,71b	6,252	6,81b	5,825	6,108	5,901
Load Rise Time (ms)	125	126	127	127	126	125	125	127	126	128	126	127	126
Measured Stiffness (Mpa)	2613	2298	2117	2223	1992	1912	1840	2134	2144	2052	1948	2134	2201
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	2020	2312	2127	4771	2069	1984	1887	2188	2178	289	1988	2188	2200

B6.10.km's

Record details about the specimen in this area:  
 Bulk Density:  
 Poisson's Ratio:  
 Description of asphaltic material:  
 How it was mixed:  
 How it was compacted:  
 How bulk density was determined:  
 How the specimen was stored:

Signed: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Anexo 33. Resultado módulo de rigidez a 20°C briqueta 1 mezcla tibia sin aditivo.

FN 12687-26 (Annex C)

Date of Test: 04/07/2019 @ 12:	Lab Address: PUJOL
Record Number:	
Operator: JH. MURGOZ	
Specimen ID: B4-10	
Client name:	

Test Temperature (°C): 10	Conditioning Pulses: 10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> ): 0	Poisson's Ratio: 0,25
Diameter (mm): 101	A & B Target Hts. (mm): 124
Thickness (mm): 64	A & B Target Deformation (mm): 5

Pulse 1A

Pulse 2A

Pulse 3A

Pulse 4A

Pulse 5A

Pulse 10

Pulse 20

Pulse 30

Pulse 40

Pulse 50

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	10	20	30	40	50	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	1,903	1,906	1,909	1,909	1,905	1,906	1,671	1,969	1,669	1,674	1,671	1,671	1,739
Horizontal Stress (kPa)	190,8	190,8	190,8	190,8	190,4	190,7	163,3	193,1	163,1	163,6	163,3	163,2	169,8
Load Area Factor	0,62	0,61	0,63	0,60	0,62	0,62	0,59	0,60	0,59	0,59	0,59	0,60	0,60
Horizontal Deformation (mm)	5,223	5,249	5,130	5,114	5,155	5,134	5,115	5,119	5,193	5,106	5,102	5,109	5,271
Load Rise Time (ms)	125	126	123	123	126	125	125	127	126	128	128	127	127
Measured Stiffness (Mpa)	1,723	1,988	2,317	2,129	2,892	2,712	2,043	2,934	2,044	2,062	2,049	2,044	1,128
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	1765	1713	2783	2771	2734	2754	2360	2334	2644	2632	2628	2540	1147

**B4-10.txt**

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

How the specimen was stored:

Anexo 34. Resultado módulo de rigidez a 20°C briqueta 2 mezcla tibia sin aditivo.

FN 12687-26 (Annex C)

Date of Test: 04/07/2019 @ 12:	Lab Address: PU.16
Record Number:	
Operator: JH. MURCZ	
Specimen ID: BR 10	
Client name:	

Test Temperature (°C): 10	Conditioning Pulses: 10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> ): 0	Poisson's Ratio: 0,35
Diameter (mm): 102	A & B Target Hra (mm): 124
Thickness (mm): 63	A & B Target Deformation (µm): 5

Pulse 1A

Pulse 2A

Pulse 3A

Pulse 4A

Pulse 5A

Pulse 10

Pulse 20

Pulse 30

Pulse 40

Pulse 50

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	10	20	30	40	50	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	2,109	2,018	2,009	2,009	2,005	2,006	2,371	2,289	2,388	2,474	2,171	1,918	1,569
Horizontal Stress (kPa)	218,7	213,3	203,7	203,5	203,3	203,5	203,1	203,5	203,8	203,5	203,8	203,3	206,7
Load Area Factor	0,62	0,61	0,63	0,62	0,62	0,62	0,61	0,62	0,62	0,59	0,59	0,60	0,62
Horizontal Deformation (µm)	6,223	6,249	6,348	6,422	6,222	6,234	6,214	6,612	6,387	6,412	6,178	6,127	6,261
Load Rise Time (ms)	125	126	127	127	126	126	125	127	126	128	128	127	128
Measured Stiffness (Mpa)	1813	1688	1876	1528	1662	1712	2140	2291	1923	1862	1912	1789	1731
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	1834	1783	2003	1559	1734	1754	2180	2241	1953	1892	1902	1812	1772

BR 10 Data

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

How the specimen was stored:

Anexo 35. Resultado módulo de rigidez a 20°C briqueta 3 mezcla tibia sin aditivo.

FN 12687-26 (Annex C)		Lab Address: PULCIB	
Date of Test	10/02/2019 @ 12:		
Record number			
Operator	JH. MURCZ		
Specimen ID	BR 10		
Client name			
Test Temperature (°C)	10	Conditioning Pulses	10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0	Poisson's Ratio	0,35
Diameter (mm)	102	A & B Target Rise Time (ms)	124
Thickness (mm)	63	A & B Target Deformation (µm)	5

Test Results	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	10	20	30	40	50	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	2,009	2,008	2,309	2,008	2,005	2,306	1,871	1,969	2,888	12,674	1,871	1,871	1,839
Horizontal Stress (kPa)	298,6	298,3	283,7	298,5	293,9	296,5	265,1	293,5	293,8	293,5	293,8	293,3	282,1
Load Area Factor	0,60	0,61	0,63	0,62	0,62	0,62	0,61	0,62	0,62	0,59	0,59	0,60	0,63
Horizontal Deformation (µm)	6,412	6,249	6,348	6,122	6,222	6,234	6,115	6,118	6,222	5,515	5,825	6,109	6,201
Load Rise Time (ms)	125	126	127	127	126	125	125	127	126	128	128	127	128
Measured Stiffness (Mpa)	2812	2258	2117	2225	1952	1912	1940	2134	2144	2032	1949	2134	1231
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	2620	2312	2127	4771	2038	1954	1987	2189	2178	288	1998	2158	1265

BR 10 Data

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

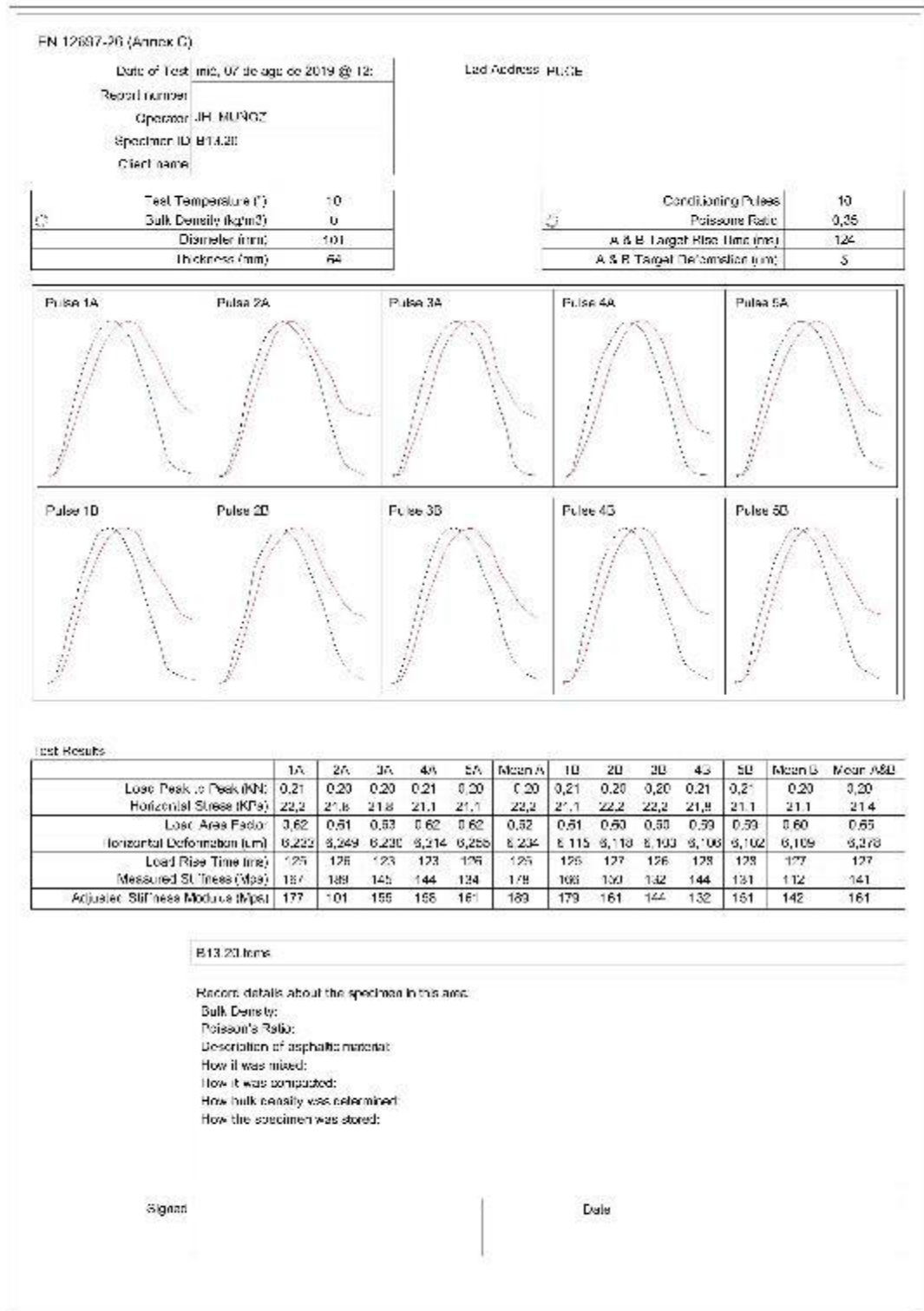
How bulk density was determined:

How the specimen was stored:

Signature: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

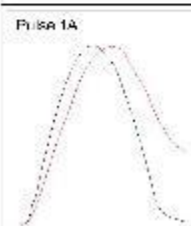

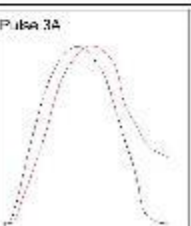
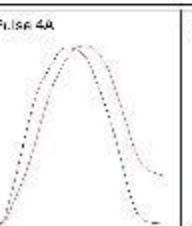
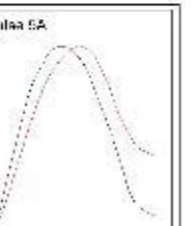
Anexo 36. Resultado módulo de rigidez a 40°C briqueta 1 mezcla tibia sin aditivo.

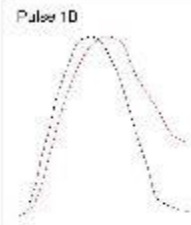
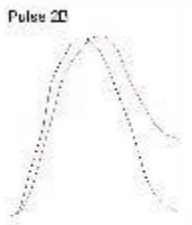
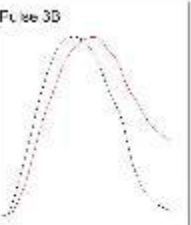
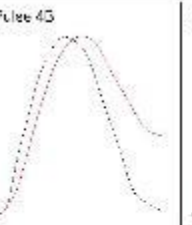
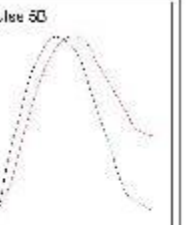


Anexo 37. Resultado módulo de rigidez a 40°C briqueta 2 mezcla tibia sin aditivo.

FN 12687-26 (Annex C)		Lab Address: PULTE	
Date of Test	1mo, 07 de ago de 2019 @ 12:		
Record number			
Operator	JH. MURGOZ		
Specimen ID	B14.20		
Client name			
Test Temperature (°C)	10	Conditioning Pulses	10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0	Poisson's Ratio	0,35
Diameter (mm)	101	A & B Target Rise Time (ms)	124
Thickness (mm)	64	A & B Target Deformation (µm)	5

Test Results	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0,21	0,20	0,20	0,21	0,18	0,17	0,16	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16	0,17
Horizontal Stress (kPa)	31,2	30,6	32,6	31,1	31,1	31,2	31,1	30,2	31,2	31,8	31,1	30,1	30,4
Load Area Factor	0,62	0,61	0,63	0,62	0,62	0,63	0,61	0,60	0,60	0,59	0,59	0,60	0,58
Horizontal Deformation (µm)	5,822	5,849	5,820	5,814	5,855	5,834	5,215	5,118	5,103	5,208	5,102	5,109	5,171
Load Rise Time (ms)	125	126	123	123	126	125	125	127	126	128	128	127	127
Measured Stiffness (Mpa)	187	158	185	184	184	188	136	130	132	134	121	112	121
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	177	101	155	155	161	189	179	161	144	132	151	142	131

B14.20 Item

Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:

Poisson's Ratio:

Description of asphaltic material:

How it was mixed:

How it was compacted:

How bulk density was determined:

How the specimen was stored:

Signature

Date

Anexo 38. Resultado módulo de rigidez a 40°C briqueta 3 mezcla tibia sin aditivo.

FN 12687-26 (Annex C)		Lab Address: PU.16	
Date of Test	inc, 07 de ago de 2019 @ 12:		
Record Number			
Operator	JH MURCZ		
Specimen ID	B14.20		
Client name			
Test Temperature (°C)	10	Conditioning Pulses	10
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0	Poisson Ratio	0,25
Diameter (mm)	101	A & B Target Hts. (mm)	124
Thickness (mm)	64	A & B Target Deformation (mm)	5

Pulse 1A	Pulse 2A	Pulse 3A	Pulse 4A	Pulse 5A
Pulse 10	Pulse 20	Pulse 30	Pulse 40	Pulse 50

Test Results	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	10	20	30	40	50	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0,21	0,20	0,20	0,21	0,16	0,17	0,16	0,16	0,19	0,17	0,16	0,16	0,14
Horizontal Stress (kPa)	31,2	30,8	32,8	31,1	31,1	31,2	31,1	30,2	31,2	31,8	31,1	30,1	30,4
Load Area Factor	0,62	0,61	0,63	0,62	0,62	0,63	0,61	0,60	0,60	0,59	0,59	0,60	0,58
Horizontal Deformation (mm)	7,822	7,849	7,833	7,914	7,858	7,834	7,215	7,119	7,193	7,206	7,102	7,109	7,271
Load Rise Time (ms)	125	126	123	123	126	125	125	127	126	128	128	127	128
Measured Stiffness (Mpa)	130	112	123	109	102	108	106	100	102	104	101	102	101
Adjusted Stiffness Modulus (Mpa)	137	121	125	116	111	119	119	101	114	112	111	112	111

B14.20 Items

Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signature: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_